

La diossina e i suoi effetti

La diossina (inglese dioxin) è un composto organico eterociclico la cui struttura è formata da un anello con quattro atomi di carbonio, insaturi, e due di ossigeno di formula bruta $C_4H_2O_2$.

I suoi isomeri di posizione sono:

- La 1,4-diossina (CAS 290-67-5), il capostipite più stabile.
- La 1,2-diossina (CAS 289-87-2), di caratteristiche dissimili, più instabile (strutturalmente è un endoperossido).

Sono stabili anche le relative forme diidrogenate (n,n'-diidro-n'',n'''-diossina) quindi compresa la 1,3-diossina, mentre l'idrogenazione di entrambi i doppi legami conduce al diossano.

L'isomero 1,4 è un liquido incolore ed estremamente infiammabile, come quasi tutti gli eteri, e si può intendere come l'etere ciclico dell'alcool bifunzionale etendiolo (HO-CH=CH-OH) o eten-1,2-diolo, (CAS 1571-60-4, in equilibrio cheto-enolico con la sua forma carbonilica).

Il motivo del CAS number basso, nonostante composti instabili e di recente utilizzo, deriva dal fatto che furono oggetti di interesse nei primi tempi della chimica organica (nel 1939 si trova una sintesi per eliminazione).

Attualmente si ritrova sintetizzata tramite una reazione di Diels-Alder, reazione di cicloadizione.

Diossine naturali e usi farmacologici

Esistono diverse diossine naturali, esempio il repellente, prodotto dalla spugna di mare *Dysidea dendyi*[2] detto spongiadiossina (1-idrossi-3,4,6,8-tetrabromdibenzo [1,4] diossina) è un composto bromurato, così come alcuni metaboliti fungini dell'attività di degradazione nel terreno della lignina, peraltro a loro volta ad attività antimicotica. Anche i derivati della 1,2-diossina sono presenti in natura, le spugne del genere *Plakortis* producono uno di questi composti e mostrano spiccate attività antifungine. Recenti linee di ricerca farmacologiche mirano all'utilizzo di questi composti in terapia, sia per le loro capacità antimicotiche a largo spettro (vari studi relativi a infezioni da candida), sia recentemente per possibili attività antimalariche. Un ultimo settore di ricerca indaga sulle capacità antitumorali dei derivati della forma endoperossido (sempre 1,2-diossine).

Diossine come inquinanti organici persistenti

La maggior parte delle diossine polialogenate sono inquinanti organici persistenti. Policlorodibenzodiossine o PCDD, policlorodibenzofurani o PCDF, e policlorobifenili coplanari o Co-PCB sono spesso indicati come diossino-simili in campo medico e ambientale.

Nel linguaggio corrente, quindi, vengono indicati come diossine anche i composti derivati dal furano, in particolare i dibenzofurani, e, dal punto di vista chimico, altrettanto erroneamente i derivati dal diossano.

La ragione di questa confusione consiste nella particolare struttura spaziale delle molecole e nella localizzazione degli elettroni, che porta a una convergenza nei meccanismi d'azione

tossicologica delle diverse categorie di composti.

I Co-PCB, con una struttura chimica alquanto diversa, mostrano tossicità elevate, proprio perché la particolare distribuzione dei sostituenti al difenile favorisce una disposizione quasi planare della molecola, come avviene in diossine e furani, e limita la rotazione sull'asse del legame centrale Ar-Ar.

Questa struttura è coinvolta nei meccanismi d'azione molecolare in vivo.

Azione in vivo

Il principale meccanismo d'interazione (ma non l'unico in particolare negli effetti neurotossici e di distruzione del sistema endocrino o ECDs) implica il coinvolgimento del recettore cellulare Ahr, recettore per gli idrocarburi arilici meglio noto col termine inglese, aryl hydrocarbon receptor. Essendo l'Ahr un fattore trascrizionale genico, appartenente alla stessa classe del più noto c-Myc, un protooncogene, la sua anomala modulazione conduce ad effetti distruttivi sulle funzioni vitali della cellula.

I principali metodi di catalogazione dell'equivalenza della tossicità nelle diverse categorie di composti qui afferenti si basano su questa azione, e pongono la TCDD a valore unitario.

Diossine in quanto classe tossicologica ambientale

In genere, quando si parla di "diossina" in senso non chimicamente rigoroso, ma tossicologico, si intende l'intera classe di diossine. Anche in questa voce il termine "diossina", a partire da questo paragrafo, è da intendersi in questo senso, se non diversamente specificato.

