

LA CONTAMINAZIONE DA DDT NEI SEDIMENTI DEL LAGO MAGGIORE: BIODISPONIBILITA' ED IMPATTO ECOLOGICO SULLA RETE TROFICA

L. GUZZELLA¹, C. ROSCIOLI¹, G. POMA¹, P. GUILIZZONI², A. BOGGERO², P. VOLTA²

¹ CNR- IRSA, via del Mulino 19, 20681 Brugherio (MB), ² CNR-ISE, Largo Tonolli 50,
28922 Pallanza (VB)
e-mail: guzzella@irsa.cnr.it

SOMMARIO

Nella presente ricerca condotta nel Lago Maggiore, il DDT e i suoi metaboliti od omologhi sono stati ricercati in alcune matrici considerate rappresentative dell'ambiente acquatico: i sedimenti lacustri e quelli del Fiume Toce, il comparto ittico, come anello finale superiore della catena trofica acquatica, e negli oligocheti e chironomidi, le classi più rappresentative del macrobenthos lacustre. La ricerca ha messo in evidenza che a causa sia delle elevate concentrazioni di DDT osservate in alcune aree della Baia di Pallanza sia del F. Toce che delle elevata biodisponibilità di tali contaminanti presente sia nelle rete trofica bentonica che pelagica, il "sistema" Lago Maggiore ed il F. Toce non abbiano ancora raggiunto uno stato di equilibrio tale da considerare completamente e definitivamente superato il problema della contaminazione da DDT.

Parole chiave: sedimenti, DDT, biodisponibilità, pesci, oligocheti, chironomidi

1. INTRODUZIONE

Alcune sostanze organiche fortemente tossiche quali il DDT, i PCB e l'HCB, sono difficilmente degradabili e persistono per anni nell'ambiente; inoltre, essendo liposolubili, possono concentrarsi per bioaccumulazione lungo la catena alimentare nei tessuti adiposi; infine, possono trasferirsi a grandissima distanza dai luoghi di emissione attraverso ripetuti processi termodipendenti di evaporazione e condensazione. Tali composti appartengono, insieme ad altri inquinanti organici, ai così detti POP (*Persistent Organic Pollutants*), che sono stati recentemente messi al bando in tutto il Mondo dalla Convenzione di Stoccolma (23 maggio 2001). La Convenzione vieta la produzione, il commercio e l'utilizzo di queste sostanze, ove siano prodotte intenzionalmente, salvo alcune specifiche eccezioni. In Italia, molte di queste sostanze erano già state oggetto di proibizione o di regolamentazione. In effetti, l'uso del DDT è stato vietato fin dal 1978 con l'eccezione di alcune applicazioni in floricoltura o in ambito zootecnico. La sua produzione rimase, però, consentita, tanto è vero che essa si prolungò fino al 1996 in un'unica azienda italiana ubicata nella zona industriale di Pieve Vergonte (VB), un comune appartenente al bacino imbrifero del F. Toce a poca distanza dal Lago Maggiore.

A seguito della contaminazione osservata nei sedimenti lacustri e nelle specie ittiche, lo scarico dell'impianto produttivo fu chiuso nell'estate del 1996. Anche se la contaminazione non aveva prodotto effetti sulla qualità delle acque lacustri, tali da pregiudicarne le utenze ad uso potabile e balneare, nei sedimenti superficiali del lago, soprattutto in prossimità

della foce del F. Toce, vennero evidenziate rilevanti concentrazioni di DDT indicative di una compromissione ambientale recente [1]. Inoltre, l'accertamento della presenza dell'insetticida nella fauna ittica indusse le Autorità sanitarie italiane e svizzere ad adottare nel 1996 misure restrittive, che per la parte italiana riguardavano il divieto di consumo alimentare umano e, quindi, della pesca di alcune specie caratterizzate da concentrazioni dell'inquinante superiori ai limiti di legge, mentre in Svizzera tali misure furono assunte unicamente per agone e salmerino. Attualmente la pesca è proibita, a causa del DDT, solo per l'agone in Italia.

Nel frattempo, a partire dal giugno 1996, furono gradualmente assunte presso l'insediamento industriale di Pieve Vergonte misure di salvaguardia dall'inquinamento concordate con le competenti Autorità, quali la demolizione e la messa in sicurezza dell'impianto produttivo, nonché il risanamento e la protezione dell'acqua di falda mediante emunzione e trattamento in loco, l'escavo e la bonifica dei sedimenti del Torrente Marmazza. E' in fase di approvazione finale, l'intervento complessivo di bonifica dei terreni inquinati situati intorno all'area di ex-produzione.

Nella presente ricerca condotta nel Lago Maggiore, il DDT e i suoi metaboliti od omologhi sono stati ricercati in alcune matrici considerate rappresentative dell'ambiente acquatico: i sedimenti lacustri e quelli del F. Toce, il comparto ittico, come anello finale della catena trofica acquatica, e negli oligocheti e chironomidi, le classi più rappresentative del macrobenthos lacustre.

