

CHE COSA SONO LE DIOSSINE, I FURANI E I PCB



Le attività industriali e i processi di combustione possono rappresentare sorgenti di diossine e furani. La loro effettiva formazione ed emissione dipende dalle condizioni del processo e dai sistemi di abbattimento.

Quando si parla di diossine negli alimenti, spesso si immagina una sola sostanza particolarmente pericolosa. In realtà il termine viene utilizzato per indicare un insieme di composti chimici differenti, alcuni dei quali condividono proprietà e meccanismi tossicologici. A questo gruppo si affiancano i furani e una parte dei policlorobifenili, comunemente chiamati PCB. Comprendere che cosa accomuna queste sostanze, ma anche che cosa le distingue, è indispensabile per interpretare correttamente le informazioni sulla contaminazione alimentare.

Non tutte le molecole appartenenti a queste famiglie hanno la stessa tossicità; non tutte sono nate dagli stessi processi e non tutte vengono valutate con gli stessi criteri. Per questo, nel linguaggio scientifico, è importante distinguere la famiglia chimica, il singolo congenere e la sua eventuale attività diossina-simile.

UDIOSSINE: UNA FAMIGLIA DI COMPOSTI, NON UNA SOSTANZA UNICA

Le diossine propriamente dette sono le policlorodibenzo-p-diossine, abbreviate PCDD (dall'inglese polychlorinated dibenzo-p-dioxins). La loro struttura comprende due anelli aromatici collegati da due ponti di ossigeno. A questa struttura possono essere legati atomi di cloro in posizioni diverse.

Le possibili combinazioni del numero e della posizione degli atomi di cloro danno origine a 75 congeneri di PCDD. Un congenere è una specifica variante molecolare appartenente alla medesima famiglia chimica. Non è un dettaglio puramente terminologico: la posizione degli atomi di cloro può cambiare sensibilmente il comportamento biologico della sostanza.

La più conosciuta è la 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-diossina, abbreviata 2,3,7,8-TCDD. È stata studiata estesamente e costituisce il composto di riferimento per la valutazione della tossicità diossina-simile. Nella comunicazione pubblica, la TCDD viene spesso chiamata semplicemente "diossina"; questa semplificazione può però far dimenticare che la famiglia comprende molte altre molecole.

Le PCDD non sono normalmente prodotte per essere utilizzate come sostanze commerciali: si formano soprattutto come sottoprodotti non intenzionali in alcuni processi termici e industriali. Le origini e le condizioni di formazione saranno approfondite più avanti.

FURANI: MOLECOLE SIMILI, MA NON IDENTICHE

Con il termine furani, in questo contesto, si indicano i policlorodibenzofurani, o PCDF (polychlorinated dibenzofurans). La loro struttura è simile a quella delle PCDD, ma i due anelli aromatici sono collegati da un solo ponte di ossigeno e da un legame diretto carbonio-carbonio. Esistono 135 possibili congeneri di PCDF.

Occorre evitare un equivoco: i policlorodibenzofurani di cui parliamo non coincidono con il furano semplice, una molecola che può formarsi anche durante determinati trattamenti termici degli alimenti e che viene studiata come contaminante distinto. Il nome è simile, ma le sostanze e i contesti tossicologici non sono intercambiabili.

Diossine e policlorodibenzofurani vengono spesso indicati con la sigla congiunta PCDD/F. È una convenzione utile, perché le due famiglie possono avere origini ambientali comuni, alcune proprietà simili e, per determinati congeneri, un meccanismo di azione tossica condiviso.

PCB: SOSTANZE PRODOTTE INTENZIONALMENTE IN PASSATO

I policlorobifenili, o PCB (polychlorinated biphenyls), sono una famiglia distinta. La loro struttura di base è costituita da due anelli aromatici uniti direttamente tra loro, ai quali possono essere legati fino a dieci atomi di cloro. Il numero e la disposizione dei sostituenti consentono 209 congeneri teorici.

A differenza delle diossine e dei furani, i PCB sono stati prodotti industrialmente in grandi quantità nel Novecento, per esempio come fluidi isolanti e dielettrici in trasformatori e condensatori e in altri impieghi tecnici. Le caratteristiche che li rendevano funzionali — stabilità chimica e resistenza alla degradazione — contribuiscono anche alla loro persistenza ambientale. Produzione e impiego sono stati progressivamente vietati o fortemente limitati, ma le contaminazioni legate al passato possono ancora rappresentare una fonte di esposizione.

I PCB non costituiscono una categoria tossicologicamente uniforme. Una distinzione centrale, anche per la sicurezza alimentare, è quella fra PCB diossina-simili e PCB non diossina-simili.

