

Tutta la plastica che non vediamo

Rapporto sulla
presenza delle micro
e nanoplastiche
nel corpo umano



Il presente Rapporto è stato predisposto e presentato in occasione del *Planetary Health Festival: Il Festival Italiano della Salute Planetaria* che si svolge a Verona dal 3 al 5 ottobre 2024.

VERA Studio ringrazia la società Healtival del gruppo EDRA e il Comune di Verona per aver voluto ospitare l'evento di presentazione del Rapporto all'interno del programma del Festival.

Tutti i diritti di proprietà intellettuale del presente Rapporto sono riservati e ad uso esclusivo degli autori e di VERA Studio.

È libera la diffusione dei dati del Rapporto esclusivamente per scopi didattici o informativi, citando la fonte. Sono vietati tutti gli altri utilizzi da parte di terzi, salvo il preventivo consenso di VERA Studio e del Prof. Raffaele Marfella.

Progetto grafico: Marianna Rossi
Grafici: rielaborazione di VERA Studio
In copertina: FlyD @ Unsplash

Per informazioni: info@verastudio.it

Tutta la plastica che non vediamo

Rapporto sulla presenza delle micro e nanoplastiche nel corpo umano

a cura di

- **Prof. Raffaele Marfella**
Dipartimento di Scienze Mediche e Chirurgiche Avanzate (DAMSS),
Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli
- **Prof. Pasquale Iovino**
Dipartimento di Scienze e Tecnologie Ambientali Biologiche
e Farmaceutiche (DISTABIF), Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli
- **Dott. Francesco Prattichizzo**
RCCS MultiMedica, Polo Scientifico e Tecnologico

Indice

Nota al testo

Gli apici in grigio rimandano alla **BIBLIOGRAFIA** → pg.75.

Gli apici in azzurro rimandano alle note al testo.

01	Tutta la plastica che non vediamo	5
02	Introduzione	9
03	Metodologia	13
	1/ Inquinamento da plastica e possibili fonti di esposizione per l'uomo	13
	2/ Revisione sistematica della letteratura relativa all'accumulo di MNP negli organi umani	14
04	Risultati	17
	Inquinamento da plastica e possibili fonti di esposizione per l'uomo	17
	Evidenze di accumulo di micro e nanoplastiche nei tessuti umani	30
05	Conclusioni	37
06	Tabelle	41
	Tabella 1	41
	Tabella 2	70
	Allegato	72
07	Bibliografia	75

Tutta la plastica che non vediamo

La presenza di plastiche nell'ambiente è un fenomeno allarmante e di dimensioni globali. Al di là dell'innovazione tecnologica che l'industria può introdurre, è indubbio che occorra andare verso una complessiva e drastica riduzione della produzione e quindi dell'utilizzo di plastiche. I processi di recupero e riciclo non bastano e non esistono ad oggi materiali plastici che siano completamente biodegradabili, neppure le cosiddette bio-plastiche.

Nessuno si illude che questo modello produttivo possa cambiare in breve tempo, parliamo di oltre 400 milioni di tonnellate di plastica prodotte ogni anno. Tuttavia, sarebbe miope e grave pensare di poter gestire l'impatto sull'ambiente e sulla salute, dell'enorme quantità di plastica prodotta nel mondo¹, attraverso sistemi - più o meno sofisticati - di raccolta differenziata e di riciclo.

È quindi necessario, così come sta avvenendo nel settore delle fonti energetiche, pensare ad una transizione che ci porti, in un tempo ragionevole, ad un drastico abbattimento della produzione di plastiche.

La velocità di questa transizione dipende anche dalle abitudini di noi consumatori. Siamo noi consumatori che, grazie alle nostre scelte consapevoli di acquisto, possiamo contribuire ad accelerare questo percorso ineludibile di riconversione industriale e fare pressione affinché l'industria e le istituzioni si impegnino sempre di più per un pianeta "senza" plastica.

Di plastica si parla molto in termini di impatto ambientale, meno di impatto sulla salute. Ma i due aspetti sono strettamente connessi. Queste microparticelle di plastica, infatti, non solo sono entrate nella catena alimentare ma possono essere assorbite dal nostro organismo anche per via aerea e persino attraverso l'epidermide.

¹ Si stima che nel corso degli ultimi 60 anni siano state prodotte nel mondo oltre 8 miliardi e 300 milioni di tonnellate di plastica. Ref. *Science Advance 2017, Geyer, Jambeck, Lavender Law.*



Di recente, il Dipartimento di Scienze Mediche dell'Università Luigi Vanvitelli di Napoli ha condotto un primo importante studio, pubblicato sulla prestigiosa rivista scientifica *The New England Journal of Medicine*, che dimostra, per la prima volta, la diretta correlazione tra la presenza di micro e nanoplastiche e l'incidenza di infarto miocardico e ictus.

Proprio prendendo spunto da questa ricerca, abbiamo promosso quest'analisi che costituisce la più completa ricognizione sugli studi scientifici sinora effettuati, a livello mondiale, circa la presenza di plastica nel corpo umano. L'analisi, affidata allo stesso team di ricercatori dell'Università Vanvitelli, testimonia, in maniera inequivocabile, che i nostri organi ospitano migliaia di micro e nano plastiche.

Leggendo questo report, condotto con estremo rigore scientifico, emerge la pervasività della presenza di plastiche nel nostro organismo. Purtroppo, la sola presenza non è sufficiente a dichiarare la pericolosità delle plastiche per l'essere umano. Sono necessari approfondimenti per capire quale impatto abbia nel nostro organismo, occorrono ulteriori ricerche e studi multidisciplinari che ci permettano di giungere a conclusioni definitive circa l'incidenza diretta su alcune malattie.

Allo stesso tempo, nessuno di noi può essere tranquillo nel sapere che abbiamo in media dai 15 ai 280 grammi di micro e nano plastiche distribuite pressoché in tutti i nostri organi, persino nel cervello.

È la plastica che non vediamo e che pochi raccontano.
Noi abbiamo deciso di raccontarla.

→ **Francesco Schlitzer**
VERA Studio



Sylvia Bartyzel @ Unsplash



02

Introduzione

La produzione globale di plastica ha raggiunto i 3,68 miliardi di tonnellate nel 2019. Si stima che la tendenza all'aumento continuerà fino al 2050 e che la produzione globale di plastica potrebbe salire fino a 25 miliardi di tonnellate⁶⁴. Ciò equivarrebbe al 20% del consumo globale di petrolio in termini di peso. I prodotti in plastica sono diffusi in molti settori, come l'imballaggio, l'edilizia, le automobili, l'elettronica, l'agricoltura e gli articoli per la casa, con un'inevitabile esposizione ambientale e umana. La plastica entra nell'ambiente da diverse fonti e può essere classificata come primaria (da prodotti fabbricati) o secondaria (dalla frammentazione di articoli in plastica più grandi). La produzione più cospicua è quella che si riversa negli oceani, mentre le correnti e il vento ne favoriscono la distribuzione. Una volta rilasciati nell'ambiente, questi materiali sono inclini a degradarsi, sia per via abiotica che biotica, generando microplastiche (MPs, < 5 mm) e nanoplastiche (NPs, < 1000 nm), collettivamente chiamate micro-nanoplastiche (MNP).

Data questa esposizione progressivamente crescente, studiosi da tutto il mondo stanno ora cercando di esplorare sia il possibile accumulo di queste MNP nell'uomo che la loro potenziale pericolosità in termini di salute. Sforzi di ricerca via via crescenti si stanno difatti occupando di studiare sia gli effetti di queste MNP in modelli preclinici, quali modelli cellulari in vitro e animali da laboratorio, che di esplorarne l'accumulo in campioni provenienti da pazienti.

Recentemente, il nostro gruppo di ricerca ha dimostrato per la prima volta la presenza di MNP in campioni di placche carotidee prelevate da pazienti sottoposti a procedura chirurgica per la rimozione della stessa. In particolare, abbiamo rilevato polietilene in più di metà dei campioni analizzati mentre una piccola parte di pazienti presentava anche tracce di polivinilcloruro. Cosa più importante, i pazienti in cui sono state rilevate MNP all'interno dell'ateroma² presentavano un rischio più elevato di avere un evento di infarto del miocardio, ictus, o mortalità rispetto a quelli in cui queste sostanze non sono state rilevate⁴⁷. Questa evidenza è la prima in assoluto a collegare in modo longitudinale e

2 Placca formata da grassi (colesterolo), proteine e tessuto fibroso che si forma nella parete delle arterie (in questo caso carotide) e configura il quadro dell'aterosclerosi.



prospettico la presenza di MNP con una patologia.

Nel mentre, un numero di articoli sempre maggiore sta studiando l'argomento. Controllando la letteratura esistente, abbiamo notato che non esistono meta-analisi rigorose ed aggiornate che mirano a sintetizzare tutte le evidenze recenti relative all'accumulo di MNP negli organi umani, con un focus su possibili associazioni patologiche. Di fatto, l'unica rassegna sistematica disponibile sull'argomento⁶⁵ risale al 2023 e non include gli articoli più recenti che dimostrano una presenza molto consistente di MNP nel sistema cardiovascolare ma anche nel cervello.

L'obiettivo della presente relazione è quindi quello di:

- ◆ sintetizzare le possibili fonti di esposizione di MNP per l'essere umano;
- ◆ sistematizzare tutti gli studi scientifici che evidenziano la presenza di MNP in organi umani;
- ◆ descrivere le tipologie di MNP ed eventuali associazioni patologiche.



Naja Bertolt Jensen @ Unsplash



Metodologia

La presente ricerca è suddivisa in 2 sezioni:

- **inquinamento da plastica e possibili fonti di esposizione per l'uomo;**
- **revisione sistematica della letteratura relativa all'accumulo di MNP negli organi umani.**

In entrambi gli ambiti di ricerca sono state utilizzate fonti e database che costituiscono dei punti di riferimento nell'ambito della ricerca sulla letteratura scientifica. Ci riferiamo alle seguenti fonti:

- **PubMed** è un database sviluppato e gestito dal *National Centre for Biotechnology Information (NCBI)* presso la U.S. National Library of Medicine (NLM) dell'istituto Nazionale di Sanità americana che raccoglie tutti gli articoli scientifici pubblicati su tutte le riviste scientifiche indicizzate, e quindi attendibili.
- **Prospero** è un database internazionale gestito dall'Università di York che raccoglie i protocolli di revisioni sistematiche registrate in vari settori (*social care, welfare, sanità*) che rilevano un impatto sulla salute.
- **Cochrane** è una *library* di diversi database dove vengono collezionati i risultati di revisioni sistematiche e meta-analisi di alta rilevanza in ambito sanitario.

1 / **Inquinamento da plastica e possibili fonti di esposizione per l'uomo**

La ricerca relativa a questa sezione è stata effettuata in PubMed fino al 31 Maggio 2024. Sono state utilizzate le seguenti parole chiave: *microplastics, micronanoplastics, exposure, risk, water, food, plastic material, microwave, oven, e clothes*. Gli articoli selezionati sono stati esaminati da Pasquale Iovino ed inclusi in questa sintesi in base all'importanza e la rilevanza percepita dagli autori. È stata data preferenza ai lavori più recenti sviluppati con tecnologia adeguata al rilevamento delle MNP.



2 / Revisione sistematica della letteratura relativa all'accumulo di MNP negli organi umani

STEP 1 → Ricerca della letteratura ed inclusione degli articoli

Sono stati dapprima esaminati i database Prospero e Cochrane per cercare eventuali revisioni sistematiche già pubblicate o in preparazione, senza trovare alcuna voce. La ricerca è proseguita in PubMed e Scopus fino al 31 Maggio 2024. Le stringhe utilizzate per la ricerca su PubMed sono state: ((*microplastics*) OR (*micronanoplastics*) AND (*human samples*) OR (*human tissues*) OR (*humans*)) come parole chiave. La ricerca è stata limitata all'intervallo temporale che arriva fino al Maggio 2024, senza limiti temporali inferiori.

Due ricercatori, Francesco Prattichizzo e Raffaele Marfella, hanno esaminato in modo indipendente gli abstract identificati per determinare l'ammissibilità degli studi da includere nella revisione.

I criteri di ammissibilità per tutti gli studi erano:

- ◆ riportavano evidenze di presenza di MNP in tessuti umani;
- ◆ descrizione della popolazione in cui è stata raccolta l'evidenza.

Poiché ci si aspettava di ritrovare principalmente studi pilota o di piccole dimensioni, si è scelto di includere anche pubblicazioni che riportassero i dati di un numero piccolo di soggetti e non è stata posta alcuna restrizione per il tipo di tecnologia utilizzata per il rilevamento delle MNP né per alcun tipo di disegno dello studio. Non sono stati posti criteri di esclusione aggiuntivi o particolari.

STEP 2 → Estrazione e sintesi dei dati

Tutti i dati rilevanti degli studi inclusi sono stati estratti da due revisori indipendenti utilizzando un modello di estrazione dei dati prestabilito e standardizzato in Microsoft Excel (Microsoft, Seattle, WA). In caso di disaccordo tra i revisori, le differenze sono state risolte consultando due componenti *senior* del team, Francesco Prattichizzo e Raffaele Marfella. Le informazioni raccolte sono quelle elencate nell'allegato **TABELLA 1** (→ pg. 41). Non è stata adottata alcuna pro-



cedura di mascheramento³ né per la selezione degli studi né per l'estrazione dei dati.

Al momento della raccolta degli studi pubblicati da analizzare, abbiamo riconosciuto l'opportunità di una sintesi narrativa. Successivamente, gli studi sono stati sintetizzati mediante tabelle e diagrammi di Venn, al fine di identificare visivamente i tipi di MNP che più frequentemente sono stati riscontrati negli organi umani.

La natura descrittiva di questo lavoro mira a generare una visione collettiva dello stato dell'arte nel campo e a identificare le lacune di conoscenza ancora presenti. Data la scarsità e l'eterogeneità dei lavori esaminati, si è deciso di non procedere con una valutazione qualitativa degli stessi.

3 Il nome degli autori dell'articolo resta anonimo, al fine di evitare che gli autori della *review* sistematica siano influenzati dal loro grado di conoscenza degli autori in questione.