2. MATERIALI E METODI

La contaminazione da DDT nel Lago Maggiore è stata seguita attraverso una serie di indagini sui sedimenti sia dei tributari, in particolare si riportano qui i dati del Fiume Toce, e sia di quelli del lago. Il campionamento del Toce è stato condotto ad aprile, luglio e ottobre di ogni anno dal 2008 al 2010. Questo fiume è stato campionato con l'utilizzo di un'imbarcazione e con una draga Ponar; il sedimento è stato liofilizzato in laboratorio, setacciato sino a separare la frazione fine (argilla e limo) del sedimento (< 0,05 mm) che è stata sottoposta ad analisi. Sul campione di sedimento liofilizzato e setacciato, è stata condotta anche la determinazione del carbonio organico, avvenuta per ossidazione del sedimento secco mediante bicromato di potassio ed acido solforico concentrato secondo il metodo Walkley Black [2]. Per quanto concerne i sedimenti del lago tra Marzo e Aprile 2008 sono stati effettuati i campionamenti delle carote in nove stazioni prescelte (tre nel Bacino di Pallanza, sei lungo l'asse principale del lago; Figura 1).

Una volta raccolte, le carote sono state sezionate longitudinalmente, fotografate (Figura 1) e sub-campionate per le analisi del DDT. Tutte le carote di sedimento sono state analizzate per le diatomee sub-fossili nei primi 5-17 cm; è questo l'intervallo entro il quale si è notato il sensibile cambiamento nei popolamenti a diatomee registrato a partire dal 1963 [3]. Le analisi sulle diatomee sub-fossili hanno permesso di datare le carote di sedimento e di procedere con la sub-campionatura dello strato più superficiale della carota (2007-2008), sia di altre due sezioni corrispondenti ai sedimenti depositi a partire dal 2000 in poi.

Il campionamento della fauna ittica si è svolto stagionalmente dal 2008 al 2010 e i pesci sono stati catturati con reti branchiali in zona pelagica (coregone lavarello, *Coregonus lavaretus* e agone *Alosa agone*, syn *Alosa fallax lacustris*) e litorale (gardon *Rutilus rutilus*) nei mesi di marzo, luglio, ottobre, dicembre. Una volta in laboratorio, i pesci sono stati misurati, pesati e ne è stato determinato il sesso e l'età attraverso l'analisi delle scaglie. I pesci catturati sono stati selezionati al fine di ricostituire un pool omogeneo (5-10 individui) di pesci relativamente giovane (2-3 anni). Per ogni pesce è stato prelevato il filetto nella regione caudale da entrambi i lati del corpo. I filetti sono stati omogeneizzati e sottoposti a liofilizzazione ed analisi.

Per quanto riguarda il macrobenthos, gli organismi del lago sono stati campionati a marzo 2010 dalla società Environ (Milano), per conto di Syndial, con una benna Van Veen da 5 L;

è stato possibile ottenere una massa di materiale per le analisi solo nelle stazioni di Baveno, una litorale (BAV-L) e una profonda (BAV-P), e nella stazione di fronte a Pallanza (PL-01). Gli organismi sono stati recuperati per setacciatura con setacci a maglie di 250 μm ; suddivisi in Chironomidi ed Oligocheti e successivamente, dopo essere stati sottoposti a spurgatura per 6 ore, sono stati pesati e congelati. Unitamente agli organismi è stato prelevato anche un campione di sedimento. Nel Fiume Toce i sedimenti e gli organismi sono stati prelevati nel luglio 2010 con le stesse modalità di quelli lacustri, raccogliendo due campioni a monte e due a valle dell'insediamento produttivo di Pieve Vergonte. Per gli organismi fluviali campionati, a differenza di quelli lacustri, questi non sono stati suddivisi in Oligocheti e Chironomidi, ma sono stati recuperati tutti i macroinvertebrati che sono stati successivamente classificati.

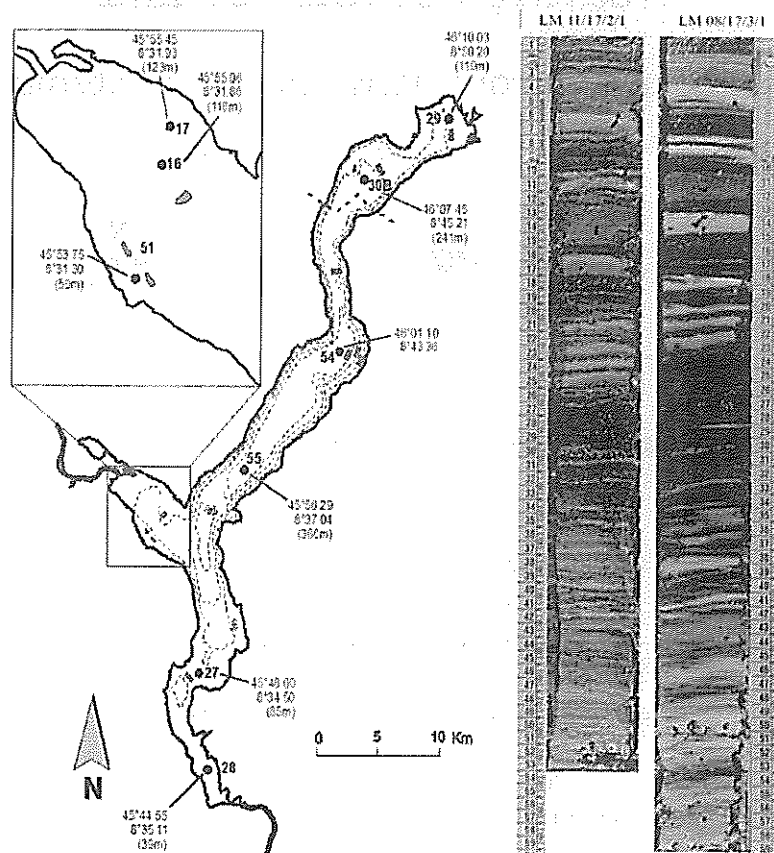


Figura 1: Stazioni di campionamento del Lago Maggiore nel 2008 a sinistra, esempi di carote di sedimento prelevati a destra.

