

7. CONCLUSIONI

(Piero Guilizzoni)

I risultati prodotti dalle ricerche effettuate nel 2009, e presentati con estremo dettaglio nelle precedenti pagine di questo rapporto, mettono in luce alcuni rilevanti aspetti dell'evoluzione della contaminazione da sostanze pericolose nel Lago Maggiore, emersi anche grazie a importanti novità nella pianificazione delle attività di ricerca, prima fra tutte quella sul **comparto acqua/zooplancton**.

In generale, il metabolita pp'DDE rappresenta il composto dominante tra i metaboliti del DDT rinvenuti nello zooplancton di rete. Le analisi su questo importante costituente della rete trofica pelagica, basate su campionamenti in tre diverse stazioni e nei quattro momenti stagionali, hanno messo in evidenza come la contaminazione da pp'DDT e dai suoi metaboliti risulti massima nelle stazioni di Baveno e Ghiffa in aprile, quando i campioni di materiale zooplanctonico sono in massima parte costituiti dai diptomidi e, in misura minore, dal filtratore di grossa taglia *Daphnia*. Nei periodi successivi, le differenze temporali e quelle tra stazioni sono apparse poco evidenti. La contaminazione misurata in aprile potrebbe essere almeno in parte spiegata dal fatto che i diptomidi possano agire come veri e propri *carrier* del carbonio litorale al pelago lacustre. A suggerire questa interpretazione sono i dati del segnale isotopico del carbonio di questi organismi, caratterizzato da una forte componente litorale, anche in individui prelevati da acque pelagiche (Manca *et al.*, 2009). In futuro sarà interessante valutare se questa ipotesi sia verificata, e fino a che punto essa possa contribuire a spiegare apparenti anomalie nella concentrazione di sostanze tossiche in campioni zooplanctonici, che in alcuni periodi dell'anno presentano i massimi valori di concentrazione di pp'DDE, pp'DDD e pp'DDD, più elevati anche di quelli misurati in organismi appartenenti a livelli trofici superiori.

Le analisi dei campioni **d'acqua del Fiume Toce**, prelevati in tre stazioni durante il 2008- 2009 hanno evidenziato l'assenza del DDT e degli altri composti considerati (esaclorobenzene, esaclorocicloesano). Anche quando i solidi in sospensione sono in quantità elevate, fino a un valore massimo di 105 mg L^{-1} , le concentrazioni di DDT risultano inferiori al limite di quantificazione ($0,002 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$). Solamente in alcuni casi, l'utilizzo di metodiche specifiche con maggior sensibilità analitica (GC/MS) ha permesso di individuare composti del DDT, principalmente pp'DDT, pp'DDD e pp'DDE presenti in tracce e in ogni caso in quantità di gran lunga inferiori al limite di quantificazione per le analisi di routine sopra menzionato.

Alla luce di questi risultati è legittimo affermare che, relativamente al comparto acqua, come le condizioni chimiche del Fiume Toce e quelle del Lago Maggiore risultino buone. Tale situazione potrebbe essere considerata sostanzialmente tranquillizzante in quanto, allo stato attuale, la presenza del sito contaminato e di eventuali perdite di DDT non sembrano portare ad una compromissione dello stato chimico dell'acqua nei corpi idrici interessati. In realtà, tuttavia, la situazione ambientale del sistema Toce-Lago Maggiore è nettamente più complessa e contraddittoria, tale da rendere necessario un approfondimento. Analisi sul materiale solido trasportato in condizioni idrologiche normali e durante eventi di piena nei quali gli apporti a lago attraverso il Fiume Toce sono stati consistenti, hanno evidenziato una presenza significativa di DDT (in particolare, di pp'DDT), in molti casi superiore a 1 ng g^{-1} . Tale risultato suggerisce come occorra tenere nel debito conto il ruolo del continuo apporto a lago di materiale trasportato dal fiume e delle criticità ambientali evidenziate per l'ecosistema del Lago Maggiore fin dalla seconda metà degli anni '90, anche in presenza di condizioni che appaiono mediamente "buone" sulla base dei dati di monitoraggio di ARPA Piemonte.