04

Risultati

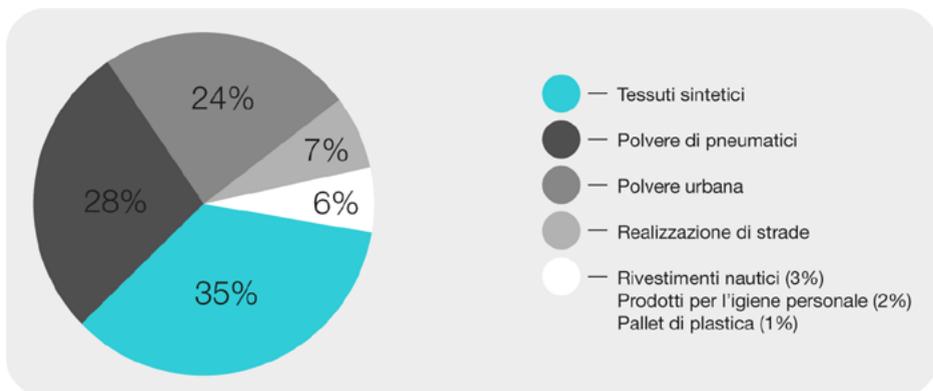
Inquinamento da plastica e possibili fonti di esposizione per l'uomo

L'inquinamento da plastica è una delle crisi ambientali più urgenti del nostro tempo in quanto provoca danni alla fauna, alla flora e agli ecosistemi, oltre a rappresentare una minaccia per la salute umana.

L'urbanizzazione, lo sviluppo economico e l'aumento della popolazione sono i principali motori della crescita dei rifiuti di plastica.

La plastica è un polimero sintetico sviluppato mediante polimerizzazione di monomeri estratti da prodotti petrolchimici e combinati con altri prodotti chimici. È preferita per le eccellenti proprietà inerti, durevoli, leggere e resistenti alla corrosione¹. Tuttavia, le sue proprietà, che la rendono così utile, sono le stesse che la rendono una minaccia persistente per l'ambiente.

Dalla sua introduzione su larga scala negli anni '50, la produzione globale di plastica è cresciuta esponenzialmente, superando i 300 milioni di tonnellate all'anno^{2,3}.



Rielaborazione grafica: VERA Studio

FIGURA 1

Principali sorgenti di microplastiche (MPs)².



Ad esempio, solo nel 2023, il mondo ha prodotto 400.3 milioni di tonnellate di plastica⁴. Tale crescita ha determinato parallelamente un **aumento dei rifiuti plastici**, gran parte dei quali **non vengono adeguatamente gestiti**.

Il rilascio di plastica nell'ambiente ne comporta la degradazione e l'alterazione causata da vari processi ambientali (come fotoossidazione, ossidazione termica e chimica, biodegradazione e abrasione fisica causata da pietre, sabbia, maree e onde) per formare particelle di plastica aventi dimensioni inferiori⁵.

Le plastiche esistono in diverse forme e dimensioni che vanno da microfibre, film, schiume e frammenti⁶; esse possono essere classificate in due categorie:

In base alle loro dimensioni, vengono distinte in cinque classi:

- ◆ nanoplastiche (< 1 μm)
- ◆ microplastiche (da $\geq 1 \mu\text{m}$ a < 5 mm)
- ◆ mesoplastiche (da $\geq 5 \text{ mm}$ a 5 cm)
- ◆ macroplastiche (da > 5 a 50 cm)
- ◆ megaplastiche (> 50 cm)²;

In base alla loro origine e fonti, in due classi: primarie e secondarie.

Le **microplastiche primarie** vengono rilasciate direttamente nell'ambiente sotto forma di piccole particelle. Possono derivare da un'aggiunta volontaria a prodotti come detersivi, prodotti per la cura della pelle, dentifricio e detergente per il viso. Possono anche derivare dall'abrasione di oggetti di plastica di grandi dimensioni durante la produzione, l'uso o la manutenzione come l'erosione degli pneumatici durante la guida o l'abrasione di tessuti sintetici durante il lavaggio.

Le **microplastiche secondarie** sono originate dalla degradazione di oggetti di plastica più grandi in frammenti più piccoli rilasciati nell'ambiente attraverso processi fisici, chimici o biologici. Le fonti delle microplastiche secondarie sono difficili da rintracciare a causa della loro degradazione e rappresentano oggi un **problema globale** in quanto rientrano tra gli inquinanti pericolosi^{7,8}.

Le plastiche di dimensioni inferiori ai 5 mm sono riconosciute come una delle maggiori minacce per l'ambiente marino in tutto il mondo. Sono così leggere



che possono essere facilmente assorbite da molte specie acquatiche e a loro volta possono essere assorbite da parte dell'uomo lungo la catena trofica^{3,9}.

Nell'ambiente sono state rilevate microplastiche con diverse composizioni chimiche, tra cui polietilene (PE), polipropilene (PP), cloruro di polivinile (PVC), polietilene tereftalato (PET), polistirene (PS), poliuretano (PU) e poliammidi (PA, nylon)¹⁰.

A causa dell'aumento del consumo di prodotti in plastica e la persistente natura delle microplastiche, gli esseri umani sono inevitabilmente esposti e ciò ha sollevato gravi preoccupazioni per le minacce alla salute umana.

Alimenti e bevande

Le microplastiche possono entrare nel corpo umano sia per inalazione che per ingestione, comportando effetti negativi sulla salute¹².

La presenza di microplastiche negli alimenti destinati all'uomo, nell'acqua potabile, nelle bevande e nei contenitori di plastica fornisce una prova diretta dell'esposizione umana alle microplastiche attraverso l'assunzione alimentare quotidiana¹³.

L'esposizione alimentare deriva principalmente da due fonti: (i) micro/nanoplastiche (MNP) presenti negli alimenti e nell'acqua potabile e (ii) MNP rilasciate dai contenitori di plastica utilizzati per conservare cibo e acqua.

Per quanto riguarda la prima fonte, il rilevamento di MNP nei frutti di mare, ad esempio molluschi, crostacei e pesci, ha indicato la possibilità di una loro esposizione diretta agli esseri umani¹⁴. Successivamente, gli studi si sono concentrati su alimenti e bevande con l'obiettivo di rivelare i potenziali percorsi di esposizione umana alle MNP. Sono state rilevate in condimenti e alimenti, come il sale da cucina, zucchero, miele, carne di pollo e verdure^{13,15,16,17}.

Allo stesso modo, MNP sono state rilevate in varie fonti di acqua potabile, tra cui acqua in bottiglia, acqua di rubinetto e in alcune bevande come birra, latte e vino bianco^{13,18,19}.



In un significativo studio¹⁹ sono stati esaminati 14 campioni di **latte confezionato** di varie marche vendute sul mercato turco. Le microplastiche sono state caratterizzate fisicamente al microscopio. L'esposizione giornaliera e nel corso della vita alle microplastiche attraverso l'assunzione di latte è stata calcolata utilizzando il modello deterministico. Le microplastiche sono state trovate nei campioni di latte in due forme diverse (fibra e frammento) e cinque polimeri differenti (→ **FIGURA 2**) (etilene vinil acetato, polietilene tereftalato, polipropilene, poliuretano e nylon-6).



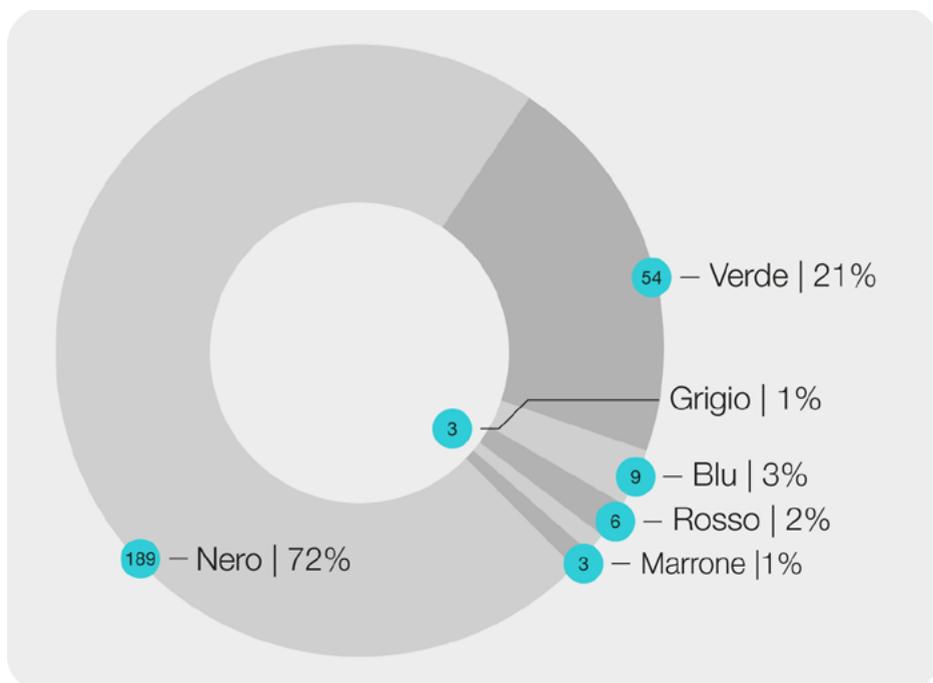
Rielaborazione grafica: VERA Studio

FIGURA 2

Numero totale e percentuale di polimeri rilevati nei campioni di latte (particelle totali e %)¹⁹.



Il colore delle microplastiche trovate nei campioni di latte varia tra i diversi studi riportati in letteratura. In questo studio¹⁹, sono stati trovati sei colori di microplastiche: nero, verde, marrone, grigio, blu e rosso. Questi colori non provengono dall'imballaggio, essendo questo bianco o trasparente, ma dai vari macchinari coinvolti nel processamento del latte, questi sì colorati. La maggior parte delle microplastiche era nera (72,0 %), con il verde che rappresentava il 21,0 % (→ **FIGURA 3**). Nei campioni di latte non sono state trovate microplastiche trasparenti. Secondo gli autori di questo studio l'assenza di microplastiche trasparenti e bianche nei campioni di latte suggerisce che la contaminazione da microplastiche nel latte molto probabilmente avviene durante la lavorazione del latte piuttosto che attraverso l'imballaggio.

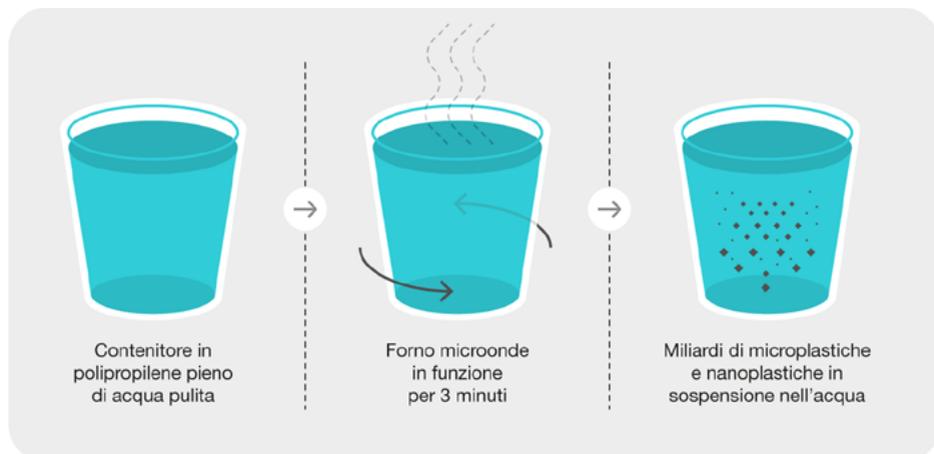


Rielaborazione grafica: VERA Studio

FIGURA 3**Colori delle microplastiche rilevate nei campioni di latte (particelle totali e %) ¹⁹.**

Il numero medio di microplastiche nei campioni di latte analizzati era di 6 ± 5 particelle/L. L'esposizione media attraverso la dieta per le persone di età pari o superiore a 15 anni era di 0,21 particelle/mL/giorno e 5289 particelle/mL/70 anni. Il 64% dei campioni di latte analizzati presentava un livello moderato di contaminazione da microplastiche. I risultati ottenuti da questo studio forniscono prove che il latte viene contaminato principalmente dalle microplastiche durante il processo di produzione piuttosto che attraverso l'imballaggio e suggerisce inoltre che per ridurre la contaminazione da microplastiche nel latte, ogni fase deve essere migliorata, a partire dalla produzione di base.

Anche i **contenitori di plastica** utilizzati per conservare cibo e acqua generano MNP. Studi recenti hanno dimostrato che MNP vengono rilasciate da imballaggi in plastica per acqua e bevande, biberon, bicchieri di plastica, tetterelle in gomma siliconica, contenitori da asporto e contenitori di plastica riutilizzabili, con diverse quantità in base all'utilizzo¹⁴. Ad esempio, un contenitore di plastica può rilasciare miliardi di MNP se riscaldato in un microonde per un massimo di 3 minuti, portando a quantità più elevate di MNP rilasciate rispetto alla refrigerazione o allo stoccaggio a temperatura ambiente²⁰.

**FIGURA 4**

Esempio di rilascio di microplastiche e nanoplastiche in seguito al riscaldamento di un contenitore di polipropilene tramite microonde²⁰.

Tra le diverse possibili fonti di esposizione si segnalano come di particolare interesse:

- Nel lavoro pubblicato da Laura M. Hernandez et al.²³ (*Plastic Teabags Release Billions of Microparticles and Nanoparticles into Tea*) è stato dimostrato che **le bustine di tè in nylon e PET, oltre a non essere compostabili come le classiche bustine in carta, rilascerebbero nell'acqua bollente miliardi di micro e nanoparticelle**. Le analisi hanno dimostrato che la struttura dei polimeri plastici cambiava tra prima e dopo l'infusione e in media ciascuna bustina di tè rilasciava nell'acqua 11,6 miliardi di microplastiche e 3,1 miliardi di nanoplastiche. I dati finora raccolti non sono sufficienti per affermare la pericolosità delle micro e nanoplastiche rilasciate da questo tipo di confezione.

