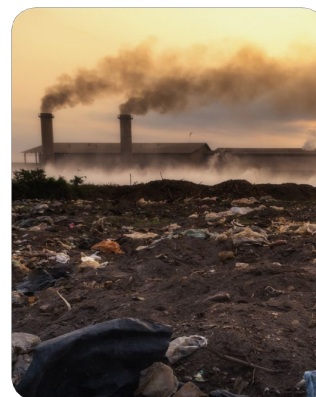


Determinazione dei PBDD e dei PBDF nei campioni di emissione

I dibenzo-p-diossinepolibromurate e dibenzofurani polibromurati (PBDD/F) sono gli analoghi bromurati delle dibenzo-p-diossine e dei dibenzofurani policlorurati (PCDD/F). I PBDD/F sono classificati come inquinanti organici persistenti (POPs), sostanze tossiche che possono persistere e bioaccumularsi in comparti ambientali e biologici, con effetti negativi sulla salute umana e animale. Poiché possono essere presenti in tracce ma accumularsi nel tempo, è essenziale un'analisi accurata per la valutazione dell'esposizione, il monitoraggio delle tendenze e l'identificazione delle emissioni derivanti da attività termiche e legate ai rifiuti, compresi i processi che coinvolgono ritardanti di fiamma bromurati (BFR).



1: Immagine illustrativa

PBDD/F Introduzione

I PBDD/F non vengono prodotti intenzionalmente, ad eccezione di piccole quantità destinate ad analisi e ricerca. Queste sostanze chimiche si formano involontariamente quando i materiali vengono riscaldati o bruciati in presenza di ritardanti di fiamma bromurati (BFR) o altri composti organici bromurati. Inoltre, i PBDD/F possono anche formarsi come sottoprodotti durante la produzione di BFR quali i difenileteri polibromurati (PBDE). Dopo la loro formazione, è stato documentato il rilascio di PBDD/F nell'ambiente da diverse fonti antropiche (ad esempio inceneritori di rifiuti e impianti metallurgici).

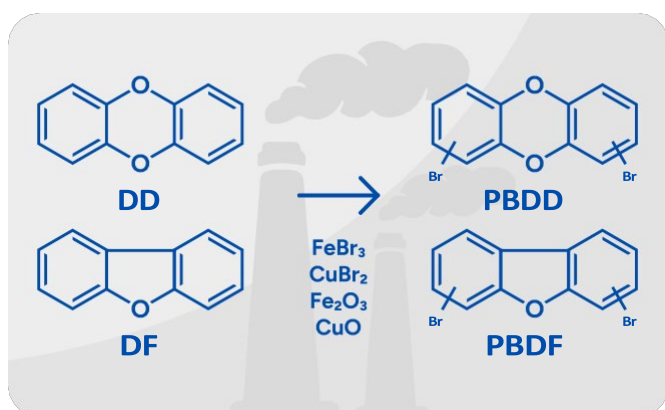


Figura 2: Formazione ed emissione dei PBDD/F

I PBDF sono composti aromatici triciclici quasi planari, che variano per numero di atomi di bromo e posizione dell'alogenazione. Esistono otto posizioni sia sulle molecole di dibenzo-p-diossina che su quelle di dibenzofurano in cui può avvenire la sostituzione alogenata. Le posizioni sono numerate come mostrato nella Fig. 3. Teoricamente, sono possibili 75 PBDD e 135 PBDF (Tabella 1). I congeneri più tossici sono quelli sostituiti nelle posizioni 2, 3, 7 e 8.