Il trattamento analitico dei campioni è quello riportato nel Rapporto CIP AIS del 2009 [4]: per i sedimenti si è operata un'estrazione a caldo in Soxhlet e una purificazione su colonnina, contenente una fase composta da silice, allumina neutra e basica; per pesci e macrobenthos l'estratto in Soxhlet è stato purificato tramite passaggio su colonnina contenente silice acida, silicato di potassio, Florisil attivato; sugli estratti di sedimento e di organismi l'analisi è stata effettuata, utilizzando un gascromatografo TraceGC 2000 accoppiato a uno spettrometro di massa Ion-Trap PolarisQ (ThermoElectron, Austin, Texas) in modalità MS/MS, utilizzando per la quantificazione una retta esterna di calibrazione e uno standard di siringa per verificare la bontà dell'iniezione e permettendo un limite di quantificazione di 0,1 ng g⁻¹ p.s. per ciascun composto: op'- e pp'-DDD, DDE e DDT. La validazione del metodo per l'analisi dei pesci è stata effettuata, analizzando il

materiale certificato fornito dal NIST (National Institute of Standard and Technology) SRM 1947 Lake Michigan Fish Tissue.

3. RISULTATI

3.1. Analisi dei sedimenti

Nel Lago Maggiore le maggiori concentrazioni, soprattutto del composto parentale p,p'-DDT (Figura 2), sono presenti nelle carote della Baia di Pallanza e nelle carote prelevate

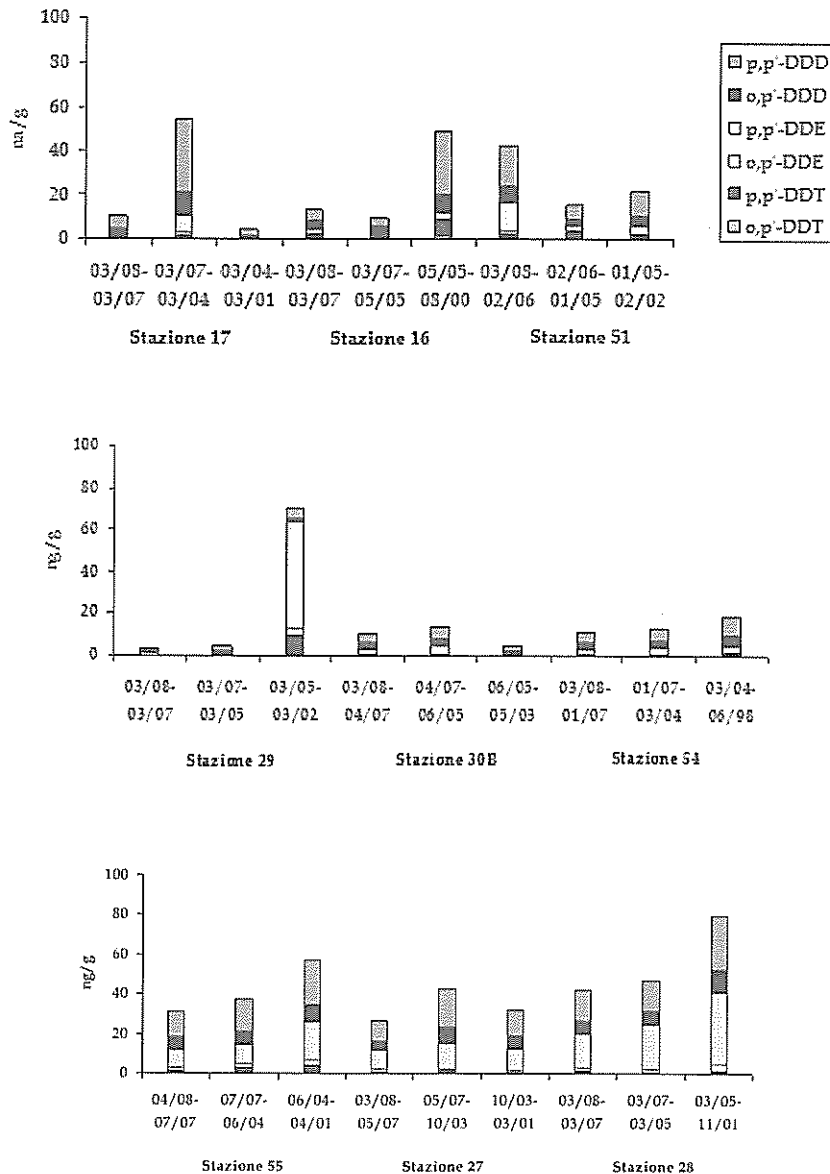


Figura 2: Concentrazioni (ng g⁻¹ p.s.) di DDT nei sedimenti del Lago Maggiore.

dalla parte Sud del lago (stazioni 27 e 28), soprattutto in quelle sezioni che si sono depositate nel periodo successivo alle piene del F. Toce degli anni 2000, 2002 e 2004 [5]. Il principale metabolita nella Baia è risultato il p,p'-DDD, che si forma principalmente in condizioni anaerobiche dalla degradazione del p,p'-DDT. Inoltre, lungo l'asse Nord-Sud del lago (Figura 2) si è assistito ad un aumento progressivo della concentrazione di DDT

totale dalla stazione di Locarno (stazione 29) a quella sita presso l'incile del F. Ticino Emissario (stazione 28), evidenziando come la contaminazione della Baia di Pallanza abbia raggiunto, per effetto delle correnti, sia la parte centrale che quella meridionale del lago attraverso il trasporto di particolato fine inquinato [5].

