

Commissione internazionale
per la protezione delle acque italo-svizzere

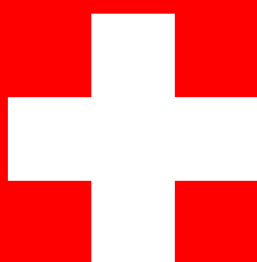
**MONITORAGGIO DELLA PRESENZA DEL DDT E DI ALTRI
CONTAMINANTI NELL'ECOSISTEMA LAGO MAGGIORE**

CAMPAGNA 2006 – 2007

RAPPORTO FINALE 2001 – 2007

a cura di P. Guilizzoni & A. Calderoni

Pallanza 2007



Commissione internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere

MONITORAGGIO DELLA PRESENZA DEL DDT E DI ALTRI CONTAMINANTI NELL'ECOSISTEMA LAGO MAGGIORE

CAMPAGNA 2006 - 2007

RAPPORTO FINALE
2001 – 2007

Edito a cura di Piero Guilizzoni e Alcide Calderoni

Pallanza 2007

INDICE

1. PRESENTAZIONE	1
(<i>P. Guilizzoni</i>)	
2. CONTAMINANTI NELLE ACQUE LACUSTRI	4
(<i>S. Galassi, P. Volta & S. Quadroni</i>)	
2.1. Confronto con i dati pregressi e analisi temporale della contaminazione	12
3. INDAGINI SUI SEDIMENTI LACUSTRI	17
3.1. Campionamento, preparazione dei campioni per le analisi di DDT e correlazione tra carote mediante studio diatomologico	17
(<i>A. Marchetto, P. Guilizzoni, A. Lami & S. Musazzi</i>)	
3.2. Contaminanti nei sedimenti del Lago Maggiore	28
(<i>L. Guzzella, M. Camusso, D. Moioli, C. Roscioli & A. De Paolis</i>)	
4. INDAGINI SUI SEDIMENTI DEI TRIBUTARI	45
(<i>L. Guzzella, D. Moioli, C. Roscioli & A. De Paolis</i>)	
5. RICERCHE SULLE PRECIPITAZIONI ATMOSFERICHE	58
(<i>L. Guzzella, D. Moioli, C. Roscioli, A. De Paolis, R. Mosello, M. Veronesi, A. Barbieri & A. Pranzo</i>)	
6. MONITORAGGIO DELLA CONTAMINAZIONE DA DDT NEL LAGO MAGGIORE MEDIANTE L'ANALISI DI ORGANISMI INDICATORI	69
6.1. Biomonitoraggio con molluschi bivalvi	69
(<i>A. Binelli & C. Riva</i>)	
6.2. Effetti della contaminazione sulla popolazione di uccelli ittiofagi	78
(<i>S. Galassi, N. Saino & G. Melone</i>)	
6.3. Indagini sul comparto ittico	81
(<i>M.R. Bertola, E. Bielli & N. Pozzi</i>)	
7. CONCLUSIONI	95
(<i>P. Guilizzoni, A. Calderoni</i>)	
8. GLOSSARIO	101

Il presente rapporto è stato redatto dal CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, incaricato del coordinamento delle ricerche, sulla base delle relazioni dell'attività svolte dalle singole unità operative, nonché del fattivo contributo dato dai partecipanti alle varie riunioni di lavoro.

Si desidera inoltre ringraziare Stefano Gerli e Pierisa Panzani per la preziosa assistenza fornita durante la stesura finale del presente lavoro, Andrea Ferrari e Stefano Vanetti per il valido supporto tecnico nelle operazioni di campagna e Riccardo de Bernardi per la lettura critica del capitolo conclusivo.

1. PRESENTAZIONE

Questo volume riporta i risultati delle dettagliate indagini che il Gruppo Operativo DDT ha condotto sull'ecosistema del Lago Maggiore per conto della Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere.

Le ricerche sviluppate dall'aprile 2006 al marzo 2007 hanno chiuso un ciclo di sei anni di studi sulla distribuzione del DDT e altre sostanze contaminanti in questo grande lago sudalpino. In questo rapporto sono anche valutate le tendenze recenti del lago nel periodo 2001-2007, confrontandolo con quello del periodo 1996-1998 quando fu accertata la presenza di DDT nell'ecosistema.

Lo studio è proseguito secondo gli obiettivi a suo tempo delineati mediante le analisi dei medesimi contaminanti, pesticidi, composti organoclorurati e metalli nei vari comparti qui sotto elencati dell'ecosistema.

I risultati dell'ultimo anno di attività non hanno introdotto importanti elementi di novità rispetto a certe tendenze già evidenziate nel corso degli anni precedenti con le sole eccezioni a carico degli organismi indicatori (molluschi e uova di Svasso) e dei sedimenti dei tributari. In quest'ultimo anno non vi sono state precipitazioni tali da determinare come avvenuto più volte nel passato, un impulso all'aumento delle concentrazioni di contaminanti in lago soprattutto nelle comunità biologiche e nei sedimenti profondi.

Per una approfondita analisi della contaminazione del Lago Maggiore, origine e diffusione del DDT e per una più completa analisi del fenomeno si rimanda ai precedenti rapporti annuali.

In attesa del completamento degli interventi di bonifica sui e nei suoli del sito contaminato di Pieve Vergonte, rimane forte la preoccupazione per un ulteriore possibile inquinamento del lago qualora si dovessero verificare precipitazioni intense e prolungate.

La distribuzione ed abbondanza di DDT insieme ad altre importanti tematiche quali la presenza di metalli, PCB e altri organoclorurati, sono state ulteriormente indagate e sviluppate in questo sesto rapporto di attività secondo i seguenti campi d'indagine:

Acque lacustri: analisi DDT, HCB e altri insetticidi organoclorurati in tre stazioni (Ghiffa, Pallanza, Lesa) dalla superficie al fondo e su campioni epi- ed ipolimnici integrati.

Sedimenti lacustri: raccolta carote e preparazione subcampioni in funzione della velocità di sedimentazione, datazione mediante studio diatomologico e confronto con carote precedentemente datate con metodi radiometrici; analisi DDT, esaclorobenzene, altri insetticidi organoclorurati, mercurio, arsenico, rame e cadmio.

Sedimenti dei tributari: analisi DDT, PCBs, lindano ed isomeri, HCB e altri insetticidi organoclorurati su sedimenti raccolti alla foce dei principali tributari e all'incile del lago sull'emissario.

Precipitazioni atmosferiche: raccolta di campioni ponderati settimanali in due stazioni italiane (Pallanza e Devero) e svizzere (Locarno e Robiei) e relative analisi di DDT, PCBs, lindano ed isomeri, HCB e altri insetticidi organoclorurati.

Organismi indicatori: analisi di DDT su molluschi (*Dreissena polymorpha*) raccolti prevalentemente nel Bacino Borromeo e nella zona centrale del Verbano, vale a dire nelle aree che erano risultate maggiormente contaminate durante le precedenti campagne di monitoraggio. Inoltre, sono state effettuate analisi sugli effetti del DDT e PCB sullo spessore delle uova di *Svasso maggiore* raccolte sul Lago Maggiore (Fondotoce) e nel Lago di Garda.

Indagini sul comparto ittico: analisi DDT, PCBs, HCB, mercurio su 7 specie ittiche (agone, bondella, lavarello, pesce persico, cavedano, scardola, tinca) catturate stagionalmente nelle acque piemontesi e lombarde del lago.

Attività di coordinamento delle indagini: formulazione di rapporti informativi di aggiornamento sullo stato di avanzamento delle ricerche; organizzazione, stesura e redazione del rapporto conclusivo d'intesa con gli incaricati degli studi.

Gli esecutori delle ricerche sono specificati nel seguente prospetto:

Barbieri A.	
Bertola M.R.	ARPA Dipartimento Provinciale di Novara
Bielli E.	ARPA Dipartimento Provinciale di Novara
Binelli A.	Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Biologia, Sez. Ecologia
Calderoni A.	CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, Verbania Pallanza
Camusso M.	CNR Istituto di Ricerche sulle Acque, Brugherio
de Bernardi R.	CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, Verbania Pallanza
De Paolis A.	CNR Istituto di Ricerche sulle Acque, Brugherio
Galassi S.	Università degli Studi di Milano, Dip. di Biologia
Gasparella A.	CNR Istituto di Ricerche sulle Acque, Brugherio
Guilizzoni P.	CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, Verbania Pallanza
Guzzella L.	CNR Istituto di Ricerche sulle Acque, Brugherio
Lami A.	CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, Verbania Pallanza
Marchetto A.	CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, Verbania Pallanza
Melone G.	Università degli Studi di Milano, Dip. di Biologia
Moioli D.	CNR Istituto di Ricerche sulle Acque, Brugherio
Mosello R.	CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, Verbania Pallanza
Musazzi S.	CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, Verbania Pallanza
Pozzi N.	ARPA Dipartimento Provinciale di Novara
Pranzo A.	CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, Verbania Pallanza
Quadroni S.	Università degli Studi di Milano, Dip. di Biologia
Riva C.	Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Biologia, Sez. Ecologia
Roscioli C.	CNR Istituto di Ricerche sulle Acque, Brugherio
Saino N.	Università degli Studi di Milano, Dip. di Biologia
Veronesi M.	UPDA-SPAAS, Bellinzona
Volta P.	CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, Verbania Pallanza

I risultati delle precedenti campagne iniziate nel 1996 sono riportati nei rapporti elencati qui di seguito ai quali si rimanda per una dettagliata analisi sulla distribuzione di DDT e altri contaminanti.

Bibliografia essenziale

- Calderoni, A. 2000. Attività della Commissione nel quadriennio 1996-1999 e sintesi dei principali risultati delle indagini sul DDT nel comparto ittico del Lago Maggiore. In: Ricerche ed attività della Commissione italo-svizzera sulla pesca nel quadriennio 1996-1999. Ed. Commissione italo-svizzera sulla pesca. 3: 5-17.
- Calderoni, A., A. Caprioglio & R. de Bernardi. 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.
- Ceschi, M., M. De Rossa & M. Jäggi. 1996. Contaminanti organici, inorganici e radionuclidi nell'ittiofauna dei laghi Ceresio e Verbano (bacini svizzeri). *Trav. Chim. Aliment. Hyg.*, 87: 189-211.
- CIP AIS. 1999. *Ricerche sulla distribuzione e gli effetti del DDT nell'ecosistema Lago Maggiore. Rapporto finale sui risultati delle indagini*. Ed. Commissione internazionale per la protezione acque italo-svizzere: 81 pp.

- CIPAIS. 2002. *Monitoraggio della presenza del DDT e di altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore. Rapporto annuale aprile 2001 – marzo 2002*. Ed. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere: 89 pp.
- CIPAIS. 2003. *Monitoraggio della presenza del DDT e di altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore. Rapporto annuale aprile 2002 – marzo 2003*. Ed. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere: 68 pp.
- CIPAIS. 2004. *Monitoraggio della presenza del DDT e di altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore. Rapporto annuale aprile 2003 – marzo 2004*. Ed. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere: 78 pp.
- CIPAIS. 2005. *Monitoraggio della presenza del DDT e di altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore. Rapporto annuale aprile 2004 – marzo 2005*. Ed. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere: 76 pp.

2. CONTAMINANTI NELLE ACQUE LACUSTRI

Nelle tabelle 2.1-2.9 vengono riportati i risultati relativi sia ai valori medi dei singoli campioni prelevati a diverse profondità sia dei campioni integrati raccolti nei mesi di giugno e novembre 2006 e nel gennaio-febbraio 2007. Per lo spessore d'acqua integrato si vedano le tabelle qui sotto riportate.