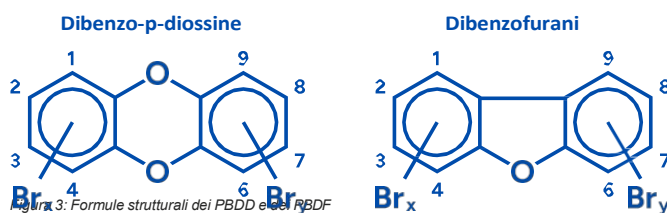


Figura 3: Formule strutturali dei PBDD e dei PBDF

Tabella 1. Numero di possibili congeneri PBDD e PBDF

Composto	Sostituzione	Di	Tri	Tetra	Penta	Es	Ept	Ott	Totale
PBDD	2	10	14	22	14	10	2	1	75
PBDF	4	16	28	38	28	16	4	1	135
Totale: 210									

► [Continua alla pagina successiva](#)
(Introduzione al PBDD/F)

CONTATTI

ALS in Italia info.zpp@alsglobal.com | +39 04343 638 200 | www.alsglobal.it | alsglobal.com

Rispetto ai loro parenti clorurati (PCDD/F), le diossine e i furani bromurati hanno pesi molecolari più elevati, punti di fusione più alti, pressioni di vapore più basse e minore solubilità in acqua. I PBDD/F sono persistenti, in base alla loro emivita prevista in acqua e nel suolo. Inoltre, i PBDD/F sono stati trovati in carote di sedimenti, in strati in cui si sono depositati decenni fa, dimostrando la persistenza di questi composti. L'emivita di eliminazione dei PBDD/F nei mammiferi è significativamente più lunga di quella dei PCDD, il che suggerisce che anche le sostanze bromurate sono altamente bioaccumulabili. I PBDD/F hanno il potenziale per il trasporto ambientale a lungo raggio, principalmente legati alle particelle nell'atmosfera. Il rilevamento di PBDD/F nelle balene pilota intorno alle Isole Faroe fornisce un esempio del trasporto a lungo raggio di queste sostanze chimiche.

Rischi per la salute umana associati ai PBDD/F

I PBDD/F vengono rilevati nell'ambiente (ad esempio nei sedimenti, nell'aria e nella fauna selvatica) e negli esseri umani. Il pubblico è esposto ai PBDD/F attraverso gli alimenti (ad esempio uova, latte, pesce e carne), la polvere degli ambienti interni e i prodotti di consumo realizzati con plastica riciclata (ad esempio giocattoli). I PBDD/F causano effetti nocivi simili a quelli dei PCDD/F, tra cui ad esempio immunotossicità, cancerogenicità, tossicità riproduttiva e dello sviluppo, e contribuiscono quindi all'esposizione complessiva all'esposizione diossina-simile degli esseri umani e della fauna selvatica. L'elevata tossicità dei PBDD/F è particolarmente preoccupante in combinazione con il potenziale di bioaccumulo.

Normative nazionali o regionali

Nell'Unione europea, le emissioni nell'aria di PBDD/F devono essere monitorate una volta ogni sei mesi negli impianti di incenerimento dei rifiuti. Il monitoraggio si applica solo all'incenerimento di rifiuti contenenti BFR o agli impianti che utilizzano l'aggiunta di bromo nelle caldaie con iniezione continua di bromo (Commissione europea, 2019). Inoltre, la presenza nei prodotti e il rilascio di diversi PBDD/F sono già regolamentati rispettivamente in Germania e nei Paesi Bassi. Le diossine bromurate sono sostanze altamente tossiche e persistenti che si accumulano nell'ambiente e nella catena alimentare. A causa dei loro effetti negativi sulla salute umana e sugli ecosistemi, sono attualmente in fase di revisione per essere inserite nella Convenzione di Stoccolma sugli inquinanti organici persistenti.

