

6. CONCLUSIONI

(Piero Guilizzoni, CNR-ISE, Verbania)

Gli studi qui presentati in dettaglio nelle pagine precedenti rappresentano la sintesi di cinque anni di attività di ricerca (2008-2012) promosse dalla Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque italo-svizzere (CIPAIS). Altri programmi sono stati finanziati dalla Commissione da quel lontano 1996, quando analisi correnti misero in evidenza nei pesci e nei sedimenti del Lago Maggiore elevate concentrazioni di DDT (diclorodifeniltricloroetano), indicative di una importante contaminazione ambientale (Calderoni *et al.* 1996).

I temi trattati in questi cinque anni di ricerche sono riportati nella “Presentazione” di questo rapporto, nella quale sono anche evidenziate le modifiche al programma, relativamente, sia ai composti, sia ai comparti dell’ecosistema presi in esame nei diversi anni del quinquennio, così come ampiamente documentato nei singoli rapporti annuali. A partire dal 2010, è stata finanziata una nuova attività, relativa all’analisi dei PCB diossina-simili in due specie di organismi della fauna ittica (lavarello e agone). La sintesi dei risultati ottenuti nel quinquennio viene inserita nel contesto dell’evoluzione a lungo termine delle diverse variabili chimiche analizzate.

Lo **zooplancton**, inserito in questo programma a partire dal 2009, è un insieme di organismi chiave per il trasferimento di materia, energia e contaminanti dalla base verso i livelli più alti della rete trofica acquatica. Esso accumula i composti tossici direttamente dall’acqua e dal cibo, e dalle analisi condotte in questi ultimi quattro anni di indagini sembra che risponda più velocemente rispetto ai pesci ad eventuali fluttuazioni delle concentrazioni dei contaminanti; sembra quindi che possa essere utilizzato come “*early warning signal*” della contaminazione della zona pelagica. In questi ultimi cinque anni di monitoraggio della contaminazione i livelli di composti organo clorurati, DDT in particolare, prima nella componente acqua e poi in quella zooplanctonica, sono calati in modo significativo. Nonostante gli isomeri pp’DDx sostituiti siano quelli più rappresentati nella maggior parte delle stazioni campionate, si è osservato un livello non trascurabile anche degli isomeri op’DDx, chiari indicatori dell’origine industriale della contaminazione. L’op’DDT (presente in modo significativo anche nei molluschi bivalvi) è risultato più elevato nello zooplancton del bacino centro-meridionale del lago, soprattutto nella stazione di Baveno, maggiormente influenzata dal Fiume Toce. In termini generali appare evidente che le differenze osservate nelle stazioni e nelle diverse stagioni siano determinate dalla struttura della comunità, vale a dire dal contributo dei diversi taxa alla biomassa totale, dal contenuto lipidico e dalla prevalenza o meno dei consumatori primari (*Daphnia* e *Bosmina*) rispetto ai secondari (*Leptodora* e *Bythotrephes*). A differenza di quella dovuta ai DDT, la contaminazione da PCB, peraltro non preoccupante, è risultata pressoché costante nel tempo e diffusa in modo omogeneo in tutto il lago.

Per quanto riguarda i **sedimenti lacustri**, è stata riscontrata nel 2012, relativamente al Bacino di Pallanza, una moderata contaminazione da IPA che, considerata la collocazione geografica di alcune stazioni di prelievo delle carote è da attribuirsi al traffico dei natanti a motore. Lungo l’asse lacustre principale è stato riscontrato un generale aumento della contaminazione da idrocarburi policiclici aromatici, così come di altri composti organo-clorurati e metalli, procedendo da Nord verso Sud. Comunque le concentrazioni di IPA sono nettamente inferiori alle PEC (*Probabile Effect Concentration*), vale a dire a quelle per le quali si stimano effetti tossici di inquinanti su specifici taxa, solitamente utilizzate come indice di qualità dei sedimenti. Allo stato attuale, le concentrazioni rilevate non dovrebbero causare effetti tossici sulla fauna bentonica. A conclusioni analoghe si è giunti per i PBDE analizzati nel Bacino di Pallanza, mentre per altre aree del lago, per esempio quella situata

nelle vicinanze del Fiume Boesio, le concentrazioni sono risultate più elevate (soprattutto quelle di BDE-209), come già rilevato in passato.