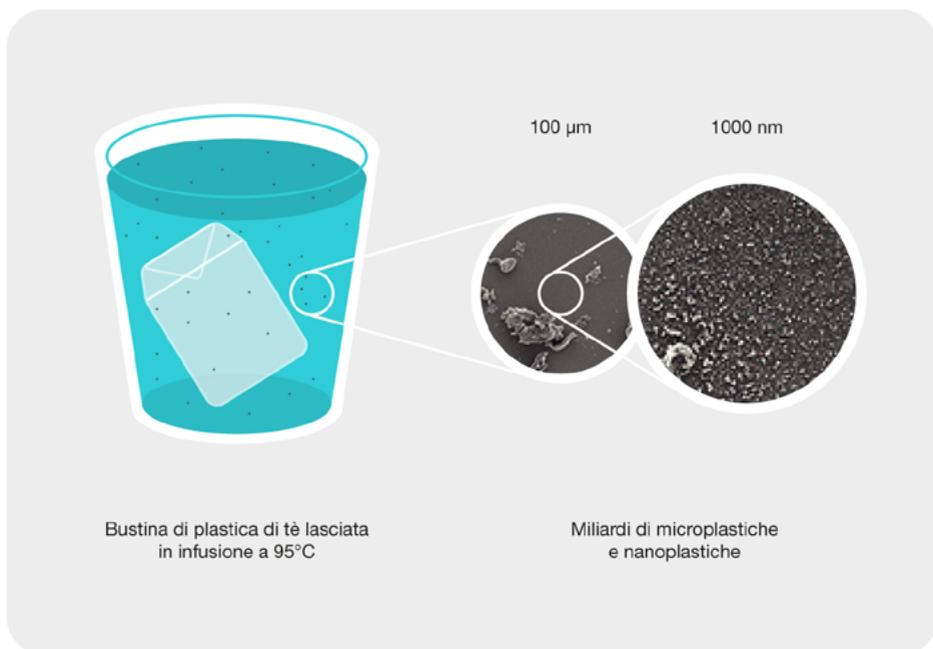


FIGURA 5

Esempio di rilascio di microplastiche e nanoplastiche da una bustina di tè²³.



- Nel lavoro pubblicato da Naixin Qian et al.²⁴ (*Rapid single-particle chemical imaging of nanoplastics by SRS microscopy*) è stato studiato il contenuto di micro-nanoplastiche presenti all'interno dell'**acqua delle bottiglie in plastica**, di tre tra i più popolari marchi venduti negli Stati Uniti. Sono state trovate **tra le 110.000 e le 370.000 particelle per litro** (240.000 in media), nel 90% dei casi erano nanoplastiche e nel restante 10% microplastiche. Le tipologie di polimeri identificati sono **PET**, la plastica con la quale sono realizzate quasi tutte le bottiglie e la **poliammide** che, secondo gli autori, potrebbe provenire dai filtri utilizzati nelle aziende prima dell'imbottigliamento.
- Nel lavoro pubblicato da Darena Schymanski et al.²⁵ (*Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water*) si è voluto individuare la presenza di microplastiche in 22 bottiglie di plastica monouso, 3 cartoni per bevande e 9 bottiglie di vetro. È interessante notare che quasi l'80% di tutte le particelle microplastiche trovate avevano una dimensione delle particelle compresa tra 5 e 20 µm. **La maggior parte delle particelle presenti nell'acqua delle bottiglie di plastica sono state identificate come costituite da poliestere (PET 84%) e polipropilene (PP 7%)**. Ciò non sorprende poiché le bottiglie sono realizzate in PET e i tappi sono in PP. Nell'acqua dei cartoni per bevande e anche delle bottiglie di vetro sono state trovate particelle microplastiche diverse dal PET, ad esempio PE o poliolefine. Ciò può essere spiegato dal fatto che i cartoni per bevande sono rivestiti con fogli di polietilene e i tappi sono trattati con lubrificanti. Pertanto, questi risultati indicano che l'imballaggio stesso può rilasciare microparticelle.

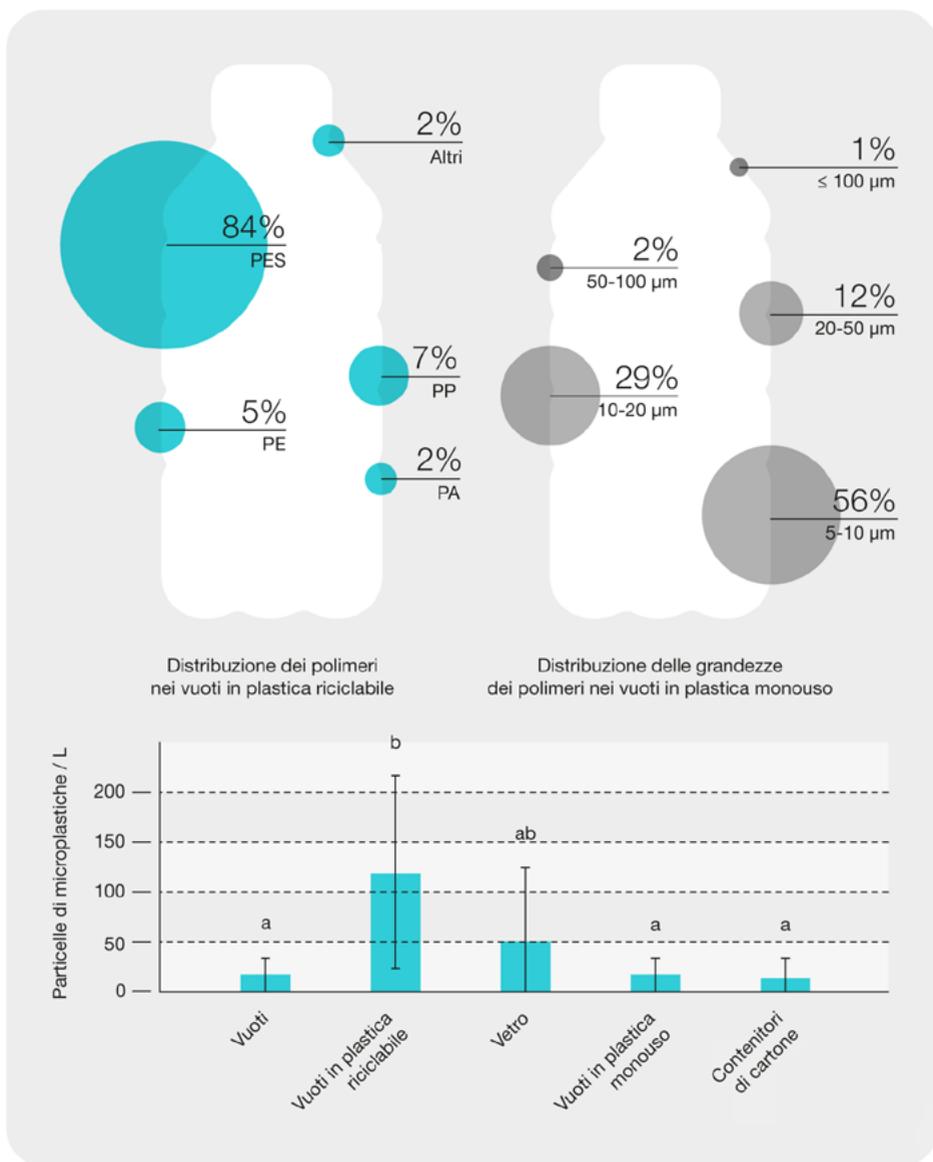


FIGURA 6

Analisi delle microplastiche nell'acqua²⁵.

MATERIALI TESSILI

I materiali tessili sono **una delle fonti primarie di inquinamento da microplastiche**. Nel 2021 è stata pubblicata una revisione sistematica in cui sono state riassunte le evidenze scientifiche disponibili sull'impatto del lavaggio di vestiti e l'inquinamento da microplastiche⁶².

Rielaborazione grafica: VERA Studio

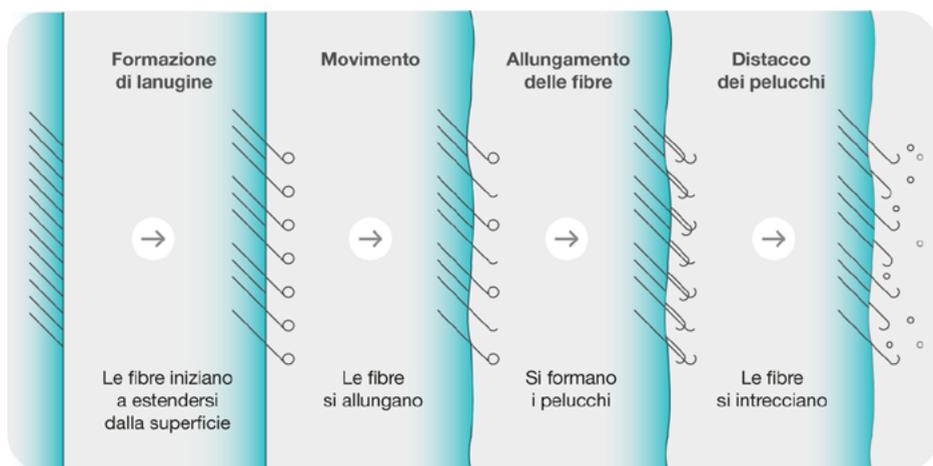


FIGURA 7 Il processo di formazione e rilascio di microfibre durante il lavaggio dei tessuti⁶².

In tale articolo si riporta che la scelta iniziale della lavatrice può influenzare il rilascio di microfibre, con macchine a caricamento frontale che generano meno microfibre rispetto alle lavatrici con carico dall'alto. Si riporta altresì che le moderne lavatrici dovrebbero essere equipaggiate in fabbrica con filtri adatti per evitare il rilascio di microfibre nel tubo di scarico; è stato dimostrato che i filtri di dimensioni micrometriche hanno effettivamente ridotto la massa di fibre di PE rilasciate di oltre il 65%.

La procedura di lavaggio è di gran lunga il modo più significativo con cui i prodotti tessili rilasciano fibre microplastiche (MPF). In un recente studio⁶³ è stato



riscontrato che **il poliestere riciclato rilascia più MPF rispetto al poliestere vergine nelle stesse condizioni** (1193 MPF contro 908 MPF).

Questo studio ha dimostrato come il poliestere riciclato, sebbene inizialmente sia stato considerato una soluzione vantaggiosa per l'ambiente, possa alla fine diventare dannoso per l'ambiente stesso. Inoltre, è stato dimostrato che **la procedura di prelavaggio**, che è facoltativa, **rilascia molte più MPF rispetto alle procedure di lavaggio e risciacquo** e che solo evitando questa procedura si potrebbe ridurre drasticamente la quantità di MPF rilasciate durante il lavaggio di prodotti tessili.

Possibili vie di assorbimento delle micro-nanoplastiche

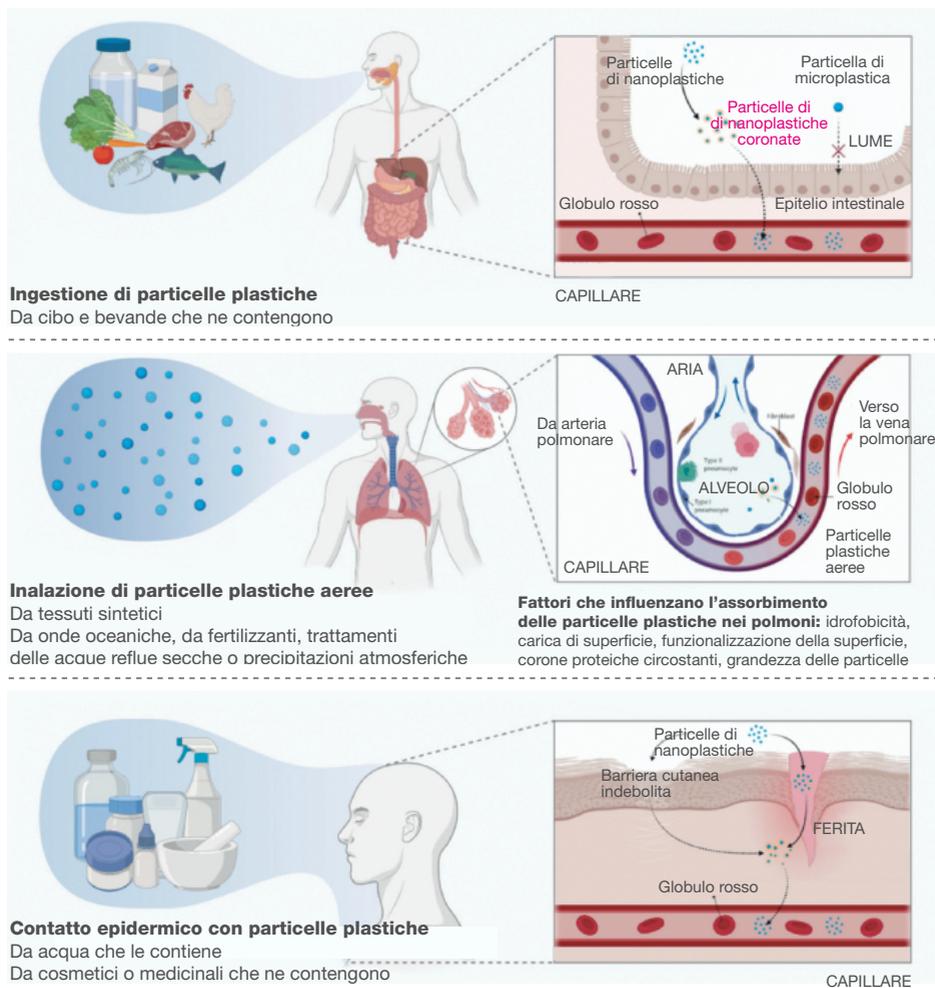
Le MNP sono state ampiamente rintracciate in ambienti atmosferici interni ed esterni, portando a una crescente consapevolezza che l'inalazione può fornire un altro importante percorso affinché esse entrino direttamente nel corpo umano. Studi recenti hanno rilevato concentrazioni di microplastiche sospese nell'aria interna maggiori rispetto all'atmosfera esterna. Sebbene i dati delle microplastiche presenti nell'aria siano limitati, è chiaro che queste verrebbero inevitabilmente inalate dal corpo umano attraverso la respirazione regolare¹³.

La maggior parte degli studi si è concentrata principalmente sull'analisi MNP atmosferiche raccolte attraverso tecniche di campionamento passivo, come la raccolta di campioni di polvere raccolti da processi di deposizione umida e secca. Bisogna evidenziare che le MNP sospese comportano un rischio maggiore di inalazione attraverso la respirazione regolare. Tuttavia, esiste una significativa carenza di ricerca sull'esame delle MNP sospese, rendendo necessario condurre ulteriori studi¹³.

