

6. CONCLUSIONI

Aldo Marchetto, CNR-ISE, Verbania

Il programma di indagini 2013-2015 sul DDT e sulle sostanze pericolose nell'ecosistema del Lago Maggiore presenta due aspetti complementari. Da una parte, esso contiene un aggiornamento delle serie storiche e delle conoscenze acquisite in passato su alcuni parametri di valutazione, come l'analisi quali-quantitativa di sostanze pericolose e di elementi in traccia nei pesci e lo studio del percorso di queste sostanze lungo la rete trofica, attraverso lo zooplancton, e della loro presenza nei molluschi filtratori, tipici organismi litorali. Dall'altra parte, il programma 2013-2015 contiene alcuni elementi di novità, come lo studio della dinamica di sostanze pericolose e degli elementi in traccia nell'ecosistema fluviale del Fiume Toce nel suo tratto terminale e un approfondimento della presenza di DDT e metaboliti, mercurio, rame ed arsenico in diversi comparti dell'ecosistema (sedimenti, acqua interstiziale, organismi macrobentonici indigeni).

L'analisi delle sostanze pericolose nello **zooplancton**, in corso dal 2009, prosegue anche in questo programma triennale. Lo zooplancton, cioè l'insieme di organismi animali flottanti nella massa d'acqua, rappresenta un punto cruciale nella rete trofica che trasferisce materia, energia e contaminanti dall'acqua e dai produttori primari (principalmente alghe microscopiche) verso la fauna ittica.

Nel 2013 lo zooplancton è stato campionato, come da programma, nella sola stazione di Ghiffa, nel punto di massima profondità del lago, privilegiando lo studio della contaminazione di diverse frazioni dimensionali per una maggiore comprensione della dinamica stagionale degli inquinanti veicolati dalle diverse componenti zooplanctoniche di rete nella zona pelagica. Nel quinquennio precedente la stazione di Ghiffa era risultata rappresentativa della zona centro-settentrionale del lago, mettendo in luce una modesta variabilità spaziale delle concentrazioni degli inquinanti organici nello zooplancton.

Nel corso del 2013, la successione stagionale dello zooplancton è risultata differente da quella degli anni passati. Infatti, il picco primaverile di densità, formato prevalentemente da zooplanctonti consumatori primari (erbivori) è risultato meno elevato rispetto agli anni scorsi, ed è stato seguito da un secondo picco autunnale di pari entità ancora dominato dai consumatori primari, mentre i più grandi consumatori secondari (predatori) hanno presentato la loro densità massima in agosto come di consueto. Inoltre, la concentrazione degli isomeri e metaboliti del DDT (DDx), e in particolare del p,p'-DDE, in regolare diminuzione nel quinquennio scorso, sono risalite in modo evidente nei campioni prelevati a novembre 2013 e a gennaio 2014.

L'aumento delle concentrazioni rispetto al quinquennio precedente ha riguardato anche i policlorobifenili (PCB) ed è probabilmente da mettere in relazione con le intense piogge registrate nell'autunno del 2013 (ben 811 mm di precipitazione tra ottobre e dicembre al pluviometro di Pallanza).

Il quadro sopra delineato viene confermato in parte dalle analisi del **mollusco filtratore** *Dreissena polymorpha*, un tipico organismo filtratore litorale in grado di bioaccumulare rapidamente i contaminanti lipofili contenuti nella matrice acquosa.

Anche nel caso di *D. polymorpha*, infatti, la tendenza alla diminuzione delle concentrazioni di DDx totali registrata nello scorso quinquennio si interrompe, e si ha un evidente aumento delle concentrazioni in tutte le stazioni, sia in quelle del Bacino di Pallanza, che mostrano come di consueto i valori più elevati, che in quelle della parte settentrionale del lago, nonostante i livelli più modesti di inquinanti nei tessuti del mollusco.

I valori misurati nel 2013 sono decisamente inferiori a quelli misurati a cavallo del secolo, ma si deve notare che i rapporti isomerici indicano chiaramente l'apporto del composto parentale (p,p'-DDT) nel Bacino di Pallanza, avvalorando l'ipotesi che le intense piogge della fine del 2013 abbiano portato al lago il DDT attraverso il Toce. E' piuttosto sorprendente il valore ottenuto a Brissago, dato che andrà monitorato con attenzione in occasione delle prossime indagini per valutare eventuali sorgenti locali di DDT.