Riferimenti

UNEK Piskorska-Pliszczynska Jadwiga, Maszewski Sebastian: Diossine bromurate: nuovi rischi per la salute poco conosciuti – una rassegna, Bull Vet Inst Pulawy (2014) DOI: 10.2478/bvip-2014-0051

UNEK Dan Li, Rong Cao, Haijun Zhang, Yun Fan, Mingyong Zhou, Haitao Shi, Jiping Chen: Indagine sulla bromurazione delle dibenzo-p-diossine e dei dibenzofurani polibromurati, Journal of Hazardous Materials (2025) DOI: 10.1016/j.jhazmat.2025.138505

UNEK UNEP/POPS/POPRC.21/2 Bozza del profilo di rischio: dibenzo-p-diossine e dibenzofurani polibromurati e dibenzo-p-diossine e dibenzofurani misti polibromurati/clorurati. 25 giugno 2025. Risposta di HEAL alla bozza di proposta per l'inserimento dei PBDD/F e dei PBCDD/F nell'allegato C della Convenzione di Stoccolma sugli inquinanti organici persistenti. 19 maggio 2025.

UNEK Commissione europea. (2019). DECISIONE DI ESECUZIONE (UE) 2019/2010 DELLA COMMISSIONE del 12 novembre 2019 che stabilisce le conclusioni sulle migliori tecniche disponibili (BAT), ai sensi della direttiva 2010/75/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, per l'incenerimento dei rifiuti. https://eur-lex.europa.eu/eli/dec_impl/2019/2010/oj/eng.

UNEK Van den Berg Martin, Denison Michael S., Birnbaum Linda S., DeVito Michael J., Fiedler Heidelore, Falandysz Jerzy, Rose M Martin, Schrenk Dieter, Safe Stephen, Tohyama Chiharu, Tritscher Angelika, Tysklind Mats, Peterson Richard E.: Dibenzo-p-diossine, dibenzofurani e bifenili polibromurati: inclusione nel concetto di fattore di equivalenza tossica per i composti diossina-simili. Toxicological Sciences (2013) DOI: 10.1093/toxsci/kft070

Determinazione dei PBDD/F nei laboratori ALS

Presso ALS Repubblica Ceca utilizziamo il metodo analitico più moderno per la determinazione dei PBDD/F nelle matrici di emissione. I congeneri target dei PBDD e dei PBDFS sono elencati nella tabella 2.

Tabella 2. Elenco dei composti PBDD/F analizzati dall'ALS Repubblica Ceca

Numero di atomi di bromo	Analiti target	
	PBDD	PBDF
4	2,3,7,8-TBDD	2,3,7,8-TBDF
5	1,2,3,7,8-PeBDD	1,2,3,7,8-PeBDF
		2,3,4,7,8-PeBDF
6	1,2,3,4,7,8-HxBDD	1,2,3,4,7,8-HxBDF
	1,2,3,6,7,8-HxBDD	1,2,3,6,7,8-HxBDF
	1,2,3,7,8,9-HxBDD	1,2,3,7,8,9-HxBDF
7	1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	1,2,3,4,6,7,8-HpBDF
8	OBDD	1,2,3,4,7,8,9-HpBDF
		OBDF

A tal fine, utilizziamo la gascromatografia accoppiata alla spettrometria di massa ad alta risoluzione (GC-HRMS) o la gascromatografia accoppiata alla spettrometria di massa tandem con triplo quadrupolo (GC-MS/MS). Entrambe le tecniche utilizzano la ionizzazione elettronica e i metodi analitici si basano sulla diluizione isotopica utilizzando standard marcati con isotopi ¹³C, garantendo un'elevata accuratezza e affidabilità dei risultati. Il metodo sviluppato raggiunge limiti di quantificazione compresi tra 0,005 e 0,300 ng/campione a seconda del congenere, rendendolo adatto agli scopi previsti. Per tradurre i dati quantitativi GC-MS in informazioni rilevanti sulla tossicità, i valori TEQ (equivalente tossico) per i PBDD/F sono stati calcolati secondo la raccomandazione dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) per i fattori di equivalenza tossica (TEF) per l'uomo e i mammiferi, con la raccomandazione di utilizzare gli stessi fattori utilizzati per i congeneri PCDD/F.



Figura 4: Strumentazione GC-MS/MS e GC-HRMS utilizzata per le analisi dei PBDD/F