QUALI COMPOSTI SONO CONSIDERATI DIOSSINA-SIMILI

All'interno delle 75 PCDD e dei 135 PCDF, l'insieme utilizzato nelle valutazioni convenzionali della tossicità diossina-simile comprende 17 congeneri con atomi di cloro nelle posizioni 2, 3, 7 e 8: sette PCDD e dieci PCDF. A questi si aggiungono 12 PCB diossina-simili (DL-PCB, dioxin-like PCB). In totale, il sistema degli equivalenti tossici prende quindi in considerazione 29 congeneri.

I 12 DL-PCB hanno caratteristiche strutturali che consentono loro di assumere configurazioni molecolari favorevoli a un'azione biologica simile a quella della TCDD. Comprendono quattro PCB non-orto-sostituiti e otto PCB mono-orto-sostituiti. "Orto" indica la posizione degli atomi di cloro vicina al legame fra i due anelli del bifenile: tale disposizione influenza la geometria della molecola.

TRE FAMIGLIE, TOSSICITÀ DIFFERENTI

Le famiglie chimiche non coincidono con l'insieme dei congeneri considerati nel sistema degli equivalenti tossici (TEQ)

PCDD

(policlorodibenzo-p-diossine)

- Congeneri possibili: 75
- Valutati nel sistema TEQ: 7 con TEF
- Struttura: due anelli aromatici collegati da due atomi di ossigeno

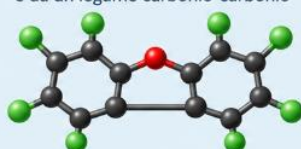


Esempio: 2,3,7,8-TCDD
(il congenero di riferimento, TEF = 1)

PCDF

(policlorodibenzofurani)

- Congeneri possibili: 135
- Valutati nel sistema TEQ: 10 con TEF
- Struttura: due anelli aromatici collegati da un solo atomo di ossigeno e da un legame carbonio-carbonio

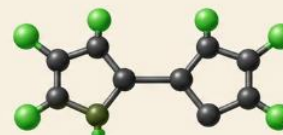


Esempio: 2,3,7,8-TCDF

PCB

(policlorobifenili)

- Congeneri possibili: 209
- Valutati nel sistema TEQ: 12 con TEF (DL-PCB)
- Struttura: due anelli aromatici uniti direttamente tra loro



Esempio: PCB 126
(uno dei 12 PCB diossina-simili, TEF = 0,1)

CHE COSA SIGNIFICA TEQ

TEQ (Toxic Equivalents, equivalenti tossici) è una misura che esprime la tossicità complessiva di una miscela di congeneri diossina-simili.

Per ogni congenero si moltiplica la concentrazione misurata per il suo **fattore di equivalenza tossica (TEF)**, che ne indica la potenza relativa rispetto al congenero di riferimento (2,3,7,8-TCDD, con TEF = 1).

La somma di questi contributi fornisce il valore TEQ del campione.

Nel sistema TEQ sono considerati 29 congeneri: 7 PCDD, 10 PCDF e 12 PCB diossina-simili (DL-PCB).

ESEMPIO DI CALCOLO DEL TEQ

Congenero	Concentrazione misurata (pg/g)	TEF (potenza relativa)	Contributo al TEQ (pg TEQ/g)
Congenero A	2,0	0,1	0,20
Congenero B	1,0	0,01	0,01
Congenero C	0,5	0,01	0,005
TEQ totale (del campione)			0,215

Questa classificazione non significa che gli altri congeneri siano necessariamente privi di effetti sulla salute. Significa che i PCB non diossina-simili (NDL-PCB) non vengono assimilati alle diossine attraverso il medesimo sistema di equivalenza tossica. Per essi sono necessarie valutazioni specifiche, che considerano altri possibili meccanismi ed effetti.

PERCHÉ CONTA LA STRUTTURA CHIMICA

Due molecole con lo stesso numero di atomi di cloro possono comportarsi diversamente se questi occupano posizioni differenti. Alcuni congeneri possono interagire in misura diversa con il recettore cellulare AhR (aryl hydrocarbon receptor), coinvolto nel meccanismo di azione delle sostanze diossina-simili. Le differenze strutturali incidono inoltre su proprietà chimico-fisiche e processi biologici.

Per evitare di sommare sostanze con potenze tossiche molto diverse come se fossero equivalenti, gli organismi scientifici utilizzano i fattori di equivalenza tossica, denominati TEF (toxic equivalency factors). Ogni congenero incluso nel sistema riceve un fattore che esprime la sua potenza relativa rispetto alla 2,3,7,8-TCDD, alla quale viene attribuito convenzionalmente il valore 1.

Moltiplicando la concentrazione di ciascun congenero per il relativo TEF e sommando i contributi si ottiene una concentrazione espressa in equivalenti tossici, o TEQ (toxic

equivalents). Il TEQ è quindi un indice ponderato della tossicità diossina-simile della miscela, non semplicemente la somma delle masse delle sostanze presenti.