Un'altra via di ingresso delle MNP all'interno del corpo umano è la pelle, direttamente esposta a vari inquinanti ambientali. La distribuzione delle MNP nell'ambiente, inclusa l'aria, l'acqua del rubinetto e la polvere, porta al contatto diretto con la pelle, che può rappresentare un ulteriore percorso di esposizione per gli esseri umani. L'esposizione cutanea alle MNP avviene anche con il **contatto diretto tra la pelle e le microfibre degli indumenti**, nonché le microsfele presenti nei **prodotti per la cura personale come i prodotti per la pulizia cutanea e il dentifricio**^{13,21}.



Questa via di esposizione è stata trascurata poiché la pelle umana è considerata efficace nel prevenire l'ingresso delle MNP (> 100 nm) nel corpo umano. Tuttavia, possono penetrare nella pelle umana attraverso i follicoli piliferi, la pelle danneggiata e le ghiandole sudoripare²².



Ingestione di particelle plastiche

Da cibo e bevande che ne contengono

CAPILLARE

Inalazione di particelle plastiche aeree

Da tessuti sintetici
Da onde oceaniche, da fertilizzanti, trattamenti
delle acque reflue secche o precipitazioni atmosferiche

Fattori che influenzano l'assorbimento

delle particelle plastiche nei polmoni: idrofobicità,
carica di superficie, funzionalizzazione della superficie,
corone proteiche circostanti, grandezza delle particelle

CAPILLARE

Contatto epidermico con particelle plastiche

Da acqua che le contiene
Da cosmetici o medicinali che ne contengono

CAPILLARE

FIGURA 8

Vie di ingresso delle particelle di plastica nel corpo umano²².

Pertanto, l'esposizione cutanea deve essere riconosciuta e valutata in modo completo. Tali dati risultano incompleti e richiedono ulteriori ricerche.

Studi approfonditi hanno anche suggerito che le MNP possono essere introdotte accidentalmente nel corpo umano durante un intervento chirurgico e durante l'inserimento di lenti a contatto¹³.

Tuttavia, questi percorsi di esposizione umana potenzialmente importanti rimangono poco chiari.

In sintesi, un numero consistente di evidenze documenta la presenza diffusa di MNP in diversi ambiti ambientali, come le acque superficiali, i sedimenti, le acque reflue, il ghiaccio marino, l'aria interna ed esterna, l'acqua imbottigliata e quella del rubinetto, e diversi alimenti^{26,27,28}. Una stima recente suggerisce che ogni anno da 86 a 710 trilioni di particelle di MNP contaminano i terreni agricoli europei, con praticamente tutti i tipi di MNP rilevabili in questo contesto²⁹. La scoperta di MNP nei frutti di mare, nel miele, nel latte, nella birra, nel sale da cucina, nell'acqua potabile e nelle particelle trasportate dall'aria sta ora stimolando lo studio del potenziale impatto di queste particelle sulla salute umana^{26,30,31}. Un modello matematico suggerisce una sconcertante assunzione pro capite di 74.000-121.000 MNP all'anno attraverso il consumo di cibo, acqua e polvere e l'inalazione di aria³⁰. Un altro studio ha stimato che l'assunzione annuale varia da 39.000 a 52.000 elementi per persona. Questo include contributi da varie fonti, come 37-1000 MNP dal sale marino, 4000 dall'acqua del rubinetto e 11.000 dai molluschi²⁸. Ulteriori approfondimenti sono emersi da un modello probabilistico di esposizione per tutta la vita, che ha previsto tassi di assunzione di MNP di 184 ng/capite/giorno per i bambini e di 583 ng/capite/giorno per gli adulti in nove diverse possibili esposizioni³². Una revisione sistematica di articoli che hanno valutato la possibile esposizione da fonti multiple **ha stimato un'assunzione annuale basata sulla massa che va da 15 a 287 grammi per persona**³³, evidenziando la natura multiforme e potenzialmente su larga scala dell'esposizione umana ai MNP.



Evidenze di accumulo di micro e nanoplastiche nei tessuti umani

Considerato quanto sopra, abbiamo effettuato una ricerca sistematica degli articoli scientifici che riportano evidenza di accumulo di MNP in campioni derivanti da tessuti umani.

■ **Articoli collezionati e considerazioni generali**

La ricerca nei diversi database ha prodotto un totale di 505 articoli univoci. Di questi, sulla base dei criteri di selezione scientifica, sono stati selezionati 27 lavori. Gli studi in questione sintetizzano dati provenienti da un totale di **1032 pazienti con le condizioni più disparate**, per lo più sane ma anche con patologie molto diverse tra loro.

È importante però premettere che le tecnologie utilizzate per il rilevamento in molti di questi studi non sono uniformi. La spettroscopia Raman, la microspettroscopia infrarossa a trasformata di Fourier (μ FTIR) e l'infrarosso diretto al laser (LD-IR) stimano le dimensioni delle MNP e il numero relativo nel campione analizzato, ma non forniscono le concentrazioni effettive dei composti rilevati in termini di peso delle MNP selezionate/peso del tessuto. Al contrario, la pirólisi-gascromatografia-spettrometria di massa (Py-GC/MS) fornisce una stima della concentrazione di diversi tipi di plastica, ma senza informazioni relative alle dimensioni e al numero di MNP. A causa di queste limitazioni, le informazioni raccolte da tessuti diversi con tecnologie diverse non sono standardizzate e potrebbero non essere sempre comparabili.

■ **Dimensioni delle particelle riscontrate**

La **TABELLA 1** (→ pg.43) riassume tutte le prove scientifiche relative alla rilevazione delle MNP nei tessuti umani. L'evidenza della presenza di MNP è stata fornita in campioni provenienti da virtualmente tutti i tessuti umani o fluidi biologici, come cuore, placche ateromasiche, vasi sanguigni, trombi, cervello, placenta, polmone, fegato, latte materno, urina, espettorato, feci o meconio, sangue, reni, colon, sperma/testicoli ed endometrio. Pertanto, praticamente **ogni organo umano può accumulare alcune forme di MNP**. In relazione alle loro dimensioni, sono state rilevate MNP:

- ◆ fino a 30 μ m nel fegato;



- ◆ fino a 10 μm nella placenta;
- ◆ fino a 88 μm nei polmoni;
- ◆ fino a 10-15 μm nel latte materno, nelle urine e nei reni;
- ◆ fino a 500 μm nell'endometrio e particelle ancora più grandi nel colon.

Le prove relative ai polmoni e al colon potrebbero suggerire che sia l'inalazione che l'ingestione sono possibili vie di assorbimento delle MNP. Inoltre, potrebbero evidenziare che, almeno in soggetti selezionati, la soglia proposta di dimensioni delle MNP per il loro ingresso, ossia 150 μm , potrebbe non essere sempre rispettata. D'altra parte, la maggior parte delle MNP rilevate nei tessuti diversi aveva un diametro inferiore a 10 μm , a sostegno di un maggior grado di assorbimento e/o distribuzione per le particelle più piccole.

Uno studio ha suggerito una possibile differenza legata al sesso nell'accumulo di MNP, con **le donne che hanno mostrato una maggiore abbondanza di MNP** rilevabili in campioni provenienti da tonsille, polmoni e intestino. I possibili fenomeni che spiegano questa osservazione potrebbero essere una maggiore esposizione alle MNP nelle donne o semplicemente una differenza relativa alla struttura corporea o al peso³⁷.

■ Associazione delle microplastiche con patologie

La maggior parte degli studi che hanno dimostrato la presenza di MNP in diversi organi non ha trovato prove di un legame o di un'associazione con un fenotipo patologico. Pertanto, le prove disponibili sono insufficienti per ipotizzare un ruolo patogeno chiaro e generale per le MNP. Con l'eccezione delle patologie cardiovascolari (CVD- vedasi paragrafo seguente), solo tre studi hanno trovato un'associazione trasversale tra la presenza di MNP e una malattia. In effetti, le MNP erano rilevabili in pazienti con malattia cirrotica ma non in fegati sani⁴⁹, mentre l'abbondanza di MNP in campioni di feci era più elevata in pazienti con malattia infiammatoria intestinale rispetto a soggetti senza questa condizione⁶⁰. Infine, uno studio ha portato delle evidenze preliminari relative ad un possibile legame tra la presenza di MNP e la restrizione di crescita intrauterina, in altre parole con la nascita di bambini più piccoli. Difatti, la presenza di plastiche placentari era correlata con una ridotta crescita fetale nelle gravidanze con restrizione della crescita⁵². Pertanto, per sostenere un ampio ruolo patogenetico delle MNP sono necessari ulteriori studi con dati clinici con raccolta dati longitudinale.



In ambito cardiovascolare invece, si vanno progressivamente accumulando prove di associazione tra presenza di MNP e CVD. Difatti, un recente manoscritto ha trovato evidenza di una serie di MNP nei trombi di una coorte eterogenea di 30 pazienti sottoposti a trombectomia per ictus ischemico, infarto del miocardio o trombosi venosa profonda⁴⁵. Secondo la Py-GC/MS, 24 dei 30 trombi valutati presentavano livelli rilevabili di MNP e in particolare di poliammide 66 (PA66), PVC e PE. In questo caso, la concentrazione di MNP è stata associata alla gravità della malattia, con livelli di D-dimero (Nota: marcatore di severità di trombosi) che erano più alti nei pazienti con evidenza di MNP rispetto a quelli senza, suggerendo un'associazione trasversale con la gravità del fenomeno trombotico.

Il nostro studio, recentemente pubblicato sulla prestigiosa rivista *New England Journal of Medicine*, ha utilizzato la stessa tecnologia per quantificare le MNP specificamente nelle placche carotidee asportate da 257 pazienti⁴⁷ sottoposti a endarterectomia carotidea e seguiti per 3 anni per monitorare l'incidenza di infarto miocardico, ictus e mortalità per tutte le cause. Tra questi, 150 pazienti avevano evidenza di PE all'interno della placca, mentre 32 di essi presentavano anche quantità misurabili di PVC. L'analisi al microscopio elettronico ha rivelato la comparsa di "particelle dai bordi frastagliati" sia tra i macrofagi della placca che sparse nei detriti esterni. Questa forma frastagliata non si riscontra normalmente nei componenti cellulari e supporta quindi la natura esogena di queste particelle. I pazienti con evidenza di MNP avevano una maggiore espressione di marcatori infiammatori e una minore abbondanza di collagene all'interno della placca. Ancora più importante, **i pazienti in cui sono state rilevate MNP all'interno dell'ateroma presentavano un rischio maggiore di avere un evento rispetto a quelli in cui queste sostanze non sono state rilevate**, un risultato che rappresenta la prima prova di un'associazione prospettica tra MNP e l'incidenza di una patologia.

■ Organi con maggiore concentrazione di MNP

Facendo un confronto tra i lavori che utilizzavano la stessa tecnologia per il dosaggio di MNP, abbiamo osservato **che le concentrazioni più alte** delle stesse sono state riscontrate in organi quali **cervello, placenta, ed albero cardiovascolare**. Per dare un'idea, nel cervello la concentrazione rilevata dei livelli di MNP era corrispondente all'equivalente circa di **un terzo di una bottiglia d'acqua di plastica da 1,5 Lt presenti in un cervello di medio peso**



di un adulto. Le conclusioni dello studio in questione riportano testualmente che *“le concentrazioni di MNP nei campioni di cervello dei deceduti variavano da 7 a 30 volte rispetto alle concentrazioni osservate nei fegati o nei reni. Con la conferma indipendente di un altro laboratorio e l’evidenza visiva degli approcci FTIR e TEM, abbiamo la certezza che le MNP si accumulino selettivamente nel cervello, con la maggior parte di particelle di dimensioni nanometriche simili a schegge. Il parallelismo tra i dati attuali che mostrano una tendenza all’aumento delle concentrazioni di MNP nel cervello con l’aumento esponenziale della presenza ambientale di microplastiche e l’aumento dei tassi globali di malattia di Alzheimer e demenze correlate corrette per età, dato il ruolo potenziale delle nanoplastiche anioniche nell’aggregazione delle proteine, aggiunge urgenza alla comprensione degli impatti dei MNP sulla salute umana”*.

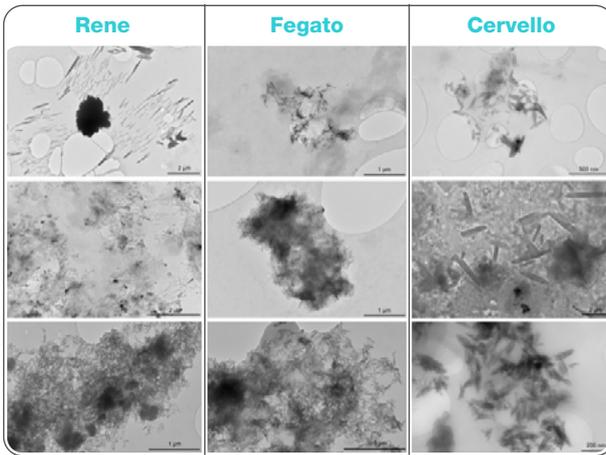


FIGURA 9 Immagini di MNP rilevate⁵⁰

Dati leggermente inferiori ma comunque molto consistenti sono stati riscontrati nella placenta.



Per cercare di comprendere quali tipi di plastica vengono riscontrati più frequentemente nei tessuti umani, e quindi potenzialmente quali sono quelli più pericolosi, abbiamo incrociato le MNP presenti in 4 diversi sistemi fisiologici mediante diagramma di Venn.

