

SANITÀ

Mario Pezzella

Già docente professore associato di Medicina di Laboratorio,
Sapienza Università di Roma Policlinico Umberto I

Keywords:
rifiuti ospedalieri

Corresponding author:
Mario Pezzella
Email: mario.pezzella@fondazione.uniroma1.it

Contributions:
the author(s) made a substantial intellectual contribution,
read and approved the final version of the manuscript, and
agreed to be accountable for all aspects of the work.

Conflict of interest:
the author(s) declare no potential conflict of interest.

Ethics approval and consent to participate:
not applicable.

Patient consent for publication:
not applicable.

Funding:
none.

Availability of data and materials:
data and materials are available
from the corresponding author upon request.

Received: 15 June 2025

Accepted: 23 June 2025

INQUINAMENTO DA RIFIUTI OSPEDALIERI

ABSTRACT

Hospital environmental pollutants are recognized as one of the main concerns for public health and are responsible for various pathologies.

In particular, particulate matter, nanoparticles, and lipophilic vaporized toxins (acrolein) easily cross the blood-brain barrier, activate innate immune responses in astrocytes, microglia, and neurons, and exert neurotoxicity.

The Human Biomonitoring for Europe project (EHBM4EU, Horizon 2020 of 25/02/2020) harmonizes procedures and tools at the European level for the application of human biomonitoring to measure human exposure to chemical substances.

Hospital wastewater, hospital solid waste and a considerable amount of chemicals with significant concentrations of pharmaceutical compounds, such as diclofenac, a non-steroidal anti-inflammatory drug used as an anti-rheumatic and pain reliever, ciprofloxacin as well as naproxen and chlorophenols that represent a real threat to the environment and human health, in addition to spores, carbon particles, metals, pollen, silica, and liquid pollutants.

In particular, the harmful effects on human health of micro and nanoplastics, phthalates, and plasticizers are described.

RIASSUNTO

Gli inquinanti ambientali ospedalieri sono riconosciuti come una delle principali preoccupazioni per la salute pubblica e responsabili di varie patologie. In particolare il particolato, le nanoparticelle e il tossico lipofilo vaporizzato (acroleina) attraversano facilmente la barriera emato-encefalica, attivano le risposte immunitarie innate negli astrociti, nella microglia e nei neuroni ed esercitano neurotossicità.

Il progetto Human Biomonitoring for Europe (EHBM4EU, Horizon 2020 del 25/02/2020) armonizza a livello europeo procedure e strumenti per l'applicazione del biomonitoraggio umano per la misura dell'esposizione umana a sostanze chimiche. Le acque reflue ospedaliere, i rifiuti solidi ospedalieri, una quantità considerevole di sostanze chimiche con concentrazioni significative di composti farmaceutici, come diclofenac, farmaco anti-infiammatorio non steroideo utilizzato come antireumatico e come analgesico, la ciprofloxacin oltre al naprossene e clorofenoli che rappresentano una reale minaccia per l'ambiente e la salute umana, oltre alle spore, alle particelle carboniose, ai metalli, ai pollini, alla silice e gli inquinanti liquidi.

In particolare vengono descritti gli effetti dannosi alla salute umana delle micro e nano plastiche, degli ftalati e plastificanti.

Phthalates, used as plasticizers for their flexibility and moldability, make PVC, along with other materials, a soft and moldable plastic even at low temperatures, thus being widely used in various medical devices, such as respiratory masks, catheters, disposable gloves, blood transfusion bags, and for parenteral nutrition..

Gli ftalati, usati come agenti plastificanti per la loro flessibilità e modellabilità rendono, in unione al PVC, la plastica morbida e modellabile anche a bassa temperatura così da essere largamente utilizzati in diversi dispositivi medici, quali maschere respiratorie, cateteri, guanti monouso, sacche per emotrasfusioni e per la nutrizione parenterale.