I valori dei TEF vengono rivalutati quando emergono nuove conoscenze. L'Organizzazione mondiale della sanità li ha aggiornati nel 2022; la valutazione EFSA pubblicata nel giugno 2026 utilizza questo aggiornamento. Il metodo e le conseguenze nell'interpretazione dei referti saranno illustrati nel Capitolo 7.

LE PROPRIETÀ CONDIVISE: PERSISTENZA E AFFINITÀ PER I GRASSI

Molte di queste sostanze presentano una notevole stabilità chimica, limitata solubilità in acqua e una marcata affinità per le componenti lipidiche. Tali proprietà favoriscono la permanenza nell'ambiente e, per diversi congeneri, l'accumulo negli organismi. Il comportamento effettivo cambia però in funzione della specifica molecola, della matrice ambientale e delle condizioni di esposizione.

PCDD, PCDF e PCB rientrano tra le categorie di inquinanti organici persistenti considerate negli accordi internazionali, inclusa la Convenzione di Stoccolma. La loro presenza non implica necessariamente una contaminazione recente: residui derivanti da attività del passato possono rimanere nell'ambiente e raggiungere la catena alimentare anche molto tempo dopo la cessazione della fonte originaria.

La lipofilia contribuisce a spiegare perché il controllo di questi composti riguardi in modo particolare determinati alimenti di origine animale. Sarebbe però improprio dedurre che tutti gli alimenti grassi abbiano le stesse concentrazioni, oppure che quelli poveri di grassi siano sempre privi di contaminazione: le concentrazioni reali dipendono anche dalle fonti ambientali, dall'alimentazione degli animali e da numerosi altri fattori.

PRESENZA, QUANTITÀ E RISCHIO: TRE QUESTIONI DA NON CONFONDERE

Sapere che in un alimento è stata identificata una diossina o un PCB costituisce innanzitutto un'informazione sulla presenza della sostanza. Per interpretarla servono almeno la concentrazione misurata, l'identità dei congeneri, le prestazioni del metodo analitico e il contesto del consumo. Un risultato espresso come somma di PCB non può essere confrontato automaticamente con un risultato espresso in TEQ.

La presenza di un contaminante non dimostra, da sola, un danno sanitario. Il rischio dipende dall'esposizione e dalle caratteristiche tossicologiche delle sostanze coinvolte. D'altra parte, proprio la persistenza di questi composti impone di non limitarsi a valutare una singola occasione di consumo: per molti effetti è rilevante l'esposizione nel tempo.

La valutazione EFSA del 2026 conferma l'importanza sanitaria dell'esposizione alimentare a PCDD/F e DL-PCB nella popolazione europea. Non si tratta però di un giudizio indistinto su ogni alimento che contenga una quantità misurabile di queste sostanze. Gli effetti sulla salute e il significato dei valori di riferimento saranno esaminati separatamente nei capitoli dedicati.

UNA DISTINZIONE UTILE DA RICORDARE

In sintesi, le diossine (PCDD) e i policlorodibenzofurani (PCDF) sono due famiglie strettamente correlate, originate principalmente come sottoprodotti indesiderati. I PCB costituiscono invece una terza famiglia, prodotta intenzionalmente in passato. Solo alcuni PCB possiedono attività diossina-simile e vengono considerati, insieme a specifiche PCDD e PCDF, attraverso il sistema TEF/TEQ.

Queste differenze non sono una questione riservata agli specialisti. Sono la chiave per comprendere che cosa viene effettivamente misurato in laboratorio, perché la normativa distingue più parametri e perché una comunicazione corretta sulla sicurezza del cibo non può limitarsi alla parola generica “diossine”.

RIFERIMENTI SCIENTIFICI E NORMATIVI

- [1. EFSA CONTAM Panel \(2026\). Update of the risk assessment on dioxins and dioxin-like PCBs in feed and food. EFSA Journal.](#)
- [2. EFSA \(2026\). Dioxins and PCBs: quadro delle valutazioni scientifiche.](#)
- [3. World Health Organization \(2026\). Dioxins. Scheda informativa, 11 agosto 2026.](#)
- [4. World Health Organization \(2019\). Exposure to dioxins and dioxin-like substances: a major public health concern.](#)
- [5. WHO/FAO JECFA. Polychlorinated dibenzodioxins, polychlorinated dibenzofurans and coplanar PCBs: scheda di valutazione.](#)
- [6. Unione europea. Regolamento \(UE\) 2023/915, relativo ai tenori massimi di alcuni contaminanti negli alimenti \(testo soggetto a modifiche successive\).](#)
- [7. World Health Organization \(2020\). Food safety: Persistent organic pollutants \(POPs\).](#)