Su base pluridecennale (Guilizzoni *et al.* 2012; Progetto Europeo Eurolimpacs) a partire dagli anni '30 fino agli anni '60, in aree non direttamente influenzate dal Fiume Toce (punta della Castagnola-Isola Madre), vi è stato un progressivo aumento della contaminazione da DDT nel Bacino di Pallanza. Successivamente, il livello di contaminazione della zona è andato diminuendo, in particolar modo quello da DDTs dalla fine degli anni '90, verosimilmente a seguito della cessazione della produzione di DDT nello stabilimento di Pieve Vergonte (1996). Differente è risultato l'andamento nel tempo delle concentrazioni di DDT nei sedimenti di aree soggette all'apporto diretto di solidi dal Fiume Toce (Stazioni 16, 17, 51). In queste zone, infatti, si è registrato un generale incremento della contaminazione nell'ultimo decennio, anche in conseguenza della piena storica del Toce del 2000 che ha portato il livello di contaminazione degli anni immediatamente successivi a valori di concentrazione sensibilmente più elevati.

Per quanto riguarda l'evoluzione della contaminazione da PCB riscontrata nel Bacino di Pallanza, si sono osservati tre picchi di concentrazione. Gli anni dal 1950 al 1962 hanno evidenziato la maggiore contaminazione con un massimo alla fine degli anni '50. Quest'importante contaminazione potrebbe essere dovuta alle numerose attività industriali (es. tessili, meccaniche, elettrochimiche, di legname) sorte negli anni '50-'60 ad ovest del Lago Maggiore. Concentrazioni più contenute sono state misurate dalla metà degli anni '60 ad oggi, con l'eccezione dei due picchi del 1977 e degli anni 2002-2004, in quest'ultimo caso probabilmente imputabili agli effetti della piena del Toce dell'ottobre del 2000. Il picco di PCB riscontrato nella seconda metà degli anni '70 risulta in linea con l'aumento del livello di contaminazione verificatosi nello stesso periodo anche negli altri due grandi laghi subalpini italiani, il Lago di Garda e il Lago di Como, suggerendo come in quel caso si trattasse del manifestarsi di una diffusa contaminazione da PCB nel Nord Italia (Galassi *et al.* 1995). In generale, rispetto alle concentrazioni ottenute all'inizio degli anni 2000, si è osservato un miglioramento delle condizioni dei sedimenti lacustri nel periodo più recente (2007-2011).

Le concentrazioni di alcuni elementi in traccia (Cd, Cu, As e Hg) nei sedimenti lacustri non mostrano evidenti trend in aumento o diminuzione dal 2001 al 2011, anche in questo caso con concentrazioni più elevate nelle aree a sud del lago. L'aumento progressivo delle concentrazioni di alcuni elementi lungo l'asse Nord-Sud confermerebbe un'origine almeno in parte antropica. Al contrario, la variabilità spaziale osservata per altri elementi (As e Ni) sembrerebbe indicare apporti più localizzati e di natura probabilmente geologica (cfr. Tab. 4.2.1 in cui sono riportati i valori di fondo per il Lago Maggiore; Vignati & Guilizzoni, 2011).

Tra i metalli, una particolare attenzione è stata rivolta al mercurio, per il quale, così come per DDT e PCB, il livello di contaminazione può essere valutato lungo l'arco di circa 80 anni nell'area situata tra Punta Castagnola e l'Isola Madre (non direttamente influenzata dagli apporti del Fiume Toce; Progetto Europeo EuroLimpacs). Sono emersi due picchi di contaminazione: il primo, tra gli anni '30 e '40, decennio in cui le concentrazioni hanno raggiunto valori molto elevati (di circa 26 mg kg⁻¹ p.s.); il secondo, pari a 16,0 mg kg⁻¹ p.s., attorno al 1962, in coincidenza con la massima attività delle linee produttive cloro-soda del polo industriale di Pieve Vergonte. Negli anni successivi, e fino a quelli più recenti, si è osservata una progressiva diminuzione delle concentrazioni, e dal 1986 al 2006 i valori risultano generalmente inferiori a 0,5 mg kg⁻¹ p.s., oltre 50 volte inferiori a quello massimo raggiunto in passato. Un valore di circa 1 mg kg⁻¹ p.s. misurato nella sezione di sedimento corrispondente al periodo 2005-2007 sembrerebbe risultare da situazioni idrologiche particolari per le quali sarebbero necessarie analisi specifiche. Nei sedimenti più recenti (2005-2011), le concentrazioni di Hg più elevate si registrano nella zona più meridionale del lago (carota 28), suggerendo, nelle condizioni idrodinamiche attuali (Ambrosetti *et al.*, 2012), la possibilità di un accumulo preferenziale di mercurio in questa zona.