La principale fonte di inquinamento della Baia e probabilmente della parte Sud del lago è rappresentata dall'apporto del F. Toce. Considerando le analisi dei sedimenti del Toce (Figura 3), è evidente che vi è stato tra il luglio 2009 e l'aprile 2010 un periodo di 10 mesi in cui le concentrazioni totali di DDT sono risultate molto elevate e mediamente pari a 55 ng g⁻¹. Il F. Toce rappresenta, tuttora, una fonte attiva di contaminazione da DDT, probabilmente imputabile sia al dilavamento dei suoli contaminati esterni all'area Syndial di produzione del DDT che al trasporto di sedimenti contaminati da DDT presenti in aree di deposizione del fiume. Tale affermazione è sostenuta anche da una presenza significativa proprio del composto parentale, il pp'-DDT e del suo isomero op'-DDT (Figura 3), che in passato erano quasi del tutto scomparsi; la presenza di pp'-DDT è, infatti, compresa tra il 35 e il 69% del totale della somma di tutti i DDT e si avvicina alla composizione media del formulato tecnico, prodotto in passato nel sito industriale.

Il trasporto attivo di DDT dal Fiume Toce alla Baia di Pallanza potrebbe, inoltre, essere stato favorito anche dalle abbondanti precipitazioni che per tutto il 2009 hanno dilavato i suoli, senza che si siano verificati particolari eventi di piena; in questo caso è stato perciò favorito il trasporto di DDT per solubilizzazione in acqua rispetto al trasporto per adsorbimento su particolato inquinato. Tale andamento è confermato anche dalla portata media annuale del Toce che nel 2009 è stata particolarmente consistente (73 m³ sec⁻¹). Il maggiore trasporto di DDT per solubilizzazione in acqua avrebbe contribuito a far aumentare negli ultimi anni il contributo degli isomeri op' rispetto a quelli pp', sia a livello di metaboliti (specialmente nel caso del DDD) che del composto parentale (DDT). La spiegazione a tale fenomeno è da ricercare nel diverso comportamento degli isomeri. Da dati di letteratura [6] è noto che gli isomeri op' del DDT, DDD e DDE sono più solubili in acqua di quelli pp'. I primi (op'-DDT, DDD e DDE) sarebbe, quindi, favoriti nel trasporto per solubilizzazione in acqua rispetto ai secondi (pp'- DDT, DDD e DDE).

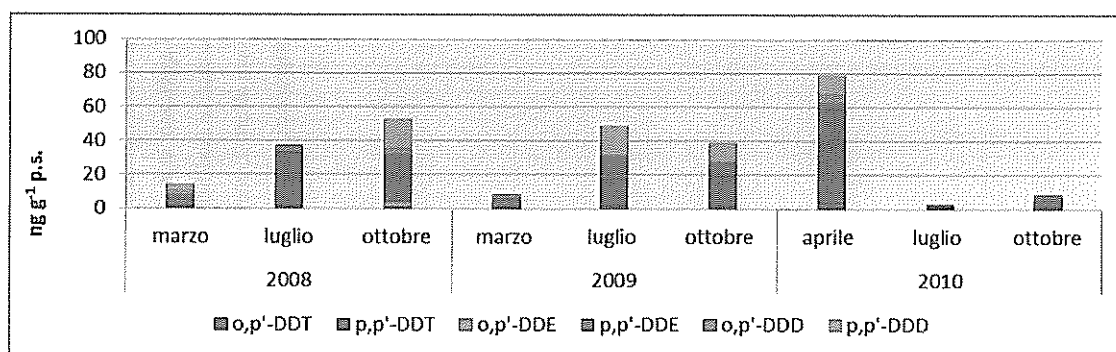


Figura 3: Concentrazione di DDT e relativi isomeri e metaboliti (ng g⁻¹) nei sedimenti del Toce dal 2008 al 2010.

Tale ipotesi sarebbe avvalorata anche dai dati di contaminazione da DDT delle acque di falda catturate a valle della barriera idraulica presente a Pieve Vergonte, in cui gli isomeri op' risultano per DDT e DDD in concentrazioni simili o maggiori dei relativi isomeri pp' (Comunicazione personale Dati ARPA Piemonte-Dipartimento VCO, Omegna).