Per il particolato sospeso (materiale raccolto su filtri) sono disponibili solo i risultati dei campioni integrati in quanto per quelli singoli i risultati dei composti erano sotto i limiti di rilevanza analitica.

Tab. 2.1. Pesticidi clorurati (ng l^{-1}) a Pallanza a giugno 2006, valori medi e integrati dei singoli campioni. Ds = deviazione standard.

	α -HCH	HCB	γ -HCH	pp'DDE	pp'DDD	pp'DDT
Media colonna	0,26	0,30	0,27	0,11	0,05	<0,05
Ds	0,13	0,27	0,08	0,05	0,06	
Int.	0,18	0,12	0,22	0,13	0,07	interf
Filtri	0,04	0,07	0,07	0,07	0,12	0,04

Tab. 2.2. Pesticidi clorurati (ng l^{-1}) a Lesa a giugno 2006, valori medi e integrati dei singoli campioni. Ds = deviazione standard.

	α -HCH	HCB	γ -HCH	pp'DDE	pp'DDD	pp'DDT
Media colonna	0,13	0,49	0,31	0,18	0,18	0,13
Ds	0,07	0,20	0,20	0,22	0,16	0,18
Int.	0,19	0,17	0,25	0,16	0,13	0,01
Filtri	0	0,02	0,06	0,02	0,03	<0,01

Tab. 2.3. Pesticidi clorurati (ng l^{-1}) a Ghiffa a giugno 2006, valori medi e integrati dei singoli campioni. Ds = deviazione standard.

	α -HCH	HCB	γ -HCH	pp'DDE	pp'DDD	pp'DDT
Media colonna	0,15	0,35	0,22	0,08	0,07	<0,05
Ds	0,05	0,25	0,07	0,03	0,07	
Media ponderata	0,14	0,36	0,07	0,07	0,08	<0,05
Int.	0,21	0,43	0,34	0,12	0,14	interf.
Filtri	<0,05	0,02	0,00	0,02	0,03	0,01

Tab. 2.4. Pesticidi clorurati (ng l⁻¹) a Pallanza a novembre 2006, valori medi e integrati dei singoli campioni. Ds = deviazione standard.

	α-HCH	HCB	γ-HCH	pp'DDE	pp'DDD
Media	0,010	0,08	0,08	0,05	0,05
Ds	0,05	0,03	0,03	0,01	0,02
Int.	0,10	0,05	0,09	0,04	0,03
filtri	0,01	0,02	0,01	0,02	0,06

Tab. 2.5. Pesticidi clorurati (ng l⁻¹) a Lesa a novembre 2006, valori medi e integrati dei singoli campioni. Ds = deviazione standard.

	α-HCH	HCB	γ-HCH	pp'DDE	pp'DDD
Media	0,11	0,10	0,09	0,05	0,02
Ds	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02
Int	0,13	0,08	0,10	0,06	0,02
filtri	0,01	0,02	0,00	0,02	0,05

Tab. 2.6. Pesticidi clorurati (ng l⁻¹) a Ghiffa novembre 2006, valori medi e integrati dei singoli campioni. Ds = deviazione standard.

	α-HCH	HCB	γ-HCH	pp'DDE	pp'DDD
Media	0,13	0,06	0,16	0,10	0,07
Ds	0,05	0,04	0,08	0,07	0,04
Media ponderata	0,19	0,05	0,19	0,10	0,07
Int 0-20	0,10	0,13	0,08	0,05	0,05
50-fondo	0,15	0,03	0,17	0,18	0,09
0-20 filtri	0,01	0,02	0,00	0,02	0,03
30 filtri	0,01	0,06	0,09	0,03	0,03
50-fondo filtri	0,01	0,02	0,00	0,02	0,04

Tab. 2.7. Pesticidi clorurati (ng l⁻¹) a Pallanza a febbraio 2007, valori medi e integrati dei singoli campioni. Ds = deviazione standard.

	α-HCH	HCB	γ-HCH	pp'DDE	pp'DDD
Media	0,18	0,10		0,05	0,04
Ds	0,02	0,04	0,03	0,02	0,01
Pall. Int.	0,15	0,07	0,17	0,05	0,06
Pall. Filtri	<0,01	0,01	0,00	0,02	0,03

Tab. 2.8. Pesticidi clorurati (ng l⁻¹) a Lesa a febbraio 2007, valori medi e integrati dei singoli campioni. Ds = deviazione standard.

	α-HCH	HCB	γ-HCH	pp'DDE	pp'DDD
Media	0,17	0,10	0,19	0,04	0,03
Ds	0,02	0,04	0,02	0,01	0,01
Int.	0,15	0,08	0,18	0,04	0,02
Filtri	<0,01	0,01	<0,01	0,02	0,03

Tab. 2.9. Pesticidi clorurati (ng l⁻¹) a Ghiffa a febbraio 2007, valori medi, integrati e ponderati sul volume dei singoli campioni. Ds = deviazione standard.

	α-HCH	HCB	γ-HCH	pp'DDE	pp'DDD
Media	0,18	0,06	0,18	0,05	0,04
Ds	0,05	0,03	0,05	0,02	0,02
Media ponderata	0,19	0,05	0,19	0,05	0,04
Int. 0-50	0,21	0,12	0,20	0,07	0,04
Int. 100-350	0,15	0,04	0,17	0,05	0,04
Filtri 0-50	<0,01	0,01	<0,01	0,02	0,04
Filtri 100-350	<0,01	0,01	<0,01	0,02	0,05

Dal punto di vista metodologico si è cercato di aumentare ulteriormente la sensibilità analitica riducendo il volume finale del campione a 0,1 ml. In questo modo il limite di rilevabilità è stato portato a 0,01 ng l⁻¹ per i singoli campioni e 0,005 per gli integrati.

Resta il problema dell'accuratezza e riproducibilità del metodo che è di gran lunga più accettabile per i campioni integrati. I valori dei singoli campioni infatti sono soggetti ad una variabilità molto accentuata specialmente quando si avvicinano al limite di detezione analitica. Anche se le medie dei singoli campioni e i valori degli integrati risultano spesso in buon accordo, per il proseguimento del monitoraggio andrà valutata la possibilità di effettuare solamente campioni integrati poiché maggiormente affidabili. Eventualmente, si potrà considerare separatamente l'epilimnio, il termoclinio e l'ipolimnio nei periodi di stratificazione.

Per la stazioni di Ghiffa sono state calcolate anche le medie ponderate sui volumi (Tabelle. 2.3, 2.6 e 2.9) che sono risultate in ottimo accordo con le medie aritmetiche. Sembra, quindi, che per gli intervalli di profondità scelti per il campionamento l'espressione dei dati rispetto ai volumi della colonna d'acqua non sia strettamente necessaria.

In tutti e tre i campionamenti il pp'DDE è risultato il contaminante prevalente seguito dal pp'DDD e dal pp'DDT. I tre contaminanti hanno evidenziato una tendenza alla diminuzione nell'intervallo temporale considerato. In particolare il pp'DDT non è stato più rilevabile nei singoli campioni a partire dal novembre 2006. Va osservato che l'ultimo periodo di campionamento è stato caratterizzato da precipitazioni eccezionalmente scarse e temperature eccezionalmente elevate; queste circostanze possono aver determinato una riduzione di apporti dal bacino.

La stazione più contaminata è risultata Lesa nel giugno 2006. La concentrazione media del pp'DDE lungo la colonna è risultata pari a $0,18 \text{ ng l}^{-1}$ mentre quella dei DDT totali pari a $0,49 \text{ ng l}^{-1}$.

Nelle figure 2.1-2.9 vengono riportati gli andamenti delle concentrazioni di pp'DDE a diverse profondità e delle relative temperature nei tre periodi campionati per le tre stazioni.

L'andamento della contaminazione lungo la colonna d'acqua non è uniforme ma presenta dei picchi relativi a livello del termoclinio o in prossimità del fondo. I primi sono probabilmente dovuti al rilascio dei contaminanti in seguito alla degradazione del particolato sospeso ad opera dei batteri. Questo comportamento, osservato anche negli anni passati, sembrerebbe confermato dal fatto che in corrispondenza di questi picchi sono state registrate decise diminuzioni della concentrazione di ossigeno disciolto. I picchi in prossimità del fondo sono verosimilmente dovuti al rilascio dei contaminanti dai sedimenti.

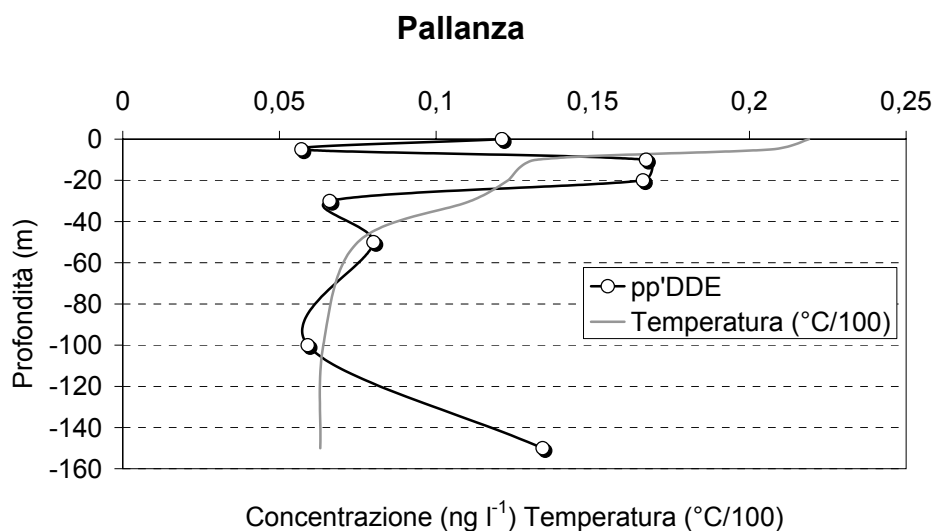


Fig. 2.1. Pallanza, Giugno 2006.

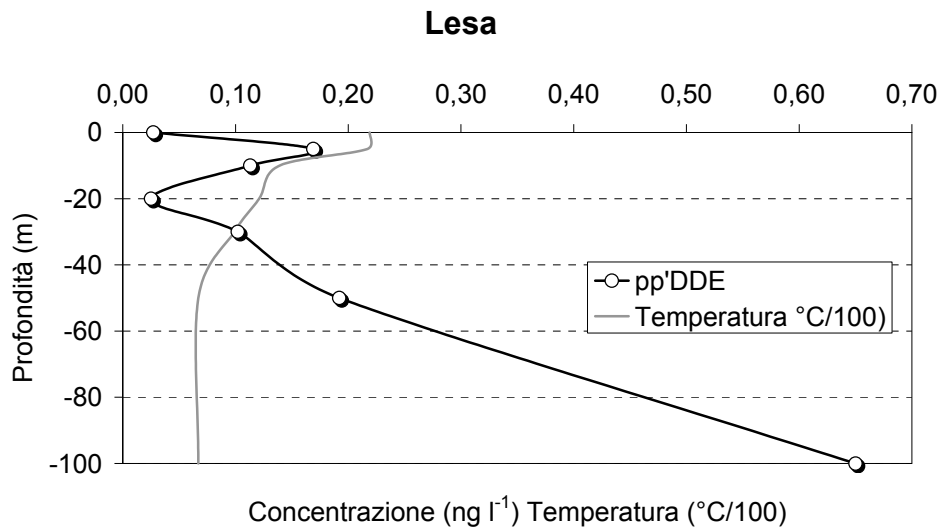


Fig. 2.2. Lesà, giugno 2006.

