

## 7. CONCLUSIONI

(Piero Guilizzoni)

I risultati delle ricerche effettuate nel 2010 hanno consentito di far luce su alcuni aspetti rilevanti dell'evoluzione della contaminazione da sostanze pericolose nel Lago Maggiore, soprattutto, come vedremo, per quanto riguarda il comparto ittico.

Le nuove ricerche sulla **componente zooplanctonica** hanno permesso di evidenziare come la presenza di pp'DDT e dei suoi metaboliti sia risultata molto spesso più elevata nel Bacino di Pallanza e nella zona di massima profondità del lago (Ghiffa). Tra i prodotti di degradazione del DDT, è risultato prevalere il pp'DDD, spesso presente in concentrazioni più elevate anche rispetto al composto parentale. Tale prevalenza può essere determinata dal rilascio di composti di degradazione anaerobica del pp'DDT da parte dei sedimenti nei quali quest'ultimo è depositato. Nel 2010, pur con qualche eccezione (concentrazioni più elevate di DDT "fresco" per i campioni autunnali di Baveno e Ghiffa), i valori massimi e minimi di contaminazione sono risultati inferiori a quelli del 2009. Più stabile, vale a dire con minori fluttuazioni spazio-temporali rispetto a quella da DDT, è la contaminazione da PCB. I valori più elevati di contaminazione nello zooplancton sono stati misurati in autunno e in inverno, senza differenze di rilievo rispetto all'anno precedente. Essi sembrano in qualche modo riconducibili all'aumentata presenza di carnivori tipicamente osservata in questo periodo dell'anno. Questi ultimi rappresenterebbero pertanto un importante anello di congiunzione nel trasferimento degli inquinanti lungo la rete trofica pelagica lacustre (cfr. Manca *et al.*, 2011; Bettinetti *et al.*, 2011).

Le analisi dei composti organoclorurati presenti sia nei **solidi sospesi sia nelle acque del Fiume Toce** e in quelle del Lago Maggiore hanno confermato il giudizio di buona qualità già espresso lo scorso anno. In nessuno dei campioni d'acqua provenienti da questi due ecosistemi sono stati riscontrati residui dei composti di DDT che superassero il limite di quantificazione di  $0,002 \mu\text{g L}^{-1}$  adottato da ARPA Piemonte. Tuttavia, i risultati delle attività di un progetto specifico condotto da ARPA Piemonte orientato alla valutazione dell'apporto di DDT dal Fiume Toce al Lago Maggiore, hanno mostrato una presenza di composti del DDT e soprattutto di pp'DDT, in molti casi superiore a  $1 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ , sia sul materiale solido trasportato in condizioni idrologiche normali, sia su campioni prelevati durante eventi di piena. I dati confermano altresì come, la frazione fine dei solidi trasportati e dei sedimenti fluviali sia quella più contaminata da DDT, poiché più ricca di sostanza organica. Di scarso significato sono risultati i livelli di concentrazione degli altri composti organici analizzati (esaclorobenzene, lindano, esaclorocicloesano-alfa, esaclorocicloesano-beta).

La misura della biodisponibilità dei contaminanti è stata ottenuta mediante l'utilizzo di **campionatori passivi**, vale a dire, membrane semi-impermeabili (SPMD, *Semi Permeable Membrane Devices*) e dispositivi a resina chelante (DGT, *Diffusive Gradient Thin Films*), predisposti in modo tale da simulare l'assunzione da parte di pesci e molluschi dei contaminanti presenti nell'acqua. I risultati ottenuti hanno confermato l'esistenza di un gradiente di concentrazione di DDT e PCB lungo l'asse maggiore del lago, in direzione Nord-Sud, con concentrazioni progressivamente maggiori verso la zona Sud del lago e nel Bacino di Pallanza. Responsabili di questo gradiente sono, per il DDT gli apporti dal Fiume Toce, per i PCB, dai fiumi Boesio e Bardello, i bacini dei quali sono caratterizzati da un'intensa attività antropica. In generale, le concentrazioni di detti composti, sia in acqua, sia nelle membrane, sono state nel 2010 di gran lunga superiori a quelle del 2009. Molto promettente è parso l'utilizzo delle membrane, tale da far pensare a un possibile impiego di questa metodologia anche all'analisi dei contaminanti organici di origine sedimentaria. L'utilizzo di dispositivi a resina chelante DGT si è dimostrato utile anche nel caso degli elementi in traccia nelle acque

