

Malati di plastica

Plastic sick

Riassunto

L'articolo intende analizzare alla luce dei dati scientifici quello che al momento conosciamo circa i rischi da esposizione alla plastica nelle nostre attività quotidiane.

L'ubiquità delle particelle di plastica, le dimensioni delle stesse, l'impossibilità di eliminarne l'uso, la degradazione spontanea in ambiente di questo materiale che può avvenire in centinaia anche migliaia di anni, e i danni che già sono evidenti negli ecosistemi marini ed acquatici danno ragione della complessità del problema.

Sempre più emergente è la preoccupazione della tossicità endocrina indotta soprattutto dagli additivi usati nella produzione della plastica.

Vi sono prove crescenti di bio-accumulo di MP con conseguente anomalie endocrine, tossicità riproduttiva, dis-biosi del microbiota intestinale e risposte immunologiche difettose nei roditori, e negli animali da esperimento, meno sull'uomo.

L'identificazione delle conseguenze avverse delle MP sul sistema endocrino dei mammiferi è una grande sfida a causa dei loro livelli in rapido aumento negli ecosistemi sia terrestri che acquatici.

Le prove scientifiche più recenti evidenziano inoltre il ruolo del compartimento respiratorio come importante fonte di esposizione umana ai MP ed è possibile che individui vulnerabili siano a rischio di sviluppare malattie respiratorie in seguito alla loro presenza negli ambienti in cui vivono o lavorano.

Una nota a parte andrebbe riservata all'esposizione a NMP in età pediatrica ed in particolare nei primi 1000 giorni.

Parole chiave: NP = nano-plastiche, MP = microplastiche, IE o DAC = Disturbatori endocrini, Parlamentari = gruppi di sostanze prese in considerazione, NMP.

Abstract

This article aims at analyzing what we currently know about the risks deriving from plastic exposure in our everyday activities, based on scientific data.

The issue is really complex, as we already have evidence such as the fact that plastic particles are everywhere, that we absolutely rely on plastic for many activities, that this material deteriorates itself in a process that lasts for thousands of years and, also, there are already significant damages in marine ecosystems.

The fear for the endocrine toxicity deriving from the additives used in plastic production is more and more pressing.

Also, there is increasing proof of MP'S bio-accumulation, which causes endocrine anomalies, reproductive toxicity, dis-biotic of the intestinal microbiota and defective immunological response in rodents and in laboratory animals – this phenomenon is less visible in human beings.

Identifying the negative effects and the consequences that MPs have on mammals' endocrine system is a great challenge since their levels – the MPs' – are rapidly increasing both in terrestrial and aquatic ecosystems.

In the end, it's important to say that we should do a separate discussion regarding NMP exposure in pediatric age and in the first 1000 days of life.

Keywords: NP = nanoplastic, MP = microplastic, IE or DAC = Endocrine Disrupters, NMP = all the substances considered.

■ Premesse

Stiamo attraversando una profonda crisi di quello che fino a pochi anni fa sembrava il prototipo della nostra società civile, caratterizzato da benessere e salute.

La prima vera scossa che ha fatto vacil-

MARIA FILOMENA VALENTINO

Pediatra di Libera Scelta
Vicepresidente ISDE Taranto

Per corrispondenza:
mfvalentino@libero.it

lare le fondamenta del nostro modello “occidentale” è stata senza dubbio la pandemia da SARS COVID-19: un evento imprevedibile ed imprevisto che ha sconquassato la nostra tranquilla routine.

Siamo stati catapultati in modo drammatico e repentino in una dimensione a noi da decenni assolutamente sconosciuta: l'incertezza del futuro.

Passata o meglio attenuatasi, la crisi sanitaria pensavamo di poterci riappropriare del controllo del nostro futuro, ma ecco la guerra a pochi chilometri da noi: allo stravolgimento sanitario è seguito quello economico.

Abbiamo dovuto fare i conti con restrizioni energetiche ed imparare a risparmiare.

Ancora una volta in pochi mesi ci siamo trovati a fronteggiare il fattore “tempo” e siamo stati obbligati a fare scelte dettate unicamente dall'urgenza, dall'ineluttabilità delle situazioni.

Cosa centra questo con la plastica che è il tema di quest'articolo? Tutto, a parer mio, o forse niente per qualcun altro, ed è quello su cui vorrei riflettere analizzando i dati scientifici.

La plastica, insieme all'acciaio ed al cemento rappresenta il paradigma della società industriale occidentale, del cosiddetto Antropocene.

Il successo della plastica coincide con l'invenzione del nylon alla fine del 1935. La versatilità, l'economicità e le successive facili e numerose modifiche della formula chimica, hanno reso questo materiale un bene di larghissimo consumo che potremmo definire “popolare”.

Ormai siamo circondati da oggetti che per il 70% sono in plastica, inoltre non è mai stato necessario, dato il costo, pensare di recuperarla per riutilizzarla.

E' più vantaggioso, partendo dalle materie prime: il petrolio, produrla.

Negli oceani abbiamo scoperto l'esistenza di vere, enormi isole galleggianti fatte di una poltiglia di particelle di plastica: una vera e propria “ZUPPA”.

La plastica che forma queste isole è quella che frammentandosi e riducendosi in piccole dimensioni, dopo essere stata trasportata in mare, galleggia. Tuttavia altre particelle di dimensione ancora più piccole restano sospese nell'acqua o si depositano sui fondali, potendo essere ingerite da pesci o tartarughe che le scambiano per plancton, oppure gli animali marini (pesci ed uccelli) possono rimanerne imprigionati senza via di scampo nelle delle reti da pesca, o di altri rifiuti plastici abbandonati in mare dalle navi.

Il sogno di “plastica” si è infranto e ci siamo destati circondati dalla plastica con una domanda: può questo materiale arrecare danni oltre che agli ecosistemi anche alla nostra salute?

Residui di plastica sono stati individuati ovunque nei mari: dalle Fosse delle Marianne ai Poli, degli oceani ai bacini praticamente chiusi come il nostro Mar Mediterraneo, ma anche in acquitrini, paludi e foci dei fiumi ovvero i luoghi con una maggiore biodiversità, da cui dipende il futuro del nostro pianeta ed il nostro.

La produzione della plastica nel 1950 era di circa 2 milioni di tonnellate, nel 2015 di 280 milioni di tonnellate e oggi siamo arrivati a 8,3 miliardi di tonnellate di resi-

ne e fibre plastica.

I paesi a più alto reddito, ovvero il 16% della popolazione mondiale produce il 34% dei rifiuti in plastica e ne ricicla il 31%, i paesi a più basso reddito ne riciclano solo il 4%.

L'Asia è senza dubbio il maggiore produttore al mondo di plastica; in particolare la Cina con il 30% del totale (107,7 milioni di tonnellate), seguono le Americhe con il 18% (64,5 milioni di tonnellate, secondo il NAFTA North American Free Trade Agreement) e quindi l'Unione Europea con il 17% (61,8 milioni di tonnellate)¹.

Dal 1950 abbiamo assistito ad un incremento quindi del 70% dei rifiuti in plastica a causa della crescita demografica, della crescita economica e dell'industrializzazione. Di fatto dopo l'invenzione della plastica le innovazioni delle formule chimiche hanno dato una notevole spinta ai consumi, producendo oggetti a prezzi molto accessibili.