Se si considerano, infine, le singole stazioni sul F. Toce, campionate a luglio 2010, è evidente come il DDT si accumuli principalmente nella frazione fine del sedimento (Figura 4). In questa frazione le concentrazioni aumentano da 100 fino a oltre 400 volte rispetto a quelle della frazione grossolana, rendendo di fatto le concentrazioni di quest'ultima frazione trascurabili. La localizzazione geografica delle stazioni (RT-A e RT-B a monte e RT-C e RT-D a valle dello stabilimento produttivo di Pieve Vergonte) influisce, infine, sulle concentrazioni di DDT osservate; infatti, a monte dello stabilimento si hanno concentrazioni

contenute ($13\text{-}16\text{ ng g}^{-1}$ p.s.), mentre a valle le concentrazioni aumentano da 20 fino a quasi 200 volte rispetto a monte, raggiungendo un picco massimo di oltre 3000 ng g^{-1} p.s. nella stazione RT-D. Inoltre, le stazioni RT-B e RT-C hanno un profilo di contaminazione simile per quanto riguarda la ripartizione dei composti, con il p,p'-DDT che risulta essere il composto più abbondante (63 e 53%). Ancora una volta la spiegazione è da attribuire principalmente al dilavamento dei terreni circostanti all'insediamento produttivo. Un comportamento "anomalo" è quello della stazione RT-D, dove l'altissima concentrazione riscontrata (oltre 3000 ng/g p.s.), è probabilmente da attribuire al fatto che la stazione si trova in una zona del fiume ad alta sedimentazione, dove per effetto delle correnti si è depositato un elevato quantitativo di sedimento fine inquinato. Esiste, quindi, per il Lago Maggiore il rischio reale di nuovi apporti di DDT provenienti dal trasporto di sedimento contaminato presente nelle aree di sedimentazione del F. Toce.

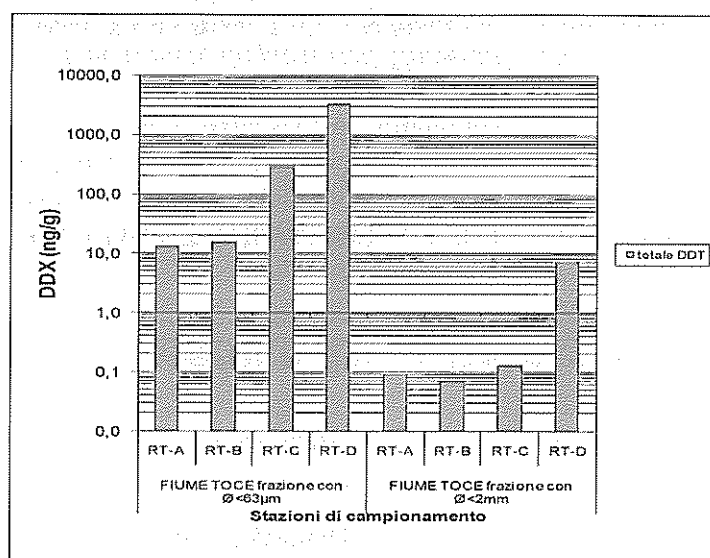


Figura 4: Concentrazioni di DDT totali (ng g^{-1} p.s.) nei sedimenti del Fiume Toce a luglio 2010.

3.2. Analisi dei pesci

Le concentrazioni di DDT dal 2008 al 2011 sono riportate in Figura 5. La normativa italiana prevede che, per il consumo umano, la concentrazione del composto non possa superare i 100 ng g^{-1} peso fresco per i pesci con più del 5% di grassi e i 50 ng g^{-1} peso fresco per i pesci con meno del 5% di grassi. I campioni di agone di aprile, luglio e novembre 2010 oltrepassano tali limiti: superamento è pari al 100% del valore limite nei campionamenti di aprile e luglio 2010 e del 40% nel campione di novembre 2010. Quindi per 8 mesi tutti i campioni di agone sono risultati superare il limite previsto per il consumo umano, tali osservazioni si armonizzano con quanto osservato nei sedimenti del Fiume Toce. Per i sedimenti, il periodo in cui le concentrazioni di DDT sono sempre superiori a 40 ng g^{-1} è stato tra luglio 2009 e aprile 2010 con uno sfasamento di 6 mesi rispetto a quanto osservato per i pesci, in accordo con il tempo necessario al trasferimento dei composti dall'acqua/particolato agli organismi attraverso la catena trofica.