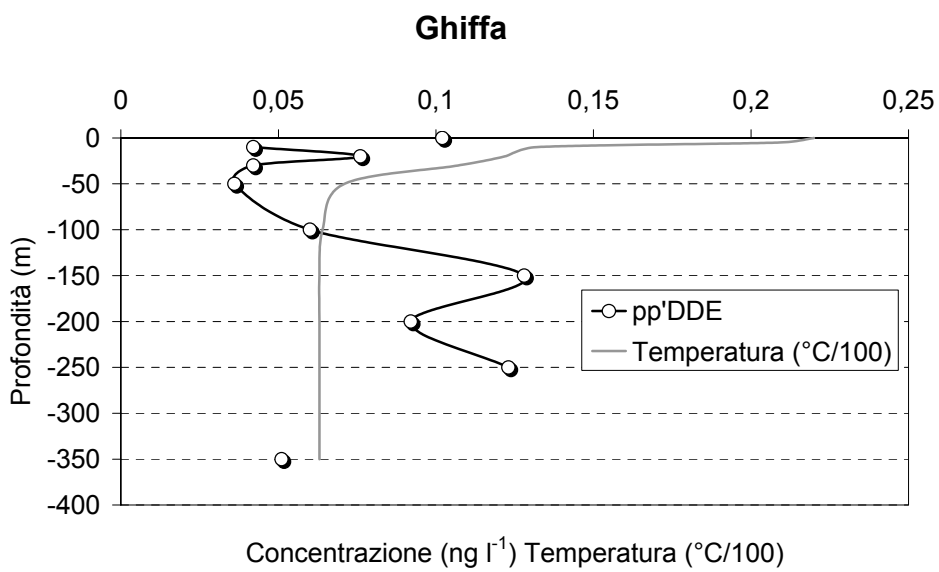


Fig. 2.3. Ghiffa, Giugno 2006.

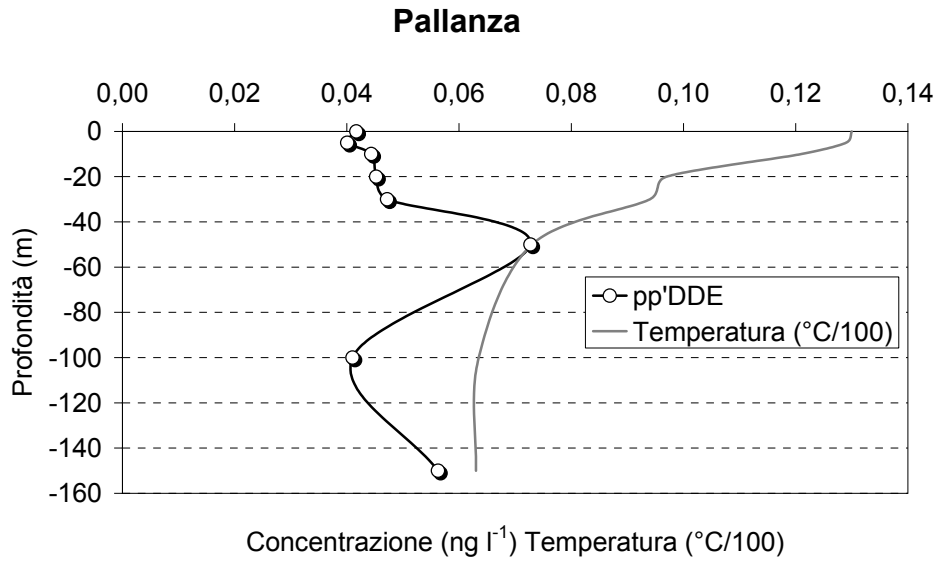


Fig. 2.4. Pallanza, Novembre 2006.

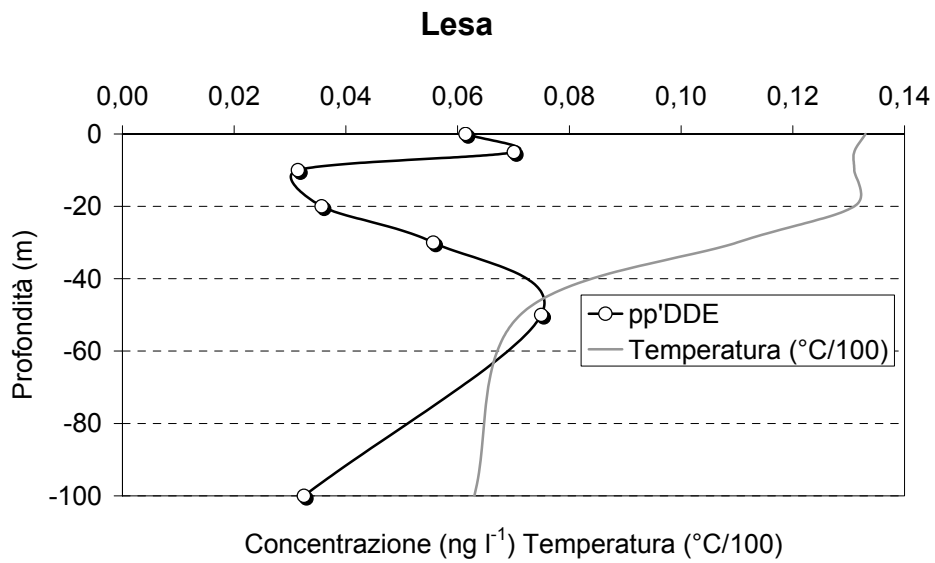


Fig. 2.5. Lesa, Novembre 2006.

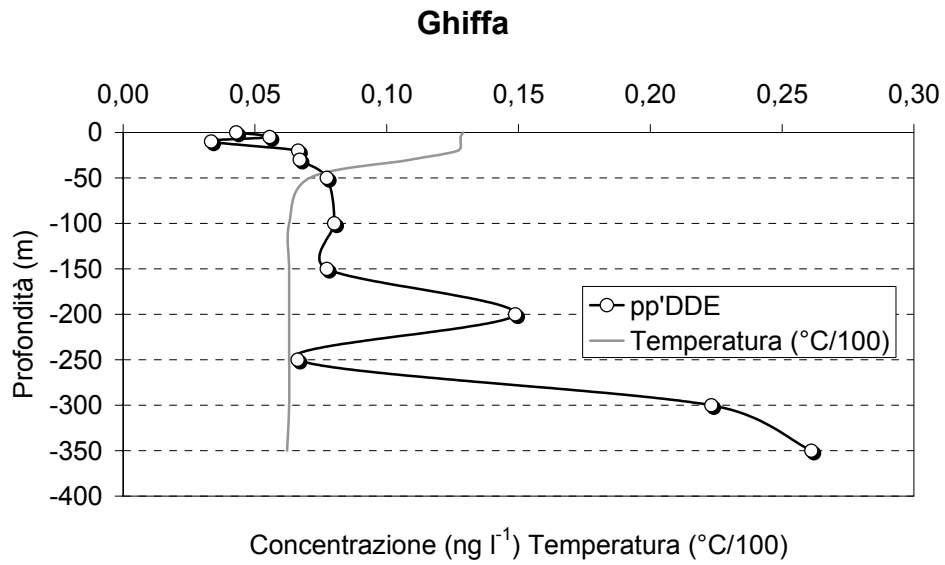


Fig. 2.6. Ghiffa, Novembre 2006.

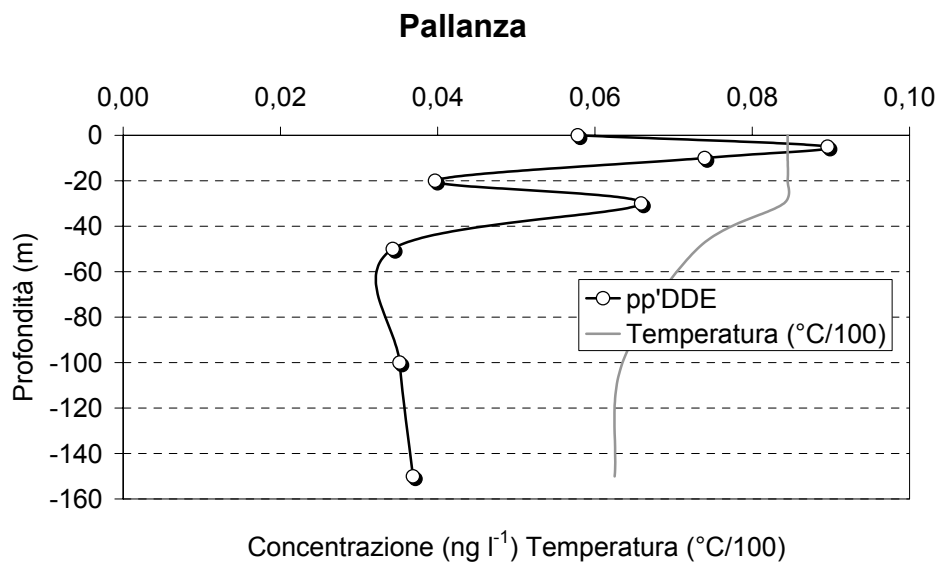


Fig. 2.7. Pallanza, Febbraio 2007.

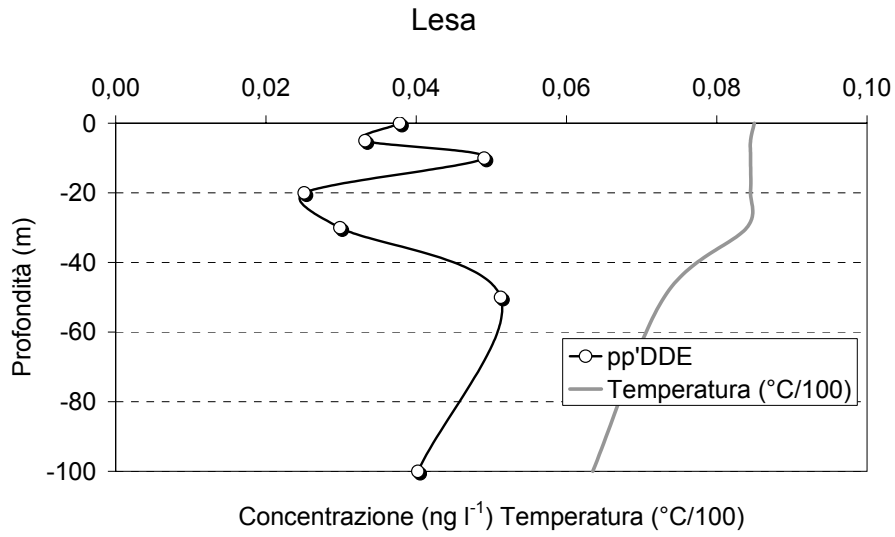


Fig. 2.8. Lesà, Febbraio 2007.