L'analisi dell'evoluzione temporale della contaminazione decennale da DDT nei **principali tributari** del Lago Maggiore e nel Ticino emissario ha evidenziato andamenti molto differenti nei diversi fiumi.

Il Ticino immissario, il Tresa e il Bardello hanno mostrato nell'ultimo decennio concentrazioni di DDT totale generalmente costanti e inferiori a 5 ng g^{-1} p.s., evidenziando una scarsa contaminazione da DDT. Il Margorabbia e il Boesio, invece, pur presentando entrambi concentrazioni totali di DDT che raramente superavano i 10 ng g^{-1} p.s., hanno mostrato un'evoluzione della contaminazione variabile nel corso del periodo di tempo considerato. In particolare, un miglioramento della contaminazione, con un decremento dal 2008 delle concentrazioni totali di DDT di circa dieci volte è stato visto per il Boesio. Al contrario, concentrazioni modeste e inferiori a 5 ng g^{-1} p.s. sono state misurate nel Margorabbia con un aumento nel 2010 e nel 2011. Solamente nell'ultimo anno i livelli di contaminazione da DDT, sembrerebbero suggerire l'avvio di un trend in diminuzione della contaminazione da DDT nel Margorabbia, verso valori paragonabili a quelli pre-2009.

Valutazione a parte merita il Fiume Toce, per l'ampia variabilità interannuale e il livello medio generalmente elevato di contaminazione da DDT totali (compresa tra 10 e 50 ng g^{-1} p.s.), secondo solamente a quello riscontrato nel Ticino emissario nel 2003. Le conseguenze della contaminazione apportata dal Fiume Toce al Lago Maggiore vengono osservate poi anche nel Ticino emissario, il quale accumula la contaminazione dell'intero lago. Per quanto riguarda la contaminazione da PCB, si è osservata per tutti i fiumi una diminuzione della contaminazione nel periodo 2008-2012 rispetto al periodo 2002-2006, con due sole eccezioni: il Ticino immissario, del quale non disponiamo di dati precedenti al 2008, ma che è comunque risultato tra i tributari quello meno contaminato, e il Tresa, che ha mostrato una contaminazione pressoché costante dal 2002 al 2011. I tributari più contaminati da PCB e PBDE sono risultati il Bardello e il Boesio. Una tendenza al peggioramento è stata rilevata per i PBDE, per i quali sono previste misure anche nel prossimo programma triennale.