del Lago Maggiore, permettendo di quantificare la presenza di elementi, quali Cd e Pb, presenti a concentrazioni molto basse, prossime o inferiori a  $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ . Detti dispositivi sono dunque strumenti importanti per il monitoraggio dei metalli nella fase acquosa, meritevoli di essere impiegati, a dispetto del lavoro di accurata calibrazione necessario per l'utilizzo a fini normativi, certamente più impegnativo di quello della mera filtrazione dei campioni su  $0,45 \mu\text{m}$ , impiegato nelle misure tradizionali. I risultati ottenuti nei due anni durante i quali questi sistemi sono stati utilizzati come surrogati di organismi biologici per la stima della biodisponibilità dei metalli hanno dimostrato la necessità di inserire test di questo tipo in un programma di ricerca finalizzato alla valutazione della presenza relativa di metalli nelle tre fasi, liquida (misurabili dalle DGT), colloidale e particolata, per l'accumulo in organismi filtratori quali *Dreissena polymorpha* e altri epibentonici e in quelli planctonici. A questo scopo, particolarmente utile sarebbe l'impiego delle DGT per la stima della frazione mobile e/o biodisponibile dei metalli nel comparto sedimentario, il quale sembra controllare la periodica re-immissione dei metalli nella colonna d'acqua.

Le concentrazioni di DDT nei **sedimenti dei tributari** sono risultate contenute e in linea con quelle del periodo 2001-2008, fatta eccezione per quelle misurate sul Toce, fiume che si conferma tuttora come una delle fonti principali di DDT per il lago, a seguito di dilavamento dei suoli contaminati esterni allo stabilimento di Pieve Vergonte e al trasporto attivo di sacche di sedimenti contaminati presenti lungo il segmento terminale prossimo alla foce del fiume. L'aumento nella presenza degli isomeri op' (sia DDT che DDD) rispetto a quelli pp' fa inoltre presupporre che nell'ultimo periodo sia privilegiato il trasporto per solubilizzazione. Gli isomeri op' sono infatti più solubili in acqua rispetto a quelli pp'. Il Toce è anche l'unico elemento a presentare un certo rischio ecologico rispetto a quanto previsto dalle SQG (*Sediment Quality Guidelines*) di MacDonald *et al.* (2000). I dati sui sedimenti dei tributari confermano anche come la contaminazione da PCB sia maggiore nei fiumi della sponda lombarda (Bardello e Boesio) e nel Ticino immissario. Bardello e Boesio sono anche risultati i fiumi a più elevata contaminazione da PBDE e BDE-209, i composti deca bromurati, principali componenti della miscela Deca-BDE, l'unico ritardante di fiamma ancora in uso in Europa. Nel 2010 si conferma altresì il fatto che i tributari lombardi Tresa e Bardello, e il Ticino emissario, sono nettamente distinti dagli altri per le elevate concentrazioni di IPA, soprattutto di quelli petrogenici (i.e. derivati dal petrolio).