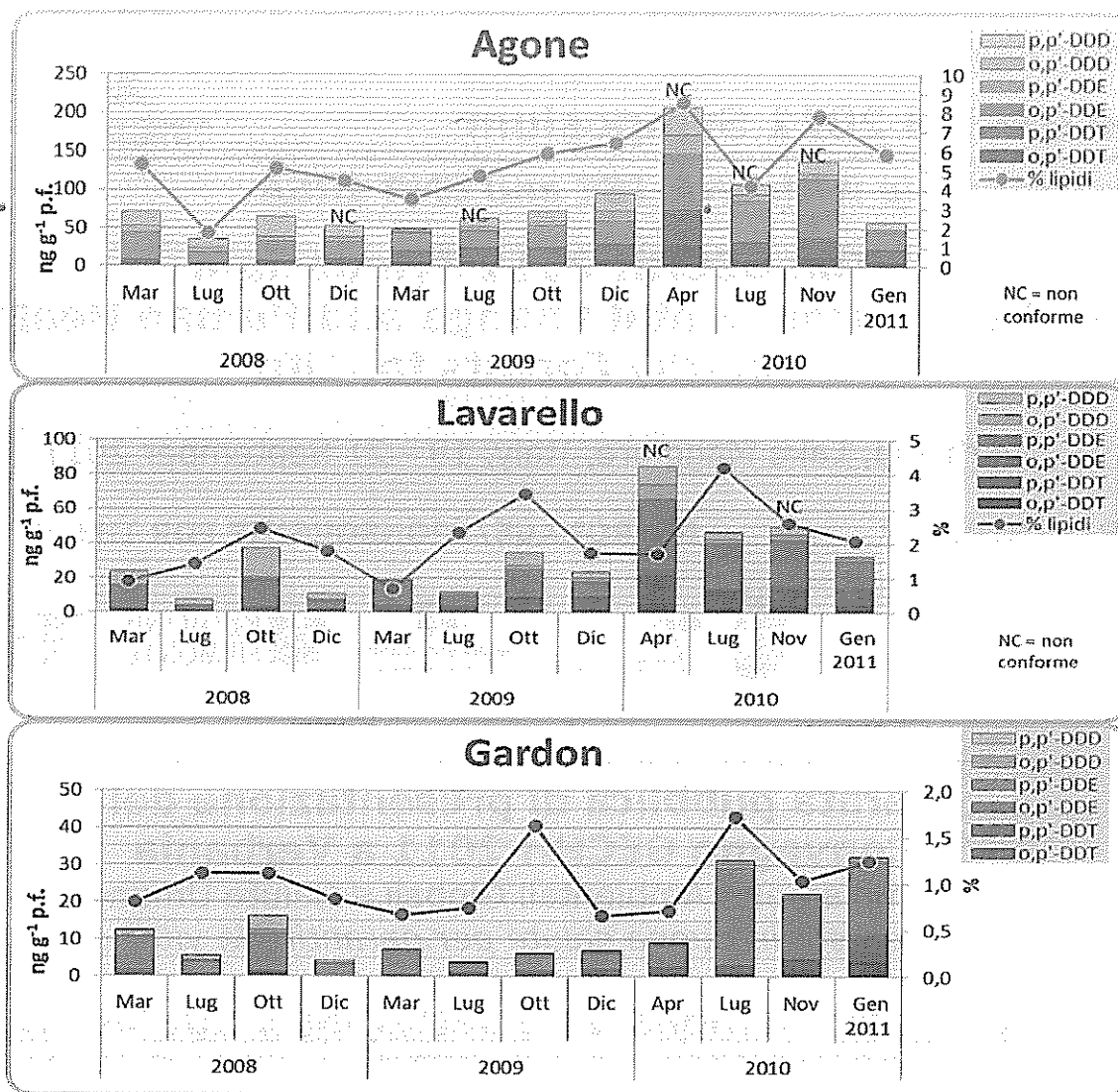


Figura 5: Concentrazioni di DDT totale (ng g^{-1} p. f.) nelle specie ittiche del Lago Maggiore dal 2008 al 2011.

L'aumento di contaminazione osservato nell'agone rispetto al passato, è dovuto sia all'aumento delle concentrazioni di DDT che di DDE. Nei campioni precedenti il dicembre 2008 il composto parentale DDT era praticamente scomparso nei campioni di pesce, mentre a partire dal marzo 2009 tale composto ha iniziato ad aumentare e da marzo 2010 è aumentata anche la concentrazione di DDE [4,8].

Lo stesso aumento del DDT totale è stato osservato nel lavarello per il periodo tra aprile 2010 e novembre 2010. Tale aumento ha permesso sorprendentemente il superamento della soglia di edibilità per il lavarello in due campioni (del 70% ad aprile e del 5% a novembre 2010) dei quattro considerati. Attualmente, la pesca del lavarello è permessa in Italia ed è stata riaperta in Regione Piemonte nel 2003 con Decreto del Presidente della Giunta Regionale 17 aprile 2003, n. 38 e in Regione Lombardia nel 2005 con Decreto della Direzione Generale Agricoltura n. 3989 del 15 marzo 2005. Analogamente a quanto osservato per l'agone, l'aumento della contaminazione nel lavarello è imputabile sia all'aumento delle concentrazioni DDT che di DDE.

Infine, per quanto concerne il gardon, si osserva un aumento delle concentrazioni di DDT nel periodo tra luglio 2010 e gennaio 2011, con uno sfasamento di circa 3-4 mesi rispetto al picco osservato per l'agone e il lavarello. Le concentrazioni non superano i limiti della normativa italiana per il consumo umano, ma si avvicinano molto ad essi, con un

andamento in crescita mai osservato in precedenza. Lo sfasamento temporale osservato rispetto ad agoni e lavarello è probabilmente da attribuire ad una diversa nicchia ecologica occupata dal gardon, che ha permesso una diversa esposizione ai contaminanti: questa specie, infatti, predilige gli ambienti litorali, il lavarello e l'agone quelli pelagici.

Le concentrazioni totali di DDT sono differenti nelle tre specie considerate: la media del 2010 è risultata pari a: 127,7 ng g⁻¹ p.f. per l'agone, valore superiore del 130% rispetto a quanto misurato nel 2008 [4,8]; 53,9 ng g⁻¹ p.f. per il lavarello, valore superiore del 170% rispetto al 2008; 23,8 ng g⁻¹ p.f. per il gardon, valore superiore del 140% rispetto al 2008. L'agone ha, quindi, un contenuto di DDT 2,5 volte maggiore rispetto a quello del lavarello, a sua volta doppio rispetto al gardon. Normalizzando i risultati rispetto al contenuto lipidico, le differenze tra le specie si riducono e il lavarello è risultato quello più compromesso da DDT; l'andamento temporale è però simile a quanto già evidenziato nei risultati con dati non normalizzati; spicca, tuttavia, un trend in crescita della contaminazione del gardon.