Gli inquinanti ambientali sono riconosciuti come una delle principali preoccupazioni per la salute pubblica e responsabili di varie patologie comprese forme di disturbi neurologici. Tra i vari inquinanti ambientali, il particolato, le nanoparticelle e il tossico lipofilo vaporizzato (acroleina) attraversano facilmente la barriera emato-encefalica, attivano le risposte immunitarie innate negli astrociti, nella microglia e nei neuroni ed esercitano neurotossicità.

farmaceutici, principalmente costituiti da residui di farmaci oltre a sostanze chimiche organiche e inorganiche, agenti biologici patologici, sono ampiamente presenti nelle acque reflue ospedaliere in particolare quelle generate nelle sale autoptiche e nei reparti di malattie infettive, che richiedono un opportuno impianto di trattamento di depurazione prima dell'immissione in fognatura non essendo idonee all'uso diretto ⁽²⁾.

ACQUE REFLUE OSPEDALIERE

I contaminanti farmaceutici sono una fonte significativa di inquinamento ambientale, poiché nelle acque reflue ospedaliere sono stati rilevati prodotti nocivi per la salute umana ad alte concentrazioni. Gli ospedali sono collegati a un sistema fognario comunale non sempre idoneo a gestire le acque reflue in cui possono essere agenti patogeni come virus e batteri, residui di farmaci, antibiotici, ormoni, feci, urina, prodotti per l'igiene personale e metalli pesanti. Nelle strutture sanitarie sono attivati sistemi che consentono di disinfettare le acque reflue prima di immetterle nell'ambiente o in fognatura.

Particolare attenzione è rivolta all'inquinamento ospedaliero poiché gli esseri umani sono esposti a complesse miscele chimiche e la stima degli effetti sulla salute delle esposizioni a più inquinanti è di fondamentale importanza nell'epidemiologia ambientale.

Il progetto Human Biomonitoring for Europe ⁽¹⁾ (EHBM4EU, Horizon 2020 del 25/02/2020) ha lo scopo di armonizzare a livello europeo procedure e strumenti per l'applicazione del biomonitoraggio umano, lo strumento più efficace per la misura dell'esposizione umana a sostanze chimiche.

L'assistenza sanitaria contribuisce in modo significativo allo inquinamento poiché contaminanti

L'Istituto Superiore di Sanità di Roma per prevenire il rischio d'insorgenza di malattie dovute a fattori ambientali ha posto attenzione all'inquinamento causato dai rifiuti ospedalieri la cui quantificazione può aiutare a comprendere i percorsi di contaminazione e quindi gli interventi di purificazione opportuni.

Per tali motivi per le acque reflue ospedaliere sono stati previsti diversi tipi di trattamento prima dello smaltimento per prevenire la diffusione di inquinanti biologici nelle acque di superficie e sotterranee. Quelle provenienti dai servizi mensa e servizi igienici dell'ospedale vengono trattate in maniera usuale prima dell'immissione in fognatura non contenendo particolari sostanze inquinanti. Le acque provenienti dai servizi igienici del reparto infettivi sono pretrattate, prima dell'immissione in fognatura a seconda dei tipi di malattie e del volume giornaliero. Le acque provenienti dai servizi igienici dei reparti di medicina nucleare sono pretrattate e soggette a campionamento automatico ed analisi di controllo della radioattività. Gli scarichi di laboratorio vengono trattati in modo personalizzato in attesa della loro eliminazione.

Spesso gli ospedali non sono collegati ad efficienti impianti di trattamento delle acque reflue mentre i sistemi fognari comunali potrebbero anche non

esistere. In molti paesi in via di sviluppo, la maggior parte delle acque reflue sanitarie viene scaricata nei corsi d'acqua superficiali o percolata nelle falde acquifere sotterranee sottostanti senza un trattamento preventivo.

Nei piccoli ospedali è stato riscontrato un valore maggiore di rifiuti al giorno per posto letto stando ad indicare pratiche di gestione dei rifiuti non qualificate poiché non sembrano seguire un metodo corretto per la separazione dei rifiuti generati e la maggior parte dei rifiuti biomedici viene raccolta senza la separazione in categorie infettive e non infettive.

ACROLEINA

Tra le sostanze chimiche l'acroleina, conosciuta anche come acrilaldeide, è la più semplice delle aldeidi insature, tossica per il fegato e per la mucosa gastrica. L'acroleina è molto reattiva, con odore penetrante e acro fortemente irritante per la pelle, gli occhi e le vie respiratorie è quindi un inquinante ambientale ubiquitario e il suo potenziale costituisce una grave minaccia per la salute ambientale.