Si è creata una domanda del mercato facilmente esaudibile e notevolmente incrementabile.

La produzione di questo materiale correre parallelamente all'aumento esponenziale dell'estrazione degli idrocarburi, dello sviluppo tecnologico e quindi della riduzione dei costi di trasformazione: PLASTICA, PETROLIO e METANO vanno a braccetto, e di pari passo le emissioni di CO2 (Crisi Climatica).

Nel 2020 circa il 15% del gas ed il 14% del petrolio nella UE sono serviti a produrre prodotti petrolchimici: per la maggior parte di questi si tratta di materie plastiche che quindi rappresentano il più importante prodotto dell'industria petrolchimica della UE.

I paesi come Belgio, Spagna, Germania, Francia, Italia, Paesi Bassi, Polonia che consumano più petrolio sono anche quelli responsabili della produzione del 77% dei rifiuti da imballaggi in plastica in Europa.

Break Free from Plastic e CIEL (Center for International Environmental Law) autori di un recente rapporto sulla plastica dichiarano che l'industria petrolchimica sta dilapidando risorse energetiche e che se affrontassimo la questione “PLASTICA” potremmo affrontare contemporaneamente tre crisi : Inquinamento, Crisi Climatica ed Energetica.

Prima di analizzare i dati scientifici è necessario distinguere le plastiche in composti termoplastici ed i termoindurenti. I primi possono essere ripetutamente riscaldati e fusi, si induriscono se raffreddati e comprendono: polietilene (PE), polipropilene (PP), policarbonato (PC), cloruro di polivinile (PVC), polietilene tereftalato (PET) e polistirene (PS); i secondi invece sono polimeri stabili ottenuti attraverso un processo irreversibile e non possono essere riutilizzati per la produzione di nuovi prodotti. Questo vuol dire che i diversi composti hanno destini ed impatti differenti sulle forme di vita e gli ecosistemi esposti.

Abbiamo coniato nuovi termini come: MICROPLASTICHE, per frammenti di dimensioni tra 5 e 1 micron di centimetro e NANOPLASTICHE per dimensioni al di sotto di 1 micron di centimetro e sono state distinte le particelle in: FRAMMENTI (se rapporto lunghezza/

larghezza è < 3), MICROFIBRE (se rapporto lunghezza/altezza >3), FILM, SCHIUMA e PERLINE; tra queste le fibre sembrano essere le più rappresentate nell'atmosfera (67% a Shanghai - 92% a Londra).

Se solo il 20% della plastica viene riciclata o incenerita la restante parte si trova nelle discariche sulla terra o abbandonata; libera di essere trasportata dagli agenti atmosferici e finire principalmente in mare, dove si stima che si riversino ogni anno 4-12 milioni di tonnellate. In questi ultimi anni a difesa degli ecosistemi marini e dell'acqua dolce si sono levate molte voci: gli scienziati hanno denunciato che se filtrassimo l'acqua del mare troveremmo che ogni chilometro quadrato può contenere circa 46.000 micro-particelle di plastica in sospensione; l'UNESCO ha levato un grido di allarme ribadendo che "il fragile equilibrio della vita marina animale e vegetale è scosso dalla crescente concentrazione di plastiche di ogni tipo e che la catena alimentare sta subendo danni forse irreparabili" e Legambiente ha pubblicato i dati di un recente monitoraggio dei rifiuti sulle spiagge italiane rendendo noto che si raccolgono una media di 670 rifiuti ogni 100 m di spiaggia e che di questi ben l'84% sono materiali plastici, seguiti da vetro/ceramica 4,4%, metallo 4% e carta/cartone 3%.

■ Meccanismi del danno biologico ed esposizione

La maggior parte degli autori ha evidenziato la difficoltà nel condurre gli studi anche nella semplice raccolta dei dati: non esistono strumenti universalmente validati per la misurazione della concentrazione delle NMP nei vari sistemi, organi e tessuti.

Di contro esiste una complessità nella valutazione delle particelle da analizzare e delle loro interazioni con le matrici organiche in virtù delle dimensioni delle stesse (rischio di traslocazione delle micro e nano-plastiche), nella necessità di distinguere gli effetti dovuti ai vari additivi usati nella produzione (spesso già classificati tra gli Interferenti Endocrini e/o peggio tra le sostanze cancerogene) o nel calcolare i possibili rischi infettivi (le NMP fanno da vettore raccolgono e proteggono batteri, virus e altri microrganismi nel proprio vagabondare attraverso gli ecosistemi in un viaggio senza fine per centinaia o addirittura migliaia di anni).

Questo articolo analizza due recenti review: "Nano e microplastiche: una revisione completa delle loro vie di esposizione, traslocazione e destino nell'uomo"² e "Una revisione degli effetti di interferenza endocrina delle micro e nano-plastiche e delle sostanze chimiche associate nei mammiferi"³ e vari articoli, in particolare: "Inquinanti aerotrasportati recentemente emergenti: conoscenza attuale dell'impatto sulla salute di micro e nano-plastiche"⁴, "Micro(nano) plastics pollution and human health: How plastics can induce carcinogenesis to humans?"⁵ e "Nanomateriali e nanoparticelle: fonti e tossicità"⁶.

Nella prima review vengono descritte le tre principali vie di ingresso nel nostro organismo dei parlamenta-

ri, la possibile loro traslocazione in organi e tessuti ed il loro destino; viene sottolineato come le dimensioni siano un indice fondamentale di pericolosità: più sono piccoli i parlamentari più ne aumenta la concentrazione nell'ambiente e quindi il rischio che possono arrivare a superare le membrane cellulari raggiungendo qualunque organo o tessuto del corpo umano.

L'articolo di Facciola⁴ sottolinea invece, come le nano-plastiche presentino un numero di atomi di superficie per unità di massa molto elevato, ovvero il cosiddetto "effetto di confinamento quantistico" che crea una disponibilità di area di superficie maggiore per le reazioni chimiche.

La potenziale tossicità delle NMP si può espletare in modo indiretto innescando lo stress ossidativo e l'infiammazione o in modo diretto attraverso l'interferenza con il sistema immunitario⁷ ed in particolare attraverso i macrofagi: sappiamo che a livello polmonare è stato descritto il cosiddetto "paradigma del sovraccarico", ovvero che si può innescare un processo infiammatorio cronico quando il carico di particelle, giunto attraverso l'aria, supera il 6% del volume dei macrofagi del polmone stesso; questo vale anche per le MNP sospese nell'aria.

Un altro elemento della complessità dell'azione dei parlamentari è dovuto al rivestimento con una ecocorona in superficie, capace di facilitare l'assorbimento attraverso le membrane cellulari⁸ e/o permettere il trasporto di microrganismi patogeni⁹.

Analizziamo nello specifico le tre vie di esposizione: cutanea, gastrointestinale, ed aerea.

La prima, quella cutanea, difficilmente può essere attraversata perché le giunzioni cellulari del tegumento rappresentano un continuum a cute integra.