Purtroppo, allo stato attuale non esistono Standard di Qualità Ambientale per i sedimenti lacustri; essi sono stati definiti solamente per i sedimenti di acque di transizione e marine. Tuttavia, l'applicazione di questi ultimi ai sedimenti del Lago Maggiore e ai solidi sospesi veicolati dal F. Toce consente di mettere in luce criticità significative (v. più avanti).

Nel 2009 si è dato l'avvio a una nuova ricerca, finalizzata alla stima della biodisponibilità dei contaminanti presenti nell'acqua mediante l'esposizione di **campionatori passivi** (vale a dire membrane semi-impermeabili e dispositivi in PVC con resina chelante comunemente noti come DGT). L'utilizzo di tali campionatori ha lo scopo di simulare l'assunzione da parte di pesci e molluschi dei contaminanti (sostanze organiche e metalli) presenti nell'acqua. Il sistema di campionamento adottato permette di analizzare solo la frazione dei composti che si muove per trasporto passivo e dunque non simula, né il trasporto attivo dei contaminanti dall'acqua agli organismi, né i processi di accumulo legati all'assunzione per via alimentare (biomagnificazione).

Così come visto per il Fiume Toce, anche nei campioni d'acqua di lago (frazione disciolta) le concentrazioni di tossici organici risultano molto contenute, per il DDT comprese tra 0,02 e 0,2 ng L⁻¹ e per i PCB tra 0,02 e 0,3 ng L⁻¹. Più elevate (50–100% in più), e generalmente più omogenee nelle diverse stazioni, sono le concentrazioni di PCB. In pochi casi, queste ultime risultavano più elevate a Intra e Brebbia/Monvalle, con tutta probabilità in conseguenza del maggior apporto di inquinanti di origine antropica (industrializzazione, densità abitativa, ecc...).

Le concentrazioni di DDT misurate nelle membrane invece tendono ad aumentare in direzione Nord-Sud, con un netto gradiente Brissago-Intra-Feriolo-Brebbia/Monvalle; tale aumento è apparso più contenuto nel caso dei PCB. Le concentrazioni di DDT sono più elevate di quelle dei PCB (da 1,5 a 9 volte) in dipendenza della stazione considerata. Le differenze tra le concentrazioni misurate in acqua e quelle nelle membrane sono da ricondurre a differenze nel tasso di assorbimento (Rs). Le differenze di concentrazione tra PCB e DDT stanno ad indicare che la capacità di accumulo nelle membrane dei diversi DDT è nettamente superiore a quella dei PCB. Le differenze tra stazioni sembrano invece legate alla dipendenza di Rs dalla temperatura (diretta) e dalla velocità di corrente (inversa). In due siti (Feriolo e Intra) le concentrazioni nelle membrane risultavano anche correlate con quelle nell'acqua.

La distribuzione percentuale dei diversi isomeri e metaboliti del DDT è simile nelle quattro stazioni; si evidenzia la dominanza di pp'DDD e op'DDD (65% in totale), e una minore importanza di pp'DDT (23%) e pp'DDE (12%).

Le concentrazioni dei metalli (Cd, Cu, Ni e Pb) nei diversi periodi di esposizione e nelle differenti stazioni riflettono le percentuali di abbondanza di questi elementi sulla crosta terrestre, indicando una buona coerenza geochemica dei risultati, ma nel contempo, una forte variabilità spazio-temporale.

I risultati ottenuti attraverso questa nuova attività di monitoraggio confermano come determinare delle concentrazioni medie di elementi in traccia nel Lago Maggiore sia un problema complesso, a causa dell'elevata variabilità naturale, e delle rilevanti difficoltà analitiche derivanti da presenza concentrazioni che nei campioni d'acqua filtrata (per metalli quali Cd e Pb) sono spesso al disotto del limite di rilevabilità analitica (di 0,1 µg L⁻¹).