Gli esseri umani sono esposti all'acroleina per via orale attraverso l'ingestione di cibo ed acqua, respiratoria per fumo di sigaretta, scarico di automobili e uso di biocidi e cutanea, oltre che per generazione endogena ^{(3) (4)}.

L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) (International Agency for Research on Cancer) organismo intergovernativo facente parte dell'Organizzazione Mondiale della Sanità delle Nazioni Unite, ha inserito l'acroleina tra gli agenti probabilmente cancerogeni. L'OMS suggerisce una assunzione orale tollerabile di acroleina di 7,5 µg/giorno/kg di peso corporeo. Il suo meccanismo d'azione sembra coinvolgere un aumento delle specie reattive dell'ossigeno, con conseguenti danni al DNA correlati allo stress ossidativo ^{(5) (6)}.

RIFIUTI OSPEDALIERI RILASCIATI NELL'AMBIENTE

Poiché gli ospedali dei paesi ad alto reddito contribuiscono al cambiamento climatico attraverso le loro emissioni di gas serra prodotti con la trasformazione di combustibili fossili in energia è opportuno standardizzare gli indicatori di misurazione e di prestazione delle azioni climatiche

volte a ridurre o eliminare le emissioni di anidride carbonica e di altri gas a effetto serra dall'atmosfera tra cui anidride carbonica, metano, protossido di azoto, esafluoruro di zolfo, trifluoruro di azoto, perfluorocarburi e idrofluorocarburi.

Indagini nei grandi ospedali, come quello Universitario di Heidelberg (Germania), hanno percepito l'energia e i rifiuti costituiti dai prodotti farmaceutici o i loro prodotti di trasformazione rilevati nell'ambiente di 71 paesi che coprono tutti i continenti, come le fonti di emissione più importanti che possono entrare in conflitto con la fornitura di cure mediche per cui la riduzione delle emissioni non va messa a repentaglio dalle misure di mitigazione dei cambiamenti climatici ma va intesa come un contributo alla prevenzione delle malattie. Inoltre appare evidente la necessità di standardizzare gli indicatori di misurazione di prestazione delle azioni climatiche volte a mitigare le emissioni di gas serra. Nel dicembre del 2015, a Parigi, 195 paesi si sono impegnati a limitare il riscaldamento della Terra ben al di sotto dei 2°C, così da ridurre significativamente i rischi e gli impatti del cambiamento climatico e delineando le politiche odierne per raggiungere la neutralità climatica entro la fine del secolo ^{(7) (8)}.

Uno studio ha rilevato che gli effluenti degli ospedali contengono una quantità considerevole di sostanze chimiche che rappresenta una reale minaccia per l'ambiente e la salute umana.

In alternativa ad una specifica conoscenza delle concentrazioni ambientali delle sostanze inquinanti, una recente analisi della letteratura specialistica condotta da un gruppo di ricercatori del "Water Centre, Department of Water Resources Management, Mülheim an der Ruhr, Germany" di 1016 pubblicazioni originali e 150 articoli di revisione di tutto il mondo ha riportato il rinvenimento di numerose sostanze farmaceutiche umane e veterinarie in acque superficiali, acque sotterranee, letame, suolo ed altre matrici ambientali. In totale, 631 diversi residui farmaceutici sono stati trovati a concentrazioni superiori ai limiti di rilevamento dei rispettivi metodi analitici impiegati.

Il farmaco diclofenac, antinfiammatorio non steroideo (FANS) impiegato nel trattamento di vari stati infiammatori e dolorosi disponibile in diverse formulazioni farmaceutiche per somministrazione orale, parenterale, oculare, rettale e cutanea, è

stato rilevato nei reflui di 50 paesi. Anche se la loro emissione è importante a livello locale la problematica del loro ingresso nell'ambiente richiede una ampia partecipazione internazionale ⁽⁹⁾.