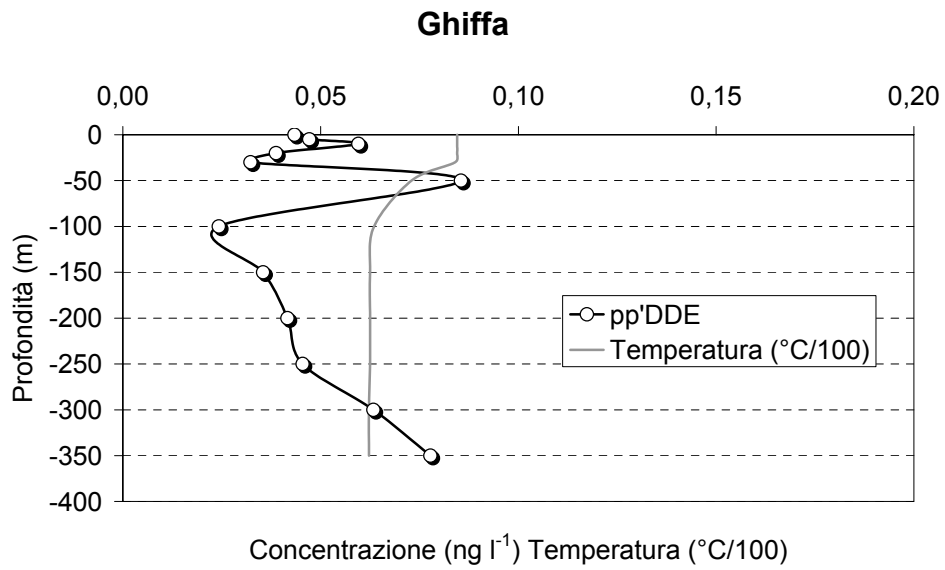


Fig. 2.9. Ghiffa, Febbraio 2007.

2.1. Confronto con i dati pregressi e analisi temporale della contaminazione.

Per la stazione di Ghiffa, che è la più rappresentativa della situazione generale del lago, è stato valutato l'andamento della contaminazione durante tutto il periodo di studio (2002-2007). Si è considerata sola la frazione disciolta, disponibile per la bioconcentrazione nei pesci, utilizzando i dati relativi ai campioni integrati di tutta la colonna d'acqua o, in assenza di questi, alle medie di tutti i campioni (Figura 2.10).

Gli eventi di piena (Maggio e Novembre 2002 e Ottobre-Novembre 2004), indicati con una freccia, non sembrano determinare immediatamente un aumento delle concentrazioni a Ghiffa. Il ritardo è dovuto probabilmente al tempo necessario per la risospensione del sedimento fine e per la degradazione della sostanza organica alla quale sono associati i contaminanti. Tuttavia è anche possibile che altre fonti secondarie di contaminazione abbiano contribuito ai bruschi aumenti di concentrazione verificatisi alla fine del 2003 e all'inizio del 2006.

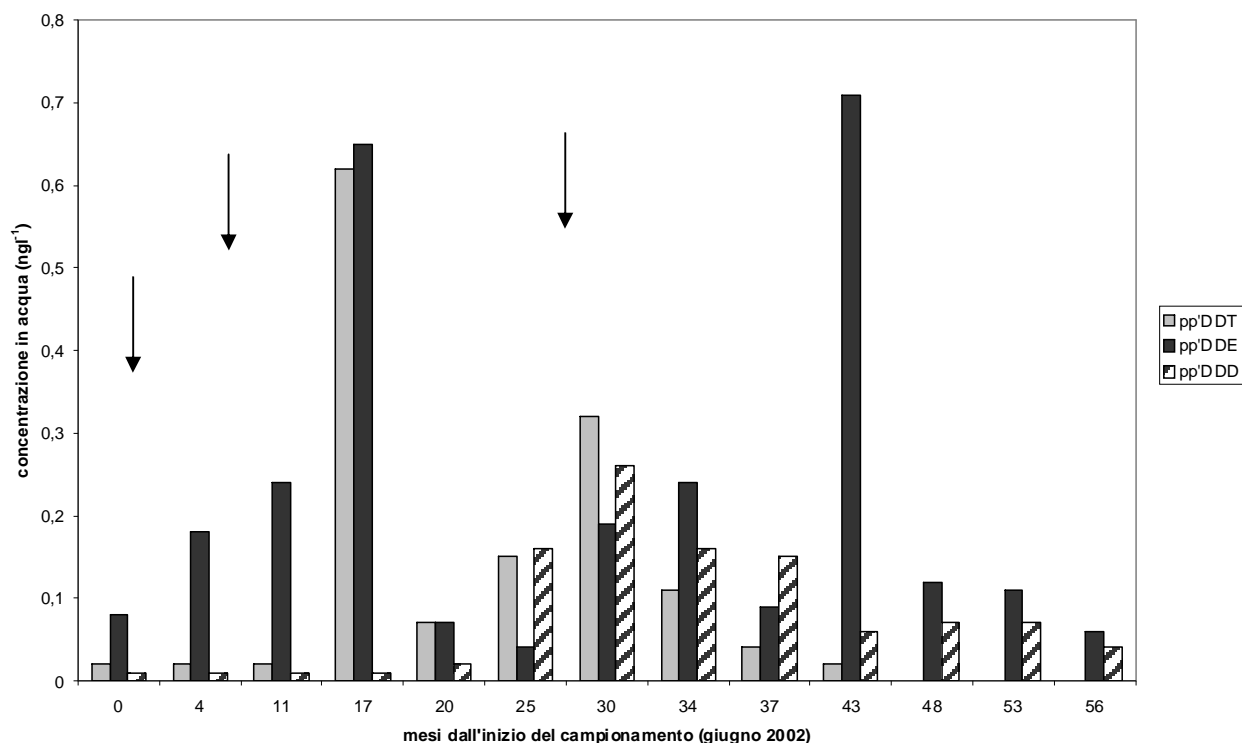


Fig. 2.10. Andamento della contaminazione da pp'DDT, pp'DDE e pp'DDD nella stazione di Ghiffa nel periodo giugno 2002- febbraio 2007. Le frecce indicano gli eventi di piena.

I tre contaminanti hanno andamenti diversi; il pp'DDE è sempre presente, rappresentando spesso la componente principale, il pp'DDD ha raggiunto la concentrazione massima alla fine del 2004 per poi diminuire gradatamente, il pp'DDT, che accompagnava i picchi del pp'DDE fino al 2004 è sceso sotto il limite di rilevabilità analitica a partire dal giugno 2006.

Si deve tuttavia ribadire che l'ultimo anno di campionamento è stato caratterizzato da scarsissime precipitazioni; non si può escludere, quindi, che la contaminazione possa ancora ripresentarsi in seguito a nuovi eventi di piena.

Al fine di valutare l'esposizione alla contaminazione delle specie ittiche di maggiore interesse ecologico e commerciale è stata considerata la media delle concentrazioni o il valore del campione integrato corrispondente all'epilimnio (0-30 m). Solo per i campioni invernali sono stati utilizzati i valori riferiti all'intera colonna d'acqua in cui le concentrazioni erano in genere piuttosto uniformi lungo il profilo verticale (Tabella 2.10).

Tab. 2.10. Concentrazioni epilimniche medie (0-30 m) dei composti organoclorurati (ng l^{-1}) nel periodo 2002-2007.

CAMPIONAMENTO	α HCH	HCB	γ HCH	pp'DDE	pp'DDD	pp'DDT
giu-02	nd	0,06	0,15	0,18	nd	0,04
ott-02	0,05	0,06	0,02	0,16	nd	0,03
mag-03	0,17	0,25	0,04	0,22	nd	0,05
nov-03	0,14	0,10	0,09	0,87	nd	0,82
feb-04	0,20*	0,06*	0,18*	0,07*	0,06*	0,08*
lug-04	0,24	nd	0,24	0,15	0,05	0,05
dic-04	0,31	nd	0,25	0,26	0,30	0,23
mar-05	0,47*	0,03*	0,31*	0,24*	0,16*	0,11*
lug-05	0,13	<0,05	0,26	0,08	0,06	0,04
gen-06	0,27	0,06	0,11	0,84	0,06	0,02
giu-06	0,11	0,32	0,21	0,07	<0,05	<0,05
nov-06	0,08	0,09	0,10	0,06	0,05	<0,05
gen-07	0,14	0,07	0,15	0,04	0,02	<0,01

nd = non determinato,* valori medi di tutte le profondità (0-350 m)

Per il pp'DDE la contaminazione epilimnica si è attestata attorno a $0,2 \text{ ng l}^{-1}$ da giugno 2002 a marzo 2005 con un picco di $0,87 \text{ ng l}^{-1}$ a novembre 2003 e un minimo di $0,07 \text{ ng l}^{-1}$ a febbraio 2004. Il valore di novembre è dovuto a un picco massimo di contaminazione che si è osservato alla profondità di 30 m ($2,33 \text{ ng l}^{-1}$). La diminuzione osservata nel febbraio successivo, in corrispondenza della piena circolazione dovrebbe essere dovuta al rimescolamento di strati più contaminati con altri meno inquinati e alla definitiva sedimentazione del materiale sospeso che avviene quando si rompe il termoclinio.

Dal luglio 2005 al gennaio 2007 si è osservata una graduale riduzione del livello di contaminazione che è arrivata alla concentrazione di 0,04 ng l⁻¹. Anche in questo arco di tempo tuttavia si è osservato un picco di contaminazione a 30 m di profondità (gennaio 2006) con una concentrazione di pp'DDE di 2,49 ng l⁻¹. Tale picco è stato di intensità molto ridotta (0,09 ng l⁻¹) nel gennaio successivo. Il campionamento del gennaio 2006 potrebbe aver risentito oltre che del rilascio del contaminante da parte del particolato alla fine della stagione di massima attività biologica, degli apporti dovuti alle abbondanti deposizioni nevose dell'inverno 2005-2006, del tutto assenti, invece, nell'inverno successivo.

La contaminazione più elevata del primo triennio di osservazione potrebbe essere dovuta, oltre alla graduale uscita dei contaminanti dal bacino lacustre attraverso l'emissario e il trasporto atmosferico, alle diverse condizioni climatiche rispetto all'ultimo periodo di osservazione caratterizzato da assenza di eventi di piena e scarse precipitazioni. Mentre il 2002 e il 2004 sono stati anni piovosi in cui si sono verificate delle piene, il 2003, il 2005 e il 2006 sono stati anni piuttosto secchi con effetti evidenti sia sul livello del lago Maggiore che sulla portata del Toce e del Ticino immissario (vedi Figura 3.2.2). Le portate medie annue di questi due fiumi sono state molto elevate nel 2002 (82,31 m³ s⁻¹ per il Toce e 73,15 m³ s⁻¹ per il Ticino), medie nel 2004 (68,60 e 62,76 m³ s⁻¹) e ridotte nel 2003 e nel 2005 (42,46 e 44,17 m³ s⁻¹ nel 2003; 37,65 e 33,33 m³ s⁻¹ nel 2005).

Dopo le piene avvenute nel novembre 2002 e nel novembre 2004 la concentrazione di pp'DDE nell'epilimnio è aumentata passando rispettivamente da valori di 0,16 e 0,15 ng L⁻¹ a valori pari a 0,22 e 0,26 ng L⁻¹. Questo incremento non è stato osservato in assenza di questi eventi. C'è da dire comunque che la contaminazione aumenta in seguito alle piene, ma sembra ritornare in un tempo relativamente breve a livelli del tutto simili o addirittura inferiori a quelle precedenti.

Considerazioni analoghe valgono per il pp'DDT che è sceso al di sotto dei limiti di rilevabilità analitica nei campionamenti più recenti. Questo composto, a differenza del pp'DDE permane per minor tempo in acqua sia per la più breve emivita sia perché è più facilmente adsorbibile, accumulabile e sequestrabile dai sedimenti.