Moltissimi prodotti usati per la cura della persona contengono parlamentari e vengono a contatto con la cute e le mucose: dentifrici, scrub, ombretti, glitter, etc.

Queste NMP sono definite primarie perché prodotte nelle dimensioni in cui li ritroviamo nell'ambiente a differenza delle secondarie le cui dimensioni sono dovute all'azione di fattori fisici o meccanici ambientali.

Le giunture intercellulari serrate e lo strato corneo pluristratificato idrorepellente della pelle costituiscono una struttura assolutamente impermeabile, pur tuttavia esistono delle vie di passaggio come il percorso transappendiceo attraverso i follicoli piliferi, i dotti escretori delle ghiandole sebacee e sudoripare, che in qualche modo interrompono la continuità del tegumento consentendo a particelle di peso molecolare adeguato di attraversare la pelle.

Alcuni ricercatori sostengono che particelle oltre i 500 Dalton di diametro in nessun caso possono essere assorbiti attraverso la cute.

La congiuntiva è un altro rivestimento ben più facilmente attraversabile dai parlamentari: in questo caso il contatto avviene attraverso l'applicazione di cosmetici, lenti a contatto¹⁰ e aria.

Tra le possibili fonti di contaminazione dei rivestimenti dobbiamo ricordare i preservativi¹¹ che oltre al lattice possono contenere poliuretani o elastomeri, e i prodotti

mestruali¹² che vengono a diretto contatto con le pareti vaginali e si sono dimostrati in grado di rilasciare fibre durante i test in vitro (questi prodotti rappresentano una fonte di inquinamento da plastica ulteriore per la modalità con cui vengono smaltiti: direttamente nelle toilette).

La carica elettrica di superficie delle MNP può condizionare il passaggio attraverso il rivestimento cutaneo; in laboratorio si è visto che parlamentari con cariche negative di superficie riescono a penetrare più facilmente¹³.

Per riassumere possiamo dire che nano-particelle di dimensioni fino a 4 nm passano facilmente la barriera cutanea, particelle tra 4-40 nm possono passare sia che la barriera cutanea sia sana o danneggiata oltre i 45 nm non possono passare a barriera cutanea intatta, tuttavia nessuno studio attualmente ha dimostrato in vivo il passaggio di NMP attraverso la cute.

La seconda via da prendere in considerazione è quella gastro-intestinale. Il contatto può avvenire con alimenti contaminati: sono state trovate tracce di microplastiche nel sale marino, birra, mitili, crostacei¹⁴ e persino nel latte materno.

Uno studio pilota Olandese del 2022 condotto dal dott. I. van der Veen e collaboratori ha dimostrato la presenza di microplastiche nelle carni sia bovine che suine e nel sangue degli animali da allevamento così come nell'analisi del sangue di volontari sani.

Per dare un'idea di quanto possa essere diffusa l'ingestione di plastica, il prof. Schwabl e colleghi della Medical University di Vienna hanno radunato otto volontari che provenivano da tutto il mondo (Giappone, Russia, Olanda, Regno Unito, Italia, Polonia, Finlandia e Austria) disposti a tenere un diario alimentare per una settimana e successivamente a consegnare un campione di feci per l'analisi. I loro diari alimentari hanno mostrato che chiunque era stato esposto alla plastica tramite incarti dei cibi, bottiglie, etc.; nessuno era vegetariano e 6 su 8 consumavano nella loro dieta pesce d'oceano.

Ancora più evidente appare il rischio a cui siamo esposti se pensiamo all'acqua come alimento: essa è indispensabile per la nostra sopravvivenza.

L'OMS nel 2017 ha indicato le linee guida per la qualità delle acque potabili senza prendere in considerazione NP e MP, tuttavia nel 2019 nel rapporto sulle MP nelle acque potabili la stessa OMS ha evidenziato che queste particelle devono essere efficacemente rimosse dalle fonti di acqua potabile, sottolineando comunque di non distogliere l'attenzione dal rischio microbiologico legato direttamente alla presenza di NMP.

Si tratta di un problema di difficile soluzione perché i mezzi a nostra disposizione non sono adeguati ad intercettare e rimuovere efficacemente le particelle di dimensioni tra 5 nm e 1 micron e la rimozione delle particelle di diametro inferiore ai 50 micron nelle acque potabili varia dal 25% al 90%.

Se consideriamo il possibile apporto di parlamentari attraverso l'acqua imbottigliata in plastica i livelli sono certamente maggiori rispetto a quella imbottigliata in vetro o trasportata attraverso gli acquedotti, come di-

mostrato da uno studio che ha confrontato la concentrazione di NP nella stessa acqua potabile se imbottigliata in plastica o vetro.

I processi di produzione, gli imballaggi o lo stress di apertura e chiusura del tappo possono modificare il contenuto in NP e MP dell'acqua che beviamo.

Il ritrovamento in birra, vino ed altre bevande, oltre che nell'acqua di parlamentari di dimensioni al di sotto dei 5 micron pone altresì il problema della traslocazione degli stessi nel torrente circolatorio attraverso le membrane cellulari perché, è superfluo ricordarlo, suddette dimensioni potrebbero consentire un passaggio diretto attraverso il torrente circolatorio o linfatico.

Si calcola che ognuno di noi in media può arrivare ad ingerire fino a $4,7 \times 10^3$ parlamentari ogni anno¹⁵ e l'acqua contribuisce sia in modo diretto che attraverso la preparazione di altri alimenti.

In Italia sono stati condotti due studi: uno dall'Istituto Mario Negri con l'Università di Milano sulle acque profonde di 3 città Milano, Brescia e Torino in relazione alla presenza di microplastiche nell'acqua utilizzata dagli acquedotti di queste città, le cui conclusioni appaiono rassicuranti; e l'altro condotto dai ricercatori dell'Università Statale di Milano con l'Università Bicocca di Milano sui ghiacciai della Valtellina con un ritrovamento medio di 74,4 microplastiche per Kg di ghiaccio che conferma quanto rilevato da altri ricercatori ad esempio sull'Everest.

Passando ad analizzare alimenti di largo consumo come pesce, uova, carne, latte e cereali, essi rappresentano senza dubbio altrettante fonti di possibile contaminazione da parlamentari. Circa il 19% della popolazione mondiale usa i frutti di mare o il pesce come origine primaria delle proteine nella propria dieta. Le attività aliutiche sono aumentate in modo evidente negli ultimi decenni, così come l'acquacoltura per soddisfare i fabbisogni alimentari della popolazione mondiale. In tutte le specie marine utilizzate per l'alimentazione umana sono state riscontrate concentrazioni variabili di parlamentari, in particolare più alte se si consumano gli animali interi, comprese le viscere, pertanto questa abitudine comporta un rischio maggiore di ingerire plastica¹⁶.

Le MP trovate negli alimenti di derivazione ittica vanno dall'acetato di cellulosa, al cellophane, all'etilene vinilacetato, alla poliacrilammide, al polietilene, al propilene, al poliuretano, al polietilene tereftalato.