Ricercatori del “*Provincial Key Laboratory of Chemical Pollution and Environmental Safety*” hanno eseguito uno studio di controllo della contaminazione di 17 benzodiazepine, 14 prodotti farmaceutici acidi, 5 prodotti farmaceutici neutri in 4 sistemi di trattamento delle acque reflue ospedaliere oltre a 3 impianti municipali eseguito nella città di Canton, capitale del Guangdong, una delle più grandi città cinesi di oltre 15 milioni di abitanti. Alti livelli di composti benzodiazepinici tra cui lorazepam, oxazepam, clozapina, ibuprofen e paracetamolo sono risultati presenti nelle acque reflue con le più alte concentrazioni. Meno del 30% delle benzodiazepine sono state rimosse nei sistemi di trattamento delle acque reflue ospedaliere e negli impianti di trattamento delle acque reflue municipali. Il paracetamolo e l'ibuprofene hanno evidenziato i valori più alti così come le benzodiazepine, oxazepam e lorazepam rilevando un loro maggiore utilizzo ⁽¹⁰⁾.

Altri residui di farmaci riconosciuti come responsabili di varie forme di disturbi neurologici sono stati rilevati nell'ambiente. Negli effluenti sono state trovate concentrazioni significative di composti farmaceutici, come azitromicina, ciprofloxacina, diclofenac e naprossene indicando una gestione inadeguata dei rifiuti ospedalieri ⁽¹¹⁾.

Uno studio è stato eseguito presso un ospedale di Teheran, Iran, per valutare i rischi per la salute e la tossicità dei residui presenti nel percolato liquido formato prevalentemente dalla decomposizione e compattazione dei rifiuti. Il percolato è un reflu con un tenore di inquinanti organici ed inorganici dipendente dalla tipologia dei rifiuti e dai processi chimico-fisici che si verificano. In particolare sono stati misurati i livelli di elementi potenzialmente tossici in due diversi dispositivi di trattamento dei rifiuti di disinfezione costituiti da autoclave associato con trituratore e autoclave senza trituratore poiché i rifiuti ospedalieri, potenzialmente infettivi, possono essere sicuramente sterilizzati se dopo triturazione trattati a temperatura di 150°C.

Inoltre, l'analisi del percolato ha rivelato livelli elevati di bario, cromo e zinco. Negli effluenti di entrambi i dispositivi sono state rilevate concentrazioni significative di residui farmaceutici, come azitromicina, ciprofloxacina, diclofenac e naprossene.

Il Documento di Valutazione dei Rischi per la salute effettuate con simulazione Monte Carlo, ha indicato che i rischi cancerogeni derivanti dagli elementi potenzialmente tossici del dispositivo derivanti dall'autoclave associata al trituratore, in particolare arsenico e cromo, superavano i limiti consentiti dall'USEPA, Agenzia per la protezione dell'ambiente (United States Environmental Protection Agency), del governo federale degli Stati Uniti d'America, incaricata della protezione ambientale e quella della salute umana attraverso la puntuale applicazione delle leggi approvate dal Congresso degli Stati Uniti d'America.

Il dispositivo costituito da autoclave senza preventivo trattamento con trituratore, presentava rischi significativamente inferiori. Questi risultati evidenziano l'importanza di educare il personale ospedaliero alla corretta separazione dei rifiuti, al monitoraggio continuo e all'implementazione di protocolli avanzati di gestione dei rifiuti per proteggere la salute pubblica e l'ambiente ⁽¹¹⁾.

Lo studio incentrato sulla presenza del 5-fluorouracile (5-FU) agente antineoplastico da poter essere considerato una delle sostanze pilota per una contaminazione ambientale chimica delle acque reflue ospedaliere in letteratura è riportato che nel Department of Medicine I, Clinical Division of Oncology Medical University of Vienna è stato sviluppato un metodo analitico di laboratorio per determinare il 5-FU negli effluenti ospedalieri utile per affrontare il monitoraggio dei problemi di contaminazione ambientale ⁽¹²⁾.

Un altro studio è incentrato sulla valutazione della eliminazione e la tossicità dei clorofenoli che costituiscono un gruppo di inquinanti che rappresentano una seria minaccia per l'uomo e l'ambiente essendo utilizzati nell'industria, nella agricoltura e nei prodotti farmaceutici.

