



STUDIARE LA TOSSICOLOGIA  
CON RISORSE DIDATTICHE A  
LIBERO ACCESSO

# INQUINANTI ORGANICI PERSISTENTI INTRODUZIONE

Ileana MANCIULEA, Lucia DUMITRESCU

Università "Transilvania" di Braşov

[i.manciulea@unitbv.ro](mailto:i.manciulea@unitbv.ro), [lucia.d@unitbv.ro](mailto:lucia.d@unitbv.ro)



## INTRODUZIONE

Al giorno d'oggi le persone vivono in un mondo dove gli inquinanti organici persistenti (POP) come DDT, Dieldrin, PCP, HCH, IPA ecc. (prodotti e utilizzati nell'agricoltura e nell'industria tra gli anni '20 e gli anni '50 del 1900) sono ancora presenti ovunque, anche nei tessuti degli organismi viventi sulla Terra, e causano effetti nocivi per l'uomo e per l'ambiente.

I POP sono stati trovati in ogni continente e in ogni maggiore zona climatica, anche le più remote del mondo come in mare aperto e nei deserti, e in ogni specie di fauna selvatica e nell'uomo (Ritter et al. 1997; AMAP, 2014). I POP sono sostanze chimiche che persistono nell'ambiente, intraprendono il processo di bioaccumulo e comportano il rischio di provocare effetti nocivi per la salute dell'uomo e/o dell'ambiente. Queste sostanze inquinanti vengono trasportate attraverso confini internazionali, lontano dalle loro fonti, anche in regioni dove non sono mai state prodotte o utilizzate. Gli ecosistemi e i popoli indigeni dell'Artide sono particolarmente a rischio a causa del trasporto ambientale a lungo raggio e del processo di biomagnificazione di queste sostanze. Le regioni baltiche e alpine vengono menzionate come esempi di pozzi di assorbimento dei POP nell'UE. I POP rappresentano una minaccia per l'ambiente e/o per la salute dell'uomo in tutto il mondo. È per questo che è necessario un approccio internazionale per ridurre ed eliminare la produzione, l'impiego e le emissioni di questi composti.

I POP sono composti organici alogenati, sintetizzati sia in modo naturale che antropogenico, sono resistenti alla degradazione chimica, fotolitica e biologica e posseggono caratteristiche che permettono loro di immagazzinarsi in ecosistemi terrestri e acquatici. L'uomo può essere esposto ai POP tramite alimenti, durante incidenti sul lavoro e a contatto con l'ambiente (anche in luoghi chiusi). L'esposizione ai POP, sia essa acuta o cronica, può essere ricollegata a un ampio spettro di effetti nocivi per la salute, come malattie e

morte. Alcuni POP, come i PCB, possono persistere nell'ambiente per anni e presentare il processo di bioconcentrazione con un valore di fattori fino a 70000 (Ritter et al. 1997; Stockholm 2007; AMAP, 2014; OMS 2010; OMS, 2016).

## PROPRIETÀ E COMPORTAMENTO AMBIENTALE DEI POP

Il comportamento dei prodotti chimici/POP nell'ambiente è determinato da:

- La struttura chimica, le proprietà chimico/fisiche, le caratteristiche dell'ambiente.
- I composti organici con bassissima persistenza, bassa tossicità e immobilità non presentano alcun rischio per l'ambiente e per la salute dell'uomo.
- *I POP sono composti organici persistenti, mobili e tossici.*
- Un numero relativamente ridotto di sostanze possiede proprietà simili a quelle dei POP.
- La *persistenza* è il lasso di tempo in cui il composto rimane nell'ambiente prima che venga scomposto o degradato in altre sostanze meno nocive.
- I POP con emivita superiore ai 6 mesi sono altamente persistenti nell'ambiente.
- La *dissipazione* è una combinazione di almeno due processi, degradazione e mobilità, e rappresenta la scomparsa di una sostanza dall'ambiente.
- La *semivolatilità* è una proprietà importante dei POP che conferisce un livello di mobilità nell'atmosfera, tale da consentire a una quantità relativamente grande di entrare nell'atmosfera ed essere trasportata su lunghe distanze.
- Le sostanze semivolatili sono di solito altamente alogenate e detengono un peso molecolare compreso tra 200 e 500 e una tensione di vapore inferiore a 1000 Pa. Queste sostanze possono volatilizzarsi dalle regioni calde e condensarsi, inoltre tendono a rimanere nelle regioni più fredde.

- La *lipoaffinità* è la tendenza dei POP a sciogliersi preferibilmente nei grassi piuttosto che nell'acqua.
- L'elevata lipoaffinità dei POP determina il processo di bioconcentrazione dall'ambiente circostante verso gli organismi viventi. In combinazione con la persistenza nell'ambiente e la resistenza alla biodegradazione, la lipoaffinità presenta anche il processo di biomagnificazione nella filiera alimentare. (Ritter et al.1997; Stockholm 2007; UNEP, 2010; Ding,2013).