L'utilizzo dei campionatori passivi del tipo DGT è spesso finalizzato a determinare la biodisponibilità degli elementi in traccia per gli organismi acquatici. E' dunque estremamente importante il confronto tra i risultati sopra brevemente ricordati e quelli ottenuti attraverso il biomonitoraggio in molluschi bivalvi (v. oltre). Da detto confronto è possibile evidenziare i punti seguenti:

- In alcuni casi non sono facilmente interpretabili le relazioni tra i vari composti organici misurati nell'acqua, nelle membrane e nei tessuti di *Dreissena*, a testimonianza del fatto che

- numerosi sono i fattori sia chimico-fisici che biologici che determinano le discrepanze osservate;
- diversamente da quanto osservato nei campionatori passivi, le concentrazioni di Ni e Cr risultano molto variabili nei bivalvi prelevati dalle stazioni del Bacino di Pallanza rispetto a quelli provenienti dal bacino principale del lago;
 - fatte salve due eccezioni (Brescia e Intra nel febbraio 2009), i risultati delle analisi del rame sui molluschi bivalvi confermano la sostanziale omogeneità tra le diverse stazioni rilevata dai campionatori passivi.
 - nel caso del cadmio, la maggiore variabilità delle concentrazioni nei campionatori passivi rispetto a quella misurata nei molluschi bivalvi può essere dovuta alle basse concentrazioni di quest'elemento nella fase acquosa;
 - il forte incremento di Pb in *Dreissena* della stazione di Laveno risulta in disaccordo con il dato relativo alle concentrazioni misurate nella stazione di Brescia/Monvalle e questo non è spiegabile solamente a partire da una non completa sovrapposibilità dei due siti di campionamento;

La non perfetta sovrapposibilità tra i risultati dell'unità DGT e quelli dei molluschi bivalvi trova ampia giustificazione nel fatto che *Dreissena polymorpha* è un filtratore molto efficiente, che ricava buona parte del suo nutrimento (e del carico inquinante da metalli) dal materiale particolato fine che non è 'campionato' dalle unità DGT. Inoltre, la durata dell'esposizione delle DGT era dell'ordine dei giorni, un tempo molto più breve di quello dell'integrazione da parte di *Dreissena*, dell'ordine dei mesi. Le unità DGT potrebbero anche non aver rilevato anomale situazioni transitorie avvenute nell'intervallo compreso tra due successive fasi di esposizione delle unità stesse. Dal confronto emerge come la tecnica dei campionatori passivi, senza dubbio promettente, necessiti di ulteriori affinamenti prima di poter essere considerata come un efficace surrogato del monitoraggio su organismi biologici.

Di grande rilevanza sono i risultati ottenuti dall'analisi dei sedimenti dei tributari del Lago Maggiore.

Fatta eccezione per il Toce e del Ticino emissario, le concentrazioni dei composti organici nel 2009 risultano contenute e in linea con quelle del periodo 2001-2008. Come già rilevato in precedenti indagini, i sedimenti del Fiume Toce hanno concentrazioni cinque volte maggiori di quelle rilevabili in altri fiumi (Ticino immissario, Margorabbia, Tresa, Bardello, Boesio, Toce e Ticino emissario). Le concentrazioni di DDT nel Fiume Toce sono comprese tra 8 e 49 ng g⁻¹, più elevate rispetto a quelli degli altri fiumi, anche quando normalizzate sul carbonio organico sedimentario tale risultato conferma il permanere nel F. Toce di una fonte attiva di contaminazione da DDT. Tale interpretazione è anche sostenuta dalla presenza del composto parentale, il pp'-DDT, in percentuali comprese tra il 35 e il 66% del totale della somma dei composti del DDT. In media, la concentrazione di DDT totale nel Fiume Toce è di 32 ng g⁻¹, 3,5 volte più elevata di quella osservata nel periodo di riferimento 2006-2007 e identica a quella già osservata nel 2008.