Anche per gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), le concentrazioni misurate nel 2013 sono risultate generalmente superiori a quelle misurate nel 2012, con l'eccezione della stazione più inquinata (Pallanza), dove i valori si sono leggermente ridotti. La chiara preponderanza degli IPA alchilati a minor peso molecolare con 2 e 3 anelli indica nello sversamento di petrolio e di suoi derivati l'origine principale di questi composti.

Nel caso dei PCB, invece, la concentrazione totale è decisamente inferiore ai valori ottenuti nel 2012 in tutte le stazioni, indicando che le abbondanti piogge avvenute nel mese di maggio non hanno portato al bacino grandi quantitativi di questi contaminanti. Si deve tener conto che il campionamento dei molluschi è avvenuto all'inizio del mese di giugno 2013, e quindi che un eventuale apporto di inquinanti durante l'autunno 2013, come suggerito dalle analisi dello zooplancton, potrebbe essere registrato soltanto con i campioni del 2014.

Nella campagna 2013 sono stati analizzati per la prima volta in tali bivalvi anche i polibromodifenileteri (PBDE). I valori sono risultati modesti, anche se sicuramente sottostimati per l'impossibilità di analizzare il PBDE 209, il congenere presente nella miscela Deca-PBDE vietata solo recentemente, che dovrebbe essere quello maggiormente presente nel Verbano. Nonostante questo, le analisi hanno mostrato una situazione eterogenea, con valori più elevati a Pallanza, Baveno, Brebbia e in misura inferiore, Ranco, indicando una possibile pluralità di fonti di inquinamento.

Nel caso di *D. polymorpha* è stata compiuta volontariamente anche un'analisi degli elementi in traccia (As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb), non compresa nel programma di attività 2013, per mantenere la serie storica di dati disponibili per la Commissione. La maggior parte degli elementi ha mostrato valori comparabili o inferiori a quelli del 2012, con la rilevante eccezione del mercurio. Infatti, le concentrazioni di questo metallo sono risultate più elevate rispetto alla campagna precedente sia nel Bacino di Pallanza che nelle stazioni di Brebbia e Ranco, suggerendo che le forti piogge del 2013 abbiano apportato sedimento litorale inquinato nel Bacino di Pallanza e nella zona sud del lago.

L'aumento delle concentrazioni dei DDx totali, evidenziato sia nello zooplancton che nei molluschi filtratori, è evidente anche in una parte delle analisi della **fauna ittica**. I valori del 2013 sono infatti più elevati del 20% negli agoni piccoli e del 100% negli agoni grandi e nel gardon. Le concentrazioni medie nei tessuti sono risultate maggiori nell'agone (90 ng g⁻¹ p.f. negli esemplari grandi e 56 in quelli piccoli) rispetto al coregone (23 ng g⁻¹ p.f. negli esemplari grandi e 39 in quelli piccoli) e più modeste nel gardon (13 ng g⁻¹ p.f.), con alcuni superamenti dei limiti stabiliti dalla normativa italiana per l'edibilità delle specie ittiche, molto più restrittiva rispetto alla normativa svizzera. In riferimento alla commestibilità o meno di un alimento, materia questa dell'Autorità sanitaria, va ricordato che secondo una norma della Commissione Europea, Direzione Generale per la Salute dei Consumatori, 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 convenzionalmente al 50%. Tenendo conto di questa incertezza convenzionale, i valori misurati nel 2013 rientrano nei limiti tollerabili, ma i superamenti di questi valori e l'interruzione della tendenza discendente registrata negli ultimi anni devono essere valutati con attenzione nelle campagne dei prossimi due anni.

