

COME SI MISURANO LE DIOSSINE E I PCB NEGLI ALIMENTI

Le diossine, i furani e i policlorobifenili (PCB) sono contaminanti che possono essere presenti negli alimenti in quantità estremamente piccole. Misurarli non significa soltanto accertarne la presenza: occorre riconoscere le singole molecole, quantificarle in modo affidabile e, per i composti diossina-simili, tradurre i risultati in una misura della tossicità relativa della miscela. Questa distinzione è essenziale per leggere correttamente un rapporto di prova.

CHE COSA CERCA IL LABORATORIO

Una ricerca analitica mirata considera i 17 congeneri di diossine e furani clorurati sostituiti nelle posizioni 2,3,7,8 e i 12 PCB diossina-simili (DL-PCB), per i quali sono disponibili fattori di equivalenza tossica. Questi 29 composti non hanno identica tossicità né sono presenti in proporzioni costanti. Per i PCB non diossina-simili (NDL-PCB), la disciplina europea utilizza anche la somma di sei congeneri indicatori: PCB 28, 52, 101, 138, 153 e 180, frequentemente indicata come «PCB6». Non bisogna sommare direttamente il valore dei PCB6, espresso come massa, con quello dei composti diossina-simili espresso in equivalenti tossici.

DAL CAMPIONE AL RISULTATO

L'analisi comincia prima dello strumento: il campione deve essere prelevato con criteri adeguati, identificato e conservato evitando perdite o contaminazioni. La preparazione varia in funzione della matrice (per esempio pesce, latte, uova o oli). In genere si effettuano estrazione, purificazione dell'estratto e separazione delle interferenze, con particolare attenzione alla frazione lipidica. Standard interni, spesso marcati isotopicamente, consentono di controllare recupero e precisione delle misure. La qualità del risultato dipende dalla rappresentatività del campione tanto quanto dalla sensibilità dello strumento.

TECNICHE STRUMENTALI E METODI DI SCREENING

Per le determinazioni di conferma di diossine, furani e DL-PCB, il regolamento (UE) 2017/644 contempla gascromatografia accoppiata a spettrometria di massa ad alta risoluzione (GC-HRMS) oppure a spettrometria di massa tandem (GC-MS/MS), nel rispetto di specifici requisiti di prestazione. La gascromatografia separa i composti; la spettrometria di massa permette di identificarli e quantificarli con elevata selettività. Per

i PCB non diossina-simili sono ammesse anche altre configurazioni analitiche idonee, soggette ai requisiti previsti dalla norma.

I metodi di screening, inclusi alcuni saggi biologici, servono a individuare campioni potenzialmente critici e a selezionare quelli da sottoporre a conferma. Un test biologico può restituire una risposta espressa in equivalenti bioanalitici (BEQ), ma non identifica necessariamente i singoli congeneri. Non si deve considerare automaticamente un valore BEQ equivalente a un risultato TEQ ottenuto con analisi chimica di conferma.

DAL CAMPIONE AL RAPPORTO DI PROVA

Un metodo valido parte dal prelievo rappresentativo



La qualità del dato dipende da tutta la procedura

Tracciabilità · standard interni · recupero · LOQ · incertezza

DALLE CONCENTRAZIONI AI FATTORI TEF

Per i 29 congeneri diossina-simili, la concentrazione di ciascuna sostanza viene moltiplicata per il rispettivo fattore di equivalenza tossica (TEF, Toxic Equivalency Factor). Il riferimento convenzionale è la 2,3,7,8-TCDD, cui è attribuito un TEF pari a 1. Il TEF rappresenta la potenza tossicologica relativa del congenere rispetto a tale riferimento, nell'ambito delle ipotesi del metodo. La somma dei contributi ottenuti è detta TEQ (Toxic Equivalents): $TEQ = \sum (\text{concentrazione del congenere} \times \text{TEF del congenere})$.

Un esempio puramente illustrativo: un campione che contenga 2 pg/g di un congenere con TEF 0,1 e 1 pg/g di un congenere con TEF 0,01 darebbe, considerando soltanto questi due composti, un risultato di 0,21 pg TEQ/g. La somma delle concentrazioni sarebbe invece 3 pg/g: sono due misure diverse e non intercambiabili. Il calcolo

completo richiede tutti i congeneri previsti e la corretta applicazione delle regole sui risultati inferiori al limite di quantificazione.