Come già evidenziato in passato, i livelli più elevati di contaminazione da PCB si ritrovano nei fiumi Bardello, Tresa e Boesio, mentre quelli misurati nel Ticino immissario sono i più contenuti. Il valore di concentrazione eccezionalmente alto misurato nel Fiume Bardello nell'ottobre 2009 si spiega, oltreché per le fonti locali di contaminazione, anche per il particolare regime idrologico (condizioni di magra). A quest'ultimo sono anche ascrivibili i valori più bassi misurati negli altri campionamenti.

Nei fiumi Bardello e Boesio, le concentrazioni di PBDE risultano circa dieci volte maggiori di quelle dei PCB. Come già osservato in precedenza, questi due fiumi sono caratterizzati da un'elevata contaminazione da BDE-209, il composto decabromurato principale componente della miscela Deca-BDE, l'unica ancora in uso in Europa. Il congenere BDE-209 costituisce il 99% del totale dei PBDE misurati. Elevate concentrazioni sono state

misurate in tutti i campioni prelevati dai fiumi Bardello e Boesio. Non essendo stato campionato alcun fiume in regime di piena, non si è potuto osservare alcun effetto di diluizione pari a quello descritto nel 2008. Per stabilire le cause delle elevate concentrazioni rilevate nel 2009 sarebbe necessaria un'indagine territoriale sulle fonti locali di contaminazione esistenti nei bacini fluviali. Allo stato attuale possiamo solamente ipotizzare che la causa principale della contaminazione siano gli scarichi di tipo industriale, quali quelli d'industrie che utilizzano materiale tessile sintetico e materiale plastico, che producono cavi elettrici o prodotti (es. poliuretano espanso) in cui sono utilizzati questi additivi.

Analogamente a quanto osservato nel 2008 e in accordo con le misure effettuate nei sedimenti lacustri, le concentrazioni totali di IPA nei sedimenti sono più elevate nei fiumi Margorabbia, Tresa e Bardello e nel Ticino emissario. Le concentrazioni sono massime anche in campioni raccolti nell'ottobre 2009, in condizioni di magra prevalente. I composti principali sono il fluorantene, il pirene e il fenantrene, tutti di origine petrogenica (es. sversamento di petrolio), sebbene non si possa escludere anche un'origine naturale nei sedimenti profondi per il fluorantene.

Due quadri contrastanti emergono dal confronto tra le concentrazioni dei metalli nei sedimenti di Ticino immissario e Ticino emissario per i mesi di marzo e ottobre 2009. Nel marzo 2009, le concentrazioni nei due siti sono molto simili per tutti gli elementi, ad eccezione del mercurio, 27 volte più elevato nei sedimenti del Ticino emissario rispetto a quelli dell'immissario. Nell'ottobre 2009, un incremento delle concentrazioni nel Ticino emissario è evidente anche per il Cd, con un aumento di circa 12 volte e per il Pb e il Cu (di circa 4 volte), oltre che per il Hg (di circa 7 volte). Il confronto tra i due siti conferma la presenza costante di fonti antropiche di mercurio nel Lago Maggiore, nonché una sua esportazione a valle della cuvetta lacustre.

Situazioni particolari di regime idrologico o legate alla variabilità del contenuto di carbonio organico nei sedimenti non sono sufficienti a spiegare il mancato aumento nelle concentrazioni di elementi in traccia nei sedimenti del Ticino emissario a marzo 2009; con buona probabilità, a determinarlo è stata una combinazione di fattori limnologici e biogeochimici, la cui indagine esula dallo scopo della presente attività.

Analogamente a quanto riportato per l'anno 2008, non si sono osservati incrementi marcati nel contenuto di As e Ni dei sedimenti del Ticino immissario rispetto a Ticino emissario. Moderate variazioni nel livello di contaminazione da elementi in traccia sono emerse per gli altri tributari esaminati (Tresa, Margorabbia, Bardello, Boesio e Toce), con valori di Cd, Cu, Ni e Pb da 1,5 a 3 volte superiori di quelli più bassi misurati e, con poche eccezioni (quali ad esempio il Cd nel F. Bardello), con una variabilità stagionale molto contenuta. Diversa, è la situazione per l'arsenico, le cui concentrazioni nel Tresa/Toce risultano circa 8 – 10 volte superiori a quelle misurate nel Bardello/Boesio.