Contenuti e a scarsa variabilità stagionale sono risultati i livelli di contaminazione da metalli in traccia nei sedimenti dei tributari del lago, fatta eccezione per quelli dei fiumi Toce e Ticino emissario. Pur con qualche eccezione, le concentrazioni aumentano fino a oltre 30 volte dal nord al sud del lago (ad es. Hg e Cu in primavera), testimoniando la presenza di fonti antropiche di metalli nel bacino imbrifero del Lago Maggiore, e suggerendone un trasporto a valle della cuvetta lacustre. Arricchimenti sostanziali rispetto ai livelli di fondo si osservano in alcuni fiumi per il Cd (Bardello e Ticino Emissario), il Cu (Ticino Emissario e Boesio), il Pb (Tresa e Ticino Emissario) e, in molti di essi, per il mercurio. In tutti questi casi, la composizione litologica *per se* non spiega le anomalie rilevate, le quali sono dunque da imputare, senza ombra di dubbio, all'impatto antropico. Viceversa, sono da interpretare con una certa cautela le concentrazioni di nichel e arsenico, elevate anche in virtù di cause naturali, sebbene occorra qui ricordare come, proprio nello stabilimento di Pieve Vergonte, l'arsenico sia stato a lungo utilizzato per la produzione di acido solforico tramite calcinazione di pirite arsenicata. In taluni mesi dell'anno 2010, le concentrazioni di alcuni metalli nei sedimenti fluviali del Ticino emissario, Toce, Boesio e Tresa, hanno superato il valore di 0,5 (PEC-Q), che rappresenta la soglia per un probabile effetto tossico su alcuni organismi bentonici (Long *et al.*, 2006).

Le analisi sui **molluschi bivalvi** (*Dreissena polymorpha*), raccolti durante le campagne primaverile e autunnale del 2010 hanno evidenziato un livello di contaminazione da DDT più

elevato nelle stazioni del Bacino di Pallanza (Baveno e Suna) rispetto alle altre. Nonostante gli isomeri pp'-sostituiti rimangano quelli più rappresentati nella maggior parte delle stazioni campionate, nel 2010, un livello non trascurabile, cioè anomalo, è stato rinvenuto anche per gli isomeri op', in particolare per l'op'-DDT, così come riscontrato anche nei sedimenti del Fiume Toce. I livelli di concentrazione nelle due stazioni del Bacino di Pallanza sono risultati paragonabili a quelli misurati alla fine degli anni '90, peraltro tra i più bassi tra quelli rilevati nel quindicennio 1996-2010. In particolare, la presenza a Baveno di DDT "fresco" è probabilmente legata al dilavamento operato da piogge intense sulle rive del Torrente Marmazza e del Fiume Toce a valle dell'insediamento industriale di Pieve Vergonte, nonché di suoli circostanti contaminati da lungo tempo. Purtroppo, il confronto col passato fa ritenere che, soprattutto per il Bacino di Pallanza, la situazione di contaminazione non accenni a diminuire in modo significativo. Per di più, globalmente, la contaminazione del Lago Maggiore da DDT è ancor oggi superiore a quella, considerata di *background*, dei laghi subalpini italiani (Como, Iseo, Garda). Una sostanziale omogeneità è stata rilevata nelle concentrazioni totali di PCB e IPA misurate nei molluschi bivalvi prelevate nelle diverse stazioni di campionamento, ad eccezione di quelle di Laveno, con livelli più elevati di PCB, e del Bacino di Pallanza, a più alto tenore di IPA, in estate. Responsabile di questa situazione è con tutta probabilità l'attività turistica, caratterizzata da un intenso traffico di battelli e piccole imbarcazioni da diporto, oltre che da numerose attività ricreative abitualmente intraprese nelle vicinanze delle rive del lago. Questi composti, unitamente agli altri analizzati (HCH totali e HCB, composti organo-fosforati quali chlorpyrifos e carbaryl) non sembrano comunque rappresentare, allo stato attuale, un serio problema ambientale per il Verbano. La presenza di metalli in traccia in *D. polymorpha* rivela l'esistenza di diverse sorgenti di contaminazione, e la persistenza nel Bacino di Pallanza di concentrazioni di mercurio superiori a quelle delle altre stazioni (quanto meno, a maggio). E' interessante notare a questo proposito come le concentrazioni di Hg riscontrate lungo l'asse principale del lago siano simili a quelle misurate in molluschi prelevati nel vicino Lago di Lugano. Visti nel loro complesso, i risultati di quest'indagine mostrano come, fuori dal Bacino di Pallanza, As, Cd e Hg mantengano concentrazioni piuttosto uniformi in tutto il bacino lacustre, mentre Cr, Ni e Pb siano influenzati da apporti locali di variabile entità. In particolare, fonti di Pb sembrano essere presenti nella zona antistante Laveno e Luino, ove si registrano livelli di concentrazione di questo metallo da 2 a 4 volte superiori rispetto a quelle rinvenute in tutti gli altri siti. Fluttuazioni superiori a un ordine di grandezza si rivelano dal confronto dei dati di concentrazione misurati nei diversi anni d'indagine. Nel loro complesso i dati ottenuti su *D. polymorpha* confermano la validità dell'utilizzo di questo organismo per il biomonitoraggio degli elementi in traccia. Resta tuttavia da chiarire se le concentrazioni misurate per alcuni metalli siano indicative di una contaminazione diffusa o semplicemente rappresentative dei livelli di fondo.