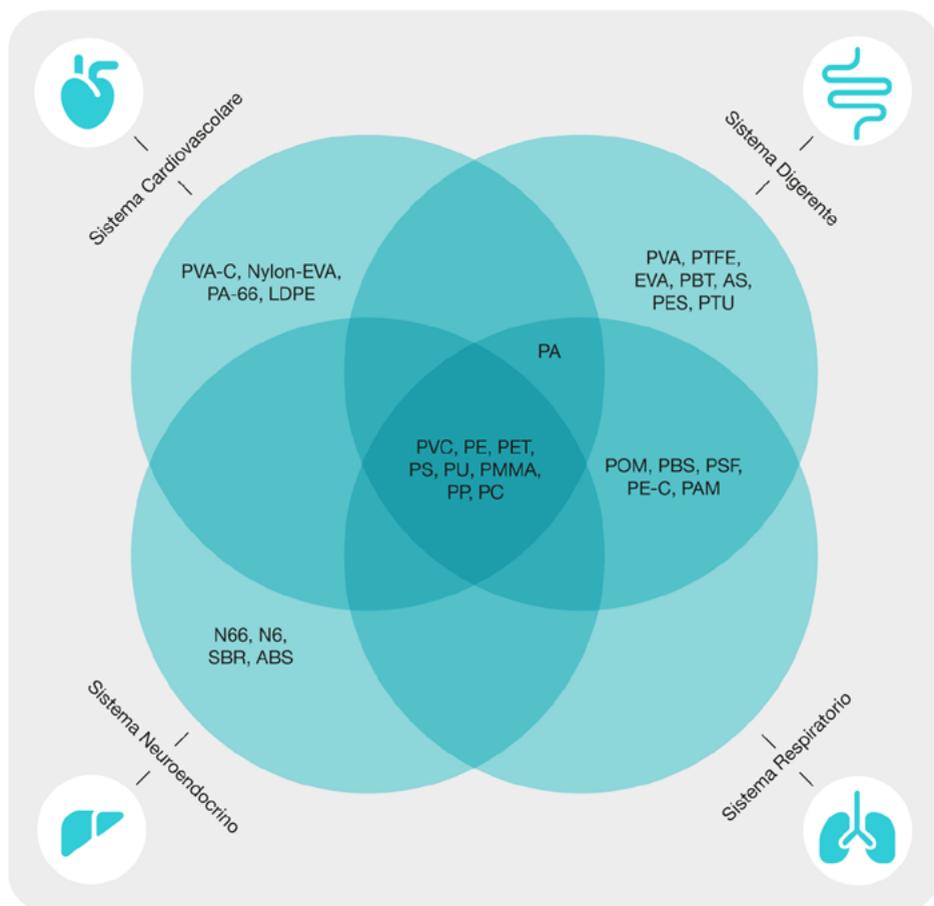


FIGURA 10 Diagramma di Venn che rappresenta graficamente le MNP comuni tra i sistemi cardiovascolare, digerente, respiratorio e neuroendocrino, in base alla letteratura raccolta e sintetizzata in **TABELLA 1** (→ pg.41).

Quelli più comunemente identificati sono stati il polietilene (PE), il cloruro di polivinile (PVC), il polietilene tereftalato (PET), ma anche il polipropilene (PP), polimetilmetacrilato (PMMA), il poliuretano (PU), il policarbonato (PC) e il polistirene (PS) (FIGURA 10). Ciò potrebbe essere attribuito al fatto che questi composti sono quelli più comunemente testati. In alternativa, è possibile che queste molecole siano più spesso rilevabili, poiché sono quelle con la più ampia gamma di applicazioni nella vita quotidiana. In effetti, **la maggior parte dei contenitori per alimenti, liquidi o cosmetici, così come le tubature dell'acqua, sono fatti di queste plastiche, rendendo difficile distinguere e quantificare i contributi di molteplici e diverse fonti di potenziale esposizione.**

La **TABELLA 2** (→ pg.70) riporta i principali prodotti presenti in commercio fatti con le materie plastiche più frequentemente identificate.



05

Conclusioni

In sintesi, lo studio, basato su un'analisi sistematica esclusivamente degli studi scientifici condotti con metodi accreditati e riconosciuti dalla comunità scientifica internazionale, evidenzia che:

- ◆ Le possibili fonti di esposizione dell'uomo alle microplastiche sono molteplici, essendo queste presenti nell'aria (sia interna che ambientale), nelle bevande in bottiglia, nel cibo (molteplici tipi, soprattutto confezionati), e nei prodotti dermatologici;
- ◆ Si stima un'**assunzione annuale che va da 15 a 287 grammi per persona**, considerando le possibili esposizioni di cui sopra;
- ◆ **Le micro-nanoplastiche sono state identificate in praticamente tutti gli organi umani**, con concentrazioni particolarmente elevate nel cervello, nella placenta e nel sistema cardiovascolare;
- ◆ Le plastiche identificate nei tessuti umani sono di forma e tipo vario e le donne sembrerebbero presentare concentrazioni maggiori, per lo meno in alcuni organi;
- ◆ La presenza di MNP è stata alcune volte associata in modo trasversale a specifiche patologie quali malattia infiammatoria intestinale o cirrosi epatica;
- ◆ **La presenza di MNP nel sistema cardiovascolare è associata ad un aumentato rischio del composito di infarti, ictus o mortalità per ogni causa;**
- ◆ **Le plastiche più comunemente identificate nei tessuti umani sono quelle utilizzate per produrre centinaia di prodotti di uso comune, quali contenitori alimentari per cibo e bevande ma anche prodotti per la casa e per l'edilizia.**

L'esposizione ad agenti chimici è via via sempre più riconosciuta come un possibile fattore causale nella patogenesi di diverse condizioni, quali tumori e patologie cardiovascolari. Mentre solide prove meccanicistiche ed epidemiologiche supportano il ruolo causale di diversi inquinanti quali l'inquinamento atmosferico (e.g. PM 2,5) ed alcuni prodotti chimici, rimangono sostanziali lacune per quanto riguarda la plastica e le sostanze correlate. Recentemente, un'analisi dettagliata e firmata da importanti scienziati nel settore ha invitato a prestare attenzione ai possibili effetti dell'inquinamento



della plastica sulla salute. Si ritiene che la produzione e lo smaltimento improprio dei rifiuti di plastica abbiano un impatto sulla salute umana a più livelli, non solo per i possibili effetti indotti dalle MNP ma anche per il consumo di materie prime, i costi economici, e l'inquinamento multilivello associato⁶⁴. Le sostanze chimiche plastificanti, come ad esempio il bisfenolo A ed altri additivi, sono già state collegati a una serie di malattie mentre la produzione di plastica può anche influire sulla salute umana e sullo sviluppo di CVD attraverso molteplici vie indirette⁶⁴.

Dati recenti suggeriscono che le MNP si accumulano nei tessuti umani e potrebbero rappresentare possibili fattori di rischio per alcune patologie, in particolare quelle cardiovascolari. Data la complessità dell'argomento, è necessario uno sforzo di ricerca multidisciplinare dedicato per ottenere maggiori informazioni sul ruolo dei MNP in queste ed eventualmente altre malattie. È necessaria una vasta gamma di figure professionali con competenze diverse per comprendere ogni aspetto della catena avviata dall'inquinamento da plastica. È facile prevedere che l'uso coordinato di più tecnologie in studi su larga scala e investimenti economici coerenti attraverso schemi di finanziamento dedicati forniranno le informazioni necessarie sull'argomento. Nel frattempo, i Governi e le altre parti interessate non dovrebbero ignorare le prove già disponibili e dovrebbero cercare di massimizzare gli sforzi in corso volti a ridurre la produzione di plastica. Ciò si tradurrebbe in un beneficio per il pianeta e, forse, anche per la salute umana.

Le materie plastiche sono una concreta minaccia per la salute dell'uomo. Oltre alla possibile pericolosità delle microplastiche e sebbene permangano lacune nella conoscenza dei danni della plastica nel suo complesso e incertezze sulla loro piena entità, le prove oggi disponibili suggeriscono che questi impatti sono potenzialmente grandi, soprattutto per quanto riguarda le patologie cardiovascolari. Realisticamente, **in assenza di un intervento urgente ed efficace su scala globale sulla produzione di plastica e sullo stile di vita delle persone, questo impatto è destinato ad aumentare di gravità**. Quindi, è necessario porre un freno all'aumento sconsiderato della produzione di plastica e, in particolare, alla produzione di una gamma sempre più ampia di prodotti di plastica non necessari. Allo stesso modo, anche in attesa di prove scientifiche definitive, è moralmente imperativo diffondere questa conoscenza tra i consumatori, in modo da incoraggiarli ad adeguare i relativi comportamenti e stili di vita. In altre parole, le prove disponibili sono sufficienti a suggerire, in base alla scienza e al buon senso, di minimizzare l'esposizione di ognuno di



noi a fonti di inquinamento da plastica. In definitiva, l'inquinamento da plastica richiede dunque una risposta globale e coordinata, con azioni da parte di governi, aziende e cittadini per mitigare i suoi effetti e proteggere l'ambiente per le future generazioni. La letteratura attuale non evidenzia in modo definitivo gli effetti dannosi della plastica sulla salute umana, né ne conferma la sicurezza. La collaborazione tra vari settori scientifici, tra cui tossicologia, scienze ambientali, medicina e salute pubblica, è essenziale per una comprensione olistica dell'impatto multiforme della plastica^{4,64}.

Per mitigare l'esposizione alle MNP, si possono attuare strategie preventive tra cui la riduzione dell'utilizzo di prodotti in plastica, optando per prodotti con un imballaggio minimo in plastica o priva di essa e dando priorità a materiali alternativi nel consumo quotidiano⁴.

Nonostante ciò, le evidenze scientifiche finora rilevate sull'esposizione umana alle MNP forniscono chiare indicazioni su quali siano i principali e più urgenti ambiti di intervento, i quali necessitano di un'azione decisa non solo da parte dei governi, ma anche del cittadino. Il presente Rapporto suggerisce infatti come semplici abitudini della vita quotidiana, se adottate dalla collettività, possono portare ad enormi vantaggi in termini di minore esposizione dell'uomo alle microplastiche e minore dispersione di plastica nell'ambiente. A titolo esemplificativo, l'esposizione a tali sostanze può essere notevolmente ridotta:

- ◆ limitando l'utilizzo di contenitori di bevande ed alimenti in plastica;
- ◆ non riscaldando gli alimenti al microonde in contenitori di plastica;
- ◆ evitando l'utilizzo della modalità di prelavaggio degli indumenti;
- ◆ evitando l'utilizzo di indumenti sintetici, in particolare quelli in poliestere riciclato.

A tal proposito, è utile notare come il Governo francese già nel 2020 abbia previsto l'obbligo⁴, dal 2025, di dotare le nuove lavatrici con un apposito filtro in grado di catturare tali sostanze, rappresentando un importante e utile esempio di intervento governativo mirato a ridurre l'impatto delle micro e nanoplastiche sulla salute e sull'ambiente.

⁴ Loi n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire.



Tabella

Tabella 1

Panoramica degli studi che hanno valutato la presenza di MNP negli organi umani.

Polmone	42
Liquido di lavaggio broncoalveolare	44
Espettorato	44
Liquido di lavaggio nasale	46
Tonsille	46
Trombi	48
Sangue umano	48
Cuore/Tessuti cardiaci	50
Vena safena	50
Trombi da ictus ischemico (IS), infarto miocardico (MI) e trombosi venosa profonda (TVP)	52
Arterie umane	52
Placca carotidea	54
Colectomia umana	54
Fegato	56
Milza	56
Corteccia frontale da cervello umano deceduto	58
Fegato derivato da paziente deceduto	58
Rene derivato da paziente deceduto	60
Intestino crasso	60
Intestino tenue	60
Placenta	62
Latte materno	64
Urine	64
Testicoli	64
Feci dell'adulto	66
Feci dell'infante	68
Meconio (prime feci neonato)	68



Polmone

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
I tessuto parenchimale è stato prelevato dalle regioni distali e prossimali del polmone sinistro da cadavere di adulti non fumatori ottenuti tramite autopsia da parte del medico legale.	20	Spettroscopia Raman	PP, PE
Il campioni sono stati prelevati da pazienti sottoposti a lobectomia/sublobectomia per non-small cell lung cancer (NSCLC). Sono stati inclusi i campioni polmonari con noduli di vetro smerigliato (GGN).	100	μ -FTIR, Raman	PE
Campioni di tessuto polmonare umano periferico sono stati raccolti dal lobo superiore, medio (lingula sinistra) o inferiore in seguito a resezione chirurgica per cancro o a interventi di riduzione del volume.	13	μ -FTIR	PP, PET
Campioni derivati da pazienti affetti da tumore maligno al polmone.	14 (7 femmine, 7 maschi)	LDIR	PVC, PBS, PA, PET, PS, PP, PU, PSF, PC, PE, PE-C, PAM, PMMA, POM

QUANTITÀ / CONCEN- TRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
0.56 particel- le/g di tessuto polmonare		1.60–5.56 μm	Prima evidenza di MNP in tessuto pol- monare umano.	Amato-Lourenço LF, et al., 2021 ³⁴
Tessuto tumorale: 38 particelle/50 campioni; Tessuto sano: 27 particel- le/50 campioni		1,450 + 980 μm	Validazione delle microplastiche nei tessuti polmonari umani, correlazione con la formazione di GGN.	Chen Q., et al., 2022 ³⁵
1.42 + 1.50 particelle/g		12–2,475 μm	Evidenza di inalazione umana come via di esposizione ambientale.	Jenner LC, et al., 2022 ³⁶
14.19 \pm 14.57 particelle/g;		69.44 \pm 82.27 μm (20.34– 477.67 μm)	Il livello più alto di accumulo di MNP si è verificato nei polmoni; le femmine hanno mostrato un'abbondanza di MNP superiore ai maschi, indipendentemente dalla localizzazione del tessuto.	Zhu L, et al., 2024 ³⁷

*Solo per i campioni dosati con Py-GC/MS.



Liquido di lavaggio broncoalveolare

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
Pazienti adulti sottoposti a broncoscopia.	44	μ -FTIR	PE

Espettorato

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
Tutti i volontari reclutati erano affetti da patologie polmonari di varia natura.	22	FTIR	PU, PE, PVC
È stato reclutato il personale di un ufficio attraverso una selezione casuale e sono stati selezionati anche i corrieri che operano in un raggio di 3 km dall'ufficio, anch'essi selezionati in modo casuale. Sono stati esclusi i partecipanti con malattie respiratorie. I partecipanti sono tutti maschi e di età compresa tra i 20 e i 45 anni.	Corrieri: 8; Personale d'ufficio: 8	Microscopia a luce polarizzata	Corrieri: PC (24,2%), PVC (23,0%); Personale d'ufficio: PVC (39,1%), PA (24,8%)



QUANTITÀ / CONCENTRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
9.18 + 2.45 particelle/100 mL		1,730 + 150 µm	Presenza di MNP nelle vie aeree umane inferiori.	Baeza-Martínez C, et al., 2022 ³⁸

QUANTITÀ / CONCENTRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
18.75-91.75 particelle/10 mL		20-500 µm	Correlazione tra l'esposizione alle MNP e l'abitudine al fumo e l'esame tracheale invasivo; evidenza dell'ingresso delle MNP nel tratto respiratorio attraverso l'inalazione e riscontro nell'espettorato.	Huang S, et al., 2022 ³⁹
Corrieri: 26,9-161,5 particelle/g; Personale d'ufficio: 0,4-1,4 particelle/g		ND	Rilevamento dell'inquinamento da MNP nel tratto respiratorio sia dei lavoratori che operano all'interno, che all'esterno. I corrieri presentavano una concentrazione maggiore di MNP.	Jiang Y., et al., 2022 ⁴⁰

*Solo per i campioni dosati con Py-GC/MS.