Il pentaclorofenolo, risulta elencato tra gli inquinanti organici persistenti dalla Convenzione di Stoccolma del 2001, nell'ambito del Programma Ambientale delle Nazioni Unite entrata in vigore nel 2004, allo scopo di proteggere la salute umana e l'ambiente dagli effetti nocivi degli inquinanti organici persistenti (POPs "*Persistent Organic Pollutants*"), costituiti da sostanze chimiche nocive che rimangono intatte nell'ambiente per lunghi periodi e che si accumulano nel tessuto adiposo dell'uomo⁽¹³⁾. I rifiuti di ospedali, con composizione e concentrazioni molto variabili provenienti da ambulatori, laboratori di analisi, centri estetici, tatuatori e piercer, dentisti e veterinari sono tipicamente costituiti da siringhe, guanti monouso, cateteri, garze, indumenti e medicinali contaminati da materiale biologico ed altri materiali infettivi vanno sterilizzati oppure inceneriti ad alta temperatura, mentre gli altri rifiuti sanitari che richiedono particolari modalità di smaltimento vanno avviati agli appositi inceneritori.

I test utilizzati per valutare la quantità di mercurio hanno dimostrato che un adsorbitore a flusso intrappolato rappresenta un modo di facile funzionamento in continuo per cui un inceneritore di piccole e medie dimensioni risulta idoneo per rifiuti urbani ed ospedalieri⁽¹⁴⁾.

L'inceneritore rilascia un'ampia varietà di inquinanti a seconda della composizione dei rifiuti, con conseguente deterioramento della salute e degrado ambientale. I principali inquinanti emessi sono il particolato, i metalli, i gas acidi, gli ossidi di azoto e lo zolfo, oltre a innumerevoli sostanze di tossicità sconosciuta.

IL PARTICOLATO

Il particolato, indica l'insieme delle sostanze solide o liquide sospese in aria con la quale formano una miscela detta "aerosol atmosferico" che hanno dimensioni che variano da pochi nanometri a 100 µm. Esempi di sostanze presenti nel particolato sono costituiti da pollini, spore, particelle carboniose, metalli, silice e inquinanti liquidi.

L'origine di tali sostanze può essere naturale o associata all'attività umana specialmente dove si svolgono attività umane inquinanti.

L'International Agency for Research on Cancer (IARC) e l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) hanno classificato il particolato come cancerogeno. Diversi studi indicherebbero un ruolo dell'inquinamento atmosferico nella diffusione e nella persistenza dei virus in sospensione nell'atmosfera come dimostrato nel 2002 in occasione dell'infezione di SARS, in Cina, da parte di un virus appartenente alla famiglia dei coronavirus, virus a RNA a singola elica, che provocano, in generale, infezioni enteriche e/o delle vie aeree e il virus MERS responsabile di una sindrome respiratoria mediorientale (*Middle East Respiratory Syndrome*), causata da un coronavirus la cui infezione provoca una malattia pur simile alla SARS, che sembra essere causa di una maggiore letalità.

INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Secondo i dati forniti recentemente dal progetto HBM4EU in Europa l'inquinamento atmosferico è la causa più importante dei rischi ambientali per la salute. L'inquinamento atmosferico può causare malattie polmonari e cardiache e morti premature. Oltre il 90% degli europei che vivono nelle città è esposto a livelli nocivi di particolato fine, che causa più di 200.000 morti premature all'anno.

Le autoclavi correlate a pirolisi al plasma per l'incenerimento dei rifiuti biomedici portano a un minore degrado ambientale, a impatti trascurabili sulla salute e ad una gestione sicura dei rifiuti trattati⁽¹⁵⁾.

Dagli ospedali provengono anche i rifiuti prodotti nella preparazione del cibo per ricoverati e dipendenti sanitari poiché gli ospedali sono istituzioni che producono e forniscono cibo, ma allo stesso tempo contribuiscono notevolmente allo spreco alimentare e possono avere un impatto ambientale nocivo. Esistono diversi fattori e pratiche interne ed esterne che influenzano positivamente o negativamente la sostenibilità dei sistemi di ristorazione ospedaliera.

Alcuni ricercatori hanno condotto uno studio relativo alla quantità di rifiuti alimentari e valutato le emissioni di gas serra, l'impronta di carbonio associate alla gestione dei servizi di ristorazione. La maggior parte degli studi ha valutato le cause e quantificato la quantità di spreco alimentare.

Nonostante le diverse strategie e misure per ridurre l'impatto ambientale delle operazioni di ristorazione nessuno di essi ha implementato un sistema completo di gestione della ristorazione. Sono necessari sforzi sistematici per identificare e potenziare i parametri che potrebbero migliorare l'impronta ambientale degli ospedali in termini di gestione più efficace dei rifiuti alimentari.