Inattesi, e in qualche modo preoccupanti, sono i risultati ottenuti per **le tre specie ittiche** campionate, vale a dire coregone lavarello (*Coregonus lavaretus*), agone (*Alosa agone* syn. *Alosa fallax lacustris*) e gardon (*Rutilus rutilus*). Le concentrazioni di composti del DDT, in particolare del pp'- e dell'op'-DDT, nei campioni di agone di aprile, luglio e novembre 2010 hanno ampiamente superato i limiti previsti dalla normativa italiana per il consumo umano di pesce (0,1 mg·kg<sup>-1</sup> per pesci con un contenuto di grassi a peso fresco maggiore del 5%, contro il limite svizzero di 1,0 mg·kg<sup>-1</sup>). Tale risultato, anche alla luce di quanto emerso per gli altri comparti analizzati, non può essere spiegato altrimenti se non in virtù di un nuovo trasporto a lago di sostanze inquinanti attraverso il Fiume Toce. Che le condizioni del Lago Maggiore non siano stabili è evidenziabile anche dal fatto che il campione di agoni analizzato nel 2011 non sembra invece superare il limite di legge italiano. Purtroppo, nel 2010 anche i campioni di lavarello sono risultati avere concentrazioni di DDT totali relativamente elevate, in due

campioni su quattro superiori alla soglia di edibilità che per questa specie ittica - con un contenuto di grasso inferiore al 5% - prevede una concentrazione limite venti volte più restrittiva di quella svizzera. Aumentate sono risultate anche le concentrazioni di DDT del gardon nel periodo luglio 2010 – gennaio 2011; pur non superando, in questo caso, i limiti previsti dalla normativa italiana per il consumo umano, dette concentrazioni tuttavia, presentano un andamento in crescita mai osservato in precedenza. In termini assoluti, l'agone ha un contenuto (valore medio annuale) di DDT 2,5 volte maggiore rispetto a quello del lavarello, e il gardon pari a circa metà di quello di quest'ultimo) Le differenze tra specie si riducono notevolmente, e la sequenza di contaminazione viene modificata, quando i dati vengano normalizzati in base al contenuto lipidico: il lavarello risulta la specie più danneggiata mentre risulta ancora più evidente il trend in crescita della contaminazione da DDT nel gardon. La situazione è nettamente più rosea per gli altri contaminanti. Sebbene superiori a quelle del 2009, le concentrazioni di PCB e PBDE (ritardanti di fiamma) nelle tre specie ittiche non sono risultate elevate. Il più contaminato è l'agone, seguito dal lavarello e dal gardon; quest'ultimo, tuttavia, risulta il più contaminato quando il dato venga normalizzato sul contenuto lipidico. In questo tipo d'indagini, un ruolo determinante gioca la taglia degli organismi utilizzati: differenze anche minime di questa possono infatti determinare, soprattutto nel caso dei PCB, un aumento delle concentrazioni in funzione dell'età (Bettinetti *et al.*, 2011). Nel 2010, la somma dei PCB indicatori (PCB-i) non ha mai superato i  $70 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$  p.f., valore indicato dal Laboratorio Cantonale del Ticino come soglia per il superamento anche del valore di  $8 \text{ pg}\cdot\text{g}^{-1}$  p.f. TEQ equivalenti per diossine, furani e PCB diossina-simili. La soglia di  $8 \text{ pg}\cdot\text{g}^{-1}$  p.f. TEQ equivalenti è raccomandata dal Regolamento CE n. 1881/2006 come il tenore massimo tollerabile nei prodotti alimentari.