Le diossine e altri inquinanti organici persistenti sono sottoposti alla convenzione di Stoccolma. Questo accordo, che entrerà pienamente in vigore, essendo stato ratificato da un numero sufficiente di paesi, prevede che gli stati prendano misure per eliminare ove possibile, o quantomeno minimizzare, tutte le fonti di diossine.

Tossicità e cancerogenicità

Le diossine, nel loro insieme sono molecole molto varie a cui appartengono composti cancerogeni. Ad esse vengono ascritti composti estremamente tossici per l'uomo e gli animali, arrivando a livelli di tossicità valutabili in ng/Kg, sono tra i più potenti veleni conosciuti.

Viene classificata come sicuramente cancerogena e inserita nel gruppo 1, Cancerogeni per l'uomo dalla IARC, dal 1997 la TCDD.

Anche secondo le norme giuridiche di molti paesi molte diossine sono ormai agenti cancerogeni riconosciuti.

Sono poco volatili per via del loro elevato peso molecolare, poco o nulla solubili in acqua (circa 10⁻⁴ ppm), ma sono più solubili nei grassi (circa 500 ppm), dove tendono ad accumularsi. Proprio per la loro tendenza ad accumularsi nei tessuti viventi, anche un'esposizione prolungata a livelli minimi può recare danni. Le diossine causano una forma persistente di acne, nota come cloracne; sugli animali hanno effetti cancerogeni e interferiscono con il normale sviluppo fisico.

È stato inoltre dimostrato che l'esposizione alla diossina può provocare l'endometriosi.

Mediamente il 90% dell'esposizione umana alla diossina avviene attraverso gli alimenti (in

particolare dal grasso di animali a loro volta esposti a diossina) e non direttamente per via aerea: il fenomeno del bioaccumulo fa sì che la diossina risalga la catena alimentare umana concentrandosi sempre più, a partire dai vegetali, passando agli animali erbivori, ai carnivori ed infine all'uomo. L'emivita della TCDD nell'uomo varia da 5,8 a 11,3 anni (Olson 1994) principalmente in funzione di livello metabolico e percentuale di massa grassa; varia tra 10 e 30 giorni nei roditori []). La tossicità, espressa come LD50 è sensibilmente specie specifica (esempio LD50 somministrazione per via orale nella cavia è di 500.0 ng/kg nel caso di TCDD).

Fonti di diossine

Le diossine vengono prodotte quando materiale organico è bruciato in presenza di cloro, sia esso cloruro inorganico, come il comune sale da cucina, sia presente in composti organici clorurati (ad esempio, il PVC). La termodinamica dei processi di sintesi delle diossine è fortemente favorita da reazioni a più bassa temperatura, sia per motivi energetici che entropici. Questo è il motivo per cui gli impianti in cui la combustione può portare alla formazione delle stesse, sono costretti a funzionare a temperature elevate, indipendentemente dalla convenienza generale dei processi. Per evitarne la formazione in fase di raffreddamento, è necessario introdurre processi di quenching, sfruttando così aspetti cinetici per contrastarne la stabilità termodinamica.

Le diossine, stante la loro alta temperatura di ebollizione (e di fusione), non si ritrovano primariamente in forma gassosa, ma solida, quindi per quanto riguarda l'emissione atmosferica, nel particolato.

Le diossine si generano anche in assenza di combustione, ad esempio nella sbiancatura della carta e dei tessuti fatta con cloro e nella produzione di clorofenoli, specie quando la temperatura non è ben controllata. Può essere il caso della produzione degli acidi 2,4-diclorofenossiacetico e 2,4,5-triclorofenossiacetico, noti diserbanti.

Per quanto riguarda i processi di combustione, possiamo ritrovarle in: industrie chimiche, siderurgiche, metallurgiche, industrie del vetro e della ceramica, nel fumo di sigaretta, nelle combustioni di legno e carbone (potature e barbecue, camini e stufe), nella combustione (accidentale o meno) di rifiuti solidi urbani avviati in discarica o domestici, nella combustione di rifiuti speciali obbligatoriamente inceneribili (esempio rifiuti a rischio biologico, ospedalieri) in impianti inadatti, nei fumi delle cremazioni, dalle centrali termoelettriche e dagli inceneritori.