Le concentrazioni di **mercurio** nei sedimenti del Fiume Toce, nel quale sono localizzate fonti antropiche di questo elemento, mostrano una variabilità annuale piuttosto contenuta, con un minimo di $0,084 \text{ mg kg}^{-1}$ nell'ottobre 2009 e un massimo di poco inferiore a $0,25 \text{ mg kg}^{-1}$ nel marzo dello stesso anno. Tali livelli sono più bassi di quelli misurati nel 2008 ($0,127 - 0,949 \text{ mg kg}^{-1}$), in conseguenza delle differenze nel regime idrologico del fiume nei due anni; i campionamenti del 2009 sono infatti avvenuti in regime di morbida, mentre i prelievi del luglio e dell'ottobre 2008 erano stati effettuati durante delle piene. Sebbene durante gli eventi di piena si osservi in generale una riduzione del livello di contaminazione dei sedimenti, in conseguenza del prevalere di un effetto di diluizione, a volte tale riduzione non viene osservata. Al contrario si osserva un arricchimento, determinato dal prevalere dell'effetto di mobilitazione di materiale sedimentario del F. Toce, contaminato da mercurio e da inquinanti organici. Tale effetto è stato ampiamente documentato nei precedenti rapporti. Nell'insieme, i dati relativi a questo aspetto dimostrano dunque come, in presenza di aree

contaminate nel bacino di un fiume, la rimobilizzazione degli inquinanti possa ampiamente compensare, e arrivare a superare, il normale effetto di diluizione provocato dalla piene.

Negli altri tributari studiati, i livelli di mercurio si sono mantenuti nel corso del 2009 su valori di base, senza importanti variazioni stagionali. Una lieve eccezione è costituita dai fiumi Tresa e Margorabbia, nei quali le concentrazioni sono apparse leggermente al di sopra di quelle di fondo, con anche piccole fluttuazioni stagionali in funzione del regime idrologico. In occasione dei due eventi di piena a marzo e a luglio 2009, una diminuzione nella concentrazione di mercurio nel Tresa è stata controbilanciata da un aumento nel Margorabbia. Le piene sembrerebbero causare una diluizione di Hg antropico nei sedimenti del F. Tresa (similmente a quanto sopra ipotizzato per il Fiume Toce), mentre nel caso del Margorabbia sembrerebbe prevalere la mobilizzazione di materiale leggermente più ricco in mercurio, con buona probabilità di origine geologica. I livelli di Hg risultano più elevati nel Bardello e nel Boesio con valori di concentrazione in taluni periodi dell'anno simili a quelle del Ticino emissario e del Toce, indicativi di apporti antropici di mercurio anche in questi bacini.

Con una certa cautela vanno interpretate le concentrazioni talvolta elevate di nichel: lungo l'arco alpino, i livelli di fondo del Ni possono infatti essere più elevati per cause del tutto naturali, conseguenti alla presenza di rocce mafiche e ultramafiche, ad elevato tenore di questo elemento. Nel caso del Fiume Strona (un affluente del Toce), a questa componente di origine naturale si somma l'esistenza di un'importante fonte di contaminazione antropica, dovuta alla presenza di numerose industrie galvaniche e di lavorazione dei metalli. Discorso analogo vale per l'arsenico, presente naturalmente in alcune rocce del bacino del Lago Maggiore (ne siano prova i livelli vicini o superiori al PEC (*Probable Effect Concentration*, o concentrazione al di sopra della quale è probabile avere effetti tossici) nel Ticino immisario, ma anche per lungo tempo utilizzato nello stabilimento di Pieve Vergonte per la produzione di acido solforico tramite calcinazione di pirite arsenicata e dunque, con un marcato apporto antropico aggiuntivo nel Bacino di Pallanza e nella parte meridionale del lago.