## COMPOSIZIONE CHIMICA E TOSSICOLOGIA DEI POP

### COMPOSIZIONE CHIMICA

- Per definizione, i POP sono composti organici, spesso alogenati/clorurati.
- I POP sono altamente resistenti alla degradazione biologica, fotolitica o chimica.
- Il legame carbonio-cloro è molto stabile verso l'idrolisi e maggiore è il numero di sostituzioni di cloro e/o gruppi funzionali, maggiore è la resistenza alla degradazione biologica e fotolitica. Il cloro attaccato a un anello aromatico (benzene) è più stabile all'idrolisi rispetto al cloro nelle strutture alifatiche.
- I POP con alto grado di alogenazione, possiedono bassissima idrosolubilità e alta liposolubilità e sono in grado di passare rapidamente attraverso la struttura fosfolipidica delle membrane biologiche e accumularsi in depositi di grasso.
- Gli idrocarburi alogenati rappresentano un importante gruppo di POP e gli organoclorurati sono il gruppo più importante (diossine, furani, PCB, esaclorobenzene, mirex, toxafene, eptacloro, clordano e DDT).
- I POP sono caratterizzati da bassa idrosolubilità, elevata liposolubilità ed elevata persistenza ambientale, emivite lunghe e alto potenziale di bioaccumulo e biomagnificazione negli organismi una volta dispersi nell'ambiente.

- Sebbene siano note alcune fonti naturali (batteri, funghi, piante, organismi marini, insetti, ecc) degli organoclorurati, la maggior parte dei POP deriva quasi interamente da *fonti antropogeniche* associate alla produzione e all'uso di prodotti chimici organici. Al contrario, HCB, diossine e furani *si sono formati involontariamente* tramite una vasta gamma di processi di produzione e combustione.
- *Di solito i POP sono composti semivolatili*, caratteristica che facilita sia il loro trasporto su grandi distanze attraverso l'atmosfera che la resistenza alla degradazione biologica e fotolitica. La volatilizzazione può partire dalle piante e dal suolo mediante l'applicazione dei POP come pesticidi.
- I composti organici alogenati/clorurati sono stati utilizzati dall'industria chimica nella produzione di milioni di tonnellate all'anno di PVC, solventi, pesticidi e prodotti chimici e farmaceutici speciali.
- Inoltre, le fonti sia antropogeniche che non antropogeniche portano alla produzione di sottoprodotti ed emissioni indesiderabili, caratterizzati dalla *persistenza e resistenza alla decomposizione* (diossine clorurate, furani, ecc).
- A causa delle loro proprietà fisico-chimiche, i POP possono essere trasformati nell'ambiente in una varietà di processi microbici, chimici e fotochimici. L'efficienza di questi processi ambientali dipende in gran parte dalle proprietà dello specifico composto e dalle caratteristiche dell'ambiente.
- I composti idrocarburici clorurati ciclici, aromatici e simili al ciclodiene, come alcuni pesticidi clorurati (DDT, clordano, lindano, eptacloro, dieldrin, aldrin, ecc), con pesi molecolari superiori a 236 g/mol godono della capacità di accumularsi nei tessuti biologici e sono noti per la loro persistenza nell'ambiente.
- Gli idrocarburi clorurati con peso molecolare più basso (inferiore a 236 g/mol) possono comprendere alcani e alcheni (diclorometano, cloropicrina, cloroformio) e vengono spesso associati a scarsa tossicità

acuta, effetti tossicologici reversibili ed emivite ambientali e biologiche relativamente brevi.

- La *biodisponibilità* (la proporzione della concentrazione totale di una sostanza chimica disponibile per l'assorbimento da parte di un particolare organismo) viene tenuta sotto controllo da una combinazione di proprietà chimiche del composto, incluse le proprietà ambientali, morfologiche, biochimiche e fisiologiche dell'organismo.
- Di solito, l'escrezione degli inquinanti organici viene facilitata dalla conversione metabolica in composti più polari. A causa della loro resistenza alla degradazione e alla decomposizione, i POP non vengono escretati facilmente e tali sostanze inquinanti (come toxafene, PCB ecc), più resistenti al metabolismo, tendono ad accumularsi negli organismi attraverso la catena alimentare. Alcuni inquinanti organici possono essere trasformati in metaboliti più persistenti (ad esempio, la conversione metabolica di DDT in DDE e di aldrin nel suo metabolita persistente dieldrin). (Ritter et al. 1997; Ding et al. 2013; OMS, 2010).