I risultati di una nuova ricerca, purtroppo finanziata solamente per il 2010, hanno mostrato come i PCB-diossina simili (PCB-DL) nei giovani di agone (2–3 anni di età) abbiano superato, sia pure di misura, e in un solo caso il valore soglia di  $8 \text{ pg TEQ g}^{-1}$  p.f. Anche per i PCB-DL, il muscolo di agone è risultato più contaminato (circa tre volte) di quello del coregone. Occorre qui sottolineare come, specialmente nel caso dell'agone, i valori misurati di PCB-DL, potrebbero essere già sufficienti per il superamento della soglia di edibilità per il parametro diossine, furani e PCB-DL, essendo quest'ultimo calcolato cumulando i valori dei PCB-DL con quelli di diossine e furani. L'ipotesi più plausibile è che le concentrazioni di PCB-DL misurate non siano riconducibili alla sola presenza dei PCB, ma anche di fonti di contaminazione conseguenti ad esempio all'incenerimento di rifiuti, al dilavamento di discariche e ad apporti di scarichi industriali.

Infine, per quanto riguarda il mercurio, mentre nel lavarello le concentrazioni sono risultate confrontabili con quelle degli anni 2008 e 2009, una tendenza all'aumento sembra emergere nel caso di agone e gardon. Dette concentrazioni, tuttavia, sono, nel complesso inferiori al valore limite fissato dalla legislazione vigente in Italia ed in Svizzera per i prodotti destinati al consumo umano ( $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$  peso fresco). Come più volte sottolineato in precedenza, va tenuto presente che il rischio per la salute pubblica associato al consumo di pesce dipende, non solamente dal livello di contaminazione dei prodotti ittici, ma anche dalle abitudini alimentari (tipo e quantità di pesce, frequenza di consumo) del consumatore. Quest'ultima considerazione è particolarmente pertinente quando si consideri la situazione di pluri-contaminazione (DDT, PCB, Hg) alla quale è esposta la fauna ittica del Verbano. Da ultimo, e non da meno, tuttavia, anche il confronto con i laghi di Como e d'Iseo non vede favoriti gli agoni del Lago Maggiore, in quanto le concentrazioni di Hg nei pesci di quest'ultimo risultano nettamente superiori a quelle misurate negli altri due grandi laghi subalpini italiani.

## **Bibliografia**

- Bettinetti, R., Quadroni, S., Piscia, R., Manca, M., Volta, P., Guzzella, L., Roscioli, C. & Galassi, S. 2011. Seasonal fluctuations of DDTs and PCBs in a pelagic food web of Lake Maggiore (Italy). *Env. Sc. Poll. Res.*: submitted.
- Long, E.R., Ingersoll, C.G., & MacDonald, D.D. 2006. Calculation and uses of mean sediment quality guideline quotients: a critical review. *Environ. Sci. Technol.*, 40: 1726–1736.
- MacDonald, D.D., Ingersoll, C.G. & Berger, T.A. 2000. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 39: 20–31.
- Manca, M, Piscia, R. & Visconti, A. 2011. Indagini sullo zooplancton e sulla rete trofica pelagica attraverso analisi d'isotopi stabili di carbonio e azoto. In: *Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. 2011*. Programma quinquennale 2008-2012. Campagna 2010. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 35-45.