Applicando l'approccio PEC-Q (*Probable Effect Concentration Quotients*) ai dati disponibili per i sedimenti dei tributari per l'anno 2009, si ottengono valori compresi tra circa 0,2 e 0,6 unità. Rispetto al 2008, il valore soglia di 0,5 (corrispondente ad una probabilità di tossicità tra il 15 e il 40% per *Hyaella azteca* e di circa il 15% per *Chironomus dilutus* in test di laboratorio) è superato solo per il campione del Ticino emissario dell'ottobre 2009. Rimane abbastanza frequente il superamento della soglia di 0,34 al di sopra della quale sono attesi effetti sulla struttura della comunità bentonica. L'inclusione o meno del nichel nel calcolo del PEC-Q non altera in modo evidente il quadro ottenuto sulla base dei dati di As, Cd, Cu, Pb e Hg.

Risulta quindi confermato quanto già espresso nel precedente rapporto (CIP AIS, 2010), riguardo alla possibilità che specie bentoniche possano risentire degli effetti negativi della contaminazione da metalli a livelli anche di molto inferiori rispetto a quelli di riferimento comunemente accettati. E' opportuno inoltre ricordare come, l'approccio PEC-Q non sia adeguato alla valutazione dei rischi potenziali da mercurio, poiché esso non tiene conto della biomagnificazione di questo elemento lungo la catena trofica.

La campagna primaverile del 2009 e le successive analisi di **molluschi bivalvi** (*Dreissena polymorpha*) hanno messo in evidenza un'elevata contaminazione da DDT nelle stazioni del Bacino di Pallanza (Baveno e Suna). In particolare, l'elevata presenza di DDT "fresco" a Baveno (pp'DDT, con valori che superano addirittura quelli registrati nel 1996), fa pensare a un recente sversamento di composto dal sito industriale di Pieve Vergonte. Per le altre stazioni del lago l'analisi dei dati ha invece evidenziato una contaminazione da DDT pregressa e pressoché omogenea in tutto il bacino lacustre. Se ipotizziamo di suddividere il lago in quattro aree geografiche (cfr. capitolo 6.1), possiamo osservare come il Bacino di Pallanza presenti concentrazioni medie quasi quattro volte più elevate rispetto alle altre tre.

Tuttavia, i valori misurati nelle altre tre zone sono comunque allarmanti, poiché sono ben più elevati rispetto a quelli rilevati negli altri laghi subalpini italiani e considerati di *background*.

Sempre in riferimento al campionamento primaverile di molluschi, si osserva che le concentrazioni totali di PCB sono abbastanza uniformi negli otto siti di campionamento, molto simili a quelle degli anni precedenti e paragonabili a quelle di altri ambienti lacustri. Una certa disomogeneità è comunque osservabile nel campionamento del settembre 2009. Mentre in primavera, la stazione più inquinata è quella di Brebbia, con un livello di contaminazione quasi doppio rispetto al minimo registrato nel sito di Ranco, probabilmente a seguito di apporti diretti del Fiume Bardello, che sfocia a lago nelle vicinanze del primo sito, a settembre i siti più contaminati sono quelli di Suna e Baveno

Studi precedenti hanno dimostrato che *Dreissena polymorpha* è un ottimo organismo-sentinella per il biomonitoraggio degli IPA, essendo in grado di bioaccumulare questi composti nei suoi tessuti lipidici. I dati da noi ottenuti nella campagna di monitoraggio del 2009 evidenziano una sostanziale omogeneità in tutta la cuvetta lacustre relativamente all'inquinamento da IPA, non mostrando differenze statisticamente significative né tra le varie stazioni né tra le quattro aree geografiche. Il sito più contaminato è risultato quello di Suna. Tra i composti più volatili, il benzo(α)antracene (uno dei più pericolosi per la biocenosi) è quello rinvenuto a concentrazioni più elevate nel Verbano, a testimonianza del fatto che gli IPA dovrebbero essere costantemente monitorati anche in questo ambiente lacustre.