Per quanto riguarda la contaminazione da IPA nei sedimenti dei fiumi è stato possibile analizzare l'andamento delle concentrazioni medie solamente per il periodo 2008-2012, poiché precedentemente l'analisi di questi composti non era prevista dal progetto CIP AIS. Il Ticino immissario, il Margorabbia, il Boesio, il Ticino emissario e il Tresa mostrano una progressiva diminuzione della contaminazione media di IPA totali, con valori che, anche nell'anno di maggiore contaminazione (2008), sono risultati sempre contenuti. Il confronto tra le concentrazioni misurate nel Ticino immissario e quelle dell'emissario indica la presenza di fonti locali di contaminazione da Cu, Pb, Cd e Hg. Nel caso del nichel va ricordato che i livelli di fondo di questo elemento lungo l'arco alpino possono essere naturalmente elevati a causa della presenza di rocce mafiche ed ultramafiche. In riferimento agli altri tributari (Tresa, Margorabbia, Bardello, Boesio e Toce), i livelli sono sostanzialmente omogenei per As e Ni, mantenendosi al di sotto dei livelli di base determinati per i sedimenti lacustri nella zona del Bacino di Pallanza. Unica eccezione è risultato il valore di As misurato in luglio nel Fiume Tresa ($55,8 \text{ mg kg}^{-1}$ p.s.), determinato probabilmente dalla introduzione di materiale particolato ricco in As nel bacino di Ponte Tresa, e quindi nel Fiume Tresa, a causa della presenza di rocce contenenti elevati livelli di As nella parte nord-occidentale del bacino del Lago di Lugano (Pfeifer *et al.* (2004). Valori molto elevati di Cu, Cd e Pb sono stati riscontrati nel Boesio, nel Tresa e nel Bardello, mentre negli altri tributari (Margorabbia e Toce) non hanno superato in modo significativo i valori di fondo. Le concentrazioni di mercurio sono risultate elevate anche nel Boesio e nel Bardello, con una certa variabilità stagionale che pare rifletta la possibilità di periodici apporti da bacino.

Dal confronto tra i valori misurati nel Ticino immissario e quelli del Ticino emissario è emersa chiaramente la presenza di fonti di contaminazione nel bacino del Lago Maggiore per Hg, Cu e Cd, essendo la presenza di questi elementi in traccia aumentata, rispettivamente, fino a 28, 19 e 9 volte all'incile del bacino. Per il Pb si è evidenziata la presenza di una

contaminazione di tipo diffuso, con una crescita contenuta tra immissario ed emissario, mentre per As e Ni i valori sono risultati confrontabili nei due tratti del Ticino e le concentrazioni misurate paragonabili a quelle di livello di fondo del bacino.

Nel Ticino emissario, i valori massimi di Hg, Cu e Cd sono stati riscontrati negli anni 2009-2011 e sono risultati associabili a eventi idrologici particolarmente intensi. Analizzando la deviazione standard intorno alla media annuale delle concentrazioni misurate, che rappresenta la variabilità stagionale, emerge come nel Ticino immissario i valori siano risultati relativamente stabili nel corso dell'anno, mentre siano stati molto variabili per Cu, Cd e Hg nel Ticino emissario, in dipendenza dall'apporto stagionale di questi contaminanti per trasferimento dalla parte centrale del Lago Maggiore verso la chiusura di bacino.

Valori sostanzialmente omogenei nell'arco del quinquennio sono stati misurati nel Margorabbia per tutti gli elementi analizzati. Più critica è risultata la situazione del Tresa, nel quale sono stati riscontrati valori più alti per Cu e Pb, As e Cd. Concentrazioni più elevate di As sono risultate attribuibili al dilavamento di arsenopiriti presenti nel bacino a monte.

Il Bardello e il Boesio hanno presentato i valori più elevati di concentrazione di Cu, Cd e Hg, e una forte variabilità stagionale, probabilmente imputabile a sorgenti antropiche locali. Tali valori, tuttavia sono risultati compresi tra i limiti di cb-TEC e cb-PEC (MacDonald *et al.*, 2000), confermando ad un tempo l'assenza di situazioni di contaminazione particolarmente elevata e la necessità di indagini complementari per determinare la mobilità e la biodisponibilità degli elementi in traccia associati al sedimento. Nel Toce permangono attive alcune potenziali fonti di inquinamento da Cu, Cd e Hg. Quest'ultimo elemento ha mostrato differenze stagionali molto elevate e, sebbene i valori restino al di sotto dei limiti di cb-PEC, va considerata la pericolosità di questo elemento in un'ottica di biomagnificazione nella catena alimentare.

Il calcolo del PEC-Q, corrispondente ad una valutazione potenziale del rischio legato alla presenza degli elementi in traccia studiati, ha permesso di evidenziare una situazione di particolare compromissione per il Ticino emissario. Valori di PEC-Q di gran lunga più elevati del Tox. 15, (corrispondente ad una probabilità di tossicità di circa il 15% per *Chironomus dilutus* in test di laboratorio) sono stati calcolati per tutti gli anni, ad eccezione del 2012. Il superamento del Tox. bent., valore al di sopra del quale la struttura della comunità bentonica indigena può essere alterata, si è verificato per il Tresa in tutto il quinquennio e per il Toce negli anni 2008, 2009 e 2011, in corrispondenza delle piene più consistenti.