Per il pp'DDD l'andamento può essere osservato solo a partire dal febbraio 2004 perché il metodo di purificazione del campione usato in precedenza non ne consentiva il recupero quantitativo. Questo composto è generalmente associato al particolato ed è quindi più rintracciabile sia nei periodi in cui la produttività lacustre è alta sia in seguito a periodi di piovosità più consistente (0,30 ng L⁻¹ nel dicembre 2004). Anche per questo metabolita comunque si è osservata una drastica diminuzione nei campioni del 2006-07 rispetto ai precedenti.

L'andamento delle concentrazioni dei composti organoclorurati, determinate nella frazione biodisponibile, è stato confrontato con quello delle concentrazioni misurate nei coregone bondella e negli agoni (si veda capitolo 6.3), dopo averle normalizzate per i lipidi, che sono il comparto di accumulo dei composti liofili. I picchi di concentrazione osservati nell'acqua non trovano riscontro nei picchi misurati nei pesci. Questi ultimi sembrerebbero invece essere in relazione con le piene del lago; il picco di pp'DDT, pp'DDE e pp'DDD della primavera 2003, osservato sia nei coregoni (Figura 2.11) sia negli agoni (Figura 2.12), dovrebbe dipendere dagli apporti delle piene del 2002. Il mese di Novembre 2002 era stato il più piovoso dal 1951. Anche la modesta esondazione dell'ottobre-novembre 2004 determina un incremento del pp'DDE e pp'DDD nei pesci la primavera successiva.

Del resto un incremento primaverile nel coregone bondella si è osservato anche nelle primavere del 2006 e del 2007 che non seguivano alcun periodo di piogge intense ed esondazioni. Verosimilmente ragioni fisiologiche contribuiscono, oltre a quelle ambientali, a determinare gli incrementi osservati, che interrompono un trend generale di diminuzione della contaminazione anche per i pesci come per l'acqua. Tale diminuzione è molto più evidente

per il composto parentale pp'DDT che per i suoi due metaboliti, pp'DDD e pp'DDE. Il pp'DDT del resto era sceso sotto il limite di rilevabilità analitica a partire dall'estate del 2006. La sua concentrazione è stata, quindi, inferiore a $0,05 \text{ ng l}^{-1}$ nel 2006 e inferiore a $0,01 \text{ ng l}^{-1}$ nel 2007. Anche per il pp'DDD sembra essere in corso una fase di depurazione dei pesci. Per il pp'DDE, invece, le fluttuazioni di concentrazione, sono ancora evidenti anche perché esso è un metabolita che si può formare sia nell'ambiente sia nel pesce stesso a partire dal pp'DDT fintanto che il pp'DDT è presente nei tessuti del pesce.

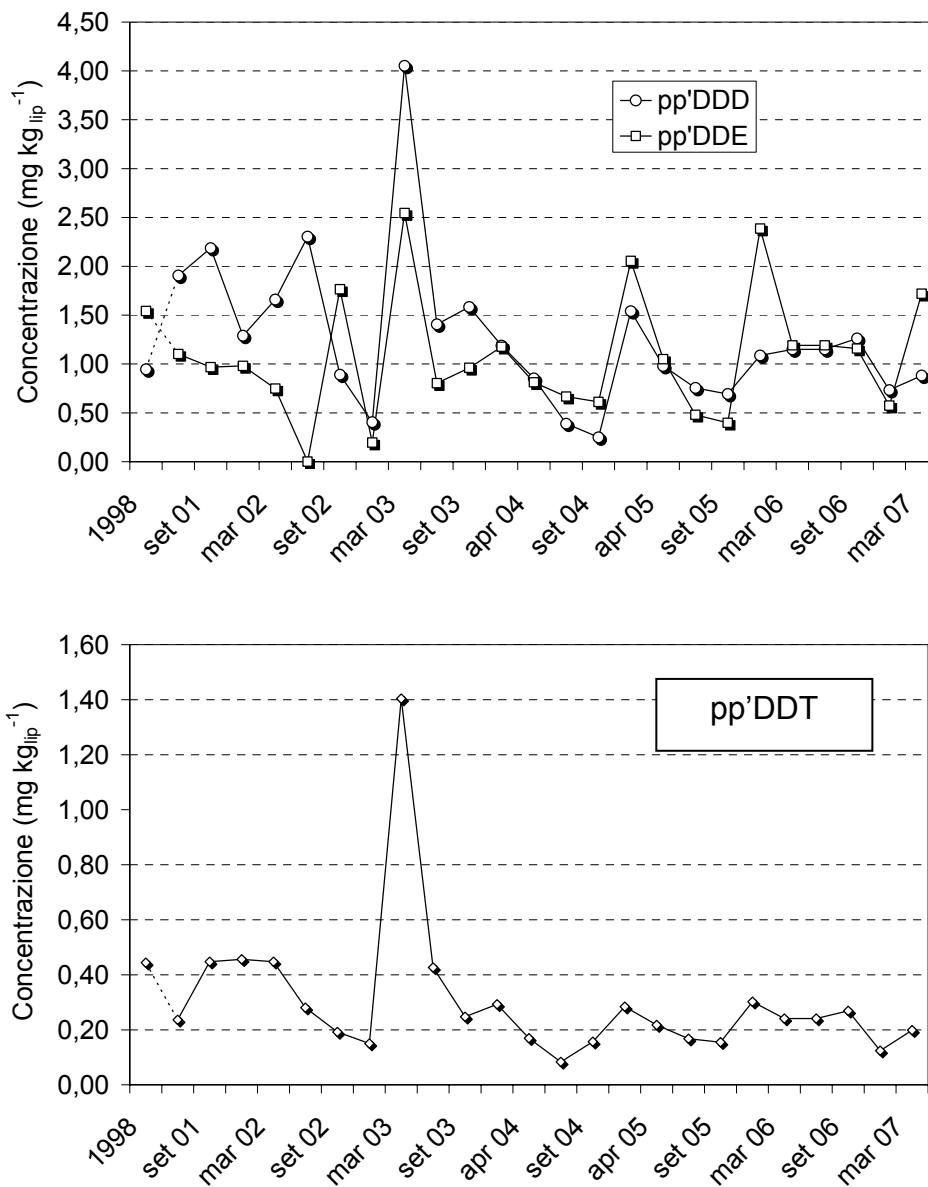


Fig. 2.11. Andamento della contaminazione da pp'DDE, pp'DDD, pp'DDT in coregone bondella nel 1998 e nel periodo 2001-2007. Concentrazioni normalizzate per i lipidi.

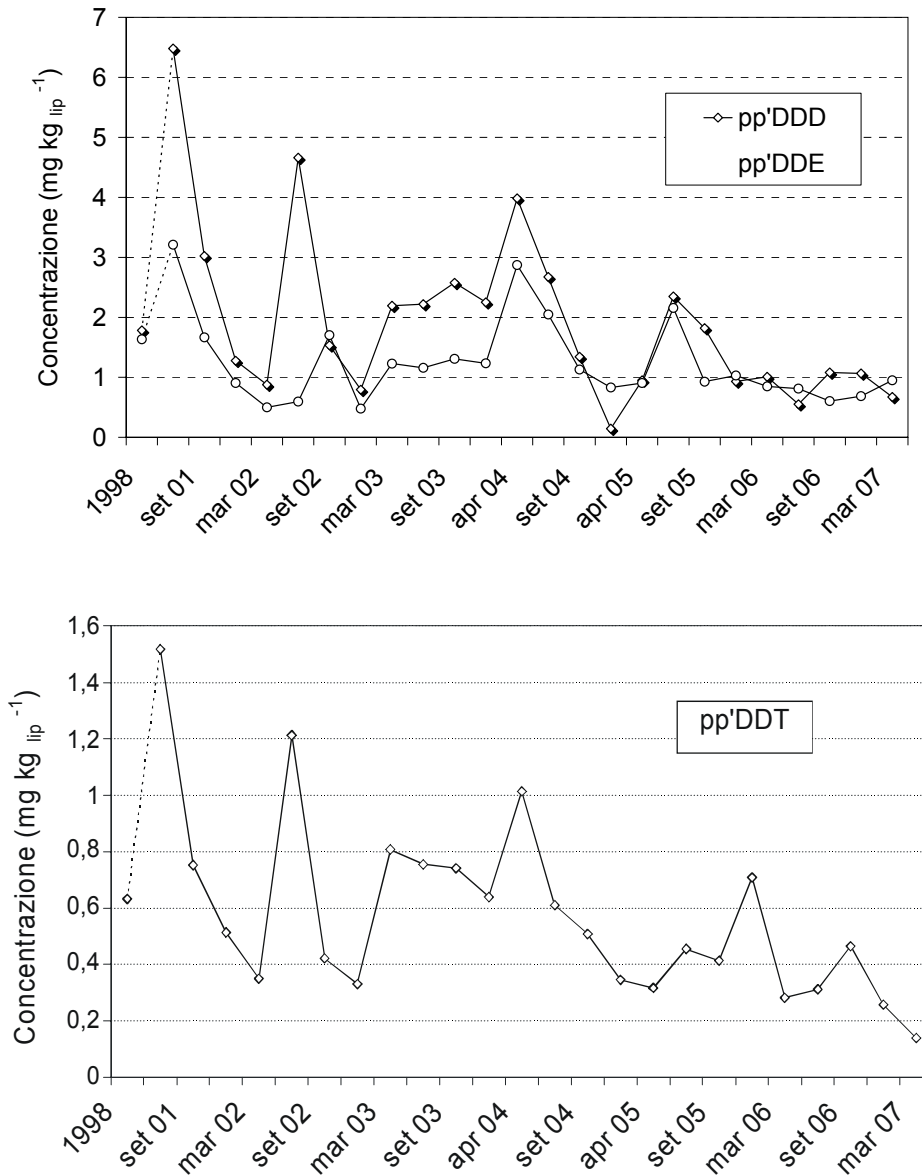


Fig. 2.12. Andamento della contaminazione da pp'DDE, pp'DDD e pp'DDT in agone nel 1998 e nel periodo 2001-2007. Concentrazioni normalizzate per i lipidi.

Se la contaminazione da pp'DDE nell'acqua dovesse stabilizzarsi attorno a 0,04 ng l⁻¹, qual è quella misurata nell'ultimo campionamento, in base ai modelli di bioaccumulo, si può prevedere il raggiungimento di concentrazioni nella parte edibile sia dell'agone sia della bondella accettabili per il consumo umano. Si deve osservare, tuttavia, che i modelli sinora adottati prevedono situazioni di equilibrio stazionario e non tengono conto della "memoria" della contaminazione pregressa. In realtà i pesci che superano l'anno di età hanno ancora nei loro tessuti i pesticidi accumulati in passato che vengono rilasciati molto lentamente. Questa sembrerebbe essere la causa principale del ritardo nel recupero delle popolazioni dei pesci del lago rispetto alle migliorate condizioni dell'acqua che risponde più prontamente alla diminuzione dei carichi.