Liquido di lavaggio nasale

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
È stato reclutato il personale di un ufficio attraverso una selezione casuale e sono stati selezionati anche i corrieri che operano in un raggio di 3 km dall'ufficio, anch'essi selezionati in modo casuale. Sono stati esclusi i partecipanti con malattie respiratorie. I partecipanti sono tutti maschi e di età compresa tra i 20 e i 45 anni.	Corrieri: 8; Personale d'ufficio: 8	FTIR	Corrieri: PA (25,3%), PE (22,9%); Personale d'ufficio: PVC (41,1%), PA (31,6%)

Tonsille

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
Campioni derivati da pazienti affetti da ipertrofia tonsillare con ipertrofia adenoidea.	12 (5 femmine, 7 maschi)	LDIR	PVC, PBS, PA, PET, PS, PP, PU, PSF, PC, PE, PE-C, PAM, PMMA, POM

QUANTITÀ / CONCEN- TRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
Corrieri: 17.6728.6 particelle/g; Personale d'ufficio: 0,93,3 particelle/g		ND	Rilevamento dell'inquinamento da MNP nel tratto respiratorio sia dei lavoratori che operano all'interno, che all'esterno. I corrieri presentavano una concentrazione maggiore di MNP.	Jiang Y, et al., 2022 ⁴⁰

*Solo per i campioni dosati con Py-GC/MS.

QUANTITÀ / CONCEN- TRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
6.03 ± 7.37 particelle/g		39.02 ± 34.65 µm (20.34– 471.87 µm)	Le femmine hanno mostrato un'abbondanza di MNP superiore ai maschi, indipendentemente dalla localizzazione del tessuto.	Zhu L, et al., 2024 ³⁷



Trombi

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
I partecipanti sono pazienti sottoposti a interventi chirurgici d'urgenza a causa di dissezione arteriosa o embolia arteriosa acuta degli arti inferiori.	26 (24 per dissezione arteriosa e 2 per embolia arteriosa acuta)	Raman	LDPE

Sangue umano

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
Il sangue intero è stato ottenuto mediante venipuntura da volontari adulti sani.	22	Py-GC/MS	PET, PE, PS

QUANTITÀ / CONCEN- TRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
1 particella/ 26 campioni		~5 μm	Associazione tra numero di microparticelle e livelli di piastrine nel sangue.	Wu D., et al., 2022 ⁴²

QUANTITÀ / CONCEN- TRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
1.6 $\mu\text{g/mL}$	Una piccola bustina di plastica da 1 g per ogni Litro di sangue.	>0.7 μm	Biodisponibilità delle particelle di plastica per l'assorbimento nel flusso sanguigno umano.	Leslie H.A., et al., 2022 ⁴¹

*Solo per i campioni dosati con Py-GC/MS.



Cuore/Tessuti cardiaci

Appendice atriale sinistra, tessuto adiposo pericardico, miocardio, pericardio, tessuto adiposo epicardico.

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
I partecipanti sono pazienti che hanno subito un intervento cardiocirurgico.	15 pazienti sottoposti a chirurgia cardiaca, compresi 6 tessuti pericardici, 6 tessuti adiposi epicardici, 11 tessuti adiposi pericardici, 3 miocardie, 5 appendici atriali sinistre e 7 coppie di campioni di sangue venoso pre- e post-operatorio. 6 tessuti pericardici, 6 tessuti adiposi epicardici, 11 tessuti adiposi pericardici, 3 miocardie, 5 appendici atriali sinistre e 7 coppie di campioni di sangue venoso pre- e post- operatorio.	LDIR	PET, PE, PU, PMMA, PA, PP, PVC, PC, PS

Vena safena

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
I campioni di tessuto sono stati raccolti da pazienti sottoposti a intervento chirurgico.	5 (2 femmine e 3 maschi)	μ FTIR	PVAc, nylon-EVA

QUANTITÀ / CONCEN- TRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
1 particella/ 26 campioni		< 469 µm in diametro	Aumento dei livelli di MNP nel sangue dopo l'intervento chirurgico.	Yang Y, et al., 2023 ⁴³

*Solo per i campioni dosati con Py-GC/MS.

QUANTITÀ / CONCEN- TRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
ND		< 5 µm	Evidenza di MNP nella vena safena umana.	Rotchell JM, et al., 2023 ⁴⁴



Trombi da IS, MI e TVP

Ictus ischemico (IS), infarto miocardico (MI) e trombosi venosa profonda (TVP).

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
I partecipanti sono pazienti sottoposti a trombectomia arteriosa o trombectomia venosa a causa di ictus ischemico (IS), infarto miocardico (MI) o trombosi venosa profonda (DVT).	30 pazienti (16 con IS, 5 con MI e 9 con TVP)	Py-GC/MS, LDIR, SEM	PA-66, PVC, PE

Arterie umane

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
Sono stati raccolti 17 campioni arteriosi da pazienti con malattia coronarica sottoposti a bypass coronarico con endarterectomia coronarica, pazienti con aterosclerosi carotidea sottoposti a endarterectomia carotidea e da pazienti con dissezione aortica sottoposti a sostituzione aortica.	17 (4 arterie coronariche, 7 arterie carotidee, 6 arterie aortiche)	Py-GC/MS	PA-66, PE, PET, PVCw



Con il fondo colorato sono evidenziati gli studi in cui, oltre all'accumulo di plastica, è stata trovata un'associazione tra questo accumulo ed una condizione patologica.



QUANTITÀ / CONCENTRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
Concentrazione media in IS: 61,75 µg/g; concentrazione media nella MI: 141,80 µg/g; concentrazione media nella TVP: 69,62 µg/g		ND	L'accumulo di MNP avviene preferenzialmente nei siti di aterosclerosi.	Liu S, et al., 2024 ⁴⁶

*Solo per i campioni dosati con Py-GC/MS.

QUANTITÀ / CONCENTRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
Concentrazione media in IS: 61,75 µg/g; concentrazione media nella MI: 141,80 µg/g; concentrazione media nella TVP: 69,62 µg/g		ND	L'accumulo di MNP avviene preferenzialmente nei siti di aterosclerosi.	Liu S, et al., 2024 ⁴⁶



Placca carotidea

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
Studio osservazionale prospettico con assegnazione dei gruppi dopo l'arruolamento. Per questo studio sono stati arruolati 312 pazienti consecutivi con stenosi carotidea asintomatica. Dopo l'endarterectomia carotidea, tutti i pazienti sono stati seguiti per monitorare l'incidenza di infarto miocardico non fatale, ictus non fatale e mortalità per tutte le cause.	257	Py-GC/MS, SEM	PE, PVC

Colectomia umana

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
Le indicazioni cliniche per la colectomia includevano diagnosi di cancro del colon-retto e non.	11 (5 femmine, 6 maschi)	FTIR	PC, PA, PP



Con il fondo colorato sono evidenziati gli studi in cui, oltre all'accumulo di plastica, è stata trovata un'associazione tra questo accumulo ed una condizione patologica.



QUANTITÀ / CONCEN- TRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
PE (21,7 + 24,5 µg/mg di placca); PVC (5,2 + 2,4 µg/ mg di placca)	2% peso su peso	ND	Associazione con l'outcome composito di infarto miocardico, ictus e mortalità per tutte le cause.	Marfella R, et al., 2024 ⁴⁷

*Solo per i campioni dosati con Py-GC/MS.

QUANTITÀ / CONCEN- TRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
28.1 + 15.4 particelle/g		800-1600 µm	Le MNP sono ubiquitariamente presenti nel colon umano.	Ibrahim YS, et al., 2020 ⁴⁸



Fegato

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
I campioni di fegato dei pazienti con malattia epatica cronica sono stati ricavati da espunti di fegato in riceventi di trapianto di fegato.	11 (5 senza cirrosi, 6 con cirrosi)	Raman	PS, PVC, PET, PMMA, POM, PP

Milza

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
I campioni di fegato dei pazienti con malattia epatica cronica sono stati ricavati da espunti di fegato in riceventi di trapianto di fegato. I campioni di fegato e milza degli individui senza malattia epatica cronica sottostante sono stati ottenuti da autopsie.	3	Raman	PS, PVC, PET, PMMA, POM, PP



Con il fondo colorato sono evidenziati gli studi in cui, oltre all'accumulo di plastica, è stata trovata un'associazione tra questo accumulo ed una condizione patologica.



QUANTITÀ / CONCEN- TRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
Pazienti senza cirrosi: 0,7 particelle per grammo di tessuto; Pazienti con cirrosi: 6,9 particelle per grammo di tessuto.		Pazienti senza cirrosi: 0,7 particelle per grammo di tessuto; Pazienti con cirrosi: 6,9 particelle per grammo di tessuto.	I pazienti senza malattia epatica sono risultati negativi per le MNP. Mentre le concentrazioni di MNP nei tessuti epatici cirrotici sono risultate significativamente positive.	Horvatits T, et al., 2022 ⁴⁹

*Solo per i campioni dosati con Py-GC/MS.

QUANTITÀ / CONCEN- TRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
1 particella per grammo di tessuto		Da 3,0 a 29,5 μm (mediana 9,8 μm)	I pazienti senza malattia epatica sono risultati negativi per le MNP. Mentre le concentrazioni di MNP nei tessuti epatici cirrotici sono risultate significativamente positive.	Horvatits T, et al., 2022 ⁴⁹



Corteccia frontale da cervello umano deceduto

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
	Nel 2016: 10 femmine, 17 maschi. Nel 2024: 11 femmine, 13 maschi.	PyGC/MS, ATR-FTIR spettroscopia, TEM	PE

Fegato derivato da paziente deceduto

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
I campioni post- mortem di fegato, reni e cervello (corteccia frontale) sono stati ottenuti in modo retrospettivo.	Nel 2016: 10 femmine, 17 maschi. Nel 2024: 11 femmine, 13 maschi.	PyGC/MS, TEM	PE

QUANTITÀ / CONCEN- TRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
4806 µg/g	Circa un terzo di una bottiglia d'acqua (da 1,5 Lt) di plastica in un cervello adulto.	ND		Campen M, et al., 2024 ⁵⁰

*Solo per i campioni dosati con Py-GC/MS.

QUANTITÀ / CONCEN- TRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
465 µg/g		ND	Il cervello ha mostrato concentrazioni più elevate di MNP rispetto ai campioni di fegato e reni. Le MNP sono sono accumulate selettivamente nel cervello umano e le concentrazioni aumentano nel tempo.	Campen M, et al., 2024 ⁵⁰



Rene derivato da paziente deceduto

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
	Nel 2016: 10 femmine, 17 maschi. Nel 2024: 11 femmine, 13 maschi.	PyGC/MS, TEM	PE

Intestino crasso

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
Campioni derivati da pazienti affetti da patologie dell'intestino. Informazioni su stile di vita non disponibili.	6	LDIR	PVC, PBS, PA, PET, PS, PP, PU, PSF, PC, PE, PE-C, PAM, PMMA, POM

Intestino tenue

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
Campioni derivati da pazienti affetti da patologie dell'intestino. Informazioni su stile di vita non disponibili.	10	LDIR	PVC, PBS, PA, PET, PS, PP, PU, PSF, PC, PE, PE-C, PAM, PMMA, POM



QUANTITÀ / CONCEN- TRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
666 µg/g		ND		Campen M, et al., 2024 ⁵⁰

QUANTITÀ / CONCEN- TRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
7.91 ± 7.00 particelle/g		60.11 ± 74.92 µm (20.34– 498.10 µm)	Le femmine hanno mostrato un'abbondanza di MNP superiore ai maschi, indipendentemente dalla localizzazione del tessuto.	Zhu L, et al., 2024 ³⁷

QUANTITÀ / CONCEN- TRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
9.45 ± 13.13 particelle/g		43.52 ± 29.64 µm (20.34–196.13 µm)	Le femmine hanno mostrato un'abbondanza di MNP superiore ai maschi, indipendentemente dalla localizzazione del tessuto.	Zhu L, et al., 2024 ³⁷

*Solo per i campioni dosati con Py-GC/MS.



Placenta

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
<p>Studio pilota osservazionale descrittivo preclinico, con una coorte aperta prospettica e unicentrica. Tutte le donne reclutate erano sane e avevano avuto un parto naturale a termine. Alle donne è stato anche chiesto di compilare un questionario per registrare il loro consumo alimentare la settimana precedente il parto e l'uso di dentifrici e cosmetici contenenti MP o polimeri sintetici.</p>	6	Raman	PP
<p>Sono state selezionate 43 donne in gravidanza appartenenti alla popolazione generale (sane), senza possibili cause note di restrizione della crescita intrauterina.</p>	43 (30 madri hanno avuto bambini di peso normale e 13 avevano gravidanze con restrizione della crescita intrauterina).	Raman	PE, PS
<p>I soggetti sono stati reclutati dal personale di un precedente studio condotto in gravide idonee al momento dell'ammissione al travaglio e al parto.</p>	62	PyGC/MS	PS, PE



Con il fondo colorato sono evidenziati gli studi in cui, oltre all'accumulo di plastica, è stata trovata un'associazione tra questo accumulo ed una condizione patologica.