## TOSSICOLOGIA

### Ambiente

- I POP sono stati associati a impatti ambientali significativi in una vasta gamma di specie e praticamente a tutti i livelli trofici. Gli effetti acuti derivanti dall'intossicazione da POP sono stati esaminati attentamente e gli effetti nocivi sono stati associati all'esposizione cronica a basso livello nell'ambiente.
- La lunga emivita biologica dei POP negli organismi viventi facilita l'accumulo di piccole concentrazioni unitarie per periodi di tempo prolungati. Per alcuni POP, esistono prove sperimentali che le esposizioni cumulative a basso livello possono essere associate a effetti cronici non letali (immunotossicità, effetti dermici e cancerogenicità).
- Gli studi hanno dimostrato che la disfunzione immunitaria provoca l'aumento della mortalità tra i mammiferi marini e che gli alimenti

contaminati dai POP potrebbero portare a deficit tiroidei, a suscettibilità alle infezioni microbiche e a disturbi riproduttivi nei mammiferi marini.

- I POP (TCDD, PCB, clordano, HCB, toxafene, DDT) hanno portato all'immunodeficienza in molte specie di fauna selvatica .
- La fauna selvatica, con alta incidenza di tumori, conteneva alte concentrazioni di PCB, mirex, clordano e toxafene (AMAP, 2014; OMS, 2010; OMS, 2016).

### Salute umana

- Studi scientifici suggeriscono che alcuni POP hanno la capacità di causare significativi effetti nocivi per la salute dell'uomo, a livello locale, regionale e mondiale mediante il trasporto a lungo raggio.
- Per alcuni POP, l'esposizione professionale e accidentale ad alto livello rappresenta un grande rischio per i lavoratori, soprattutto nei paesi in via di sviluppo dove l'utilizzo dei POP in agricoltura ha provocato numerose morti.
- Ad esempio, uno studio nelle Filippine ha dimostrato che, tra gli agricoltori, nel 1990 l'endosulfan è diventato la causa numero uno di avvelenamento acuto correlato ai pesticidi.
- L'esposizione dei lavoratori ai POP durante la gestione dei rifiuti è una fonte significativa di rischio professionale in molti paesi. L'esposizione a breve durata ad alte concentrazioni di alcuni POP porta a malattie e morte.
- L'esposizione a sostanze chimiche tossiche da parte di lavoratori, astanti e persone nelle vicinanze è spesso difficile da ridurre, specialmente nei paesi in via di sviluppo.
- I problemi nella gestione dell'esposizione sui luoghi di lavoro sono provocati dalla mancanza di preparazione e di dispositivi di protezione individuale e dalle condizioni di lavoro inferiori agli standard di legge.
- I primi resoconti sull'esposizione ai POP, relativi all'impatto sulla salute dell'uomo, includono un episodio di intossicazione alimentare da HCB avvenuto nel sud-est della Turchia, che ha portato alla morte del 90%

delle persone colpite. In altri episodi di esposizione, sono stati riscontrati casi di cirrosi epatica, porfiria e disturbi neurologici correlati all'intossicazione.

- Nel 1976 è stato registrato un grave incidente in Italia, durante il quale la 2,3,7,8-TCDD è stata rilasciata nell'ambiente portando così a un aumento di cloroacne.
- L'agenzia statunitense EPA sta attualmente rivedendo gli effetti delle diossine sulla salute, in particolare per gli endpoint non cancerogeni (immunotossicità, disturbi della riproduzione e neurotossicità).
- Tali effetti non sono comuni in caso di esposizione a concentrazioni più basse derivanti dall'ambiente e dalla catena alimentare.
- Osservazioni di laboratorio e sul campo eseguite su animali, studi clinici/epidemiologici eseguiti sull'uomo e studi su colture cellulari hanno dimostrato che la sovraesposizione a determinati POP può essere associata a un'ampia gamma di effetti biologici.
- Questi effetti nocivi possono includere disfunzioni immunitarie, deficit neurologici, anomalie riproduttive e comportamentali e carcinogenesi.
- Risulta difficile stabilire le prove scientifiche che dimostrano un legame tra esposizione cronica a concentrazioni subletali di POP (a seguito di trasporto a lungo raggio) e l'impatto sulla salute umana.
- Gli studi hanno riportato che l'assunzione per via alimentare di PCB, diossine e furani può essere collegata alla riduzione dei linfociti e ha suggerito che i bambini che assorbono i POP per via alimentare presentano tassi di infezione 10-15 volte maggiori rispetto ai bambini con livelli inferiori di POP.
- Feti e neonati sono particolarmente vulnerabili all'esposizione dei POP a causa del trasferimento per via transplacentare e tramite il latte materno.
- I residenti dell'Artico Canadese con livelli di PCB superiori alla dose giornaliera ammissibile sono particolarmente a rischio per quanto riguarda la riproduzione e lo sviluppo.
- Gli studi sulla carcinogenesi correlati all'esposizione professionale

al 2, 3, 7, 8-TCDD indicano che le esposizioni umane ad alto livello provocano l'aumento dell'incidenza di tumori.