3. INDAGINI SUI SEDIMENTI LACUSTRI

3.1. Campionamento, preparazione dei campioni per le analisi di DDT e correlazione tra carote mediante studio diatomologico

Secondo quanto previsto dal programma annuale, per il Bacino di Pallanza (frequenza di campionamento bi-annuale) sono state campionate le seguenti stazioni (la numerazione fa riferimento al precedente studio del 2001): 13, 16 e 17, mentre per la rimanente parte di lago si è stabilito di campionare una volta l'anno, a settembre-ottobre le aree corrispondenti alle stazioni precedentemente denominate 30b, 32b e 27 (Fig. 3.1.1). Nei vari capitoli le carote 30b e 32b spesso si abbreviano in 30 e 32. I criteri di scelta di tali stazioni sono stati descritti in precedenti relazioni. Il campionamento tardo estivo è stato effettuato il 28 settembre e il 3 ottobre 2006, mentre quello tardo invernale, per il solo Bacino di Pallanza, il 20 febbraio 2007. Per ogni stazione si sono raccolte almeno due carote. Come di consueto le carote sono state tagliate, fotografate e sub-campionate in sezioni di sedimento in funzione della velocità di sedimentazione (Figg. 3.1.2 e 3.1.3). Al fine di datare e correlare le carote di sedimento si sono condotte anche le previste analisi di diatomee sub-fossili e di suscettività magnetica. Infine è stata condotta anche una descrizione litologica. I tassi di sedimentazione relativi a queste carote sono riportati in Tabella 3.1.1.

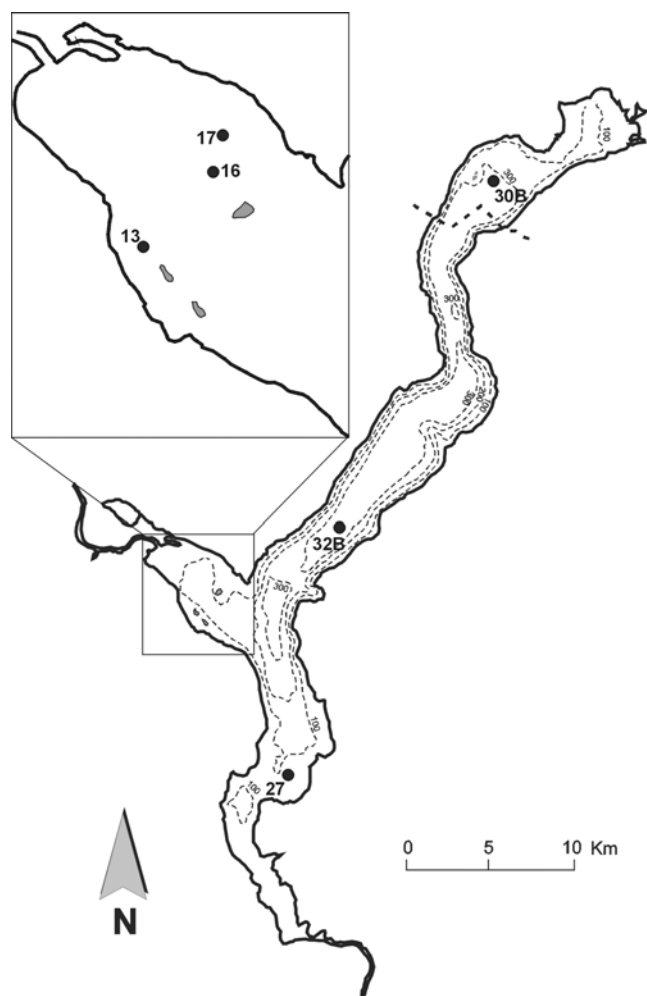


Fig. 3.1.1. Stazioni di campionamento.

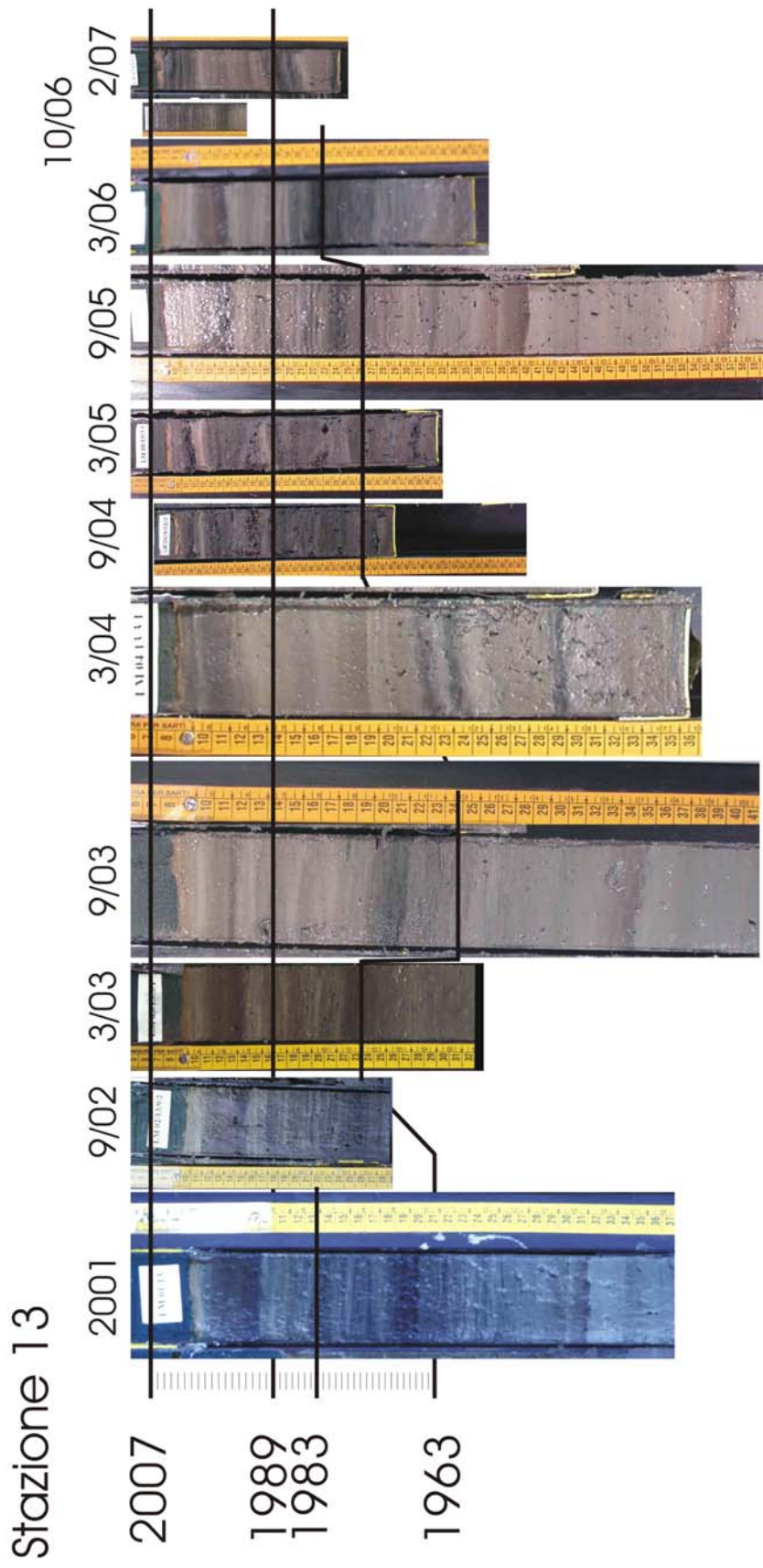


Fig. 3.1.2. Carote del Lago Maggiore prelevate nella Stazione 13 dal 2001 al 2007. Campionamenti a marzo e settembre.

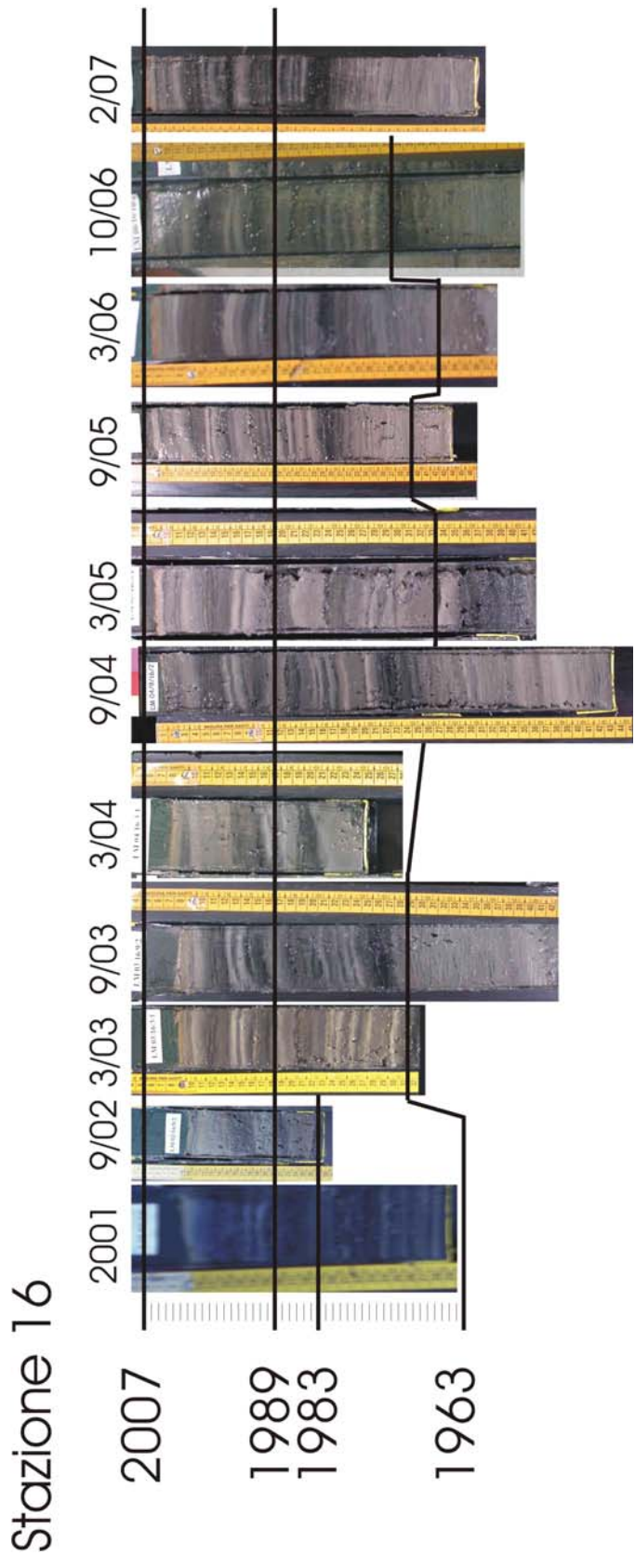


Fig. 3.1.3. Carote del Lago Maggiore prelevate nella Stazione 16 dal 2001 al 2007. Campionamenti a marzo e settembre.