Il biomonitoraggio eseguito mediante il **mollusco *Dreissena polymorpha*** ha mostrato un costante calo negli ultimi anni della contaminazione da DDT in tutte le stazioni di campionamento del litorale. Infatti, i livelli di DDT totali misurati nel maggio 2012 sono risultati pari a poco più del 20% rispetto a quelli del maggio 2008. Ciononostante, nel sito di prelievo di Baveno, il pattern di contaminazione più recente (2012) ha mostrato come ben il 16% dei DDT totali sia ancora da ascrivere esclusivamente al p,p'-DDT, indicando così come il Bacino Borromeo rappresenti a tutt'oggi una zona a rischio ambientale. Inoltre, il generale calo osservato non è, comunque, sufficiente a permettere di considerare l'inquinamento del Lago Maggiore in via di risoluzione, essendo ad oggi il livello di contaminazione di quest'ultimo ancora superiore (399 ng g⁻¹ lipidi; dato 2012) al valore di fondo misurato nei laghi subalpini italiani (100-200 ng g⁻¹ lipidi come somma dei DDT totali; Riva *et al.*, 2008). A fronte della diminuzione dei DDT totali, tuttavia, altre due classi di composti organici persistenti hanno presentato negli ultimi anni un aumento mai rilevato prima, rendendo indispensabile, nei prossimi anni, un loro attento monitoraggio. I PCB hanno mostrato, nel campionamento primaverile, livelli medi 2012 più che doppi rispetto a quelli dei due anni precedenti, superando anche i valori medi del 2008 (400 ng g⁻¹ lipidi). Questo dato, opposto a quanto rilevato per i DDT totali, è piuttosto sorprendente, in quanto le due classi di composti di sintesi hanno un comportamento ambientale simile. Tenuto conto del calo significativo osservato per i DDT, non è possibile ipotizzare che l'incremento nelle concentrazioni di PCB

sia legato ad eventi meteorologici. E' invece probabile che l'aumento dei livelli di questi composti organo-clorurati sia da imputare esclusivamente a rilasci avvenuti dal bacino imbrifero o direttamente a lago, l'origine dei quali non è ad oggi conosciuta. Anche i livelli di IPA sono risultati tendenzialmente più elevati nel maggio 2012 rispetto all'anno precedente in diversi siti (Pallanza, Laveno, Brebbia e Ranco); tuttavia, sono soprattutto i livelli tardo-estivi quelli da tenere maggiormente sotto controllo. A differenza delle altre classi di sostanze, infatti, gli IPA totali misurati nei prelievi di settembre sono stati sempre maggiori rispetto a quelli primaverili; il contemporaneo cambiamento di origine, da petrogenica in primavera a pirogenica dopo l'estate, permette di correlare questi composti più a combustioni incomplete di sostanza organica, che a rilasci diretti d'idrocarburi in acqua. I dati relativi all'anno 2012 hanno mostrato chiaramente un aumento della contaminazione da parte di queste molecole, che dovranno essere tenute sotto controllo negli anni futuri al fine di valutare se esse possano rappresentare un nuovo problema ambientale per il Verbano.

Infine, gli altri composti organici persistenti monitorati (HCB, HCH, insetticidi organofosforati e carbammati) sia nei molluschi sia nello zooplancton, non sembra possano rappresentare, in questo momento, un potenziale pericolo per l'ecosistema lacustre.

Relativamente alla contaminazione da elementi in traccia in *D. polymorpha*, il Lago Maggiore è risultato essere un corpo idrico sostanzialmente omogeneo, con l'eccezione di qualche fluttuazione stagionale, prontamente registrata dall'organismo sentinella. Non è emerso un trend temporale evidente, a conferma di quanto emerso fin dalla seconda metà degli anni novanta; le concentrazioni misurate nel Bacino di Pallanza, soprattutto nella stazione di Baveno, sono risultate ancora nettamente maggiori rispetto a quelle registrate lungo l'asse Nord-Sud del lago, a conferma della persistenza di sorgenti di contaminazione attive nel Fiume Toce.