3.3. Analisi dei macroinvertebrati

I valori delle concentrazioni di DDT riportati in Figura 6 sono stati ottenuti, mediando le concentrazioni degli organismi prelevati nelle stazioni BAV-L, BAV-P e PL-01 per gli Oligocheti, mentre il valore dei Chironomidi è relativo alla media ottenuta tra le stazioni BAV-L e BAV-P in quanto nella stazione PL-01 non è stato raccolto un quantitativo sufficiente di organismi per permettere questa analisi. I risultati evidenziano una concentrazione media di DDT negli Oligocheti quasi doppia rispetto a quella dei Chironomidi. La spiegazione va ricercata nel fatto che, come si evidenzia anche dalla più elevata deviazione standard, il valore della concentrazione negli Oligocheti nella stazione PL-01 è di quasi quattro volte superiore rispetto alle altre stazioni, il che fa aumentare sensibilmente la concentrazione media dei DDT. La distribuzione percentuale dei composti negli Oligocheti e nei Chironomidi è risultata la stessa: i metaboliti DDD (60-65% del DDT totale) e DDE (25-30%) sono i composti prevalenti, mentre i DDT sono presenti in quantità minori (10%).

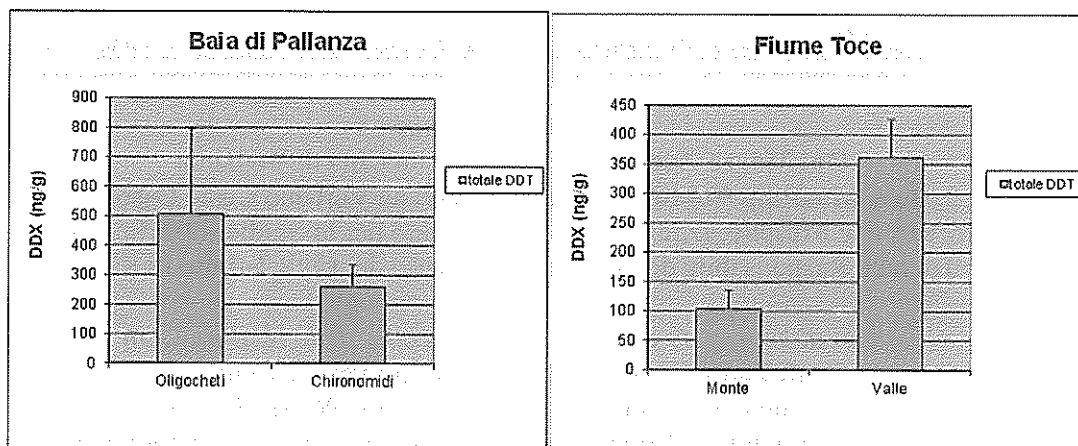


Figura 6: Concentrazioni medie dei DDT totali (ng g⁻¹ p.s.) negli organismi indigeni della Baia di Pallanza e del F. Toce.

Per quanto riguarda il Fiume Toce, sono state considerate due aree di indagine: una posta a monte (media delle concentrazioni negli organismi delle stazioni RT-A e RT-B) e una a valle (media delle stazioni RT-C e RT-D) dell'insediamento produttivo di Pieve Vergonte. Le concentrazioni medie dei DDT nei macroinvertebrati delle stazioni a valle sono risultate essere di oltre tre volte superiori rispetto a quelle degli organismi delle stazioni a monte, a conferma che la causa principale della contaminazione non può che essere attribuita al sito contaminato di Pieve Vergonte.

E' stato, quindi, calcolato il Fattore di Bioaccumulo (BAF) come il rapporto tra la concentrazione della sostanza nell'organismo, normalizzata sulla frazione lipidica dell'organismo ($C_{B/ML}$), e la concentrazione della sostanza nel sedimento, normalizzata sul contenuto del carbonio organico ($C_{S/IOC}$). Tale Fattore viene definito con il termine BSAF (*Biota Sediment Accumulation Factor*) ed è espresso come: $BSAF = C_{B/ML} / C_{S/IOC}$.

Applicando l'equazione alle concentrazioni dei DDT, si ottengono valori di BSAF dei composti negli organismi indigeni per ogni stazione di campionamento nella Baia di Pallanza e del Fiume Toce (Tabella 1). I valori ottenuti sono stati classificati in tre intervalli principali: <1, 1-10 e >10, indicando una diversa "capacità" dell'organismo di bioaccumulare il contaminante attraverso la frazione organica presente nel sedimento. Con valori <1 si conclude che gli organismi non hanno una potenziale disponibilità ad accumulare il composto, con valori compresi tra 1 e 10 l'accumulo è misurabile e apprezzabile; con valori di BSAF >10 l'organismo risulta molto efficiente nel bioaccumulare i composti dalla matrice sedimento.

Tabella 1: Fattori di bioaccumulo (BSAF) del DDT negli organismi indigeni della Baia di Pallanza e del F. Toce.