QUANTITÀ / CONCEN- TRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
4 particelle in 6 placente		~5–10 μm	Prima evidenza di MNP nella placenta umana.	Ragusa A, et al., 2021 ⁵¹
Campioni sani: 6 particelle su 30 campioni; Gravidanze con ritardo di crescita intrauterino (IUGR): 302 particelle su 13 campioni.		Partecipanti sani: 7.3–27.6 μm Partecipanti affetti da IUGR: 2.9– 34.5 μm	Le plastiche placentari nelle giovani donne della popolazione generale sono correlate con una ridotta crescita fetale nelle gravidanze con restrizione della crescita.	Amereh F, et al., 2022 ⁵²
126,8 \pm 147,5 $\mu\text{g/g}$;	Una piccola bustina di plastica da 1g per una placenta completamente formata.	ND	Questo approccio analitico è in grado di contribuire in modo significativo agli sforzi di ricerca in corso.	Garcia MA, et al., 2024 ⁵³

*Solo per i campioni dosati con Py-GC/MS.



Latte materno

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
Sono state arruolate 34 donne, tutte caratterizzate da gravidanze senza complicazioni. Le partecipanti hanno compilato un questionario per registrare il loro consumo alimentare, con particolare attenzione a pesce, crostacei e alimenti che impiegano imballaggi, e l'uso di prodotti per la cura della persona da 7 giorni prima della data prevista del parto a 7 giorni dopo.	34	Raman	PE (38%), PVC (21%), PP (17%)

Urine

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
I partecipanti reclutati erano soggetti sani, non fumatori, normopeso di età compresa tra i 16 e i 35 anni, residenti da almeno 5 anni nelle aree considerate.	6 (3 femmine, 3 maschi)	Raman	PP, PE, PVC, PVA

Testicoli

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
I campioni di testicoli umani, ottenuti anonimamente, facevano parte di una raccolta di routine del 2016.	23	Py-GC/MS	PE, PVC, N66, N6, SBR, PU, PP, ABS, PMMA, PET, PC, PS



QUANTITÀ / CONCEN- TRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
26 particelle in 34 campioni		2–12 µm	Le sostanze chimiche eventualmente contenute in alimenti, bevande e prodotti per l'igiene personale consumati dalle madri che allattano possono essere trasferite alla prole.	Ragusa A, et al., 2022 ⁵⁴

QUANTITÀ / CONCEN- TRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
ND		4-15 µm	Prime prove di microplastiche nell'urina umana.	Pironti C, et al., 2022 ⁵⁵

QUANTITÀ / CONCEN- TRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
328.44 µg/g	0.2% peso su peso	ND	Presenza pervasiva di MNP nel sistema riproduttivo maschile nei testicoli umani.	Hu CJ, et al., 2024 ⁵⁶

*Solo per i campioni dosati con Py-GC/MS.



Feci dell'adulto

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
8 volontari sani residenti in diverse regioni geografiche per rappresentare modelli alimentari diversi. Sono stati registrate le abitudini alimentari, gli ingredienti di dentifrici, prodotti cosmetici e gomme da masticare.	8 (3 maschi e 5 femmine)	FTIR	PP (62.8%), PET (17.0%), PS (11.2%)
26 giovani studenti maschi di età compresa tra i 18 e i 25 anni reclutati a Pechino. Tutti i partecipanti hanno compilato quotidianamente un questionario autosomministrato sull'assunzione di liquidi e alimenti consumati per 7 giorni.	24 (2 pazienti non hanno completato lo studio)	FTIR	PET, PP, PS
Campioni di feci da 10 adulti sani, 6 bambini svezzati e 3 neonati.	10	LC-MS/MS	PET, PC
Sono stati reclutati due gruppi di partecipanti: partecipanti sani e pazienti affetti da Inflammatory Bowel Disease (IBD) e privi di altre malattie croniche o gravi.	50 partecipanti sani e 52 pazienti affetti da IBD	Raman	PET, PA, PP, PE, PC, PVC, POM, PTFE, EVA, PS, PMMA, PBT, AS, PES, TPU



Con il fondo colorato sono evidenziati gli studi in cui, oltre all'accumulo di plastica, è stata trovata un'associazione tra questo accumulo ed una condizione patologica.



QUANTITÀ / CONCENTRA- ZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
20 particelle/ 10 g		50–500 µm	Possibile ingestione involontaria da diverse fonti.	Schwabl P, et al., 2019 ⁵⁷
1-36 particelle/g		20–800 µm	Potrebbe esistere un'associazione tra le abitudini di assunzione di acqua e l'abbondanza di MNP nelle feci.	Zhang N, et al., 2021 ⁵⁸
PET: 2600 ng/g	Mezza carta di credito per ogni 10 Kg	ND	I neonati sono esposti a livelli più elevati di MP rispetto agli adulti.	Zhang J, et al., 2021 ⁵⁹
In partecipanti sani: PET (22.3%), PA (8.9%), PP (8.7%), PE (7.6%), PC (7.1%); In partecipanti affetti da IBD: PET (34.0%), PA (12.4%), PVC (10.3%), PP (9.5%), PE (5.6%)		Partecipanti sani: 4.4–333.2 µm; Partecipanti affetti da IBD: 1.7–393.8 µm	La correlazione positiva tra MNP fecali e stato di (IBD) suggerisce che l'esposizione alle MNP può essere correlata al processo patologico o che l'IBD favorisce la ritenzione di MPs.	Yan Z, et al., 2022 ⁶⁰

*Solo per i campioni dosati con Py-GC/MS.



Feci dell'infante

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
Campioni di feci da 10 adulti sani, 6 bambini svezzati e 3 neonati.	6	LC-MS/MS	PET, PC

Meconio (prime feci dell'infante)

POPOLAZIONE	NUMERO DI PAZIENTI	METODO DI IDENTIFICAZIONE	TIPO DI MNP
Campioni di feci da 10 adulti sani, 6 bambini svezzati e 3 neonati.	3	LC-MS/MS	PET, PC

QUANTITÀ / CONCEN- TRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
PET: 36000 ng/g; PC: 78 ng/g	Mezza carta di credito per ogni Kg	ND	I neonati sono esposti a livelli più elevati di MP rispetto agli adulti.	Zhang J, et al., 2021 ⁵⁹

QUANTITÀ / CONCEN- TRAZIONE (IN BASE AL METODO)	EQUIVALENTE IN PESO DI UN PRODOTTO DI PLASTICA DI USO COMUNE*	GRANDEZZA	RILEVANZA CLINICA	REFERENZE
PET: < 12000 ng/g	Mezza carta di credito per ogni Kg	ND	I neonati sono esposti a livelli più elevati di MP rispetto agli adulti.	Zhang J, et al., 2021 ⁵⁹

*Solo per i campioni dosati con Py-GC/MS.



Tabella 2

Applicazioni delle plastiche più frequentemente riscontrate nell'organismo umano.

TIPO DI PLASTICA	APPLICAZIONI
PE	<p>HDPE:</p> <ul style="list-style-type: none"> - contenitori per latte e acqua - contenitori per detersivi e shampoo - sacchetti di plastica <p>LDPE:</p> <ul style="list-style-type: none"> - sacchetti per il pane, per i surgelati e per la spesa - involucri di plastica - bottiglie
PVC	<ul style="list-style-type: none"> - imballaggi per alimenti, pellicola trasparente - contenitori per detersivi e detergenti - bottiglie di plastica, barattoli di olio da cucina - tubi in vinile - tende da doccia - pavimenti, rivestimenti per abitazioni, telai di porte e finestre
PET	<ul style="list-style-type: none"> - bottiglie per bibite, acqua e altre bevande - contenitori per detersivi e detergenti - contenitori alimentari
PS	<p>Polistirolo rigido:</p> <ul style="list-style-type: none"> - custodie per CD - posate usa e getta <p>Polistirolo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - contenitori per alimenti - imballaggi - cartoni per uova - materiale di isolamento per gli edifici
PU	<ul style="list-style-type: none"> - prodotti per la pulizia - isolamento industriale - mobili - sedili di automobili - materiali per la costruzione di case, sculture e decorazioni - impugnature delle racchette da tennis - vernice - componenti elettronici

TIPO DI PLASTICA	APPLICAZIONI
PMMA	<ul style="list-style-type: none"> - luci a LED - profili per finestre e porte, pensiline, pannelli - parabrezza di motociclette - schermi TV LCD/LED, computer portatili, display per smartphone - armadietti di stoccaggio in ospedali e laboratori di ricerca - otturazioni di cavità dentali e cemento osseo - sedie, tavoli, armadietti da cucina, ciotole, tovagliette
PP	<ul style="list-style-type: none"> - imballaggi - prodotti casalinghi, mobili, elettrodomestici, valigie, giocattoli - siringhe monouso, fiale mediche, dispositivi diagnostici, piastre petri, flaconi per campioni, vassoi per alimenti, contenitori per pillole - nastro adesivo
PC	<ul style="list-style-type: none"> - frigoriferi, condizionatori, macchine da caffè, frullatori, lavatrici, asciugacapelli - CD/DVD - occhiali da sole, schermi facciali, occhiali protettivi - strumenti chirurgici, sistemi di somministrazione di farmaci - materiale per la conservazione degli alimenti - caschi, visiere protettive per gli occhi



Allegato

I sei principali tipi di plastica vengono illustrati di seguito insieme ai relativi volumi di produzione annuale ed alle principali applicazioni per il loro utilizzo⁴.

PLASTICHE E CODICI DI RICICLAGGIO	PRODUZIONE ANNUALE NEL 2020 E STIMA PER IL 2040 (milioni di tonnellate)		APPLICAZIONI
	2020	2040	
	27,5	36,4	Confezioni per acqua, bevande, olio, birra, frutta, frutta secca, funghi, pasta, semola, yogurt, contenitori, sacchetti per la cottura del riso, incarti per formaggi o carne.
	48,5	66,4	Giocattoli, confezioni per prodotti caseari e prodotti per la pulizia.
	40,3	54,9	Edilizia: tubature, materiale isolante per cavi elettrici; medicinali: siringhe, cateteri, guaine per tubi e fili.
	69,3	95,0	Fogli (compresi gli incarti alimentari), sacchi e buste di plastica.
	75,4	98,8	Conservazione del cibo (tappi di bottiglia); confezioni per lenti a contatto; edilizia: tubature o materiale isolante per cavi elettrici.
	26,5	35,4	Contenitori, coperchi, giocattoli, bottiglie, vassoi, bicchieri, posate monouso, e nella creazione di modelli; Edilizia: polistirolo; Medicina: materiali per la diagnostica, vassoi per colture tissutali, provette, piastre di Petri, dispositivi medici, ricerca farmacologica.
TOTALE	398,2	545,9	

HDPE / Polietilene ad alta densità | **LDPE** / Polietilene a bassa densità
PET / Polietilene tereftalato | **PVC** / Cloruro di polivinile | **PP** / Polipropilene | **PS** / Polistirene





Bibliografia

1. Yukeswaran Loganathan, Moni Phillip Jacob Kizhakedathil. (2022). A review on microplastics – an indelible ubiquitous pollutant. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 13(2), 126. <https://doi.org/10.33263/briac132.126>
2. Anik, A. H., Hossain, S., Alam, M., Sultan, M. B., Hasnine, M. T., & Rahman, M. M. (2021). Microplastics pollution: A comprehensive review on the sources, fates, effects, and potential remediation. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 16, 100530. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100530>
3. Ainali, N. M., Kalaronis, D., Kontogiannis, A., Evgenidou, E., Kyzas, G. Z., Yang, X., Bikiaris, D. N., & Lambropoulou, D. A. (2021). Microplastics in the environment: Sampling, pretreatment, analysis and occurrence based on current and newly-exploited chromatographic approaches. *Science of the Total Environment*, 794, 148725. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148725>
4. Winiarska, E., Jutel, M., & Zemelka-Wiacek, M. (2024). The potential impact of nano- and microplastics on human health: Understanding human health risks. *Environmental Research*, 118535. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118535>
5. Xiang, Y., Jiang, L., Zhou, Y., Luo, Z., Zhi, D., Yang, J., & Lam, S. S. (2022). Microplastics and environmental pollutants: Key interaction and toxicology in aquatic and soil environments. *Journal of Hazardous Materials*, 422, 126843. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126843>
6. Rillig, M. C., Lehmann, A., Ryo, M., & Bergmann, J. (2019). Shaping up: toward considering the shape and form of pollutants. *Environmental Science & Technology*, 53(14), 7925–7926. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03520>
7. Boucher, J., & Friot, D. (2017). Primary microplastics in the oceans: A global evaluation of sources. <https://doi.org/10.2305/iucn.ch.2017.01.en>
8. Lu, L., Luo, T., Zhao, Y., Cai, C., Fu, Z., & Jin, Y. (2019). Interaction between microplastics and microorganism as well as gut microbiota: A consideration on environmental animal and human health. *Science of the Total Environment*, 667, 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.380>
9. Laskar, N., & Kumar, U. (2019). Plastics and microplastics: A threat to environment. *Environmental Technology & Innovation*, 14, 100352. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100352>
10. R, A. M., & Qusay, A. (2023). Eco-friendly microplastic removal through physical and chemical techniques: a review. *Annals of Advances in Chemistry*, 7(1). <https://doi.org/10.29328/journal.aac.1001038>
11. Pilapitiya, P. N. T., & Ratnayake, A. S. (2024). The world of plastic waste: a review. *Cleaner Materials*, 11, 100220. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100220>
12. Vethaak, A. D., & Legler, J. (2021). Microplastics and human health. *Science*, 371(6530), 672–674. <https://doi.org/10.1126/science.abe5041>
13. Li, P., & Liu, J. (2024). Micro(nano)plastics in the Human Body: Sources, Occurrences, Fates, and Health Risks. *Environmental Science & Technology*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c08902>
14. Barboza, L. G. A., Vethaak, A. D., Lavorante, B. R., Lundebye, A., & Guilhermino, L. (2018). Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 336–348. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.047>
15. Yang, D., Shi, H., Li, L., Li, J., Jabeen, K., & Kolandhasamy, P. (2015). Microplastic Pollution in Table Salts from China. *Environmental Science & Technology*, 49(22), 13622–13627. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03163>
16. Kedzierski, M., Lechat, B., Sire, O., Maguer, G. L., Tilly, V. L., & Bruzaud, S. (2020). Microplastic contamination of packaged meat: Occurrence and associated risks. *Food Packaging and Shelf Life*, 24, 100489. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100489>
17. Conti, G. O., Ferrante, M., Banni, M., Favara, C., Nicolosi, I., Cristaldi, A., Fiore, M., & Zuccarello, P. (2020). Micro- and nano-plastics