Secondo la normativa europea regolamentata dal Decreto Legislativo n.49/2014 aggiornata dalla normativa Open Scope i Rifiuti di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (RAEE) sono tutti i dispositivi alimentati da corrente elettrica o campi elettromagnetici giunti a fine vita non più affidabili nel loro funzionamento e continuamente aggiornati. Tra questi vi sono anche i rifiuti elettronici, computer, telefonini, stampanti, tablet e vari device informatici.

MICROPLASTICHE E CATENA ALIMENTARE

In uno studio incentrato su un potenziale legame tra inquinanti emessi e malattie infiammatorie intestinali, sono stati rilevati 15 tipi di microplastiche nelle feci umane. La concentrazione di microplastiche fecali è risultata più elevata nelle persone affette da malattie infiammatorie intestinali rispetto a quelle sane e il livello di microplastiche fecali era correlato alla gravità della malattia.

La microplastica riguarda particelle di materiale plastico generalmente più piccole di 5 millimetri fino a livello micrometrico. Gli esseri umani sono esposti alle microplastiche ed alle nanoplastiche tramite ingestione, inalazione e contatto cutaneo.

L'Autorità europea per la sicurezza alimentare (EFSA: *European Food Safety Authority*) agenzia dell'Unione Europea istituita nel 2002 per fornire consulenza scientifica e una comunicazione efficace in materia di rischi associati alla catena alimentare, definisce microplastiche le particelle di dimensioni comprese tra 0,1 e 5 000 micrometri (μm) e le nanoplastiche misurano da 0,001 a 0,1 μm .

Le potenziali fonti di micro e nano plastiche più significative sono derivate da contenitori di plastica, cosmetici e prodotti per la cura della persona che nell'ambiente, a causa della frammentazione, sono

degradati da fattori fisici, chimici e biologici cui gli esseri umani sono inevitabilmente esposti tramite ingestione, inalazione e contatto cutaneo ⁽¹⁶⁾.

Le microplastiche e le nanoplastiche sono motivo di preoccupazioni ambientali a causa della loro presenza nell'ambiente circostante e delle potenziali minacce poste all'ecosistema e alla salute umana. Con l'emergere di prove che descrivono l'accumulo di piccole particelle di plastica in vari organi e tessuti, è urgente una comprensione molto più approfondita degli effetti di queste particelle sulla salute umana. Sono recentemente emerse prove dei possibili danni alla salute umana provocate dalle oltre 10.000 sostanze chimiche, tra cui sostanze cancerogene ed interferenti endocrini. Recenti rapporti hanno descritto un potenziale legame tra le micro e nano plastiche presenti nei vasi sanguigni e le malattie cardiovascolari ⁽¹⁶⁾.

Tra i sistemi di depurazione delle acque reflue ospedaliere infette la fitodepurazione viene utilizzata dal momento che le zone umide artificiali sono emerse come un approccio efficace per contribuire alla rimozione dei contaminanti farmaceutici dalle acque reflue. L'ambiente acquatico artificiale rappresenta un sistema di depurazione naturale riproducendo il principio di autodepurazione tipico degli ambienti acquatici e delle zone umide applicabile anche per le acque reflue ospedaliere.

Gli impianti di trattamento delle acque reflue, contenenti un'ampia gamma di contaminanti, non sono progettati per trattare contemporaneamente tutti i tipi di contaminanti sia chimici che biologici, per cui la loro immissione in fognature favorisce l'inquinamento ambientale. Sebbene siano disponibili le linee guida e la legislazione necessarie per il trattamento delle acque reflue, l'efficace rimozione richiede l'applicazione di tecnologie avanzate non sempre pienamente disponibili ed efficienti.

I residui farmaceuticamente attivi, potenzialmente capaci di alterare il sistema endocrino vengono rilasciati nelle acque reflue ospedaliere.

Il meccanismo di rimozione coinvolge diversi processi tra cui l'assorbimento e la degradazione da parte delle piante delle zone umide.