Nella nostra alimentazione oltre a questa che viene definita "Carne Blu" utilizziamo altri tipi di carne come ad esempio quelle bianche, il cui consumo è aumentato negli ultimi 60 anni superando addirittura la carne bovina. Gli studi condotti su vari tipi di carne hanno evidenziato che la contaminazione deriva per lo più dagli imballaggi, anche se di recente maggiori segnalazioni vengono da vari paesi circa la presenza di MNP nel sangue degli animali da allevamento.

Per quanto riguarda latte e latticini, alimenti largamente utilizzati in ogni area geografica e a tutte le età, gli studi indicano una maggiore concentrazione di MNP nei prodotti di derivazione dalla lavorazione del latte¹⁷ e

quindi il maggiore rischio verrebbe dal consumare questi cibi.

Secondo la FAO i cereali rappresentano i componenti essenziali della dieta umana. Il 41% della produzione viene impiegato direttamente nell'alimentazione della popolazione mondiale, il 45% nell'alimentazione degli animali da allevamento e la restante parte come componente nella produzione industriale di birra, biocarburanti. Costituiscono il 55-70% della dieta dei paesi in via di sviluppo e questo significa che il rischio in questi paesi aumenta sia per la contaminazione diretta attraverso del suolo, sia per le modalità di coltivazione (spesso i fanghi usati come fertilizzanti o l'irrigazione possono essere la causa di contaminazione delle colture con NP e MP).

Nonostante l'uso così importante dei cereali nella alimentazione umana pochi studi si sono occupati di valutarne la contaminazione; tra questi uno riguarda il riso precotto, in cui è stato dimostrato che è proprio il tipo lavorazione industriale responsabile della concentrazione quattro volte superiore di parlamentari rispetto al riso non precotto (in cui si può ridurre ulteriormente il rischio lavandolo prima della cottura)¹⁸.

Frutta e verdura sono sicuramente poco studiati: i livelli di contaminazione nei prodotti italiani sono molto variabili e sembrano maggiori nella frutta.

Diversi studi condotti dal 2013 al 2021 hanno individuato tracce di fibre di plastica nel miele, nello zucchero, nel sale e nelle bustine di tè commerciale.

Possiamo affermare che il rischio di contaminazione negli alimenti è accresciuto dal packaging, dalla contaminazione dei suoli agricoli con fanghi fertilizzanti o acque contaminate, ma soprattutto dalla lavorazione industriale.

L'ultima via di possibile ingresso dei parlamentari è quella aerea, finora la meno considerata, ma che si è rivelata essere significativamente più pericolosa alla luce di recenti studi scientifici¹⁹.

L'esposizione alle MP disperse nell'aria dipende dalla presenza e distribuzione delle loro fonti: l'usura delle fibre tessili sintetiche e degli pneumatici di gomma che ad esempio sono alla base dell'abbondante presenza nelle polveri cittadine²⁰.

Altre fonti secondarie potrebbero essere rappresentate da imbottiti e mobili per la casa, edifici, inceneritori, discariche²¹, emissioni industriali, usura dei componenti dei veicoli e materiali utilizzati in agricoltura. Gli indumenti sintetici sembrano essere una delle principali fonti di MP trasportati dall'aria, rappresentando una quantità importante dell'esposizione umana indoor e outdoor: ogni capo di abbigliamento potrebbe essere responsabile del rilascio di circa 1900 fibre per lavaggio²².

Un recente lavoro ha calcolato la deposizione umida e secca di MP nel bacino del fiume Weser che è risultata pari a 232 tonnellate, ma le concentrazioni misurate in ambienti chiusi sembrano indicare valori addirittura maggiori.

Altri studi che raffrontano le concentrazioni di parla-

mentari nell'aria indoor ed outdoor concordano che queste possono variare da 232 a 500 MP per m³ in outdoor, ma raggiungere valori nettamente superiori in ambienti indoor, anche di 2-5 volte²³. Questa maggiore concentrazione potrebbe essere correlata ad una elevata presenza di oggetti realizzati con materiale plastico negli ambienti chiusi: pavimenti, indumenti sintetici, tessuti e mobili.

Se consideriamo poi che EPA ed OMS calcolano che i cittadini europei trascorrono circa il 90% del loro tempo in ambienti chiusi c'è di che preoccuparsi.

E' molto probabile che le particelle fini e ultrafini di plastica possano essere assorbite quindi non solo mangiando cibo contaminato, ma anche parlando o camminando per strada⁷.

Quando parliamo di vie aeree dobbiamo distinguere i possibili danni prima di tutto in considerazione delle dimensioni dei parlamentari, perché a seconda delle stesse possono essere intercettati e fermati nelle alte vie aeree o arrivare fino agli alveoli.

Gli studi condotti sul particolato atmosferico PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{0,1} hanno dimostrato che per dimensioni l'ultra-particolato è in grado di arrivare nel torrente circolatorio e raggiungere qualunque organo e tessuto attraversando la membrana alveolare, ne consegue che anche le nano-plastiche quindi potrebbero facilmente traslocare giungendo nel torrente circolatorio.

Negli studi condotti sulle particelle aero-disperse sono state evidenziate numerose difficoltà nella raccolta dei dati o la mancanza di un metodo standardizzato per l'analisi delle NMP in matrici ambientali. I modelli utilizzati in laboratorio sono difficilmente validabili perché ad esempio si utilizzano negli esperimenti sfere di polistirene con superficie liscia ed uniforme molto diverse dalla reale struttura superficiale dei parlamentari, che presentano una eco-corona, una irregolarità dovuta a processi di invecchiamento per esposizione agli UV e cariche elettriche superficiali. Sarebbero proprio queste caratteristiche a giocare un ruolo importante nella interazione con le cellule degli organismi viventi

Tra le prime difficoltà segnalate vi è proprio la misurazione dei parlamentari in aria. Sono stati utilizzati infatti a questo scopo sia la filtrazione dell'aria, che i manichini respiratori che la raccolta della polvere depositata in un ambiente chiuso. Fatte queste debite premesse tuttavia gli studiosi sono giunti a calcolare che ciascuno di noi può arrivare ad inalare più di 48.000 MP al giorno.

Le NMP più rappresentate nell'aria interna sono: poliammide, poliacrilonitrile, polietilene, polietilente-reftalato, polipropilene, polivinile. Le loro dimensioni sono inferiori ai 30 micron²⁴ e probabilmente rappresentano i 2/3 delle particelle aero-disperse perché precipitano più lentamente al suolo, restando sospese per un tempo più lungo.

Mancano al momento dati circa l'esposizione indoor a parlamentari di dimensioni inferiori ai 5 micron.

I fattori che possono influenzare la dispersione delle NMP nell'aria sono: il Gradiente Verticale, ovvero una maggiore concentrazione di inquinamento in prossimità

del suolo; la Velocità del Vento, ovvero la concentrazione diminuisce se aumenta la ventilazione; la Direzione del Vento; la Temperatura, ovvero a temperature più basse aumenta la concentrazione di particelle nell'aria. Il danno alla salute è altresì attribuibile anche a differenze individuali di metabolismo e suscettibilità che possono causare reazioni bronchiali immediate (simili all'asma), fibrosi interstiziale diffusa e granulomi con inclusione di fibre (alveolite allergica estrinseca, polmonite cronica), reazione infiammatoria e alterazioni fibrotiche nel tessuto bronchiale e peribronchiale (bronchite cronica), lesioni del setto inter-alveolare (enfisema polmonare).