- in edible fruit and vegetables. The first diet risks assessment for the general population. *Environmental Research*, 187, 109677. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109677>
18. Gambino, I., Malitesta, C., Bagordo, F., Grassi, T., Panico, A., Fraissinet, S., De Donno, A., & De Benedetto, G. E. (2023). Characterization of microplastics in water bottled in different packaging by Raman spectroscopy. *Environmental Science. Water Research & Technology*, 9(12), 3391–3397. <https://doi.org/10.1039/d3ew00197k>
 19. Basaran, B., Özçiğci, Z., Akcay, H. T., & Aytan, Ü. (2023). Microplastics in branded milk: Dietary exposure and risk assessment. *Journal of Food Composition and Analysis*, 123, 105611. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105611>
 20. Hussain, K. A., Romanova, S., Okur, I., Zhang, D., Kuebler, J., Huang, X., Wang, B., Fernandez-Ballester, L., Lu, Y., Schubert, M., & Li, Y. (2023). Assessing the Release of Microplastics and Nanoplastics from Plastic Containers and Reusable Food Pouches: Implications for Human Health. *Environmental Science & Technology*, 57(26), 9782–9792. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c01942>
 21. Hernandez, L. M., Yousefi, N., & Tufenkji, N. (2017). Are there nanoplastics in your personal care products? *Environmental Science & Technology Letters*, 4(7), 280–285. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.7b00187>
 22. Yee, M. S., Hii, L., Looi, C. K., Lim, W., Wong, S., Kok, Y., Tan, B., Wong, C., & Leong, C. (2021). Impact of microplastics and nanoplastics on human health. *Nanomaterials*, 11(2), 496. <https://doi.org/10.3390/nano11020496>
 23. Hernandez, L. M., Xu, E. G., Larsson, H. C. E., Tahara, R., Maisuria, V. B., & Tufenkji, N. (2019). Plastic Teabags Release Billions of Microparticles and Nanoparticles into Tea. *Environmental Science & Technology*, 53(21), 12300–12310. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02540>
 24. Qian, N., Gao, X., Lang, X., Deng, H., Bratu, T. M., Chen, Q., Stapleton, P., Yan, B., & Min, W. (2024). Rapid single-particle chemical imaging of nanoplastics by SRS microscopy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 121(3). <https://doi.org/10.1073/pnas.2300582121>
 25. Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H., & Fürst, P. (2018). Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research*, 129, 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.011>
 26. Feng Y, Tu C, Li R, Wu D, Yang J, Xia Y, et al. A systematic review of the impacts of exposure to micro- and nano-plastics on human tissue accumulation and health. *Eco-Environment & Health*. 2023;2:195-207. <https://doi.org/10.1016/j.eehl.2023.08.002>
 27. Horton AA, Walton A, Spurgeon DJ, Lahive E, Svendsen C. Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *The Science of the total environment*. 2017;586:127-141 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.190>
 28. Prata JC. Airborne microplastics: Consequences to human health? *Environmental pollution*. 2018;234:115-126. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.043>
 29. Gan Q, Cui J, Jin B. Environmental microplastics: Classification, sources, fates, and effects on plants. *Chemosphere*. 2023;313:137559. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137559>
 30. Cox KD, Covernton GA, Davies HL, Dower JF, Juanes F, Dudas SE. Human consumption of microplastics. *Environmental science & technology*. 2019;53:7068-7074. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01517>
 31. Kannan K, Vimalkumar K. A review of human exposure to microplastics and insights into microplastics as obesogens. *Frontiers in endocrinology*. 2021;12:724989. <https://doi.org/10.3389/fendo.2021.724989>
 32. Mohamed Nor NH, Kooi M, Diepens NJ, Koelmans AA. Lifetime accumulation of microplastic in children and adults.



- Environmental science & technology. 2021;55:5084-5096. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c07384>
33. Senathirajah K, Attwood S, Bhagwat G, Carbery M, Wilson S, Palanisami T. Estimation of the mass of microplastics ingested - a pivotal first step towards human health risk assessment. *Journal of hazardous materials*. 2021;404:124004. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124004>
 34. Amato-Lourenco LF, Carvalho-Oliveira R, Junior GR, Dos Santos Galvao L, Ando RA, Mauad T. Presence of airborne microplastics in human lung tissue. *Journal of hazardous materials*. 2021;416:126124. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126124>
 35. Chen Q, Gao, J., Yu, H., Su, H., Yang, Y., Cao, Y., et al. . An emerging role of microplastics in the etiology of lung ground glass nodules. 2022;*Environ Sci Eur*. <https://doi.org/10.1186/s12302-022-00605-3>
 36. Jenner LC, Rotchell JM, Bennett RT, Cowen M, Tentzeris V, Sadofsky LR. Detection of microplastics in human lung tissue using muftir spectroscopy. *The Science of the total environment*. 2022;831:154907. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154907>
 37. Zhu L, Kang Y, Ma M, Wu Z, Zhang L, Hu R, et al. Tissue accumulation of microplastics and potential health risks in human. *The Science of the total environment*. 2024;915:170004 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170004>
 38. Baeza-Martínez C, Olmos S, González-Pleiter M, López-Castellanos J, García-Pachón E, Masiá-Canuto M, et al. First evidence of microplastics isolated in European citizens' lower airway. *J Hazard Mater*. 2022 Sep 15;438:129439. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129439>
 39. Huang S, Huang X, Bi R, Guo Q, Yu X, Zeng Q, et al. Detection and analysis of microplastics in human sputum. *Environmental science & technology*. 2022;56:2476-2486. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03859>
 40. Y Jiang, J Han, J Na, J Fang, C Qi, J Lu, et al., Exposure to microplastics in the upper respiratory tract of indoor and outdoor workers, *Chemosphere* 307 (2022) 136067. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136067>
 41. Leslie HA, van Velzen MJM, Brandsma SH, Vethaak AD, Garcia-Vallejo JJ, Lamoree MH. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment international*. 2022;163:107199. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>
 42. Wu D, Feng Y, Wang R, Jiang J, Guan Q, Yang X, et al. Pigment microparticles and microplastics found in human thrombi based on raman spectral evidence. *Journal of advanced research*. 2023;49:141-150. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2022.09.004>
 43. Yang Y, Xie E, Du Z, Peng Z, Han Z, Li L, et al. Detection of various microplastics in patients undergoing cardiac surgery. *Environmental science & technology*. 2023;57:10911-10918. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c07179>
 44. Rotchell JM, Jenner LC, Chapman E, Bennett RT, Bolanle IO, Loubani M, et al. Detection of microplastics in human saphenous vein tissue using muftir: A pilot study. *PloS one*. 2023;18:e0280594. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0280594>
 45. Wang T, Yi Z, Liu X, Cai Y, Huang X, Fang J, et al. Multimodal detection and analysis of microplastics in human thrombi from multiple anatomically distinct sites. *EBioMedicine*. 2024;103:105118. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2024.105118>
 46. Liu S, Wang C, Yang Y, Du Z, Li L, Zhang M, et al. Microplastics in three types of human arteries detected by pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry (py-gc/ms). *Journal of hazardous materials*. 2024;469:133855. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133855>
 47. Marfella R, Praticchizzo F, Sardu C, Fulgenzi G, Graciotti L, Spadoni T, et al. Microplastics and nanoplastics in atheromas and cardiovascular events. *The New England journal of medicine*. 2024;390:900-910. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2309822>
 48. Ibrahim YS, Tuan Anuar S, Azmi AA, Wan Mohd



- Khalik WMA, Lehata S, Hamzah SR, et al. Detection of microplastics in human colectomy specimens. *JGH open : an open access journal of gastroenterology and hepatology*. 2021;5:116-121. <https://doi.org/10.1002/jgh3.12457>
49. Horvatits T, Tamminga M, Liu B, Sebode M, Carambia A, Fischer L, et al. Microplastics detected in cirrhotic liver tissue. *EBioMedicine*. 2022;82:104147. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2022.104147>
 50. Campen M, Nihart A, Garcia M, Liu R, Olewine M, Castillo E, et al. Bioaccumulation of microplastics in decedent human brains assessed by pyrolysis gas chromatography-mass spectrometry. *Research square*. 2024. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4345687/v1>
 51. Ragusa A, Svelato A, Santacroce C, Catalano P, Notarstefano V, Carnevali O, et al. Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment international*. 2021;146:106274. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274>
 52. Amereh F, Amjadi N, Mohseni-Bandpei A, Isazadeh S, Mehrabi Y, Eslami A, et al. Placental plastics in young women from general population correlate with reduced foetal growth in IUGR pregnancies. *Environ Pollut*. 2022 10.1016/j.envpol.2022.120174. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120174>
 53. Garcia MA, Liu R, Nihart A, El Hayek E, Castillo E, Barrozo ER, et al. Quantitation and identification of microplastics accumulation in human placental specimens using pyrolysis gas chromatography mass spectrometry. *Toxicol Sci*. 2024 10.1093/toxsci/kfae021. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfae021>
 54. Ragusa A, Notarstefano V, Svelato A, Belloni A, Gioacchini G, Blondeel C, et al. Raman microspectroscopy detection and characterisation of microplastics in human breastmilk. *Polymers*. 2022;14. <https://doi.org/10.3390/polym14132700>
 55. Pironti C, Notarstefano V, Ricciardi M, Motta O, Giorgini E, Montano L. First evidence of microplastics in human urine, a preliminary study of intake in the human body. *Toxics*. 2022;11. <https://doi.org/10.3390/toxics11010040>
 56. Hu CJ, Garcia MA, Nihart A, Liu R, Yin L, Adolph N, et al. Microplastic presence in dog and human testis and its potential association with sperm count and weights of testis and epididymis. *Toxicol Sci*. 2024 10.1093/toxsci/kfae060. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfae060>
 57. Schwabl P, Köppel S, Königshofer P, Bucsecs T, Trauner M, Reiberger T, Liebmann B. Detection of Various Microplastics in Human Stool: A Prospective Case Series. *Ann Intern Med*. 2019 Oct 1;171(7):453-457. doi: 10.7326/M19-0618. Epub 2019 Sep 3. PMID: 31476765. <https://doi.org/10.7326/M19-0618>
 58. N Zhang, YB Li, HR He, JF Zhang, GS Ma, You are what you eat: microplastics in the feces of young men living in Beijing, *Sci. Total Environ*. 767 (2021) 144345. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144345>.
 59. J. Zhang, L. Wang, L. Trasande, K. Kannan, Occurrence of polyethylene terephthalate and polycarbonate microplastics in infant and adult feces, *Environ. Sci. Technol. Lett.* 8 (2021) 989–994. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00559>.
 60. Yan Z, Liu Y, Zhang T, Zhang F, Ren H, Zhang Y. Analysis of Microplastics in Human Feces Reveals a Correlation between Fecal Microplastics and Inflammatory Bowel Disease Status. *Environ Sci Technol*. 2022, 10.1021/acs.est.1c03924. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03924>
 61. Razaviarani, V., Saudagar, A., Gallage, S. et al. Comprehensive investigation on microplastics from source to sink. *Clean Techn Environ Policy* 26, 1755–1782 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10098-024-02738-w>
 62. Christine Gaylarde, Jose Antonio Baptista-Neto, Estefan Monteiro da Fonseca. Plastic microfibre pollution: how important is clothes' laundering? *Heliyon* 7 (2021) e07105. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07105>
 63. Sinem Hazal Akyildiz, Silvia Fiore, Martina Bruno, Hande Sezgin, Ipek Yalcin-Enis, Bahattin Yalcin, Rossana Bellopede. Release of



- microplastic fibers from synthetic textiles during household washing. *Environmental Pollution* 357 (2024) 124455. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124455>
64. Landrigan PJ, Raps H, Cropper M, Bald C, Brunner M, Canonizado EM, Charles D, Chiles TC, Donohue MJ, Enck J, Fenichel P, Fleming LE, Ferrier-Pages C, Fordham R, Gozt A, Griffin C, Hahn ME, Haryanto B, Hixson R, Ianelli H, James BD, Kumar P, Laborde A, Law KL, Martin K, Mu J, Mulders Y, Mustapha A, Niu J, Pahl S, Park Y, Pedrotti ML, Pitt JA, Ruchirawat M, Seewoo BJ, Spring M, Stegeman JJ, Suk W, Symeonides C, Takada H, Thompson RC, Vicini A, Wang Z, Whitman E, Wirth D, Wolff M, Yousuf AK, Dunlop S. The Minderoo-Monaco Commission on Plastics and Human Health. *Ann Glob Health*. 2023 Mar 21;89(1):23. <https://annalsofglobalhealth.org/articles/10.5334/aogh.4056>
65. Feng Y, Tu C, Li R, Wu D, Yang J, Xia Y, Peijnenburg WJGM, Luo Y. A systematic review of the impacts of exposure to micro- and nano-plastics on human tissue accumulation and health. *Eco Environ Health*. 2023 Aug 21;2(4):195-207. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772985023000418#fig2>



Communicate  Engage

Stampato nel mese di ottobre 2024.

ELENCO DEGLI ACRONIMI

μ-FTIR / Micro spettroscopia ad infrarossi a trasformata di Fourier

ABS / Acrilonitrile-butadiene-stirene

AS / Acrilonitrile-stirene

EVA / Etilene vinilacetato

HDPE / Polietilene ad alta densità

LD-IR / Spettroscopia laser a infrarossi diretti

LDPE / Polietilene a bassa densità

N6 / Nylon 6

Nylon-EVA / Nylon etilene-vinilacetato

PA / Poliammide

PA66/N66 / Nylon 66

PAM / Poliacrilammide

PBS / Polibutilene succinato

PBT / Polibutilene tereftalato

PC / Policarbonato

PE / Polietilene

PE-C / Polietilene clorurato

PES / Polietere solfone

PET / Polietilene tereftalato

PMMA / Polimetilmetacrilato

POM / Poliossimetilene

PP / Polipropilene

PS / Polistirene

PSF / Polisolfone

PTFE / Politetrafluoroetilene

PU / Poliuretano

PVA / Alcool polivinilico

PVAc / Acetato di polivinile

PVC / Cloruro di polivinile

Py-GC/MS / Pirolisi-gascromatografia-spettrometria di massa

SBR / Gomma stirene-butadiene

SEM / Microscopia elettronica a scansione

TPU / Poliuretano termoplastico

Roma

Viale Bruno Buozzi, 60 - 00197

T. +39 06 45 55 21 02

M. +39 347 50 57 621

E. info@verastudio.it

W. www.verastudio.it