Gli impianti di trattamento delle acque reflue convenzionali non sono progettati per trattare contemporaneamente tutti i tipi di contaminanti chimici e biologici, per cui il loro rilascio in fiumi, torrenti e acque sotterranee sono causa di inquinamento dannoso per la salute umana ed appare sempre più necessario implementare misure adeguate e tecnologie avanzate per prevenire il loro inquinamento ⁽¹⁷⁾.

Nelle acque reflue ospedaliere, in particolare quelle generate nelle sale autoptiche, potrebbero essere presenti sostanze chimiche, prodotti farmaceutici, agenti biologici patologici che senza un valido impianto di trattamento per disinfettare l'acqua finiscono per essere scaricate nell'ambiente.

FTALATI E PLASTIFICANTI

Gli ftalati sono composti chimici usati come agenti plastificanti nell'industria delle materie plastiche per migliorarne la flessibilità e la modellabilità. Per unione al PVC rendono la plastica morbida e modellabile anche a bassa temperatura per cui vengono largamente utilizzati in diversi dispositivi medici, quali maschere respiratorie, cateteri, guanti monouso, sacche per emotrasfusioni e per la nutrizione parenterale. Il Comitato scientifico dei rischi sanitari emergenti recentemente identificati (SCENIHR) aveva già evidenziato in uno dei suoi pareri che la presenza di DEHP (di-2-etil-esilftalato), ftalato utilizzato più spesso nei dispositivi medici, può comportare dei rischi per la salute dei pazienti vulnerabili come i neonati.

Secondo il regolamento relativo ai dispositivi medici, UE 2017/745 l'uso di ftalati che sono cancerogeni, mutageni, tossici per la salute è consentito solo se ragionevole e giustificato se i benefici superano chiaramente i rischi.

Inoltre gli ftalati sono presenti in alcuni cosmetici creme per il viso bagnoschiuma e shampoo. Gli alimenti umani possono essere contaminati a causa degli involucri plastificati come tutti gli alimenti liquidi in contenitori di plastica.

L'UE in data 30 marzo del 2007 ha stabilito che la presenza degli ftalati non debba superare lo 0,1 per cento, in particolare nei giocattoli e nei prodotti

destinati all'infanzia, e per i contenitori di plastica per uso alimentare.

Gli ftalati sono in grado di inibire la maturazione degli spermatozoi a causa di un'azione tossica espletata a livello delle cellule di Sertoli che si trovano nel connettivo che circonda i tubuli seminiferi dei testicoli la cui principale funzione è quella di guidare le cellule germinali attraverso i passaggi della spermatogenesi. All'esposizione in gravidanza, inoltre, è correlata una minore crescita della sostanza grigia della prole. Sono noti interferenti endocrini di cui è stato provato il legame con obesità, insulinoresistenza, asma e disturbo da deficit di attenzione/iperattività.

Il cibo contaminato e l'uso di prodotti per la cura personale sono stati identificati come determinanti dell'esposizione aprendo la strada a nuove misure normative.

Le analisi hanno verificato l'efficacia delle normative: per gli ftalati altamente regolamentati, l'esposizione è diminuita in modo significativo avendo trovato due valide alternative costituite da DINCH (1,2-Cyclohexane dicarboxylic acid diisononyl ester) e DEHTP (tereftalato di bis(2-etilesile).

L'estere diisononilico dell'acido 1,2-cicloesano dicarbossilico è una miscela di composti organici con la formula $C_6H_{10}(CO_2C_9H_{19})_2$.

Il DINCH è un olio incolore che viene utilizzato come plastificante per la produzione di articoli in plastica flessibile in aree di applicazione sensibili come giocattoli, dispositivi medici e imballaggi alimentari. Viene utilizzato come alternativa ai plastificanti ftalati, interferenti endocrini.

Il DEHTP (tereftalato di bis(2-etilesile) è un composto organico plastificante non ftalato, essendo il diestere dell'acido tereftalico e della catena ramificata 2- genericamente indicata come ottile che possiede ottime proprietà plastificanti.

La preoccupazione per la salute riproduttiva maschile ha sottolineato la necessità di includere altre sostanze antiandrogeniche. Il cibo contaminato e l'uso di prodotti per la cura personale sono stati identificati come determinanti dell'esposizione per cui sono richieste nuove misure normative.