Alcuni ambienti presentano un rischio di esposizione a MNP, per degrado meccanico, molto elevato, ad esempio laddove si usano stampanti 3D o vernici spray. Le stampanti 3D rilasceranno nell'aria NMP tra i $2,0 \times 10^{10}$ e i $1,9 \times 10^{11(25)}$ e si tratterebbe principalmente di filamenti di PLA e ABS.

Sono numeri preoccupanti, senza dimenticare che anche le stampanti laser, già ampiamente diffuse oltre che negli uffici e anche nelle abitazioni rilasciano nano-particelle di plastica, sia pure in misura minore.

A fronte di questi dati è scarsa l'attenzione alle emissioni delle NMP nei luoghi di lavoro. Mancano dati di riferimento a soglie di sicurezza e leggi o disposizioni a tutela dei lavoratori. Alcuni studi hanno cercato di confrontare le concentrazioni di diverse particelle aerotrasportate costituite da polimeri di nylon (poliestere, poliuretano, poliolefine, acrilici) con malattie professionali e persino con l'aumentata incidenza di cancro del polmone.

È stato evidenziato un nesso causale con l'esposizione ai monomeri di cloruro di vinile usato per la produzione di PVC e il danno del DNA dei linfociti nei lavoratori, con una malattia interstiziale polmonare dei lavoratori dell'industria tessile del nylon dovuta alla sospensione in aria di particolari fibre; con lesioni simili a quelle riscontrate nel "polmone del lavoratore del gregge", nell'industria tessile sintetica cosiddetta "floccata", che produce velluti o tessuti felpati, in cui le fibre di nylon vengono polverizzate durante il taglio, restano disperse negli ambienti di lavoro e inalate dai lavoratori. L'esposizione a particelle di PVC, inoltre, è stata correlata ad un rischio aumentato di cancro del polmone²⁶.

Viene da domandarsi se ci sono e quali siano i meccanismi di difesa che possono impedire ai parlamentari di penetrare ed interagire con le cellule di organi e tessuti danneggiandoli.

Nel tratto GI il muco prodotto dagli enterociti, rappresenta un vero e proprio filtro che lascia passare i nutrienti, ma blocca gli agenti patogeni ed i microrganismi, inoltre contribuisce al mantenimento dell'omeostasi del microbiota intestinale, altro elemento importante di difesa.

Le NMP, nei topi da laboratorio, sono in grado di provocare disbiosi, che a sua volta può determinare una variazione del muco esponendo la mucosa all'aggressione di patogeni o tossici esterni.

Gli alimenti, per la presenza di MP, potrebbero agire al-

terando la composizione della flora batterica intestinale, permettendo la formazione di un biofilm protettivo per specie microbiche dannose per l'intestino stesso e aprendo la strada al danno mucosale.

Il nostro microbiota a causa dei contenuti in parlamentari degli alimenti è costantemente sotto attacco!

Le MP possono attraversare la parete intestinale con un processo di endocitosi o per via trans-cellulare (le cellule calciformi di fatto interrompono le giunzioni strette tra le cellule creando un locus minoris resistentiae), tuttavia sotto la mucosa è presente una lamina propria che grazie ai linfociti B, macrofagi, cellule dendritiche e un tessuto linfatico particolarmente abbondante ostacola il passaggio delle NMP verso il torrente linfatico e/o circolatorio.

Alcuni recenti studi hanno analizzato più attentamente l'azione del sistema immunitario intestinale ed hanno ipotizzato che potrebbero essere proprio i macrofagi, fagocitando le NMP che non riescono poi a processare, alla base di una risposta infiammatoria cronica rilasciando citochine e mediatori chimici che richiamano sempre nuove cellule infiammatorie; o trasportando essi stessi i parlamentari inglobati attraverso il torrente linfatico verso altri organi e tessuti.

Questo processo non è stato ancora dimostrato nell'uomo, ma solo in vitro così come è stata dimostrata in vitro la presenza sui parlamentari di una eco-corona in grado di potenziare la risposta immunitaria⁸ e la capacità delle NMP di innescare una risposta infiammatoria nelle cellule epiteliali.

Attualmente pochi lavori scientifici documentano con certezza la presenza di NMP nelle vie aeree degli esseri umani, benché risalga a più di venti anni fa uno studio su campioni biotici di tessuto polmonare umano che segnalava nell'87% degli stessi, la presenza di fibre plastiche non meglio identificate.

Recentemente analizzando gli espettorati di 22 volontari è stato dimostrato che particelle fino 500 micron si possono depositarsi nel polmone umano.

Un meccanismo di difesa delle vie aeree è rappresentato dalle cellule calciformi, che producono muco, questo insieme al battito delle cellule ciliate può inglobare e trasportare verso l'esterno il particolato che entra con l'aria.

Nella ricerca di possibili contaminazioni con parlamentari si sono analizzati anche la placenta umana²⁷, i campioni biotici di colon umano (risultati contaminati nel 96%) e i campioni di feci umane: in tutti questi è stata riscontrata presenza di NMP.

■ Nano e microplastiche: interfrenti endocrini

Gli additivi utilizzati dalle industrie nel processo di fabbricazione dei vari tipi di plastica sono più di 10.000 e di questi 2400 sostanze chimiche sono classificate come dannose per il biota marino e terrestre. Comprendono sostanze quali plastificanti, antiossidanti, ritardanti di fiamma, diossine, stabilizzanti UV, coloranti metalli pe-

santi.

1000 sostanze chimiche sono classificate come EDC (Endocrine Disrupting Chemicals) di cui circa 140 sono accertate quali pericolose per la nostra salute.

La ENDOCRINE SOCIETY ribadisce che gli additivi delle plastiche sono in grado di causare alterazioni del sistema endocrino e sono correlabili a malattie quali il cancro, diabete, disordini del sistema riproduttivo o metabolici e danni del SNC in feti e bambini

Questi additivi possono essere rilasciati in diversi momenti della vita di un oggetto in plastica: produzione, contatto o smaltimento e sono capaci di accumularsi in vari organi e tessuti attraverso il cosiddetto processo di bio-accumulo e magnificazione, accelerando il rischio di estinzione di molte specie marine: attualmente circa 3876 specie acquatiche risultano minacciate e si prevede che entro il 2050 lo saranno il 99% degli uccelli acquatici.

Nei mammiferi questi additivi a causa dell'effetto "cavallo di Troia" potrebbero prendere parte a processi biochimici cellulari, interagire con l'asse ipotalamo - ipofisi - tiroide - surrene - gonadi, alterandone completamente il funzionamento, oppure potrebbero comportarsi come vere e proprie sostanze cancerogene.

Una delle ghiandole bersaglio è senza dubbio la tiroide, fondamentale in tanti processi di sviluppo e maturazione di organi ed apparati, non ultimo il SNC.

PBDE, BPA e Ftalati sono in grado nei topi da laboratorio di inibire l'attacco del T3 al suo recettore o di sopprimere l'attività trascrizionale delle cellule bersaglio degli ormoni tiroidei²⁸.

L'esposizione in età pediatrica agli ftalati può provocare anomalie dello sviluppo ed iperattività della ghiandola stessa.