- Studi di laboratorio dimostrano che sostanze chimiche organoclorurate selezionate (diossine e furani) possono avere effetti cancerogeni e agire da potenti agenti promotori tumorali. (Ritter et al. 1997; Dewailly et al. 2000; UNEP, 2010; OMS, 2016).

## TRASPORTO DEI POP NELL'AMBIENTE

- La persistenza può essere ridotta dai processi di trasformazione ambientale:  
(a) biotrasformazione; (b) ossidazione abiotica; (c) idrolisi e fotolisi.
- L'importanza di questi processi dipende dalla frequenza con cui si verificano in condizioni ambientali naturali. Questa frequenza dipende dalla struttura chimica, dalle proprietà della sostanza e dalla sua [distribuzione](#) nell'ambiente.
- I fattori ambientali hanno scarso effetto sulla decomposizione/trasformazione dei POP.
- I fattori che potrebbero comportare qualche conseguenza sono meno efficaci nelle regioni polari. Dato il continuo uso e rilascio di POP in altre parti del mondo, si verifica un accumulo netto di POP nelle regioni polari. Alcune delle proprietà fisiche dipendono fortemente dalle condizioni ambientali.
- La temperatura incide sulla tensione di vapore, sull'idrosolubilità e sulla costante della legge di Henry.
- La direzione dello scambio netto per le sostanze in mare aperto rivela anche le differenze tra la temperatura dell'acqua di superficie e la concentrazione atmosferica.
- Ad esempio, il movimento netto dei POP nel Golfo del Bengala, nell'Oceano Indiano, avviene dall'oceano verso l'atmosfera, mentre nelle regioni polari si comporta in direzione opposta.

- La temperatura può anche influire sulla deposizione in altri luoghi. La distribuzione dei POP è inversamente proporzionale alla tensione di vapore e, quindi, alla temperatura.
- Le temperature più basse favoriscono una maggiore ripartizione di questi composti a partire dalla fase vapore alle particelle sospese nell'atmosfera, favorendo la rimozione e il trasporto verso la superficie terrestre mediante pioggia e neve.
- I paesi nei tropici hanno temperature più elevate durante tutto l'anno rispetto ai paesi delle regioni temperate e polari.
- L'utilizzo di pesticidi nell'agricoltura tropicale durante la stagione di crescita più umida e più calda può facilitare la dispersione rapida dei POP mediante aria e acqua.
- Queste e altre osservazioni suggeriscono che l'introduzione dei POP nell'acqua tropicale costiera attraverso lo scarico dei fiumi è meno significativa rispetto alle zone temperate.
- In queste aree, il tempo di permanenza nell'ambiente acquatico tropicale è breve e il trasferimento nell'atmosfera è maggiore. Il breve tempo di permanenza dei POP nell'acqua tropicale può essere considerato favorevole per gli organismi locali; tuttavia comporta implicazioni per l'ambiente a livello mondiale, perché i residui che si volatilizzano dai tropici si disperdono attraverso l'atmosfera globale.
- La distribuzione dei POP negli oceani è correlata a un cambiamento più ampio, riguardante la distribuzione negli ultimi decenni. Fino agli anni '80, erano presenti concentrazioni più elevate di POP (DDT, PCB) negli oceani dell'emisfero settentrionale a causa dell'ampio utilizzo nei paesi sviluppati (Giappone, Europa e Nord America). Questa distribuzione non è stata considerata nei recenti studi.
- Il trasporto e l'accumulo atmosferici dei POP (PCB, DDT, HCH, clordano) nelle regioni polari sono stati ampiamente documentati. L'accumulo nelle regioni polari è in parte il risultato della distillazione globale, seguita dalla

condensazione a freddo dei composti all'interno della gamma di volatilità dei PCB e dei pesticidi.

- I contaminanti vengono continuamente depositati, rievaporati e sottoposti a distillazione frazionata in base alla loro volatilità. Il risultato è un trasporto relativamente rapido e la deposizione dei POP con volatilità intermedia (come l'HCB) e una migrazione più lenta di sostanze meno volatili (come il DDT).
- Le caratteristiche degli ecosistemi polari intensificano la contaminazione da POP. Il clima più freddo, l'attività biologica ridotta e l'incidenza relativamente bassa della luce solare fanno aumentare la persistenza dei POP.
- L'esame dei dati relativi alle concentrazioni dei POP, nei campioni dell'Artico e delle regioni antartiche, ha mostrato cali nelle concentrazioni poiché alcuni di questi POP sono stati vietati o soggetti a restrizioni. Il mantenimento di un database centrale di tutti i dati analitici sui POP contribuirebbe notevolmente a determinare le tendenze spaziali e temporali dei dati e a collegarli ai cambiamenti nei modelli di utilizzo dei POP (EMEP, 2008; EMEP, 2014; AMAP, 2014).