Un confronto con le misure di Hg, Cd, Pb, Ni e Cr, effettuate nel giugno 1996 su molluschi analizzati da Camusso *et al.* (2001) in due stazioni del Bacino di Pallanza (Baveno e Pallanza), ha consentito di rilevare una leggera diminuzione delle concentrazioni di Hg e Pb, una sostanziale analogia per Cr e Cd, e valori lievemente superiori limitatamente al Ni. Nel complesso si può ritenere che le concentrazioni non si discostano di molto, suggerendo che le pressioni agenti sul bacino si sono mantenute stazionarie nell'arco di 15 anni.

A conclusione dell'indagine, si ricorda che il bioaccumulo di metalli da parte degli organismi filtratori è un fenomeno complesso, fortemente condizionato dalla ripartizione dei metalli stessi tra la fase filtrabile (a sua volta suddivisa in fase colloidale ed effettivamente disciolta) e la fase particolata. In assenza di misure integrate degli elementi in traccia nella fase filtrata e nella fase particolata, non è perciò possibile trarre conclusioni definitive sui fattori che determinano le variazioni di concentrazione osservate in *D. polymorpha*.

Al fine di valutare l'evolversi della contaminazione da DDT, PCB e PBDE nelle tre specie ittiche considerate, sono stati messi a confronto tutti i dati disponibili nel decennio 2002-2012.

L'agone è risultata la specie ad andamento meglio definito, con una chiara riduzione di circa 10 volte della contaminazione media di DDT totale, da circa 500 ng g⁻¹ p.f. (riscontrati nel 2002) a circa 50 ng g⁻¹ p.f. nel 2012.

D'altro canto, il coregone lavarello ha mostrato un trend altalenante, con concentrazioni medie in diminuzione dal 2003 al 2005, seguite da un aumento nel 2006 e nel 2010 e un'ulteriore diminuzione nell'ultimo anno. Nel coregone lavarello, il limite di edibilità per il DDT totale è stato superato cinque volte dal 2000 al 2010. Tali valori eccedenti il limite di legge devono però tener conto dell'errore associato alle misure analitiche che per tali composti è dell'ordine del 30% circa. Infatti, i valori espressi dalle deviazioni standard delle concentrazioni pluriennali di DDT riportati per il lavarello (cf. Figg. 5.2.3; 5.2.6) indicano che le medie non differiscono tra loro statisticamente. Inoltre, è possibile rilevare come i dati del quinquennio 2008-2012, pur tenendo conto dell'apparente aumento rilevato nel 2010, siano in

media pari ad un quinto e ad un mezzo di quelli rilevati nel quinquennio 2002-2006, rispettivamente per agone e coregone. Giova qui anche ricordare come i limiti nazionali per pesci con contenuti di lipidi inferiori o maggiore del 5%, rispettivamente pari a 0,05 e 0,10 mg·kg⁻¹, siano molto più restrittivi rispetto a quelli previsti dalla normativa Svizzera (4,0 mg·kg⁻¹).

Concentrazioni medie pressoché costanti e mai superiori ai limiti previsti dalla normativa italiana per il consumo umano sono state osservate nel gardon, analizzato soltanto negli ultimi 5 anni.

In riferimento alla commestibilità o meno di un alimento, materia questa dell'Autorità sanitaria, va ricordato che negli ultimi anni è stata introdotta una normativa della Commissione Europea, Direzione Generale per la Salute dei Consumatori, seconda la quale per stabilire se un alimento contenente pesticidi (es. DDT) sia conforme o meno per il consumo alimentare umano occorre tener conto dell'incertezza di misura fissata al 50% (Documento SANCO 10684/2009 e SANCO 12495/2011).

Una chiara diminuzione della contaminazione media da PCB totali è risultata interessante nell'arco del decennio l'agone. Solamente nel 2002 il valore medio (pari a 183 ng g⁻¹ p.f. somma dei congeneri PCB indicatori) è risultato superare il limite di edibilità di 125 ng g⁻¹ p.f.