Questi ultimi sono stati a lungo fra i maggiori produttori di diossina, ma negli ultimi anni l'evoluzione tecnologica ha permesso un notevole abbattimento delle emissioni gassose da queste fonti (anche se questi emettono pericolose nanoparticelle che possono trasportare diossine in forma non gassosa).

Tuttavia, per quel che riguarda gli aspetti sanitari finali, la stragrande maggioranza degli studi epidemiologici, anche recentissimi, basati su campioni molto vasti di popolazione, rilevano una correlazione tra le patologie diossina-correlate e la presenza di inceneritori nelle aree soggette ad indagine, con pochi o nulli dati contrastanti.

I dati di emissione possono variare moltissimo a seconda del periodo considerato grazie ai miglioramenti tecnologici imposti dalla normativa su determinate fonti, fra cui gli inceneritori. I vecchi impianti di incenerimento e la gestione dei rifiuti in generale

producono quantità enormi di diossina, mentre gli impianti moderni, secondo le normative vigenti per i nuovi impianti, sono scesi a una frazione della produzione passata. Se l'incenerimento di rifiuti solidi urbani, industriali o ospedalieri, nel 1990 producevano rispettivamente oltre 20 e 50 volte più inquinanti della produzione dell'acciaio, negli impianti attuali sono circa a un decimo, senza contare esperienze ancora più positive. È pertanto evidente che la rilevanza dell'incenerimento sul complesso delle fonti di diossina in un Paese dipende fortemente dall'arretratezza degli impianti esistenti, nonché ovviamente dalla quantità di rifiuti bruciati.

Si conferma che il settore siderurgico di seconda fusione (cioè di materiali di recupero, evidentemente contaminati), considerando anche gli alti valori assoluti della produzione, è insieme all'incenerimento uno dei massimi responsabili della produzione di diossine, e inoltre che la combustione non controllata di legna, rifiuti e biomasse varie – contrariamente a quanto si può pensare – è molto pericolosa.

L'inventario dell'EPA (Ente americano di protezione dell'ambiente) stima come maggiore fonte di diossine negli Stati Uniti l'incenerimento domestico (pratica diffusa in quel paese). Il miglioramento tecnologico degli impianti di incenerimento (ospedalieri, fanghi e urbani) rispetto alle precedenti stime è netto: il totale per il 2000, come si può evincere dalla tabella sotto riportata, è 38,8%, mentre nel 1995 era di 58,5% e nel 1987 di ben l'82,8% (stessa fonte EPA).

Il ministero tedesco invece stima che la principale fonte di emissioni in Germania sia rappresentata dall'industria dei metalli (sviluppatissima in questo paese) e che il contributo dagli inceneritori sia inferiore all'1%.

Per quanto riguarda l'Europa, l'Unione Europea, in un corposo e dettagliato documento intitolato Inventario europeo delle diossine,[9] stima che il trattamento dei rifiuti (e in particolare l'incenerimento) e il settore industriale (in particolare il siderurgico) sono i massimi responsabili dell'emissione in atmosfera di diossine: «Nonostante i considerevoli sforzi degli ultimi anni per ridurre le emissioni degli inceneritori di rifiuti solidi urbani questo tipo di fonte continua a dominare l'immissione di diossine in atmosfera».

Le emissioni più rilevanti di diossina, tuttavia, non sono quelle in atmosfera ma quelle nel terreno (tabella 4): oltre 35000 g/a contro 20000 al massimo. Su questo versante, i massimi responsabili sono i pesticidi, in fase di produzione ma anche di uso; seguono a una certa distanza i fuochi accidentali, nonché ancora una volta lo smaltimento dei rifiuti. Queste stime sono generalmente molto incerte, per la difficoltà e rarità delle misurazioni su fenomeni assai poco controllati e controllabili; i fuochi accidentali sono in particolare un elemento di estrema incertezza, mentre l'incenerimento è una fonte più studiata e si sa che, come per i pesticidi, l'attenzione che ha attirato e attira sta facendo diminuire le sue emissioni. In tabella si riportano le migliori stime disponibili – generalmente medie fra il minimo e il massimo calcolati –.

Da tenere in conto è anche l'immissione di diossine nelle acque. I dati disponibili sono pochissimi, e relativi solo alla produzione di carta, all'incenerimento e allo smaltimento degli olii usati, le cui emissioni anche nella peggiore delle ipotesi sono però molto inferiori a quelle in aria e terra. Poco si sa invece su pesticidi, settore chimico, fuochi accidentali, discariche di rifiuti, che pure sono stimati essere i massimi responsabili delle emissioni nelle acque.