## I PRIMI 12 POP DELLA CONVENZIONE DI STOCOLMA

La Convenzione di Stoccolma sugli inquinanti organici persistenti (maggio 2001) si concentra sulla riduzione e sull'eliminazione delle emissioni dei 12 POP, denominati "La sporca dozzina" dal Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente (UNEP). Queste 12 sostanze chimiche includono:

- otto pesticidi (aldrin, clordano, DDT, dieldrin, endrin, eptacloro, mirex, toxafene);
- due prodotti chimici industriali: i policlorobifenili (PCB) e l'esaclorobenzene (HCB);
- due sottoprodotti involontari: diossine (PCDD) e furani (PCDF).

I 12 POP vengono utilizzati nell'industria, nell'agricoltura e nel controllo dei vettori delle malattie o ne derivano.

Negli anni '70, tutti i 9 pesticidi e i PCB sono stati vietati o soggetti a severe restrizioni di utilizzo in molti paesi del mondo. Tuttavia, alcuni di questi POP vengono ancora utilizzati in certe parti del mondo in cui sono considerati essenziali per garantire l'igiene pubblica.

Per ridurre ulteriormente il loro utilizzo in questi paesi, è importante comprendere quali paesi utilizzano i POP e come li applicano.

### Aldrin

L'aldrin è un pesticida applicato nei terreni per uccidere le termiti, le cavallette, la diabrotica del mais e altri insetti nocivi e viene anche utilizzato per proteggere le strutture in legno dalle termiti. L'aldrin si trasforma facilmente in dieldrin nelle piante e negli animali e, quindi, i residui di queste sostanze chimiche si trovano di solito in piccole quantità. L'aldrin è poco tossico per le piante ma comporta effetti nocivi per gli invertebrati acquatici, in particolare per gli insetti. L'esposizione acuta ad aldrin ha causato la morte di animali acquatici, uccelli, pesci ed esseri umani. Il Programma internazionale sulla sicurezza chimica (IPCS) ritiene che la dose fatale per l'uomo sia di 5 grammi. La via di esposizione più comune per l'uomo è attraverso gli alimenti, in particolare con i prodotti lattiero-caseari e la carne. L'aldrin è stato vietato o severamente limitato in molti paesi (UNEP, 2010; OMS, 2010).

### Clordano

Il clordano è un insetticida agricolo ad ampio spettro utilizzato per le colture (verdure, cereali, patate, frutta, cotone ecc) e viene anche utilizzato per combattere le termiti. Il clordano rimane a lungo nel terreno (emivita di un anno) e può uccidere gli invertebrati acquatici, i pesci e gli uccelli. Il clordano è sospettato di danneggiare il sistema immunitario umano e viene elencato come possibile sostanza cancerogena per l'uomo. La via di esposizione più comune per l'uomo è attraverso l'aria, in particolare negli ambienti chiusi. Il clordano è stato rilevato nell'aria interna delle case (Stati Uniti, Giappone) ed è stato vietato in molti paesi (OMS, 2016).

## DDT

Durante la Seconda Guerra Mondiale, il DDT è stato ampiamente utilizzato per proteggere soldati e civili da malaria, tifo e altre malattie diffuse dagli insetti. Dopo la guerra, il DDT continuava a essere utilizzato per tenere sotto controllo le malattie (malaria ecc) e a essere spruzzato sulle colture agricole, in particolare quelle del cotone. A causa della sua stabilità chimica e persistenza (oltre il 50% può rimanere nel suolo per 10-15 anni dopo l'applicazione), nell'Artico sono stati riscontrati residui di DDT. Gli alimenti contaminati da DDT sono la principale fonte di esposizione per la popolazione. Le esposizioni a lungo termine sono state associate a effetti cronici sulla salute (depressione del sistema immunitario e alterazione degli estrogeni). Il DDT viene elencato come possibile sostanza cancerogena per l'uomo e sebbene il suo utilizzo sia stato vietato in molti paesi, il DDT è stato rilevato in alcuni alimenti e nel latte materno in tutto il mondo. Fino a oggi, 34 paesi hanno bandito il DDT e ne hanno severamente limitato l'utilizzo (Convenzione di Stoccolma 2007; EMEP, 2008; UNEP, 2010; OMS, 2010).