TEF 2005, TEF 2022 E CONFRONTABILITÀ

L'OMS ha riesaminato nel 2022 i fattori TEF, pubblicandone i risultati successivamente. La valutazione EFSA del 2026 impiega i WHO-TEF 2022 per aggiornare la stima dell'esposizione e del rischio. Tuttavia, i tenori massimi stabiliti dalla normativa europea sono stati espressi, nel quadro descritto dalla stessa EFSA nel 2026, con riferimento ai WHO-TEF 2005. Perciò un laboratorio o un lettore non dovrebbe confrontare un risultato calcolato con TEF 2022 con un limite espresso in TEF 2005 senza ricalcolare correttamente il dato secondo il criterio richiesto. La versione dei TEF è un'informazione sostanziale, non un dettaglio di etichettatura.

LIMITI DI RILEVAZIONE, DI QUANTIFICAZIONE E RISULTATI INFERIORI AL LOQ

Il limite di rilevazione (LOD) riguarda la possibilità di distinguere un segnale dal fondo analitico; il limite di quantificazione (LOQ) indica il livello al quale una sostanza può essere quantificata con prestazioni analitiche adeguate. Un risultato «inferiore al LOQ» non significa necessariamente che la sostanza sia assente: significa che non è possibile attribuirle una concentrazione quantitativa attendibile secondo il metodo impiegato.

Quando alcuni congeneri non sono quantificati, il TEQ può essere espresso con tre convenzioni: lower bound, assegnando zero ai valori sotto LOQ; middle bound, sostituendoli con metà LOQ; upper bound, sostituendoli con il LOQ intero. Sono ipotesi di calcolo, non tre differenti misurazioni della stessa sostanza. Per le verifiche di conformità ai tenori massimi europei in questione la normativa prevede la convenzione upper bound. Un LOQ eccessivamente elevato può influenzare il risultato upper bound e limitarne la capacità interpretativa.

UNITÀ DI MISURA E BASE DI ESPRESSIONE

Le concentrazioni possono comparire in picogrammi (pg, un milionesimo di milionesimo di grammo) oppure in nanogrammi (ng). È indispensabile verificare il denominatore: pg WHO-TEQ/g di grasso, pg WHO-TEQ/g di prodotto fresco oppure altre basi non sono equivalenti. Per numerose categorie alimentari i valori normativi sono riferiti al grasso; per altre categorie, compresi specifici prodotti ittici, valgono criteri diversi. Il contenuto

di grasso della matrice e la modalità di espressione devono quindi essere esplicitati prima di qualsiasi confronto.

CHE COSA PUÒ E NON PUÒ DIRE UN RAPPORTO DI PROVA

Un rapporto analitico utile riporta almeno matrice e identificazione del campione, sostanze ricercate, unità, base di espressione, metodo, LOQ, convenzione di calcolo, versione dei TEF e, quando pertinente, incertezza di misura. Un risultato riferito a un campione non prova che tutti gli esemplari o lotti dello stesso alimento abbiano quella concentrazione. Il mancato superamento del limite legale non equivale a un'esposizione nulla, né una singola misura permette di calcolare da sola il rischio sanitario individuale.

In conclusione, la lettura corretta dei dati richiede due passaggi distinti: valutare prima l'affidabilità del risultato analitico e poi interpretarlo nel contesto della norma e dell'esposizione alimentare. I limiti legali e il funzionamento dei controlli ufficiali saranno affrontati nel capitolo successivo.

RIFERIMENTI SCIENTIFICI E NORMATIVI

1. [Commissione europea \(2017\). Regolamento \(UE\) 2017/644: metodi di campionamento e analisi per diossine e PCB negli alimenti.](#)
2. [Commissione europea \(2023\). Regolamento \(UE\) 2023/915: tenori massimi di alcuni contaminanti negli alimenti.](#)
3. [EFSA CONTAM Panel \(2026\). Update of the risk assessment on dioxins and dioxin-like PCBs in feed and food. EFSA Journal 24\(6\), e10103.](#)
4. [Organizzazione mondiale della sanità \(2024\). WHO expert consultation on updating the 2005 toxic equivalency factors for dioxin-like compounds.](#)
5. [Organizzazione mondiale della sanità. Dioxins and their effects on human health.](#)