Molti disturbatori endocrini tiroidei (TDC), usati nelle plastiche, si legano alle proteine trasportatrici degli ormoni tiroidei per raggiungere il SNC oltre che ai recettori stessi nella ghiandola tiroide.

I ritardanti di fiamma sulle topine gravide provocano alterazione di detti ormoni ed aumento del rischio di obesità, pubertà precoce, insulino-resistenza nella prole.

Altro bersaglio degli additivi delle MP è tessuto gonadico di cui possono alterare fisiologia e morfologia: nel sesso maschile riducono i livelli di testosterone e la qualità dello sperma oltre a determinare una infiammazione persistente dei tessuti testicolari e sarebbero pertanto alla base dell'infertilità maschile attraverso l'aumento del tasso di divisione cellulare e dell'alterato consumo di O₂ nei mitocondri degli spermatozoi.

Gli ftalati in particolare sono in grado di ridurre il numero e la vitalità degli spermatozoi attraversando la barriera emato-testicolare, andando ad accumularsi e danneggiando le cellule del Sertoli.

Le MP possono interrompere l'asse HPG, ritardando la maturazione gonadica ed ostacolando la maturazione sessuale²⁹.

Il DEHP, riconosciuto quale disturbatore endocrino, come altri esteri degli ftalati si comporta da anti-androgeno, induce anche una pubertà precoce nei topi per

effetto di una sovra-regolazione di un fattore di crescita simile al IGF-1 ed uno stress ossidativo nel tessuto testicolare.

Le MP contenenti polistirene possono causare apoptosi e morte degli spermatozoi

E' noto da tempo inoltre che il DDT espleta un effetto transgenerazionale su epigenoma e trascrittoma³⁰, attraverso il danno testicolare di cui è responsabile.

L'azione sul sesso femminile può comportare invece una alterazione della crescita dei follicoli e una riduzione dell'ormone anti-Mulleriano e dell'estradiolo con conseguenti cicli irregolari.

Le MP quali disturbatori endocrini (EDC) possono essere correlati anche nelle femmine a infertilità, pubertà precoce, tumori a base ormonale, disturbi metabolici, interruzione della steroidogenesi e sindrome dell'ovaio policistico³¹

Cadmio, arsenico, rame e piombo, anch'essi additivi della plastica, in gravidanza passano dalla madre al feto attraverso la barriera placentare e causano alterazioni neurologiche.

Se consideriamo il SNC, sia BPA che BPS riducono il numero di neuroni ipotalamici ed interrompono la trasmissione neuroendocrina. Nei topi esposti BPA c'è stata attivazione degli astrociti ed incremento della attività infiammatoria mediata dal recettore toll-like (TLR4), fondamentale per innescare la risposta infiammatoria.

Ftalati, esteri dell'acido ftalico e bisfenolo A sono sostanze cancerogene, ma sono stati correlati anche a malattie respiratorie in particolare nei bambini.

I PBDE come ritardanti di fiamma modificano la metilazione del DNA degli spermatozoi alterando così la spermatogenesi con un effetto trans-generazionale, così come negli gli ovociti lo stesso effetto epigenetico sembra correlato alla presenza di polistirene, capace di interferisce con le proteine plasmatiche connesse agli stessi.

Per quanto concerne gli effetti delle NMP sulla ghiandola surrenalica quelli maggiormente studiati sono dovuti al DDT, capace di provocare degenerazione della corteccia surrenalica, atrofia cellulare sia della corteccia che della midollare; seguono i danni causati dai metalli pesanti, come Cadmio, Mercurio, Cobalto e Rame che danneggiano la ghiandola riducendo la resistenza allo stress, provocando ipertensione e sindromi metaboliche.

Anche se la maggior parte degli studi citati riguarda animali da laboratorio e poco si conosce degli effetti delle MP sui mammiferi, il problema degli effetti endocrini da contaminazione con NMP è di crescente interesse e servono approfondimenti sulle dinamiche ed i meccanismi d'azione per l'enorme impatto che potrebbero avere sulla salute.

La preoccupazione aumenta quando ad essere esposti sono i bambini perchè si tratta di organismi in rapido sviluppo e l'amplificazione del danno è tanto maggiore quanto più precoce avviene il contatto.

Muovendosi in questa prospettiva è stato condotto in Italia uno studio sulla presenza di MP nel tessuto placentare.

La placenta rappresenta l'interfaccia tra il feto e l'ambiente. Embrioni e feti devono continuamente adattarsi all'ambiente materno e, indirettamente, a quello esterno, attraverso una serie di risposte complesse. Una parte importante di questa serie di risposte consiste nella capacità di differenziare self e non self²⁷, meccanismo che può essere perturbato dalla presenza di MP.

Il prof. Bernasconi nel commentare questi risultati ha sottolineato come sono davvero pochi gli studi centrati sui bambini, i cui risultati sono pertanto sempre da valutarsi alla luce di un numero esiguo di campioni, ma proprio in età pediatrica esiste la necessità di risultati robusti dal punto di vista scientifico per l'aumento esponenziale in pochissimi decenni, non spiegabile solo con cause genetiche, di disturbi del neurosviluppo: autismo, iper-reattività, learning disorders.

E' impossibile non fare una rapida riflessione, avviandoci alle conclusioni, su quanto hanno inquinato in termini di plastica i dispositivi personali ed in particolare le mascherine usate in questi anni di pandemia.

A nessuno di noi è sfuggita la presenza per le strade dei DPI non correttamente smaltiti.

A causa della loro struttura fibrosa, le mascherine usa e getta in polipropilene non tessuto (PP) a strati, rilasciano frammenti secondari di NMP a una velocità molto più elevata rispetto ad altri tipi di rifiuti in plastica come scatole o sacchetti, per effetto del calore o della radiazione solare³². Rappresentando così una nuova forma di pericolo ecologico.

Nell'attuale pandemia, circa 129 miliardi di mascherine facciali monouso sono state scartate mensilmente in tutto il mondo⁷, pari a 645.000 tonnellate di rifiuti di PP. Di questi almeno 4 milioni di tonnellate sono trattati in modo improprio e rilasciati nell'ambiente durante la pandemia. Le microfibre dei DPI frammentate persistono nell'ambiente e richiederebbero fino a 450 anni per essere degradate.

Anche per i DPI si pone dunque l'enorme problema dello smaltimento, come per tutti i rifiuti plastici.

I diversi metodi proposti: riciclo, combustione, pirolisi, smaltimento in discarica quali trattamenti sostenibili dovrebbero essere basati in primo luogo su una corretta gestione dei rifiuti: uso ridotto e riciclo.

L'incenerimento della plastica emette una grande quantità di gas serra (CO₂, NO_x), contribuendo al cambiamento climatico attraverso la sua enorme impronta di carbonio, ma espone anche gli organismi umani e gli ecosistemi naturali a sostanze tossiche liberate durante tali processi. La verità è che bisogna produrre meno plastica, consumarne meno cominciando con l'eliminare quella inutile.