## Dieldrin

Il dieldrin veniva utilizzato per controllare le termiti, le malattie trasmesse dagli insetti e gli insetti che vivevano nei terreni agricoli. La sua emivita nel suolo è di 5 anni. L'aldrin si converte rapidamente in dieldrin, quindi le concentrazioni di dieldrin nell'ambiente sono più elevate rispetto all'uso del dielrin. Il dieldrin è altamente tossico per i pesci e altri animali acquatici e colpisce il sistema immunitario umano. Sono stati riscontrati residui di dieldrin nell'aria, nell'acqua, nel suolo, nei pesci, negli uccelli, nei mammiferi e anche nell'uomo, esposti al dieldrin tramite alimenti (principalmente prodotti caseari e carne). Il dieldrin era il secondo pesticida più comune rilevato in un studio statunitense riguardo il latte pastorizzato (UNEP, 2010, OMS, 2016).

## Endrin

L'endrin è un insetticida utilizzato contro i parassiti del cotone, del riso e del mais. È stato inoltre utilizzato come rodenticida contro topi e ratti. Gli animali possono metabolizzare l'endrin che non si accumula nei loro tessuti adiposi, come altri POP. L'endrin è tossico per i pesci e altri organismi acquatici e possiede un'emivita lunga, persiste nel suolo per 12 anni. L'endrin è sospettato di inibire il sistema immunitario umano. Come per molti altri POP, l'uomo viene esposto all'endrin attraverso gli alimenti nonostante i livelli di assunzione siano generalmente molto bassi (Convenzione di Stoccolma 2007; UNEP, 2010).

## Eptacloro

L'eptacloro è un insetticida utilizzato contro i parassiti del suolo e delle colture (in particolare del cotone), contro le termiti, le cavallette, le formiche e le zanzare (controllo della malaria). L'eptacloro viene metabolizzato nell'eptacloro epossido, che possiede un livello di tossicità simile a quello dell'eptacloro. I residui sono stati trovati nel sangue di bovini provenienti dagli Stati Uniti e dall'Australia. L'eptacloro è tossico per la fauna anche se presente a basse concentrazioni. Gli uccelli (provenienti dal Canada e dagli Stati Uniti), esposti all'eptacloro, hanno registrato cambiamenti comportamentali, una riduzione della riproducibilità e un aumento della mortalità. Gli alimenti sono la principale fonte di esposizione per l'uomo. L'eptacloro viene elencato come possibile sostanza cancerogena per l'uomo e molti paesi ne hanno vietato o limitato l'utilizzo (Convenzione di Stoccolma 2007; EMEP, 2008; OMS, 2010).

## Mirex

L'insetticida mirex veniva utilizzato contro formiche e termiti (Stati Uniti, Sud America, Africa).

- Il mirex viene anche utilizzato come ritardante di fiamma nei prodotti in plastica e in gomma, nelle vernici e nei materiali e prodotti elettrici.
- Il mirex è uno dei POP più stabili e persistenti con emivita fino a 10 anni.

- Il mirex è tossico per le piante e gli organismi acquatici (crostacei, pesci) e gli uccelli.
- L'uomo viene esposto al mirex tramite gli alimenti (carne, pesce, animali selvatici).

## Toxafene

- Il toxafene è un insetticida utilizzato per proteggere le colture di cotone, cereali, frutta, frutta secca e verdura.
- Il toxafene (una miscela di fino 670 sostanze chimiche) è stato il pesticida più utilizzato negli Stati Uniti nel 1975. Il 50% del toxafene rilasciato può persistere nel suolo fino a 12 anni.
- Il toxafene è atossico per le piante ma altamente tossico per i pesci e per gli uccelli.
- L'uomo viene esposto al toxafene attraverso il regime alimentare, i livelli negli alimenti sono solitamente bassi.
- Il toxafene è stato introdotto nella lista delle possibili sostanze cancerogene per l'uomo (UNEP, 2010; OMS, 2010).

## Policlorobifenili (PCB)

- I **PCB** sono stati prodotti per la prima volta nel 1929 e sono stati utilizzati nell'industria come fluidi per lo scambio di calore nei trasformatori elettrici e nei condensatori (tuttora utilizzati) e come additivi nelle vernici, negli adesivi e nei materiali in plastica. I PCB sono sottoprodotti della combustione incompleta e di alcuni processi industriali.
- Dei 209 diversi tipi di PCB, 13 mostrano una tossicità simile alle diossine.
- La loro persistenza nell'ambiente dipende dal grado di clorazione, l'emivita può variare da 10 giorni a un anno e mezzo.
- Molti paesi ne hanno interrotto la produzione negli anni '70, tuttavia i PCB rimangono nell'ambiente per decenni, sono disponibili per l'assorbimento e il bioaccumulo negli organismi. I PCB sono tossici per gli organismi acquatici, i pesci e le specie selvatiche.