## 8. GLOSSARIO

- ANOVA (analisi della varianza): tecnica statistica che permette di confrontare due o più gruppi di dati comparando la variabilità *interna* a questi gruppi con la variabilità *tra* i gruppi.
- Bacino imbrifero: è quella parte di territorio che circonda il lago e che, a causa della sua pendenza, fa da imbuto di raccolta delle acque piovane. Lo spartiacque è la parte più alta del bacino imbrifero per cui le precipitazioni atmosferiche che cadono oltre lo spartiacque non scendono superficialmente verso il lago.
- Bioaccumulo: processo attraverso cui sostanze tossiche (per esempio il DDT) si accumulano all'interno di un organismo in concentrazioni crescenti man mano che si sale di livello trofico.
- Biocenosi: è l'insieme di flora e fauna che vive in un ecosistema.
- Bivalvi: molluschi appartenenti al *Phylum* dei Mollusca. Sono caratterizzati da un corpo protetto da una conchiglia formata da due parti, dette valve.
- Biotrasformazione: conversione di una sostanza in altri composti da parte di organismi; comprende la biodegradazione.
- Condizione riducente: in riferimento a determinate condizioni dell'acqua e del sedimento di un corpo d'acqua in cui l'ossigeno è assente o molto scarso.
- DDD (diclorodifenildicloroetano): della famiglia degli organoclorurati (OC). Prodotto di degradazione del DDT con proprietà chimico-fisiche simili.
- DDE (diclorodifenildicloroetilene): della famiglia degli organoclorurati. Prodotto di degradazione del DDT con proprietà chimico-fisiche simili.
- DDT (diclorodifeniltricloroetano): della famiglia degli organoclorurati. E' una sostanza incolore altamente idrofobica usata come potente antiparassitario.
- Diatomee: microalghe unicellulari provviste di una parete silicea formata da due gusci dette teche o valve.
- Diagenesi: termine che deriva dalla geologia e che sta ad indicare la trasformazione chimica, fisica e biologica di un tipo di sedimento nel corso del tempo. In questo studio il termine diagenetico viene utilizzato per indicare una trasformazione chimica di una determinata sostanza organica.
- Diossine: le diossine (dibenzo-p-diossine, PCDD e dibenzofurani, PCDF) sono gruppi di sostanze estremamente stabili e persistenti, presenti nel suolo, nell'aria, nei vegetali, negli animali, negli alimenti (in particolare quelle di origine animale come latte e latticini, pesce, carne e uova) e negli esseri umani. Le diossine possono venire prodotte come molecole indesiderate durante processi di combustione (es. fuochi all'aperto, inceneritori di vecchia generazione) e industriali (es. produzione di sostanze chimiche) e da fenomeni naturali (es. attività vulcaniche).
- Dreissena polymorpha*: mollusco bivalve d'acqua dolce. Organismo originario del Mar Nero e della zona del Mar Caspio; specie tra le più invasive comunemente ritrovabile nei corpi d'acqua dell'Europa centrale, America del nord e in molti laghi italiani (es. Como, Garda).
- Epilimnio: è lo strato d'acqua superiore di un lago termicamente stratificato; è situato sopra il termoclinio (vedi termoclinio) o metalimnio, che lo separa dagli strati profondi (vedi ipolimnio).
- Esaclorobenzene: vedi HCB.
- Esaclorocicloesano: vedi HCH.
- Fingerprint*: si riferisce a sostanze o elementi; indicatore specifico di inquinamento.
- Gas-cromatografia: analisi che si basa sulla diversa ripartizione di sostanze tra una fase stazionaria ed una fase mobile, in funzione dell'affinità di ogni sostanza con la fase mobile, costituita da un gas inerte.

HCB (esaclorobenzene): pesticida della famiglia degli organoclorurati. Idrocarburo polialogenato, tossico.