La contaminazione da HCH totali e HCB, così come quella da composti organo-fosforati, quali chlorpyrifos e carbaryl, risulta estremamente bassa e non rappresenta sicuramente un problema ambientale per il Verbano.

Nel campionamento di settembre 2009, il composto maggiormente presente nei molluschi in tutti i siti è risultato il pp'DDE, a testimonianza del fatto che durante il periodo estivo non si è assistito a nessuno sversamento di pp'DDT nel Verbano. Baveno e Suna si confermano le stazioni più contaminate.

Come atteso, si osserva un netto calo delle concentrazioni di DDT totali e degli altri composti nel periodo post-riproduttivo; soltanto gli IPA risultano aumentare sensibilmente a settembre. Poiché l'impronta di contaminazione è in questo caso esclusivamente pirogenica, derivante da combustioni incomplete di idrocarburi e non da sversamenti diretti a lago, essa potrebbe derivare da un maggior impiego di fuochi ad uso alimentare e/o da un accresciuto uso di barche da diporto in conseguenza della maggior presenza turistica nel periodo estivo.

Le indagini sui **metalli in traccia in *D. polymorpha*** forniscono un quadro di un ambiente lacustre caratterizzato da diverse sorgenti di contaminazione e confermano che il Bacino di Pallanza è ancora influenzato da una contaminazione da mercurio. Da segnalare anche come differenze talvolta marcate tra le stazioni situate nel Bacino di Pallanza e quelle lungo l'asse principale del lago, dipendano dalla stagione. Tali differenze riguardano elementi per i quali sono note possibili sorgenti antropiche nel Bacino del Toce (Hg) e/o dei suoi affluenti (Cr e Ni). La situazione del 2009 è apparsa quindi diversa anche rispetto al 2008, quando non erano state osservate variazioni di rilievo tra le due zone. Inoltre, nelle stazioni di Baveno e Suna, le concentrazioni di mercurio nei campioni del maggio 2009 sono risultate paragonabili a quelle misurate nel lontano 1996. Tale dato conferma sia la persistenza della contaminazione da mercurio nel Lago Maggiore, sia la necessità di avviare programmi di ricerca fondamentale mirati alla comprensione del ciclo biogeochimico del mercurio nell'ecosistema lacustre.

Sono anche da segnalare alcune variazioni stagionali in singole stazioni rispetto al 2008. Poiché tali variazioni non sono comuni a tutti gli elementi studiati, esse non possono essere ricondotte al diverso stato fisiologico degli organismi nei due periodi di campionamento, ma piuttosto ad apporti antropici distinti per tempo e zona di provenienza.

Le analisi dei composti organici nelle **tre specie ittiche** campionate, coregone lavarello (*Coregonus lavaretus*), agone (*Alosa fallax lacustris*) e gardon (*Rutilus rutilus*) evidenziano per l'agone concentrazioni di DDT molto prossime al limite di legge (50 ng g⁻¹ peso fresco, per pesci con meno del 5% di grassi), ma al di sopra di esso solamente nel campione di luglio. Relativamente al 2008, le concentrazioni misurate sono simili nel lavarello e nel gardon, mentre risultano aumentate nell'agone.

In termini assoluti, le concentrazioni totali di DDT sono differenti nelle tre specie, con valori mediamente più alti nell'agone (70,5 ng g⁻¹ p. f., valore superiore del 25% rispetto a quello misurato nel 2008), rispetto a lavarello (22,5 ng g⁻¹ p. f.) e gardon (6,0 ng g⁻¹ p. f.). L'agone risulta avere quindi un contenuto di DDT tre volte maggiore rispetto a quello del lavarello, mentre la concentrazione del gardon, è circa un terzo di quella del lavarello. A differenza delle altre specie, l'agone presenta concentrazioni talvolta elevate del composto parentale pp'DDT.

Le concentrazioni di PCB totali non sono particolarmente elevate nelle tre specie ittiche e in termini assoluti sono più elevate nell'agone. La normalizzazione rispetto al contenuto lipidico, pur riducendo l'intervallo di variabilità, non sembra eliminare le differenze e tra i vari campioni.