- L'esposizione cronica può provocare alterazioni agli enzimi epatici, problemi di sviluppo, mentali e comportamentali, problemi di immunosoppressione e lo sviluppo di tumori.
- L'uomo viene esposto ai PCB attraverso gli alimenti. Gli oli vegetali, il latte, il pesce e i mammiferi marini ricchi di grassi, sono a rischio di contaminazione da PCB.
- L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul cancro e l'OMS classificano i PCB come probabili sostanze cancerogene per l'uomo (OMS 2016; UNEP, 2010; Ding et. al. 2013; OMS 2016).

### Esaclorobenzene (HCB)

- L'HCB è stato prodotto per la prima volta nel 1945 per il trattamento delle sementi (soprattutto per il grano).
- Entro la metà degli anni '80 la maggior parte delle nazioni ne ha interrotto la produzione.
- L'HCB viene prodotto come sottoprodotto non intenzionale derivante dalla produzione di pesticidi, di sostanze chimiche organiche (solventi, coloranti) e dei preservanti del legno.
- L'HCB proviene dalla combustione incompleta (combustione di rifiuti urbani e dei combustibili).
- L'esposizione acuta a HCB da parte dell'uomo, degli animali, dei pesci e degli uccelli comporta danni renali ed epatici, effetti sul sistema nervoso centrale, disturbi respiratori neurologici e metabolici e la morte. Gli alimenti (prodotti caseari, carne), in tutto il mondo, contengono HCB che è stato rilevato anche nell'aria, nella neve, nell'acqua marina, nella vegetazione e nella biota dell'Artico. Il 100% del contaminante HCB presente nei pesticidi (simazzina, atrazina) viene rilasciato nell'aria, provocando un rischio per la salute degli applicatori. (Ding et al. 2013, OMS, 2016).

## Policlorodibenzo-p-diossine (PCDD)

- Durante la creazione di pesticidi e altre sostanze clorate, le PCDD vengono prodotte involontariamente dalla combustione incompleta (combustione di rifiuti ospedalieri, urbani e pericolosi, combustione di carbone, di torba, di legna).
- Le diossine sono state trovate nel suolo 10-12 anni dopo la prima esposizione.
- A causa della loro lipoaffinità, le diossine si accumulano nei tessuti dell'uomo, degli animali e delle piante selvatiche.
- Piccole quantità nell'acqua possono avviare il processo di bioconcentrazione nella catena alimentare a livelli pericolosi. Gli alimenti (di origine animale) sono la fonte maggiore di esposizione per l'uomo.
- Le diossine possono nuocere allo sviluppo riproduttivo, causare danni al sistema immunitario, disordini della tiroide, disturbi del sistema nervoso, diabete e risultano teratogeni, mutageni e cancerogeni. Le diossine sono presenti in tutti gli esseri umani, con livelli più elevati nelle persone che vivono nei paesi industrializzati. L'emivita di eliminazione stimata per le diossine nell'uomo è di 7,8 -132 anni. (Ding et. al. 2013, OMS, 2010, OMS, 2016).

## Policlorodibenzofurani (PCDF)

- I PCDF/ furani vengono prodotti involontariamente dagli stessi processi che producono le diossine e i PCB, rilevati nelle emissioni degli inceneritori dei rifiuti e delle automobili.
- I furani hanno una struttura simile alle diossine e condividono molti effetti tossici.
- La tossicità dei diversi 135 PCDF ha subito variazioni ed essi persistono nell'ambiente per molto tempo.
- Gli alimenti (in particolare prodotti grassi di origine animale) sono la principale fonte di esposizione per l'uomo.

- I furani vengono classificati come possibile sostanza cancerogena per l'uomo (Ding et. al. 2013; OMS, 2016).

## ALTRI POP

### Etere di difenile polibromurato (PBDE)

- I PBDE sono ritardanti di fiamma utilizzati nella produzione di plastica, materiali tessili, computer, mobili e automobili. I PBDE sono stati vietati in Europa nel 2005 e negli Stati Uniti nel 2003.
- I PBDE sono stati trovati ad alti livelli nella polvere dentro le case e si accumulano nel sangue umano, nei tessuti grassi e nel latte materno (negli Stati Uniti i livelli sono di 40 unità più elevate che in Europa).
- È stato riscontrato che i mammiferi marini (delfini, balene ecc), uccelli e pesci (salmoni, tonni ecc) sono stati contaminati da PBDE. Le ricerche hanno collegato alcuni PBDE a conseguenze sulla funzione tiroidea e cerebrale, conseguenze sulla fertilità maschile, sullo sviluppo del sistema ovarico e nervoso embrionale (UNEP,2010; POPs Fach Sheets).