Un secondo gruppo di composti misurati nel tessuto dei pesci sono i PBDE. A differenza degli altri composti esaminati, le concentrazioni più elevate dei diversi congeneri

sono state misurate in specie ittiche diverse: in particolare, i congeneri BDE-183 e BDE-209 sono presenti nel coregone in percentuali maggiori rispetto all'agone. Queste differenze tra agone e coregone per il BDE-183 e il BDE-209 non erano mai state osservate in precedenza e potrebbero essere imputabili a una diversa alimentazione delle due specie o a una diversa esposizione a fonti locali di contaminazione, e dovrà essere un elemento da approfondire nel corso delle prossime indagini. In assenza di un valore soglia di edibilità per i muscoli dei pesci contenenti PBDE, occorre ricordare che la Direttiva Europea 39/2013 stabilisce per questi composti nel biota un valore soglia pari a $8,5 \text{ pg g}^{-1}$ per definire se l'ambiente è in qualità chimica buona; l'applicazione di questo riferimento ambientale per le specie ittiche del Lago Maggiore potrebbe portare pertanto a definire il lago come di qualità non buona..

Per quanto riguarda i PCB, anche nei tessuti dei pesci, come in quelli dei molluschi, le concentrazioni misurate nel 2013 sono simili a quelle del 2012, con valori più elevati nell'agone e, tra i coregoni, negli esemplari di taglia minore. I congeneri principali sono risultati i cosiddetti PCB indicatori (PCB-i) e in nessun caso sono stati superati i valori limite per il consumo umano.

Tuttavia, considerando in particolare i PCB "diossina-simili" (PCB-dl) nel muscolo delle specie ittiche considerate, il valore soglia stabilito dal Regolamento UE 1259/2011 (tossicità equivalente pari a $6,5 \text{ ng g}^{-1} \text{ p.f.}$) è stato superato considerando l'incertezza estesa del valore in tre casi sui sette considerati, sempre a carico degli agoni. Nessun coregone supera tale limite.

Si deve sottolineare che le concentrazioni dei PCB-dl non sono risultate al momento correlate con quelle dei PCB-i, ulteriori verifiche sono in corso. Il superamento del limite per i PCB-dl nei muscoli degli agoni non è al momento accompagnato dal superamento del corrispondente valore soglia dei PCB-i di $70 \text{ ng g}^{-1} \text{ p.f.}$ indicato dall'Ufficio federale per l'ambiente come probabile limite al di sopra del quale aspettarsi anche il superamento del limite per i PCB-dl.

Infine, nel muscolo dei pesci sono state misurate anche le concentrazioni di mercurio, che non sono risultate significativamente differenti da quelle misurate nel passato e sono state sempre inferiori ai limiti di legge per i prodotti destinati al consumo umano, anche se superiori allo standard di qualità per il biota stabilito dalla Direttiva Europea 2013/39.

Inoltre, le concentrazioni di mercurio sono state misurate in pesci di diverse classi di età, risultando significativamente maggiori negli agoni di età maggiore. Questa differenza non si è invece evidenziata per i lavarelli.

La comprensione della dinamica dei microinquinanti nel Lago Maggiore richiede necessariamente una valutazione delle sorgenti, principalmente localizzabili nei principali immissari, *in primis* il **Fiume Toce**. Perciò nel programma di indagini 2013-2015 sul DDT e sulle sostanze pericolose nell'ecosistema del Lago Maggiore è stata inserita un'indagine di approfondimento sul tratto terminale di questo fiume, che comprende tre linee complementari. Nel 2013 erano previste e sono state avviate la misura delle concentrazioni nei sedimenti fluviali e la valutazione della biodisponibilità di contaminanti idrofobici e del mercurio labile nell'acqua e nei sedimenti con l'uso di campionatori passivi. Lo studio del bioaccumulo negli organismi bentonici sarà attivato, come previsto, nel 2014.

I campionatori passivi, disposti all'interfaccia tra acqua e sedimento, permettono di valutare la biodisponibilità dei contaminanti presenti nell'acqua interstiziale del sedimento e nell'acqua corrente sovrastante il sedimento, le cui concentrazioni dipendono da una molteplicità di fattori interdependenti, come diffusione, risospensione, dissoluzione, e dalle reazioni chimiche e biologiche che avvengono nei sedimenti e all'interfaccia tra questi e l'acqua corrente.