BSAF ORGANISMI INDIGENI BAI A DI PALLANZA					
Oligocheti			Chironomidi		
	BAV-L	BAV-P	PL-01	BAV-L	BAV-P
ΣDDT	1-10	1-10	< 1	1-10	1-10

BSAF ORGANISMI INDIGENI FIUME TOCE				
	RT-A	RT-B	RT-C	RT-D
ΣDDT	1-10	1-10	<1	<1

Per il DDT, i BSAF sono risultati maggiori nelle stazioni di Baveno rispetto alla stazione PL-01, indicando che l'attività di accumulo degli organismi non dipende solo dallo stato di contaminazione del sito; infatti, la concentrazione di quest'ultima stazione è risultata maggiore nei sedimenti rispetto a quelle del Baveno, ma non lo è negli organismi in quanto il loro rapporto è risultato essere inferiore. Le concentrazioni di DDT nei sedimenti campionati a Baveno, BAV-L e BAV-P, sono quindi più biodisponibili di quelle presenti nei campioni raccolti di fronte a Pallanza.

Per quanto riguarda i BSAF determinati negli organismi indigeni del Fiume Toce, bisogna considerare che questi macroinvertebrati appartengono a specie diverse e pertanto le modalità di assunzione dei composti dal sedimento e le caratteristiche morfo-fisiologiche degli organismi sono diverse. Inoltre, i fattori che influenzano le concentrazioni nei fiumi, come la portata e le correnti, sono diversi da quelli del lago e perciò risulta ancora più complicato effettuare confronti tra i dati ottenuti nei due ecosistemi. Infine, per l'analisi dei sedimenti del F. Toce le concentrazioni considerate sono quelle relative al materiale fine del sedimento, mentre gli organismi sono in realtà a contatto con l'intero substrato che è meno contaminato. Questo potrebbe spiegare come mai le stazioni a monte sono caratterizzate da valori di BSAF per il DDT maggiori rispetto a quelle di valle e, quindi, da una capacità di bioaccumulare le sostanze maggiore rispetto agli organismi presenti nei sedimenti di valle.

4. CONCLUSIONI

In conclusione le concentrazioni di DDT nei sedimenti del F. Toce confermano l'esistenza di una fonte attiva di contaminazione da DDT per il Lago Maggiore, conseguente al dilavamento dei suoli contaminati esterni al sito di Pieve Vergonte e al trasporto attivo di sacche di sedimenti contaminati presenti lungo il segmento terminale, prossimo alla foce, del fiume. Il Toce presenta anche un certo rischio ecologico rispetto a quanto previsto dalle SQG (*Sediment Quality Guidelines*) di MacDonald *et al.* (2000) [9]. Le concentrazioni di composti del DDT, in particolare del pp'- e dell'op'-DDT, nei pesci, agone, lavarello e gardon risultano in aumento rispetto agli anni precedenti in quanto molti campioni hanno superato i limiti previsti dalla normativa italiana per il consumo umano di pesce. Tale risultato, anche alla luce di quanto emerso per gli altri comparti analizzati, non può essere spiegato altrimenti se non in virtù di un nuovo trasporto a lago di sostanze inquinanti attraverso il F. Toce.

I macroinvertebrati indigeni della Baia di Pallanza sono risultati avere BSAF elevati, compresi tra 1 e 10, che indicano sia una buona capacità di bioaccumulazione da parte degli organismi, sia una elevata biodisponibilità dei contaminanti ad essere accumulati nel biota.

Si può quindi concludere che il "sistema" Lago Maggiore ed il Fiume Toce non abbia ancora raggiunto uno stato di equilibrio tale da considerare completamente e definitivamente superato il problema della contaminazione da DDT. Infatti, oltre alla lunga persistenza nell'ambiente di questi composti, refrattari alla degradazione chimica e biologica, un ruolo chiave nella presenza della contaminazione è dato dagli eventi meteorologici e dalla movimentazione successiva di suoli e sedimenti inquinati che influenzano in modo significativo la possibile ricarica esterna dei contaminanti ed il loro accumulo nei diversi componenti dell'ecosistema.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia Environ e Syndial per il campionamento dei macroinvertebrati. La ricerca è stata svolta con il supporto economico del CIP AIS (Bellinzona) e dell'ARPA Piemonte - Dipartimento del VCO (Omegna).

BIBLIOGRAFIA

1. Guzzella L., Patrolecco L., Pagnotta R., Langone L., Gulizzoni P. (1998). "DDT and other organochlorine compounds in the Lake Maggiore sediments: a recent point source of contamination", *Fresenius Environ. Bull.*, 7, pp. 79-89.
2. Jackson M.L. (1958). "Soil Chemical Analysis", *Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ*.
3. Marchetto, A., Lami A., Musazzi S., Massaferrò J., Langone L., Guilizzoni P. (2004) " Lake Maggiore (N. Italy) trophic history: fossil diatom, plant pigments, chironomids and comparison with long-term limnological data", *Quaternary International*, pp. 97-110.
4. CIP AIS (2009) "Indagini su DDT e sostanze pericolose nell'ecosistema del Lago Maggiore". *Rapporto annuale 2008*. pp. 85
5. Guzzella L., Poma G., De Paolis A., Roscioli C., Guilizzoni P., Volta P. (2010). "Composti organici persistenti in matrici ambientali nel Lago Maggiore". *Acqua & Aria*, 2, pp. 38-44.
6. Turci R., Businaro J., Minoia C., Sturchio E., Ficociello B., Signorini S., Colosio C., Imbriani M. (2010) "Interferenti endocrini schede monografiche", *G.ITA MED Larv ERG 2010*, 32:2, pp. 93-144.
7. CIP AIS (2010) "Indagini su DDT e sostanze pericolose nell'ecosistema del Lago Maggiore", *Rapporto annuale 2009*, pp. 112
8. 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, pp. 20-31.