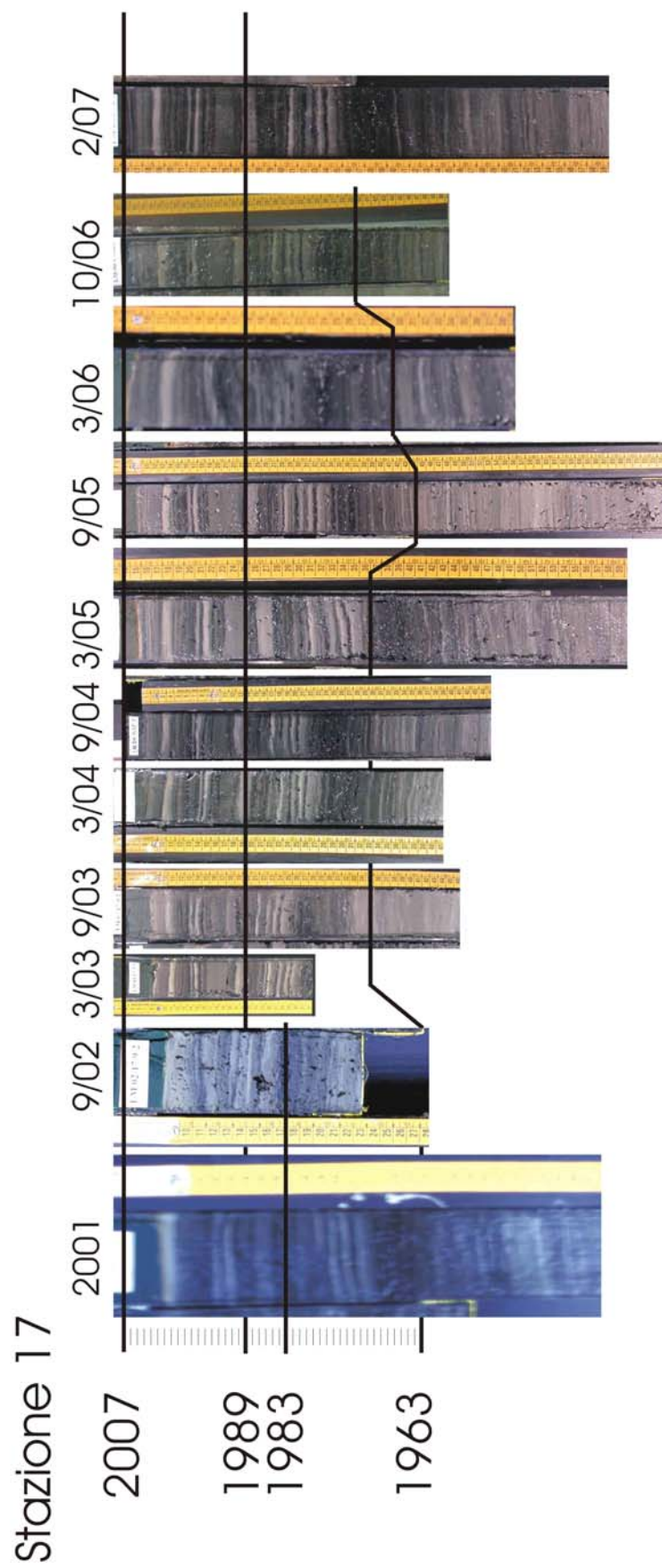


Fig. 3.1.4. Carote del Lago Maggiore prelevate nella Stazione 17 dal 2001 al 2007. Campionamenti a marzo e settembre.

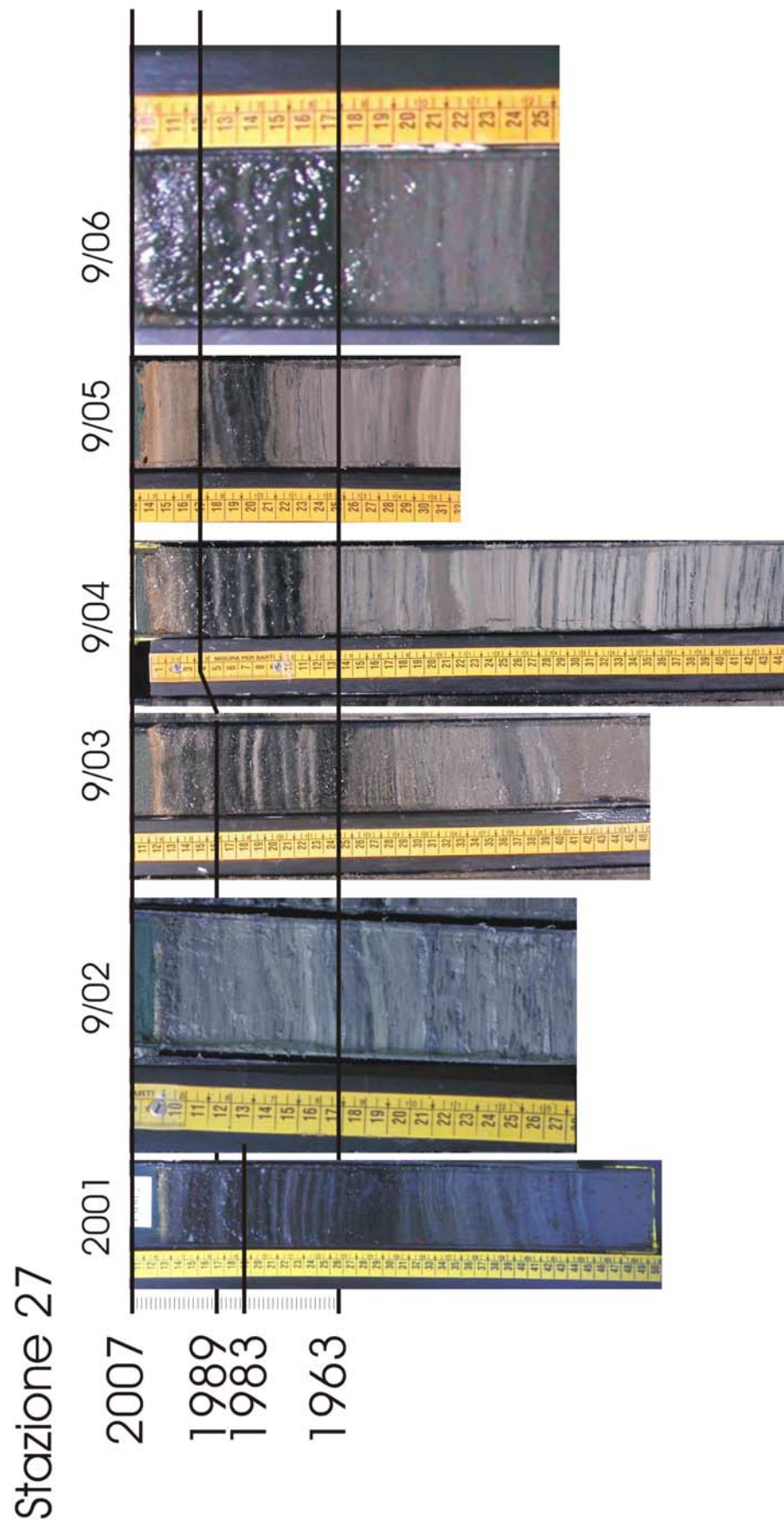


Fig. 3.1.5. Carote del Lago Maggiore prelevate nella Stazione 27 dal 2001 al 2007. Campionamenti a settembre.

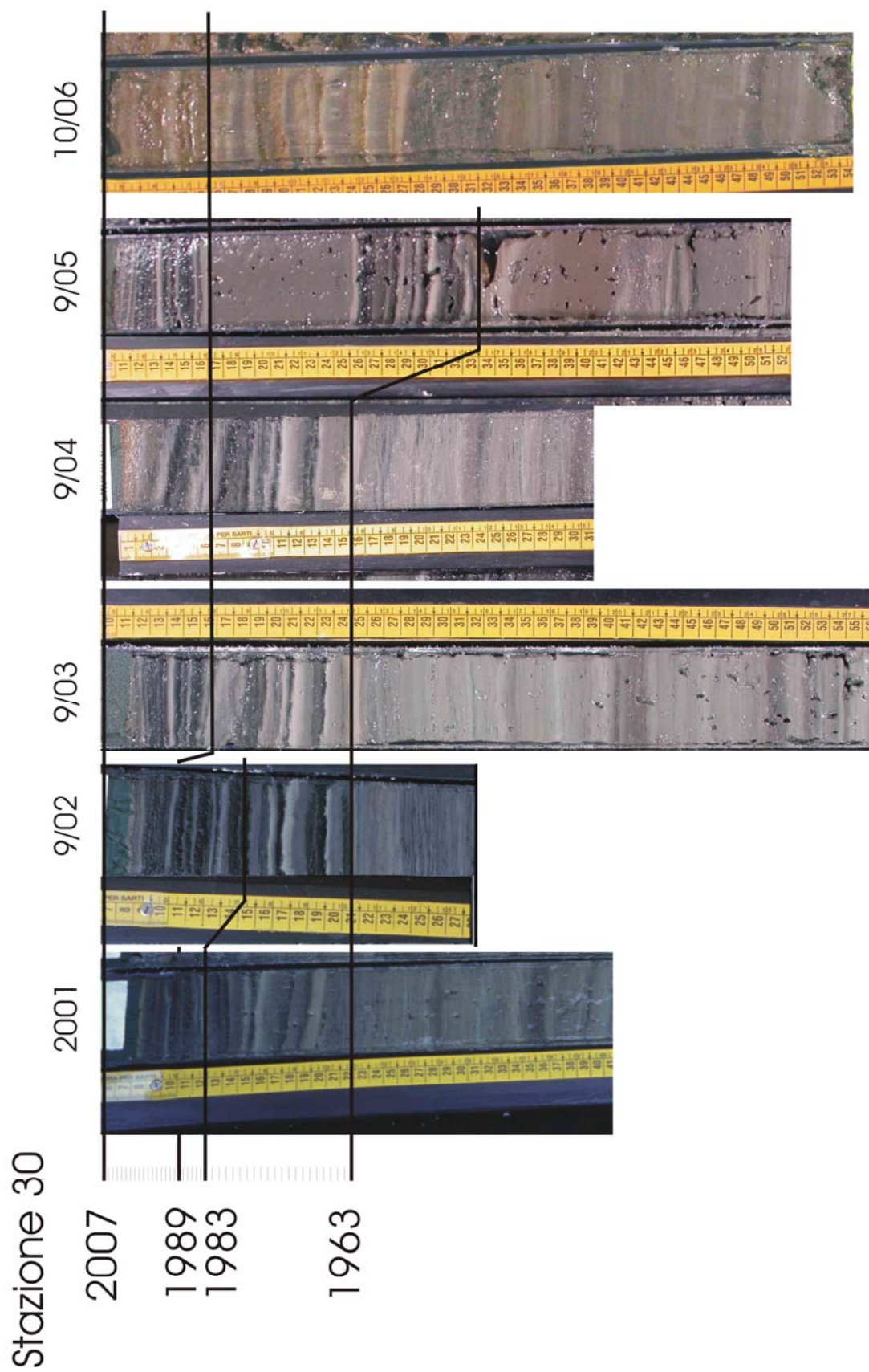


fig. 3.1.6. Carote del Lago Maggiore prelevate nella Stazione 30b dal 2001 al 2007. Campionamenti a settembre.