### Composti perfluorurati (PFC)

I PFC vengono utilizzati come tensioattivi industriali e commerciali. Al contrario della maggioranza dei POP, che si depositano nei tessuti grassi, i PFC circolano nel sangue e si accumulano principalmente nel fegato. I PFC intraprendono il processo di bioaccumulo e risultano estremamente resistenti alla deterioramento fisico. Gli studi hanno dimostrato collegamenti tra sostanze chimiche come ftalati, bisfenolo A e PFC, presenti nei prodotti di consumo come giocattoli per bambini e cosmetici, e disturbi riproduttivi. (UNEP, 2010, POPs Fach Sheets).

## ALTERNATIVE AI POP

Per quanto riguarda le alternative ai POP, esistono molti ostacoli all'adattamento delle nuove tecnologie pulite, specialmente nei paesi in via di sviluppo. Rispetto ai POP più vecchi e più pericolosi, alcune alternative sono

più costose sia in termini di prezzo che di risorse necessarie da applicare. Rispetto ai POP le alternative possono essere più tossiche per gli applicatori, aggiungendosi così costi per la salute dell'uomo. Altri problemi riguardano l'istruzione e la formazione, sia sui vecchi che sui nuovi composti, per tutti coloro che appartengono alla catena di produzione: singoli utenti e fornitori. I regolamenti in materia di infrastrutture, necessari per gestire l'uso delle alternative ai POP e utili per formare e preparare le persone, non sono pienamente sviluppati in tutti i paesi (UNEP, 2010; OMS, 2016).

## CONCLUSIONI

I POP sono caratterizzati da lipoaffinità, persistenza e semivolatilità, caratteristiche che predispongono i POP ad una persistenza ambientale lunga, al trasporto a lungo raggio e all'accumulo nelle regioni polari, lontane da qualsiasi fonte di utilizzo. I POP sono anche noti per i loro processi di biomagnificazione e bioconcentrazione in condizioni ambientali specifiche, raggiungendo concentrazioni tossicologiche. I POP sono stati coinvolti in una vasta gamma di effetti nocivi per la salute dell'uomo e per gli effetti ambientali come la riproduzione, la disfunzione endocrina e l'immunosoppressione. In molti casi, l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) considera i POP possibili sostanze cancerogene per l'uomo. A causa delle loro caratteristiche tossiche, i POP rappresentano una minaccia per l'uomo e per l'ambiente. Pertanto, negli ultimi anni, la comunità internazionale ha sollecitato un'azione globale urgente per ridurre ed eliminare le emissioni dei POP e per identificare i possibili rischi per la salute dell'uomo e dell'ambiente (UNEP, 2010; EMEP, 2014; OMS, 2016).

## BIBLIOGRAFIA

1. AMAP 2014. Technical Report No.7.Trends in Stockholm Convention on POPs in Arctic Air, Human media and Biota.



2. Dewailly, E., et al. Susceptibility to infections and immune status in Inuit infants exposed to organochlorines. *Environ. Health Perspect.* 108, 2000.
3. Ding, L., Y. Li, P. Wang, X. Li, Z. Zhao, T. Ruan, Q. Zhang. 2013. Spatial concentration, congener profiles and inhalation risk assessment of dioxins/furans and PCBs in the atmosphere of Tianjin, China. *Chinese Sci. Bull.* (2013).
4. EMEP, 2008. Transboundary Acidification, Eutrophication and Ground Level Ozone in Europe in 2006.
5. EMEP, Status Report 2014. POPs in the Environment.
6. POPs Facht Sheets. Blue Voice Organization. [www.bluevoice.org](http://www.bluevoice.org)
7. Ritter, L., Solomon, K. R., Forget, J., Persistent Organic Polutants. A review of selected POPs. Il Programma internazionale sulla sicurezza chimica (IPCS), OMS, 1997.
8. Stockholm Convention, POPs Review Committee, 2007.
9. UNEP New POPs 2010. An introduction to the nine chemicals added to Stockholm, Convention, Conference of the Parties at its fourth meeting.
10. OMS EU, 2016, WHO Regional Office for Europe. Health risk assessment of air pollution. General principles, 2016.
11. OMS, 2010 Preventing disease through healthy environments. Exposure to dioxins and dioxin-like substances: a major public health concern.



**VNiVERSIDAD  
D SALAMANCA**

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITA DI BOLOGNA



South-Eastern Finland  
University of Applied Sciences



**Universitatea  
TRANSILVANIA  
din Braşov**



**UNIVERZITA  
KARLOVA**



**ИКИТ**

<https://toxoeer.com>

Coordinatrice del progetto: Ana I. Morales  
Sede a Salamanca.

Edificio del dipartimento, Campus Miguel de Unamuno, 37007.

Contatto telefonico: +34 663 056 665