HCH (esaclorocicloesano): pesticida della famiglia degli organoclorurati. Idrocarburo polialogenato, tossico.

IARC ((International Agency for Research on Cancer): organismo internazionale che si occupa delle ricerche sulle cause di incidenza delle malattie di cancro sulla popolazione umana. Fa parte del WHO (World Health Organization) delle nazioni Unite.

IPA (idrocarburi policiclici aromatici): sono idrocarburi costituiti da due o più anelli aromatici, quali quello del benzene uniti fra loro, in un'unica struttura generalmente piana. Si ritrovano naturalmente nel carbon fossile e nel petrolio.

Gli IPA di origine petrogenica rappresentano una frazione importante dei combustibili fossili. Carbone, petrolio grezzo e scisti bituminosi contengono elevate concentrazioni di questi composti. Spesso il petrolio rappresenta la principale fonte di IPA nel comparto acquatico su scala globale.

Gli IPA di origine pirogenica sono, invece, generati dalla combustione incompleta o dalla pirolisi (decomposizione termochimica) della sostanza organica. Le principali sorgenti fisse in cui possono avvenire simili reazioni sono: riscaldamento domestico a carbone, olio minerale o legna; impianti termoelettrici; fuochi all'aperto quali incendi boschivi o la bruciatura di stoppie; incenerimento di rifiuti solidi urbani; impianti di gassificazione e cokefazione del carbone; processi termici dell'industria metallurgica, quali la produzione di ferro e acciaio. Le sorgenti mobili sono, invece, rappresentate dal traffico veicolare. L'emissione di IPA da veicoli a motore è considerata una delle maggiori sorgenti di questi contaminanti nelle aree urbane.

Isomero: sono detti isomeri due composti aventi stessa formula bruta e stessa composizione percentuale di atomi, ma aventi proprietà fisiche, e spesso anche comportamento chimico, differenti.

Ipolimnio: la parte più profonda di un lago stratificato termicamente, che non subisce l'azione del vento (vedi anche epilimnio).

Lindano: insetticida appartenente alla stessa famiglia chimica del DDT.

Lipide: della famiglia dei grassi, molecole organiche, presenti in natura, raggruppate sulla base delle loro proprietà comuni di solubilità: sono insolubili in acqua (idrofobici).

Livello o stato trofico: è lo stato di un lago in cui a seconda delle concentrazioni di nutrienti, di ossigeno, di trasparenza e di produzione biologica può essere classificato in oligotrofo (poco produttivo), mesotrofo (mediamente produttivo ed eutrofo (molto produttivo).

Mediana: termine statistico che sta ad indicare una media di posizione e rappresenta il valore centrale della distribuzione quando i dati sono ordinati. La mediana non è influenzata dai valori estremi della distribuzione ed inoltre, se la distribuzione è molto asimmetrica, il valore mediano è più appropriato della media aritmetica per esprimere un valore sintetico della distribuzione di valori.

Metabolita: ogni molecola che partecipa attivamente al metabolismo. Anche di sostanza derivata da un'altra.

Organoclorurati: famiglia di composti organici formati per reazione con il cloro. Possono essere prodotti direttamente o indirettamente dall'uomo, tra questi si annoverano le diossine, i furani, il DDT e i PCB. Per contro, i processi naturali formano un numero molto limitato di composti organoclorurati e in quantità trascurabili.

Organofosforati (OP): costituiscono un'alternativa ai pesticidi organoclorurati aventi le seguenti caratteristiche: persistenza nell'ambiente di breve durata; alta tossicità per l'uomo e gli altri mammiferi; si concentrano nei tessuti adiposi ma vengono decomposti velocemente, quindi non sono reperibili nelle catene alimentari.

PBDE (difenileteri polibromurati): sono ritardanti di fiamma cioè composti usati per evitare o ritardare l'estendersi di fiamme in caso di incendio. Sono comunemente utilizzati in

molti settori industriali tra cui quello tessile, elettronico e per la produzione di materiale plastico.