I risultati di questa prima campagna hanno dimostrato la possibilità di utilizzare questi campionatori nel Toce sia per l'analisi del DDT e dei suoi metaboliti che per quella del

mercurio. La concentrazione stimata di DDx nell'acqua aumenta solo leggermente tra la stazione a monte di Pieve Vergonte (Prata) e quelle a valle (Ornavasso), mentre quella dell'acqua interstiziale aumenta di 25 volte tra Prata e Ornavasso. Poiché l'acqua interstiziale è a stretto contatto con gli organismi che vivono nel sedimento, questi valori indicano una elevata biodisponibilità dei DDx, che andrà confermata nel 2014 con l'analisi del macrobenthos indigeno. Le analisi hanno anche mostrato che i congeneri prevalenti, sia nell'acqua corrente che in quella interstiziale, sono il p,p'-DDD e l'o,p'-DDD, che si formano dal metabolismo del DDT in condizioni anaerobiche. La loro presenza in entrambe le matrici porta a ipotizzare che questi composti si siano formati all'esterno del fiume, nei suoli contaminati, da cui sarebbero dilavati in questa forma.

Nel caso del mercurio, l'uso dei campionatori passivi permette di quantificare la componente labile, biodisponibile, sia nell'acqua corrente che in quella interstiziale. Questa prima campagna ha permesso di calibrare il sistema per i sedimenti del Toce mediante esperimenti in laboratorio, seguiti da un'esposizione in campo. E' così emersa una differenza significativa nelle concentrazioni presenti nell'acqua e nei sedimenti tra i siti a monte e a valle di Pieve Vergonte, evidenziando una maggiore biodisponibilità del contaminante a valle. I risultati saranno confermati mediante nuove esposizioni in stagioni diverse e mediante confronto con le analisi di bioaccumulo del macrobenthos in programma per il 2014.

Per quanto riguarda i sedimenti fluviali, si deve premettere che in un fiume soggetto a frequenti piene di forte entità, come il Toce, è molto frequente l'erosione del sedimento già deposto, e quindi le sequenze sedimentarie possono essere alterate in modo radicale. Nel corso del 2013, per ragioni logistiche legate al livello elevato del fiume, è stato possibile effettuare un solo campionamento del sedimento in cinque stazioni mediante carotatore, e le concentrazioni di mercurio e di microinquinanti organici sono risultate relativamente modeste.

Tuttavia lo studio ha messo in evidenza che nella stazione di Prata, che come si è già detto si trova a monte di Pieve Vergonte, le concentrazioni degli isomeri del DDT e dei PCB sono minori rispetto alle stazioni di valle. Inoltre, solo nella stazione di Ornavasso è stato registrato un elevato contributo del p,p'-DDT alla concentrazione totale degli isomeri del DDT, indicando una possibile sacca di contaminazione in questa area del Fiume Toce. In due carote, sono state analizzate le concentrazioni di mercurio anche nei sedimenti meno superficiali, ma non sono stati rilevati gradienti di concentrazione.

Nel programma di attività dei prossimi anni sono previsti altri carotaggi dei sedimenti del Toce, che potranno chiarire le dinamiche stagionali degli strati superficiali e mettere in luce la presenza di aree deposizionali residuali che possono fungere da sorgenti secondarie nella rimobilizzazione del mercurio e degli altri inquinanti.

Le analisi dei microinquinanti organici e dei metalli in traccia sono state svolte, oltre che nel Fiume Toce, anche in una selezione degli **altri tributari** e nel Ticino Emissario. Il Ticino Immissario non è stato incluso, in quanto nello scorso quinquennio ha mostrato un livello di contaminazione molto ridotto, mentre per il Bardello e il Boesio, come da programma, è stato effettuato uno studio di dettaglio volto ad individuare eventuali sorgenti di PBDE.

I DDx sono stati misurati solo nel Ticino Emissario, e hanno mostrato valori variabili, ma sostanzialmente simili a quelli degli anni precedenti, con una prevalenza del p,p'-DDE e p,p'-DDD.

Anche nel caso degli IPA, i valori sono risultati in linea con quelli degli anni precedenti. I composti, sia di origine petrogenica che pirogenica, sono presenti in tutti i tributari esaminati e le concentrazioni maggiori si trovano a livello del Ticino Emissario, indicando un'origine diffusa dell'inquinamento.

Invece nel caso dei PCB e dei PBDE, le concentrazioni più elevate nei fiumi Boesio e Bardello indicano chiaramente la presenza di sorgenti locali di contaminazione. In particolare,

le concentrazioni di PBDE sono risultate decisamente maggiori di quelle dei PCB in tutti i fiumi, e al contrario di queste ultime, sono aumentate rispetto al 2012, anche normalizzando i dati rispetto al contenuto di sostanza organica dei sedimenti fluviali.