■ Conclusioni

In tutti gli articoli presi in considerazione, pur avendo una chiara validità scientifica, gli autori sottolineano la necessità di un maggiore impegno della ricerca per giungere a dati incontrovertibili e per comprendere il reale rischio per la salute umana dall'esposizione indi-

viduando meccanismi ed rapporto causa-effetto⁷, soprattutto perché la maggior parte non valuta l'impatto della plastica direttamente sulla salute umana, ma attraverso l'osservazione dei danni prodotti sulle forme di vita e sugli ecosistemi esposti.

E' altresì corretto ribadire che attualmente non esiste una legislazione per le microplastiche e le nano-plastiche come contaminanti negli alimenti. E che le lacune nei dati relativi all'esposizione e alla tossicità di tali particelle ostacolano la valutazione del rischio³⁴.

In conclusione richiamando quanto affermato dalla dott.ssa F. Tommasi del Dipartimento Ambiente e Salute dell'ISS la percezione del pericolo "inquinamento da microplastiche" ha preceduto la constatazione di un effetto sulla salute umana. Le plastiche sono un azzardo per la salute a causa della tossicità dei diversi componenti chimici e della costante presenza nel nostro quotidiano. Uno dei problemi più gravi è l'effetto cocktail, ogni giorno siamo esposti ed entriamo in contatto con decine di questi composti la cui combinazione potrebbe avere effetti sconosciuti determinando ad esempio il raggiungimento di un valore soglia tossico molto prima di quanto sia prevedibile.

Dobbiamo segnalare tra i dati positivi che la UE (Unione Europea, 2020) ha stabilito entro il 12 gennaio 2024 l'adozione di una metodologia per misurare le microplastiche con la finalità di includerle nella lista di osservazione e che grazie all'accordo di Nairobi del 7 marzo 2022 è stato sancito l'istituzione di un comitato di negoziazione intergovernativo che svilupperà uno strumento internazionale giuridicamente vincolante sull'inquinamento da plastica entro il 2024.

Sarebbe auspicabile valutare i valori soglia di esposizione, applicando il più possibile il principio di precauzione e vigilando affinché le sostanze già riconosciute come interferenti endocrini ed utilizzate nella produzione della plastica vengano drasticamente ridotte o eliminate dai processi produttivi.

Con qualunque formula chimica decliniamo il temine plastica, dal PET al POLIESTERE, ne siamo circondati e risulta difficile pensare di farne a meno purtroppo!

Fino ad ora abbiamo disperso la plastica nell'ambiente senza curarci a sufficienza di smaltirla, abbandonandola incautamente, convinti che il senso di praticità e convenienza di questo materiale andasse a braccetto con la sicurezza o almeno con la neutralità per le forme di vita che fanno parte degli ecosistemi terrestri e marini. La storia della plastica è un paradigma della nostra storia come società industriale occidentale e noi continuiamo a fare sacrifici sull'altare del Dio Consumo. Chiediamoci fino a quando!

Bibliografia

- 1) Plastics Europe Plastics—The Facts 2019. Un'analisi dei dati sulla produzione, domanda e rifiuti di plastica in Europa.
- 2) Anja FRMRamsperger nEnrico BergamaschibMarco Panizzolblvana Fenoglio caFrancesco Barbero caRuud PetersdAnna Undas mSebastian PurkereBernd GieseeCarina R. LalyereAlba TamagofM.Victoria MorenoArribasfHansPeter Grossart ghDana Kühneli Jana DietrichjFriedrich PaulsenjAnani K. AfanoukShan