Relativamente costante dal 2002 al 2011, su valori di circa 20 ng g⁻¹ p.f., è risultata la contaminazione da PCB del coregone lavarello (e del gardon), con la sola eccezione degli anni 2008 e 2012, nei quali le concentrazioni sono risultate dimezzate. Tutti i campioni di coregone lavarello e gardon sono risultati edibili secondo la vigente normativa.

La contaminazione da PBDE nel comparto ittico è stata analizzata solo per il quinquennio 2008-2012. Un aumento relativo della contaminazione media è stato misurato nell'agone, mentre un più netto incremento della contaminazione da PBDE totali è stato rinvenuto nel coregone lavarello con concentrazioni medie nel 2012 tre volte superiori rispetto a quelle del 2008. Una minore contaminazione, costante per tutto il periodo considerato, ha caratterizzato il gardon. Occorre qui rilevare come, pur essendo allo stato attuale le concentrazioni medie di PBDE totali contenute, esse dovrebbero portare a classificare il Lago Maggiore come un ambiente di qualità non buona nel caso in cui venisse approvata la proposta di modifica della Direttiva 2000/60/CE, che prevede un limite molto più restrittivo di quello attuale: 8,5 pg g⁻¹ p.f.).

Dall'inizio del monitoraggio dei PCB diossina-simili (PCB-dl) (nel 2010) nel muscolo dei pesci, il valore soglia di 6,5 pg TEQ g⁻¹ p.f. è stato superato in tre casi soltanto nell'agone. Tenuto conto del fatto che tale limite è per legge calcolato come somma dei PCB-dl-simili più le diossine e i furani, occorrerebbe aggiungere al valore di concentrazione dei PCB-dl anche quello delle altre due classi di composti. In tal caso, il valore complessivo supererebbe il valore soglia previsto nelle altre tre specie considerate. Contrariamente a quanto atteso (Rapporto Confederazione Svizzera. 2008), tuttavia, i valori sono tali da non superare mai la soglia di 70 ng g⁻¹ p.f. ritenuto dal Canton Ticino per i PCB indicatori (PCB-i), quale limite probabile, al di sopra del quale aspettarsi anche il superamento del limite per i PCB-dl. Infine, l'analisi dei PCB diossina-simili negli agoni e nei coregoni ha messo in evidenza come non si siano trovate differenze significative in concentrazione tra individui giovani e adulti.

Le concentrazioni osservate di PCB-dl sembrerebbero pertanto non essere direttamente correlate alla sola presenza dei PCB, ma anche ad altre possibili fonti di contaminazione indipendenti da quelle legate ai PCB (es. derivanti dall'incenerimento di rifiuti, dal dilavamento di discariche, da apporti di scarichi industriali o da altre fonti legate alla presenza di diossine e furani), il cui contributo potrebbe non essere trascurabile. In conclusione, questo aspetto della ricerca andrebbe maggiormente approfondito in futuro.

Relativamente al mercurio, l'analisi dei trend ha evidenziato per le tre specie oscillazioni importanti nell'ultimo decennio. L'analisi statistica ha permesso di riscontrare

differenze significative ($p < 0,05$) tra i valori minimi (2001) e massimi (2003 e 2010) per il lavarello e per l'agone. Tuttavia, i valori riscontrati negli ultimi due anni (2011, 2012), non si sono discostati significativamente da quelli registrati nel 2001. Ciò permette di escludere che il trend sia in aumento, pur confermando il permanere di fonti di contaminazione ancora attive (apporti dal Fiume Toce; trasporto atmosferico; sorgenti puntuali e diffuse come dimostrato dallo studio sui sedimenti dei tributari)

Ulteriori approfondimenti sono quindi necessari per chiarire il ruolo del Fiume Toce come sorgente di mercurio e, soprattutto, nel determinare la frazione di mercurio totale biodisponibile per gli organismi autoctoni, aspetti questi già previsti dal programma del triennio 2013-2015.