Come nel quinquennio precedente, Boesio e Bardello sono caratterizzati da una prevalente (96-98%) contaminazione da BDE-209, il composto decabromurato principale componente della miscela tecnica Deca-BDE, la sola miscela commerciale ancora in uso in Europa anche se con limitazioni di impiego. Le concentrazioni elevate di PBDE osservate nei sedimenti di questi due tributari sono state verificate attraverso un'indagine territoriale che ha permesso di selezionare alcuni punti strategici di campionamento.

Per il Fiume Boesio, le concentrazioni di BDE-209 aumentano di circa 8 volte tra Cuvio e Casalzuigno, raggiungendo valori molto elevati anche in termini assoluti, evidenziando il ruolo importante dell'azienda tessile presente a Casalzuigno. L'impatto del piccolo depuratore di Casalzuigno non dovrebbe influire sul carico di BDE-209, anche se non è stato possibile distinguere tra le sue sorgenti per l'impossibilità di accedere all'area privata compresa tra l'azienda tessile e depuratore.

Per il Fiume Bardello, i risultati sono meno chiari: i valori sono già elevati a monte del depuratore di Gavirate, suggerendo una contaminazione già presente a livello dei sedimenti del Lago di Varese, e aumentano ancora a valle di Besozzo. Lo studio andrebbe integrato con altri punti situati tra Besozzo e la foce del fiume per individuare eventuali fonti industriali di scarico.

Per quanto riguarda i metalli in traccia, arsenico e nichel mostrano valori paragonabili ai livelli di fondo del bacino, con valori di arsenico più elevati nel Tresa, attribuibili al dilavamento di arsenopiriti presenti nelle rocce del bacino imbrifero. I valori di rame risultano superiori ai valori di fondo, ma in linea con quelli degli anni precedenti, nel Boesio e nel Ticino Emissario.

Come nel 2012, sono stati rilevati valori elevati di piombo nel Boesio a novembre, e di cadmio nel Bardello ad aprile. Infine, le concentrazioni di mercurio presentano valori più contenuti nel Boesio e nel Bardello rispetto a quanto riscontrato nel 2012, ma valori più elevati per il Ticino Emissario.

In generale, nel Ticino Emissario sono stati individuati valori relativamente elevati sia di PBDE che di mercurio, che superano le soglie utilizzate negli Stati Uniti per valutare il rischio di effetti tossici sul macrobenthos residente.

In conclusione, questo primo anno di attività del programma di indagini 2013-2015 sul DDT e sulle sostanze pericolose nell'ecosistema del Lago Maggiore ha messo in evidenza:

- la possibilità che eventi meteorologici di particolare intensità rimettano in movimento i contaminanti presenti nel bacino imbrifero del Lago Maggiore, interrompendo in tutti i comparti biologici esaminati (anche se con modalità diverse a seconda del composto) il trend decrescente delle concentrazioni registrato degli ultimi anni;
- la prevalenza del p,p'-DDT tra gli isomeri del DDT ritrovati nei molluschi filtratori sia nel Bacino di Pallanza avvalora l'ipotesi che le intense piogge della fine del 2013 abbiano portato al lago il DDT attraverso il Toce. I valori più elevati a Brissago, se confermati, potrebbero richiedere degli approfondimenti per verificare l'esistenza di eventuali sorgenti locali,;
- le elevate concentrazioni di PCB diossina-simili e di PBDE nei tessuti muscolari dei pesci, e le concentrazioni elevate ed in aumento di questi ultimi nel Boesio (con una sorgente puntuale a Casalzuigno) e nel Bardello;
- la possibilità di utilizzare i campionatori passivi per valutare la biodisponibilità dei DDT e del mercurio nelle acque correnti e interstiziali lungo il Fiume Toce, e la presenza di

una sorgente locale di DDD (probabilmente dilavato da terreni contaminati) a monte della stazione di Premosello;

- valori relativamente elevati di diversi microinquinanti nel Ticino Emissario.

Questi punti devono essere confermati con la prossima campagna di analisi e con i nuovi studi in programma nel 2014, in particolare l'analisi delle carote di sedimento lacustre e lo studio dell'accumulo degli inquinanti nel macrobenthos fluviale.