- Zienolddiny-Naruik Martello di Stine EriksenTorunn Kringlen Ervikk...Cristiano LaforscC. Nano e microplastiche: una revisione completa delle loro vie di esposizione, traslocazione e destino nell'uomo. *Nanoimpatto* 24 novembre 2022; 29:100441.doi 10.1016/1 J. impact. 2022.
- 3) Sana Ullah 1, Shahid Ahmed 2, Xinlé Guo 3, Saleem Ullah 1, Sana Ullah 4, Gulam Nabi 5, Kunyuan Wanghe 6 Una revisione degli effetti di interferenza endocrina della micro e nanoplastica e delle sostanze chimiche associate nei mammiferi. 16 gennaio 2023; 13:1084236. doi: 10.3389/fendo.2022.1084236. e Collezione 2022.
 - 4) A. Facciola, G. Visalli, MP Ciarello, A. Di Pietro Inquinanti atmosferici di nuova comparsa: conoscenza attuale dell'impatto sulla salute delle micro e nanoplastiche *Int. J. Ambiente. Ris. Sanità pubblica*, 18 (2021), pp. 1 - 17, 10.3390/ijerph18062997
 - 5) Rakesh Kumar a, Camelia Manna b, Shaveta Padha c, Anurag Verma a, Prabhakar Sharma a, Anjali Dhar c, Ashok Ghosh d e, Prosun Bhattacharya f Micro(nano)plastics pollution and human health: How plastics can induce carcinogenesis to humans? *Chemosphere Volume* 298, July 2022, 134267
 - 6) Buzea, Il Pacheco, K. Robbie Nanomateriali e nanoparticelle: fonti e tossicità *Biointerfasi*, 2 (2007), 10.1116/1.2815690
 - 7) JC Prata, JP da Costa, I. Lopes, AC Duarte, T. Rocha-Santos Esposizione ambientale alle microplastiche: una panoramica sui possibili effetti sulla salute umana *Sci. Ambiente totale.*, 702 (2020), articolo 134455, 10.1016/j.scitotenv.2019.134455
 - 8) AFRM Ramsperger, VKB Narayana, W. Gross, J. Mohanraj, M. Thelakkat, A. Greiner, H. Schmalz, H. Kress, C. Laforsch L'esposizione ambientale migliora l'interiorizzazione delle particelle microplastiche nelle cellule *Sci. Adv.*, 6 (2020), pp. 1 - 10, 10.1126/sciadv.abd1211
 - 9) G. Gkoutselis, S. Rohrbach, J. Harjes, M. Obst, A. Brachmann, MA Horn, G. Rambold. Le microplastiche accumulano patogeni fungini negli ecosistemi terrestri *Sci. Rep.*, 11 (2021), pp. 1 - 13,
 - 10) K. Burgener, MS Bhamla Una tecnica a base di polimeri per rimuovere gli inquinanti dalle lenti a contatto morbide Lente a contatto Occhio anteriore, 44 (2021), 10.1016/j.clae.2020.05.004
 - 11) MF Gallo, DA Grimes, LM Lopez, KF Schulz. Preservativi maschili non in lattice rispetto a quelli in lattice per la contraccezione *Cochrane Database Syst. Rev.* (2006), 10.1002/14651858.cd003550.pub2
 - 12) LP Munoz, AG Baez, D. Purchase, H. Jones, H. Garelick Rilascio di fibre microplastiche e frammentazione in miliardi di nanoplastiche da prodotti d'epoca: valutazione preliminare delle potenziali implicazioni per la salute *Dintorni. Sci. Nano*, 9 (2022), pp. 606 - 620, 10.1039/D1EN00755F
 - 13) AK Kohli, HO Alpar Uso potenziale di nanoparticelle per la somministrazione transcutanea del vaccino: effetto della dimensione e della carica delle particelle *Int. J. Pharma.*, 275 (2004), pp. 13-17, 10.1016 / j.ijpharm.2003.10.038
 - 14) Comitato CONTAM dell'EFSA Dichiarazione sulla presenza di microplastiche e nanoplastiche negli alimenti, con particolare attenzione ai frutti di mare EFSA J., 14 (4501) (2016), pag. 30pp, 10.2903/j.efsa.2016.4501
 - 15) J. Zhang, L. Wang, K. Kannan Microplastiche nella polvere domestica di 12 paesi ed esposizione umana associata *Ambiente Internazionale*, 134 (2020), p. 105314, 10.1016/j.envint.2019.105314
 - 16) T. Zhang, Y. Sun, K. Song, W. Du, W. Huang, Z. Gu, Z. Feng Microplastiche in diversi tessuti di granchi selvatici in tre importanti zone di pesca in Cina *Chemosphere*, 271 (2021), articolo 129479, 10.1016/j.chemosphere.2020.129479
 - 17) PA Costa Filho, D. Andrey, B. Ericksen, R. Peixoto, BM Carreres, M. Ambühl, JB Descarrega, S. Dubascoux, P. Zbinden, A. Panchaud, E. Poitevin Rilevamento e caratterizzazione di microplastiche di piccole dimensioni ($\geq 4 \mu\text{m}$) nei prodotti lattiero-caseari (Pre-Proof) *Ris. mq.*, 1-19 (2021), 10.21203/rs.3.rs-257514/v1
 - 18) C. Dessì, ED Okoffo, JW O'Brien, M. Gallen, S. Samanipour, S. Kaserzon, C. Rauert, X. Wang, KV Thomas Contaminazione da plastica del riso acquistato in negozio *J. Rischio. Madre.*, 416 (2021), articolo 125778, 10.1016/j.jhazmat.2021.125778
 - 19) Catarino A.I., Macchia V., Sanderson W.G., Thompson R.C., Henry T.B. Low levels of microplastics (MP) in wild mussels indicate that MP ingestion by humans is minimal compared to exposure via household fibres fallout during a meal. *Environ. Pollut.* 2018;237:675-684. doi: 10.1016/j.envpol.2018.02.069.
 - 20) Yukioka S., Tanaka S., Nabetani Y., Suzuki Y., Ushijima T., Fujii S., Takada H., Van Tran Q., Singh S. Presenza e caratteristiche delle microplastiche nella polvere stradale a Kusatsu (Giappone), Da Nang (Vietnam) e Kathmandu (Nepal) *Environ. Inquinare.* 2020; 256 :113447. doi: 10.1016/j.envpol.2019.113447.
 - 21) Dris R., Gasperi J., Saad M., Mirande C., Tassin B. Fibre sintetiche nella ricaduta atmosferica: una fonte di microplastiche nell'ambiente? *Mar. Pollut. Toro.* 2016; 104 :290-293. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.01.006.
 - 22) Abbasi S., Keshavarzi B., Moore F., Turner A., Kelly FJ, Dominguez AO, Jaafarzadeh N. Distribuzione e potenziali impatti sulla salute di microplastiche e microgomme nell'aria e nelle polveri stradali della contea di Asaluyeh, Iran. *Dintorni. Inquinare.* 2019; 244 : 153-164. doi: 10.1016/j.envpol.2018.10.039.
 - 23) EPA Lo studio sulla metodologia di valutazione dell'esposizione totale (TEAM). (1987)
 - 24) Z. Liao, X. Ji, Y. Ma, B. Lv, W. Huang, X. Zhu Microplastiche trasportate dall'aria negli ambienti interni ed esterni di una città costiera della Cina orientale *J. Rischio. Madre.*, 417 (2021), articolo 126007, 10.1016/j.jhazmat.2021.126007
 - 25) B. Stephens, P. Azimi, Z. El Orch, T. Ramos Emissioni di particelle ultrafini dalle stampanti 3D desktop *Atmosfera. Dintorni.*, 79 (2013), pp. 334 - 339, 10.1016/j.atmosenv.2013.06.050
 - 26) Mastrangelo G., Fedeli U., Fadda E., Milan G., Turato A., Pavanello S. Lung cancer risk in workers exposed to poly(vinyl chloride) dust: A nested case-referent study. *Occup. Environ. Med.* 2003;60:423-428. doi: 10.1136/oem.60.6.423
 - 27) A. Ragusa, A. Svelato, C. Santacroce, P. Catalano, V. Notarstefano, O. Carnevali, F. Papa, MCA Rongioletti, F. Baiocco, S. Draghi, E. D'Amore, D. Rinaldo, M. Matta, E. Giorgini _ Placenta: prima evidenza di microplastiche nella placenta umana *Dintorni. Int.*, 146 (2021), articolo 106274, 10.1016/j.envint.2020.106274
 - 28) Moriyama K, Tagami T, Akamizu T, Usui T, Saijo M, Kanamoto N, et al.. L'azione dell'ormone tiroideo è interrotta dal bisfenolo a come antagonista . *J Clin Endocrinol Metab* (2002) 87 (11):5185-90. doi: 10.1210/jc.2002-020209
 - 29) Jun Wang a, Yuejiao Li a, Lin Lu b, Mingyi Zheng A, Xiaona Zhang a, Hua Tian a, Wei Wang A, Shaoguo Ru Le microplastiche di polistirene causano danni ai tessuti, interruzioni riproduttive specifiche del sesso ed effetti transgenerazionali nel medaka marino (*Oryzias melastigma*) *Inquinamento ambientale Volume* 254, parte B, novembre 2019, 113024
 - 30) Burgos-Aceves MA, Migliaccio V, Di Gregorio I, Paoletta G, Lepretti M, Faggio C, et al.. 1, 1, 1-tricloro-2, 2-bis (p-clorofenil)etano (DDT) e 1, 1-dicloro-2, 2-bis (p, p'-clorofenil) etilene (DDE) come interferenti endocrini nell'uomo e nella fauna selvatica: una possibile implicazione dei mitocondri . *Environ Toxicol Pharmacol* (2021) 87 :103684. doi: 10.1016/j.etap.2021.103684
 - 31) Konieczna A, Rutkowska A, Rachon D. Rischio per la salute dell'esposizione al bisfenolo a (Bpa) . *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny* (2015) 66 (1):5-5-Sci Total Environ (2018) 643 : 324-34. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.186
 - 32) Ma J., Chen F., Xu H., Jiang H., Liu J., Li P., Pan K. Maschere facciali come fonte di nanoplastiche e microplastiche nell'ambiente: quantificazione, caratterizzazione e potenziale di bioaccumulo. *Dintorni. Inquinare.* 2021; 288Case Stud. Chem. Environ. Eng. 2021;4
 - 34) German Federal Institute for Risk Assessment (BfR), Department of Food Safety, Unit Effect-based Analytics and Toxicogenomics Unit and Nanotoxicology Junior Research Group, Berlin, Germany, Sofiya Shopova, Holger Sieg and Albert Braeuning Risk assessment and toxicological research on micro- and nanoplastics after oral exposure via food products 26 novembre 2020;18(Supplemento 1):e181102. doi: 10.2903/j.efsa.2020.e181102 eCollection 2020 nov.