Come si rilevano le diossine - analisi e questioni collegate

Il problema dell'analisi delle diossine è piuttosto complesso, e meriterebbe un approfondimento separato. L'elevatissima tossicità porta alla necessità di sensibilità piuttosto elevate, con la risoluzione di livelli dell'ordine del picogrammo (10-12 g o meglio 10-15 Kg per il sistema internazionale), e dalla processazione in ambienti straordinariamente puliti e controllati (camere bianche) per evitare contaminazioni. Le tecniche fondamentali si basano principalmente sulla gascromatografia di estratti dei campioni, seguite dalla rilevazione dei composti eluiti con rivelatori di massa (o a cattura di elettroni in casi specifici).

A livello legale, tali analisi sono normate dal Decreto del Ministero Della Salute del 23 luglio 2003 in recepimento della direttiva Europea 2002/69/CE, del 26 luglio 2002, che stabilisce i metodi di campionamento e d'analisi per il controllo ufficiale di diossine e la determinazione di PCB diossina-simili nei prodotti alimentari

Le diossine vengono generate come sottoprodotti non voluti di numerosi processi di produzione, utilizzazione e smaltimento del cloro e dei suoi derivati. Le emissioni industriali di diossine possono essere trasportate per grandi distanze dalle correnti atmosferiche, e, in misura minore, dai fiumi e dalle correnti marine.

Questa è la ragione della presenza di diossine in tutto il mondo. Anche se la loro produzione cessasse, i livelli già presenti nell'ambiente impiegherebbero anni prima di diminuire. Le diossine infatti sono sostanze persistenti, per la cui degradazione sono necessari decenni o secoli, e che possono essere riciclate continuamente in diversi comparti ambientali.

L'esposizione dell'uomo alle diossine ha luogo quasi esclusivamente attraverso l'assunzione di cibo, soprattutto carne, pesce e latticini. In casi di esposizione di soggetti a concentrazioni particolarmente elevate di diossine (ad esempio per esposizione accidentale o sul lavoro), si è potuto constatare la capacità di questi composti a ridurre la fertilità, le capacità di sviluppo e quelle di immunodifesa oltre che l'insorgenza di tumori. I risultati di recenti studi dimostrano che le concentrazioni di diossine nei tessuti umani nella popolazione generale (dei paesi industrializzati) hanno già raggiunto o quasi livelli ai quali si possono verificare effetti negativi sulla salute. Le più recenti ricerche sugli effetti delle diossine sugli organismi viventi includono :

1) elevata sensibilità degli embrioni e dei feti di pesci, uccelli, mammiferi e uomo agli effetti tossici delle diossine. Per quanto riguarda l'uomo, gli effetti sullo sviluppo, osservati dopo un'esposizione accidentale elevata, comprendono: mortalità prenatale, riduzione della crescita, disfunzione di organi quali il sistema nervoso centrale (ad esempio, danni allo sviluppo intellettuale), alterazioni funzionali, ivi inclusi effetti sul sistema riproduttivo maschile.

2) alterazioni cellulari del sistema immunitario, variazioni nei livelli di testosterone (ormone sessuale maschile), nonché variazioni nella produzione di altri ormoni ed enzimi, possono verificarsi nell'uomo già a livelli (carichi corporei) di diossine attualmente riscontrati nella popolazione generale dei paesi industrializzati, o a concentrazioni molto vicine a questi.

Per soggetti la cui esposizione alla diossina è più elevata della media (dovuta, per esempio, ad una dieta prevalente a base di pesce o mammiferi marini), i rischi di effetti

negativi quali la possibilità di riduzione del numero di spermatozoi, danni al sistema immunitario ed endometriosi, sono più elevati.

3) Gli effetti biologici delle diossine sembrano dipendere più dalla loro presenza in particolari organi e/o stadi vitali piuttosto che dall'entità quantitativa dell'esposizione. Studi di laboratorio hanno dimostrato che l'esposizione a dosi bassissime di diossina durante un periodo critico brevissimo nel corso della gestazione è sufficiente ad influire negativamente sulla salute del feto.

4) Nei paesi industrializzati, i livelli di diossina presenti nel latte umano fanno spesso sì che i lattanti assumano quantità di diossina di gran lunga superiori alla TDI proposta dall'OMS. Questo fenomeno è ancor più preoccupante se si considera che le stime dei rischi alla salute dovuti alle diossine non tengono conto di altre sostanze chimiche, quali i bifenili policlorurati (PCB), alle quali siamo esposti. La presenza contemporanea di questi composti in un organismo può indurre effetti cumulativi o addirittura sinergici rispetto a quelli indotti dai singoli inquinanti.