Gli ftalati e il plastificante sostitutivo DINCH appartengono al primo gruppo di sostanze prioritarie studiate dall'Iniziativa Europea di Biomonitoraggio Umano (HBM4EU) per rispondere a domande rilevanti e salvaguardare un efficiente trasferimento dei risultati dalla scienza alla politica ⁽¹⁸⁾.

Bibliografia

1. Jennifer F Bobb, L Valeri et al Bayesian kernel machine regression for estimating the health effects of multi-pollutant mixture *Biostatistics* 2015 Jul;16(3):493-508.
2. Zeba Ali Mumtaj, Abdul Rahman Khan et al Removal of pharmaceutical contaminants from hospital wastewater using constructed wetlands: a review *Environ Sci Pollut Res Int.* 2024 Feb;31(9):12856-12870.
3. Akshata Moghe, Smita Ghare et al Molecular mechanisms of acrolein toxicity: relevance to human disease *Toxicol Sci* 2015 Feb;143(2):242-55.
4. Pawel Hekisz, Damian Jacenik Diet as a Source of Acrolein: Molecular Basis of Aldehyde Diseases *Biological Activity in Diabetes and Digestive System Int J Mol Sci* 2023 Mar 31;24(7):6579.
5. Franziska Roth-Walter, Cornelia Bergmayr *Scientific Reports*, vol. 7, n. 1, 23 marzo 2017, pp. 45067
6. Longjie Li et al The role of oxidative stress in acrolein-induced DNA damage in HepG2 cells, in *Free Radical Research*, vol. 42, n. 4, 2008-04, pp. 354-361,
7. Claudia Quitmann, Rainer Sauerborn et al Climate change mitigation is a hot topic, but not when it comes to hospitals: a qualitative study on hospital stakeholders' perception and sense of responsibility for greenhouse gas emissions *J Med Ethics* 2023 Mar;49(3):204-210.
8. Lara Schmidt et al *Environ Res Public Health Planetary Health and Hospitals Contribution-A Scoping Review* 2022 Oct 19;19(20)
9. Tim aus der Beek, Andreas Weber et al Pharmaceuticals in the environment Global occurrences and perspectives *Environ Toxicol Chem* 2016 Apr;35(4):823-35.
10. Pu Ye, Wen-Dan You et al Pollution Characteristics and Removal of Typical Pharmaceuticals in Hospital Wastewater and Municipal Wastewater Treatment Plants *Huan Jing Ke Xue* 2021 Jun 8;42(6):2928-2936.
11. Zohreh Bahmani, Ramin Nabizadeh Evaluation of potentially toxic elements and pharmaceutical compounds in leachate and exhaust air from non-incineration medical waste treatment devices *ACTIONS* 2025 Feb 21;15(1):6395.
12. Susanne Mahnik, Blanka Rizovski et al Determination of 5-fluorouracil in hospital effluents *Anal Bioanal Chem* 2004 Sep;380(1):31-5. Department of Medicine I, Clinical Division of Oncology, Medical University of Vienna
13. Kai Yang et al Identification of UDP-glucuronosyltransferase (UGT) isoforms involved in the metabolism of Chlorophenols (CPs) *Chemosphere*, June 2024, 142249
14. Zbyszek Szeliga, Stanislav Honus et al Effect of HCl on absorption of mercury from flue gas evolved during incineration of hospital waste using entrained flow adsorbers *Waste Manag* 2022 Mar 1;140:74-80.
15. Raman Sharma et al The impact of incinerators on human health and environment *Rev Environ Health* 2013;28(1):67-72.
16. Minghui Li, Yinping Pan et al Plastic or plastic-free life: From formation to removal *Sci Total Environ* 2023 Sep 10;890:164359.
17. Zeba Ali Mumtaj Abdul Rahman Khan et al Removal of pharmaceutical contaminants from hospital wastewater using constructed wetlands: a review *Environ Sci Pollut Res Int* 2024 Feb;31(9):12856-12870.
18. Antje Gerofke, Rosa Lange, et al Phthalates and substitute plasticizers: Main achievements from the European human biomonitoring initiative HBM4EU *Int J Hyg Environ Health* 2024 Jun;259:114378.

Publisher's note: all claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article or claim that may be made by its manufacturer is not guaranteed or endorsed by the publisher.

©Copyright: the Author(s), 2025