PCB (policlorobifenili): della famiglia degli organoclorurati. Classe di composti organici (= congeneri) considerati inquinanti e persistenti dalla tossicità paragonabile a quella della diossina. I PCB venivano utilizzati in passato nella sintesi di antiparassitari, erbicidi, preservanti del legno, vernici, solventi, disinfettanti, come plastificanti nella produzione di adesivi e come fluidi dielettrici nei condensatori e nei trasformatori elettrici, ed ancora oggi utilizzati per alcuni processi industriali.

I policlorodifenili costituiscono una famiglia di 209 congeneri diversi che possono essere suddivisi in due gruppi in base alle loro proprietà tossicologiche. Un gruppo, composto da 12 congeneri, possiede proprietà tossicologiche analoghe alle diossine e viene pertanto denominato gruppo di "PCB diossino-simili" (DL-PCB); si tratta di sostanze che sono state incluse nella "Valutazione del rischio di diossine e PCB diossino-simili negli alimenti" effettuata dal comitato scientifico dell'alimentazione umana dell'Unione europea. Gli altri PCB, denominati "PCB non diossino-simili" (NDL-PCB), non sono stati valutati in passato dal comitato scientifico dell'alimentazione umana o dall'EFSA. Entrambi i gruppi di PCB (sia NDL che DL) si trovano comunemente nei mangimi e negli alimenti.

I dati sulla presenza dei NDL-PCB negli alimenti e nei mangimi sono stati rilevati con modalità diverse, per esempio come somma di tre congeneri di PCB (PCB 138, 153, e 180), come somma di sei congeneri di PCB (PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180), spesso nominati PCB indicatori, o come somma di sette congeneri (somma dei sei PCB indicatori più il PCB 118). Questa mancanza di uniformità spesso compromette il confronto diretto dei dati di concentrazione.

PEC: *Probable Effect Concentration*. Concentrazione al di sopra della quale è probabile avere effetti tossici sulla fauna macrobentonica.

PEC-Q: *Probable Effect Concentration Quotient*: concentrazioni misurate per ciascun elemento divise per il corrispondente valore guida. 0,3-0,5: valori soglia al di sopra dei quali è probabile riscontrare effetti tossici sulla fauna bentonica (Long, E.R., C.G. Ingersoll & D.D. MacDonald. 2006. Calculation and uses of mean sediment quality guideline quotients: a Critical review. *Environ. Sci. Technol.*, 40:1726-1736).

pg: picogrammo,  $10^{-12}$  grammi, miliardesimo di milligrammo.

Pirolisi: la pirolisi è un processo di decomposizione termochimica di materiali organici, ottenuto mediante l'applicazione di calore e in completa assenza di un agente ossidante (normalmente ossigeno).

Seston: frazione particellata delle acque lacustri trattenuta da un filtro con maglie di 126  $\mu\text{m}$ .

Stratificazione termica: fenomeno che si manifesta nei laghi con lo sviluppo di due strati discreti di acqua a temperatura diversa fra loro ma relativamente omogenea all'interno dello strato.

TEC (*Threshold Effect Concentration*): livello soglia di concentrazione oltre al quale si ha un effetto sul metabolismo degli organismi.

TEF (*Toxic Equivalent Factor*): indice che consente di confrontare la tossicità relativa fra differenti composti (il TEF è relativo alla diossina più pericolosa la TCDD, 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-diossina).

TEQ: concentrazione tossica equivalente o concentrazione equivalente di tossicità calcolata quale somma delle concentrazioni misurate dei singoli congeneri PCDD e PCDF, nonché PCDD, PCDF e DL-PCB, moltiplicata per WHO (97)-TEF.

Termoclinio o metalimnio: quella regione della colonna d'acqua in cui si ha un gradiente di temperatura maggiore di 1 °C per metro. E' situato tra epilimnio e ipolimnio.