Negli individui considerati nella presente indagine, quindi, giovani (2–3 anni di età), la somma dei PCB indicatori non supera il valore di 70 ng g⁻¹ p.f., valore considerato dal Canton Ticino (Svizzera) come valore soglia anche per i PCB diossina-simili. Per quest'ultimi, il valore limite è pari a 8 pg g⁻¹ p. f. TEQ equivalenti, valore riportato dalla normativa CE n. 1881/2006 come il tenore massimo di questi contaminanti per i prodotti ittici. Questa problematica è in via di approfondimento nell'ambito di una ricerca "ad hoc" avviata nel 2010 sui PCB diossina-simili in individui più maturi, campionati anche in altre aree del lago.

Le concentrazioni dei PBDE risultano in generale inferiori a quelle dei PCB.

I livelli di **mercurio** misurati nei campioni di lavarello e agone durante il 2009 sono paragonabili a quelli del periodo 2001–2007 (si ricordi a questo proposito che la raccolta dei dati sul gardon venne avviata solamente a partire dal 2008). In media, le concentrazioni di mercurio nel lavarello appaiono perfettamente confrontabili negli anni 2008 e 2009 (valore medio di 0,096 ± 0,001 e di 0,098 ± 0,015 mg Hg per kg di p. f. nei due anni, rispettivamente). Da segnalare come, al contrario, negli ultimi due anni si sia avuto un aumento delle concentrazioni medie nell'agone (0,174 ± 0,024 per il 2008 vs. 0,200 ± 0,036 per il 2009) e nel gardon (0,083 ± 0,003 per il 2008 contro 0,106 ± 0,035 del 2009).

L'andamento stagionale delle concentrazioni di mercurio è abbastanza simile per lavarello e gardon, mentre l'agone mostra un massimo di concentrazione nel periodo primaverile per poi stabilizzarsi intorno agli 0,2 mg Hg kg⁻¹ p. f. per il resto dell'anno. Il gardon mostra invece un incremento di concentrazione da ottobre a dicembre 2009. E' verosimile che tali differenze rispecchino le diverse esigenze alimentari delle tre specie esaminate.

Dal punto di vista normativo, le concentrazioni di mercurio nella fauna ittica del Lago Maggiore restano sempre al di sotto dei limiti di legge previsti per i prodotti destinati al consumo umano (0,5 mg kg⁻¹ p. f.). Tuttavia, occorre sottolineare come ulteriori indagini sarebbero necessarie per la valutazione dei rischi sanitari. A tal fine, parallelamente agli studi supplementari previsti nel 2010, e finanziati dalla Commissione per l'analisi dei PCB-diossina simili nei prodotti ittici, si prevede di effettuare analisi integrative – a costo zero - di mercurio nei pesci più rappresentativi. Il maggior rischio (eco)tossicologico derivante dal mercurio è infatti collegato all'esistenza nell'ambiente, e nei pesci, della forma metilata di questo elemento, che è anche la più tossica. La letteratura concorda sul fatto che tale forma costituisce una frazione maggioritaria del mercurio totale nelle specie ittiche. E' tuttavia evidente che una verifica sperimentale delle concentrazioni di metilmercurio (sia in specie

ecologicamente rappresentative sia in quelle di maggior consumo) dovrebbe essere prevista nei futuri programmi di ricerca.

Bibliografia

- CIP AIS. 2009. *Indagini su DDT e sostanze pericolose nell'ecosistema Lago Maggiore. Rapporto annuale 2008*. Ed. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere: 85.
- Manca, M., A. Visconti, A. Fadda, R. Caroni, I. Cerutti & P. Volta. 2010. Verso un approccio funzionale allo studio della diversità: risultati di una prima indagine sullo zooplankton e la rete trofica pelagica del Lago Maggiore attraverso analisi d'isotopi stabili di carbonio e azoto. *Biologia Ambientale* 2010 (2): in stampa.