5) La diossina è cancerogena per l'uomo e per gli animali. L'EPA ha stimato che l'attuale esposizione di fondo della popolazione generale alle diossine determina un rischio di contrarre tumore variabile da 1/1.000 a 1/10.000 cittadini

EMISSIONE DI DIOSSINE IN ITALIA

Lo stato della ricerca su fonti di emissione di diossine e loro implicazioni sulla vita sociale in Italia sono decisamente scarse e frammentarie. Unica eccezione in termini di quantità dei dati e follow-up dei lavori, è rappresentata dalla ricerca sulla popolazione di Seveso, dove, nel 1976, migliaia di cittadini furono esposti ad elevatissime concentrazioni della forma più tossica di diossina. La pubblicazione dei dati epidemiologici relativi all'incidenza tumorale nei residenti di Seveso e zone limitrofe elaborati nel decennio 1976-1986 pubblicati lo scorso anno dal Prof. Bertazzi hanno aggiunto un importante tassello nel determinare la correlazione tra esposizione alla diossina e l'insorgenza di alcune forme tumorali nell'uomo. Se si escludono pochi altri episodici casi di determinazione delle diossine al camino di alcuni inceneritori, null'altro è dato sapere circa la produzione e rilascio di diossine da attività industriali. La ricerca pubblicata dall'EPA, ci può fornire lo spunto per azzardare stime approssimative circa l'emissione di diossine dalle maggiori fonti di rilascio.

INCENERITORI

In Italia gli impianti di incenerimento dei rifiuti solidi urbani (RSU) censiti al 1991 dal Ministero dell'Ambiente, erano 204, di cui 2 trattavano solo rifiuti urbani, 38 rifiuti misti (urbani e speciali) e 164 rifiuti speciali. In totale vengono incenerite 43.000 t/a di rifiuti urbani, 1.162.000 t/a di rifiuti misti e 707.000 t/a di rifiuti speciali per un totale di 1.912.000 di rifiuti inceneriti annualmente pari al 7,3% del totale dei rifiuti prodotti. Le regioni che maggiormente utilizzano la termodistruzione dei rifiuti sono Veneto (240.000 t/a), Lombardia (180.000 t/a), Lazio (120.000 t/a), Toscana (115.000 t/a) e Campania (77.000 t/a). Un calcolo approssimativo circa le emissioni totali di diossine e composti simili (furani e PCB) in Italia, si può azzardare considerando la quantità di rifiuti inceneriti e applicando alcuni valori di emissioni minime e massime rilevate da studi condotti sugli impianti di

incenerimento di rifiuti misti di Padova. Ovviamente la stima presenta un'ampia variabilità e per poter arrivare a stime più precise si dovrebbero effettuare regolari ricerche di analisi ai camini di tutti gli inceneritori esistenti.

Min.(g/anno) Max (g/anno)

PCDD (policlorodibenzo-p-diossine) 13,2 61,6

PCDF (policlorodibenzo-p-furani) 130 202,7

PCB (policlorobifenili) 994,2 24664,8

TOTALE 1137,4 24929,1

TOTALE (TEQ)* 11,4 250,3

(TEQ è una misura convenzionale che rapporta il quantitativo totale di diossine alla loro forma più tossica, la tetraclorodibenzodiossina o TCDD)

PRODUZIONE DCE/CVM

Che la produzione dei precursori del PVC rilasciasse composti organoclorurati era noto da tempo, ma solo in questi ultimi anni ricerche condotte in Nord Europa hanno evidenziato la responsabilità di alcuni processi nella formazione di diossine.

Per poter produrre il cloruro di vinile monomero (CVM), precursore del PVC, è necessario trattare l'etilene con il cloro in un processo chiamato assiclorurazione per la formazione di dicloroetano (DCE). Il cloro residuo del processo reagisce con la sostanza e dà luogo, tra l'altro, alla formazione di diossine. Uno studio dell'Agenzia per l'Ambiente svedese ha evidenziato la presenza di diossine variabili da 0,86 ppt a 8,69 ppt nella sospensione pura di PVC. Uno studio dell'Università di Amsterdam stima che nel processo di formazione del DCE si producono fino a 419 grammi di diossine (TEQ) ogni 100.000 tonnellate di prodotto. Altre stime effettuate dall'estrapolazione di ricerche su impianti produttivi in Norvegia, Svezia, Olanda e Germania, lasciano supporre un rilascio di circa 10g(TEQ)/100.000 tonnellate di DCE/CVM prodotte. Sulla base di queste stime, considerando una produzione italiana di 427.000 t/a di DCE/CVM, l'emissione di diossine da parte di questo settore industriale varia da 42,7 g/a (TEQ) a 1789 g/a (TEQ).