In conclusione, si deve ammettere ancora una volta come il sistema Lago Maggiore-bacino imbrifero non abbia ad oggi raggiunto un stato di equilibrio tale da considerare completamente e definitivamente superato il problema dell'inquinamento da DDT e metaboliti. Particolare attenzione dovrà essere dedicata nell'immediato futuro ai PCB-dl e PBDE, mentre i composti organo fosforati, HCH e HCB sembrerebbero non destare preoccupazioni. In effetti, oltre alla lunga persistenza nell'ambiente di questi composti refrattari alla degradazione biochimica e ai processi chimico-fisici di demolizione, vi sono numerose altre variabili in gioco e, tra queste, gli eventi meteorologici e la movimentazione di suoli, sedimenti e terreni inquinati sono senza dubbio di grande importanza, in quanto influenzano fortemente la possibile ricarica esterna nonché l'accumulo degli inquinanti nel sistema ed in particolar modo nel comparto dei sedimenti e pesci.

In tale prospettiva, le ricerche programmate per il triennio 2013-2015, con particolare riferimento al Fiume Toce e in prossimità dell'emissario, assumono un ruolo rilevante e necessario, non solo per monitorare la presenza dei contaminanti nei vari comparti dell'ecosistema, ma anche per l'acquisizione di decisive informazioni sui processi inerenti il trasferimento di sostanze dal comparto fisico-chimico a quello biologico.

Bibliografia

- Ambrosetti W., Barbanti L., Rolla A., Castellano L. & Sala N. 2012. Hydraulic paths and estimation of the real residence time of the water in Lago Maggiore (N. Italy): application of massless markers transported in 3D motion fields. *J. Limnol.*, 71: 23-33.
- Calderoni A., Caprioglio A. & de Bernardi R. 1996. *Sintesi dell'attività svolta. Risultati ottenuti e programmi di studio ed intervento*. Comitato tecnico-scientifico interministeriale ed interregionale "Emergenza DDT nel Lago Maggiore". 61 pp.
- Camusso M., Balestrini R. & Binelli A. 2001. Use of Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) to assess trace metal contamination in the largest Italian subalpine lakes. *Chemosphere*, 44: 263-270.
- Galassi S., Provini A., Guzzella L. & De Paolis A. 1995. I pesticidi clorurati costituiscono ancora un problema in Italia? *Atti del Sesto Congresso Nazionale della SITE*, Venezia.
- Guilizzoni P., Levine S.N., Manca M., Marchetto A., Lami A., Ambrosetti, W., Brauer A., Gerli S., Carrara E.A., Rolla A., Guzzella L. & Vignati D.A.L. 2012. Ecological effects of multiple stressors on a deep lake (Lago Maggiore, Italy) integrating neo and palaeolimnological approaches. *J. Limnol.*, 71: 1-22.
- 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.
- Pfeifer H.R., Gueye-Girardet A., Reymond D., Schlegel C., Temgoua E., Hesterberg D.L., & Chou J.W. 2004. Dispersion of natural arsenic in the Malcantone watershed, Southers

- Switzerland: field evidence for repeated sorption-desorption and oxidation-reduction processes. *Geoderma*, 122: 205–234.
- Rapporto Confederazione Svizzera. 2008. *Assunzione di diossine e PCB diossina-simili attraverso il consumo di pesci di acque svizzere. Raccomandazioni per limitare l'esposizione della popolazione*. Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC; Ufficio federale dell'ambiente UFAM, Dipartimento federale dell'interno DFI Ufficio federale della sanità pubblica UFSP Settore di direzione Protezione dei consumatori. 24 pp.
- Riva, C., Binelli A. & Provini A. 2008. Evaluation of several priority pollutants in zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) in the largest Italian subalpine lakes. *Environmental Pollution*, 151: 652-662.
- SANCO 2009. *Method Validation and Quality Control Procedures for Pesticide Residues Analysis in Food and Feed*. Document N. 10684/2009.
- SANCO 2011. *Method Validation and Quality Control Procedures for Pesticide Residues Analysis in Food and Feed*. Document Document N. 12495/2011.
- Vignati D.A.L. & Guilizzoni P. 2011. Metalli nel Lago Maggiore: livelli naturali e antropici. *Acqua & Aria*, 1: 22–27.

7. 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 μm .

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.