ALTRI SETTORI INDUSTRIALI

Quello dell'incenerimento e della produzione di DCE/CVM, sono solo due delle attività in grado di produrre diossine. In realtà, in quasi tutti i processi industriali in cui si fa uso di cloro, le diossine possono rappresentare degli indesiderati prodotti di scarto. La tabella che segue mostra le attività responsabili del rilascio di diossine, o sospettate di esserlo.

PROCESSI DAI QUALI SI FORMANO DIOSSINE E SOSTANZE AFFINI

Produzione di cloro elementare

Elettrolisi del cloro con elettrodi di grafite

Elettrolisi del cloro con elettrodi di titanio

Utilizzazione del cloro elementare : industria chimica

Sostanze aromatiche clorate: produzione (clorobenzeni, clorofenoli, PCB, altri)
Pesticidi
Coloranti
Composti speciali
Solventi clorurati: produzione (tricloroetilene, tetracloroetilene, tetracloruro di carbonio)
PVC: produzione di materie prime (dicloruro di etilene, cloruro di vinile)
Rifiuti di processo
Effluenti
Fanghi derivati dal trattamento degli effluenti
Emissioni atmosferiche
Prodotti a base di PVC
Altri organocloruri alifatici: produzione (epicloridrina, esaclorobutadiene)
Alcuni cloruri inorganici: produzione (cloruri ferrici e rameici, ipoclorito di sodio)
Utilizzazione del cloro elementare: altre industrie
* Industria cartiera: sbiancamento con cloro
Effluenti delle cartiere
Fanghi delle cartiere
Prodotti finali
Emissioni dell'incenerimento dei fanghi
Trattamento dell'acqua e delle acque reflue con composti a base di cloro raffinazione di metalli (Ni, Mg)
Utilizzazioni degli organocloruri
Utilizzo di cloruri come intermediari (nitrofenoli, parathion)
Sgrassamento con solventi organoclorurati in ambiente alcalino o reattivo
Raffinazione del petrolio mediante catalizzatori organoclorurati
Uso di pesticidi unitamente a calore (trattamento del legno, ecc)
Sinterizzazione di ferro/acciaio con olii, solventi o materie plastiche a base di organocloruri
* Combustione di benzina o nafta contenenti additivi organoclorurati
Uso di sbiancanti e detersivi a base di cloro in lavatrici e lavastoviglie
Incenerimento, riciclaggio ed incendi (tra parentesi sono citati i prodotti responsabili della produzione di diossine)
* Incenerimento di rifiuti ospedalieri (PVC)
Emissioni atmosferiche
* Inceneritori per rifiuti solidi urbani (PVC)
Emissioni atmosferiche
Ceneri residue
* Inceneritori per rifiuti nocivi (solventi, rifiuti dell'industria chimica)
Emissioni atmosferiche
Ceneri residue
Fornaci che bruciano rifiuti nocivi (solventi, rifiuti della produzione di sostanze chimiche)
Emissioni atmosferiche
Polveri
Incendi accidentali in abitazioni ed uffici (PVC)

Incendi in impianti industriali (PVC, PCB, altri cloruri)

Riciclaggio/fusione dell'alluminio (PVC)

Riciclaggio/fusione dell'acciaio e delle automobili (PVC)

* Riciclaggio/fusione dei cavi di rame (PVC)

*Combustione del legno (conservanti a base di pentaclorofenoli, PVC)

Trasformazione di clorofenoli in diossine nell'ambiente

* Considerati dall'EPA nei documenti relativi alla propria rivalutazione sulle diossine (Clevedy 1993, Schaum 1993). L'elenco comprende settori nei quali la formazione di diossina o di composti ad essa affini (PCB, dibenzofurani clorurati e/o esaclorobenzene) è stata confermata da analisi chimiche, nonché settori in cui, secondo l'EPA (EPA 1980, EPA 1985, PCTN 1985) o la NATO (Hutzinger 1988), la formazione di diossina è "nota o sospetta".