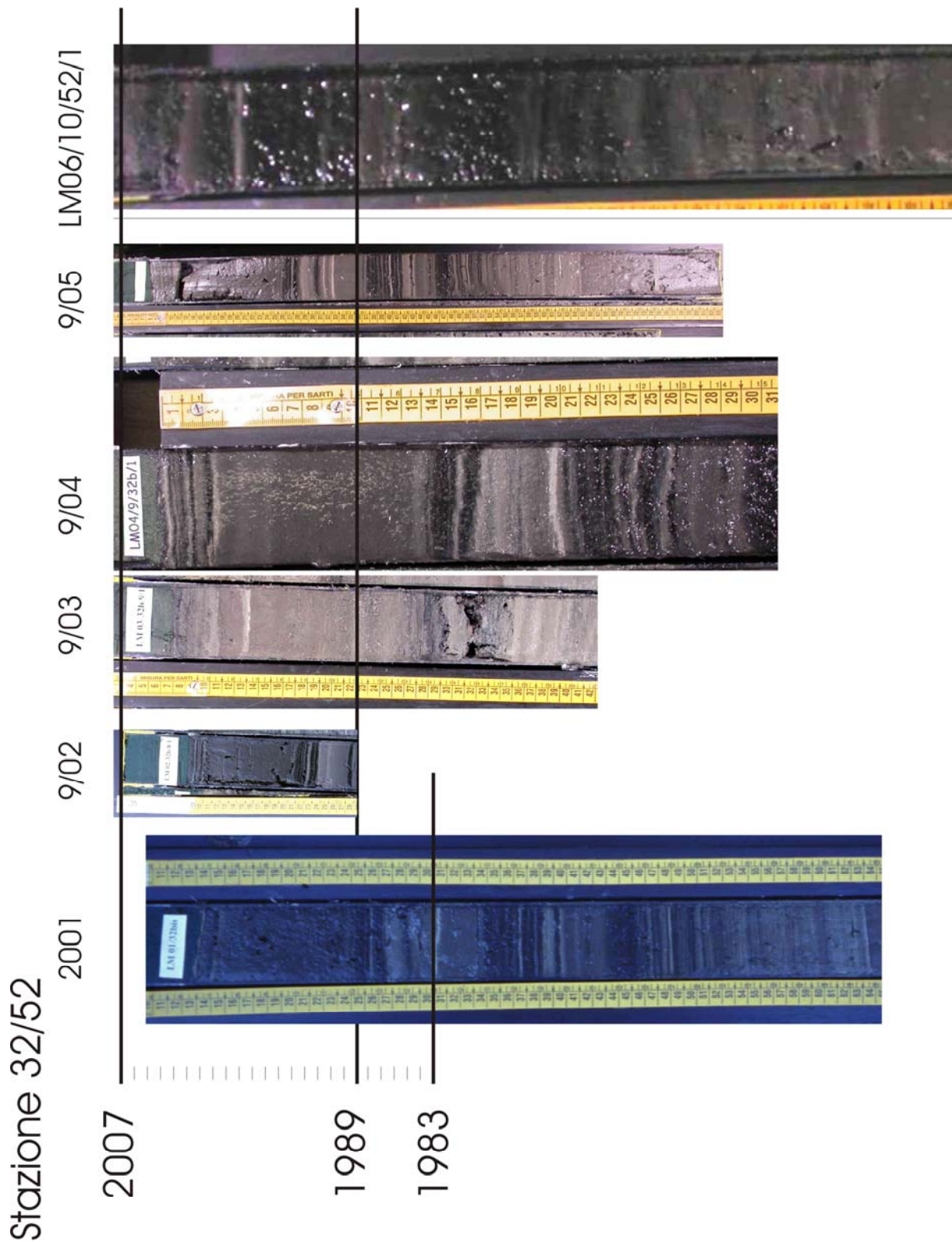


Fig. 3.1.7. Carote del Lago Maggiore prelevate nella Stazione 32b dal 2001 al 2007. Campionamenti a settembre.

Tab. 3.1.1. Stazioni di campionamento dei sedimenti per gli anni 2001-2007 nel Bacino di Pallanza.

Stazioni	13 (Baveno)	16	17 (Suna)
Profondità prelievo	32	117	123
Latitudine	45°54'15"	45°55'4"	45°55'27"
Longitudine	8°30'47"	8°31'52"	8°31'56"

Tab. 3.1.2. Stazioni di campionamento dei sedimenti per gli anni 2001-2007 lungo l'asse principale del Lago Maggiore (da Nord a Sud).

Stazioni	30b (Brissago)	32b (Ghiffa)	27 (Ispra)
Profondità prelievo	241	375	94
Latitudine	46°7'27"	45°57'28"	45°48'45"
Longitudine	8°45'13"	8°38'6"	8°34'8"

Tab. 3.1.3. Confronto dei tassi di sedimentazione (cm a⁻¹) stimati mediante analisi diatologiche delle carote di sedimento prelevate dal 2001 al 2007 nel Lago Maggiore. 1963 e 1989 sono gli anni in cui si sono verificati i cambiamenti nei popolamenti a diatomee. Sono indicate inoltre la profondità nella carota e lo spessore dello strato di sedimento depositato dopo la piana del 2000.

oggetto:	torbida			transizione <i>stephanodiscus/cyclotella</i>			transizione <i>cyclotella/stephanodiscus</i>			
data:	Piana 2000			1989			1963			
Carota	profondità	spessore	tasso 2000-2006	cm	tasso 1989-2006	tasso 1989-2006 escluse torbide	cm	tasso 1963-2006	tasso 1963-2006 senza torbide	tasso calcolato tra 1989 e 1963
LM2007/16/2/1				14	0,80					
LM2007/13/2/2	5	21	0,77	solo in base alla torbida						
LM2007/17/2/1	2,5	4	0,38	11,5	0,66	0,43				
Carota	profondità	spessore	tasso 2000-2006	cm	tasso 1989-2006	tasso 1989-2006 escluse torbide	cm	tasso 1963-2006	tasso 1963-2006 senza torbide	tasso calcolato tra 1989 e 1963
LM2006/30b/10/1				6	0,34		>=15	>=0,34		
LM2006/16/10/1				11	0,63		22	0,51		
LM2006/13/10/1	3	21,5	0,50	30	1,71	0,49				
LM2006/17/10/1	4,5	1,5	0,75	14	0,80	0,71	27	0,62		
LM2006/32b/9/1							tutta pre 1963!			
LM2006/27/9/1				3	0,17		7	0,16		
LM2006/52/10/1				8	0,46		20	0,46		
Carota	profondità	spessore	tasso 2000-2006	cm	tasso 1989-2006	tasso 1989-2006 escluse torbide	cm	tasso 1963-2006	tasso 1963-2006 senza torbide	tasso calcolato tra 1989 e 1963
LM06/3/13/2	2,4	0,6	0,40	11	0,63	0,59	16	0,37	0,36	0,19
LM06/3/16/1	3,2	1,8	0,53	11,5	0,66	0,55	27	0,62	0,58	0,60
LM06/3/17/1	2,2	0,3	0,37	9	0,51	0,50	21	0,48	0,48	0,46
Carota	profondità	spessore	tasso 2000-2005	cm	tasso 1989-2005	tasso 1989-2005 escluse torbide	cm	tasso 1963-2005	tasso 1963-2005 senza torbide	tasso calcolato tra 1989 e 1963
LM05/9/13/1	3	1	0,63	9,5	0,59	0,53	17	0,40	0,37	0,29
LM05/9/16/1	3,5	0,5	0,73	14	0,88	0,84	29	0,68	0,67	0,58
LM05/9/17/1	1,5	2,5	0,31	16,5	1,03	0,88	35	0,82	0,76	0,71
LM05/9/27/1				3,5	0,22		12	0,28		0,33
LM05/9/30b/1				6	0,38		24	0,56		0,69
LM05/9/32b/1	3	14,5	0,63	29	1,81	0,94	43	1,01	0,68	0,54

Tab. 3.1.3. Continua.

oggetto:	torbida			transizione <i>stephanodiscus/cyclotella</i>			transizione <i>cyclotella/stephanodiscus</i>			
data:	Piena 2000			1989			1963			
Carota	profondità	spessore	tasso 2000-2005	cm	tasso 1989-2005	tasso 1989-2005 escluse torbide	cm	tasso 1963-2005	tasso 1963-2005 senza torbide	tasso calcolato tra 1989 e 1963
LM2005/13/3/1	3	5,5 (1,5 + 4)	0,63	13	0,80	0,46	27	0,64	0,51	0,54
LM2005/16/3/1	2,5	2,5 (1,5+1)	0,52	10	0,61	0,46	25	0,59	0,53	0,58
LM2005/17/3/1	2,3	2	0,48	10	0,61	0,49	30	0,71	0,66	0,77
Carota	profondità	spessore	tasso 2000-2004	cm	tasso 1989-2004	tasso 1989-2004 escluse torbide	cm	tasso 1963-2004	tasso 1963-2004 senza torbide	tasso calcolato tra 1989 e 1963
LM2004/13/9/2				13	0,84		27	0,65	0,00	0,54
LM2004/16/9/2				10,5	0,68					
LM2004/17/9/2				13	0,84					
LM2004/27/9/1				3,5	0,23		13	0,31	0,00	0,37
LM2004/30b/9/1				5,5	0,35		15	0,36	0,00	0,37
LM2004/32b/9/1				in base alla foto 0,63						
Carota	profondità	spessore	tasso 2000-2003	cm	tasso 1989-2003	tasso 1989-2003 escluse torbide	cm	tasso 1963-2003	tasso 1963-2003 senza torbide	tasso calcolato tra 1989 e 1963
LM2003/13/9/1				5,5	0,39		13,5	0,34	0,00	0,31
LM2003/16/9/2				9	0,64		20	0,50	0,00	0,42
LM2003/17/9/1				11	0,79		25,5	0,64	0,00	0,56
LM2003/27/9/2				3,5	0,25		13	0,33	0,00	0,37
LM2003/30b/9/1				5	0,36		12	0,30	0,00	0,27
LM2003/32b/9/2				15	1,07					
LM2003/32b/9/2				in base alla foto 0,88						
Carota	profondità	spessore	tasso 2000-2003	cm	tasso 1989-2003	tasso 1989-2003 escluse torbide	cm	tasso 1963-2003	tasso 1963-2003 senza torbide	tasso calcolato tra 1989 e 1963
LM2003/13/3/1	1,7 (?)	0,4	0,68	7,5	0,54	0,51	16	0,40	0,00	0,33
LM2003/16/3/1	1,4	1,2	0,56	10	0,71	0,63	27	0,68	0,00	0,65
LM2003/17/3/1	2,7	1,2	1,08	14	1,00	0,91	31	0,78	0,00	0,65
Carota	profondità	spessore	tasso 2000-2003	cm	tasso 1989-2003	tasso 1989-2003 escluse torbide	cm	tasso 1963-2003	tasso 1963-2003 senza torbide	tasso calcolato tra 1989 e 1963
LM2002/13				8	0,42	0,42	21	0,54	0,54	0,65
LM2002/16		8		17	0,89	0,47				(litologia)
LM2002/17				3	0,16	0,16				
LM2002/27/1		1					8	0,21	0,18	
LM2002/30b				5,5	0,29	0,29	12,5	0,32	0,32	0,35
LM2002/32b				30 (circa)	1,58	1,58	59	1,51	1,51	1,45
										(litologia)
Carota	profondità	spessore	tasso 2000-2003	cm	tasso 1989-2003	tasso 1989-2003 escluse torbide	cm	tasso 1963-2003	tasso 1963-2003 senza torbide	tasso calcolato tra 1989 e 1963
LM2001/13				8	0,67					
LM2001/17				8	0,67					

Datazione delle carote. Avendo già determinato in precedenza che il tasso di accumulo del sedimento nel Lago Maggiore è molto variabile, sia nello spazio che nel tempo, tutte le carote sono state datate singolarmente e sono stati calcolati i tassi di sedimentazione per la parte più superficiale di ogni singola carota, utilizzando, a seconda delle condizioni, due metodi:

1) quando nelle carote era ben evidente la presenza di materiale estraneo (torbidite) relativo alla piena eccezionale del 2000, il livello sommitale di tale materiale è stato considerato rappresentativo dell'autunno 2000 e il tasso di sedimentazione è stato calcolato dividendo la distanza tra tale livello e la sommità della carota e gli anni (e frazioni) trascorsi a partire da quella data. Ad eccezione della carota LM200713/2/2, il valore trovato è stato sempre verificato sulla base del secondo metodo.

2) in assenza di un segnale evidente della piena del 2000, è stato utilizzato un marker biologico, utilizzando l'abbondanza relativa di due specie di diatomee planctoniche tipiche del Lago Maggiore.

Infatti l'analisi diatomologica si è dimostrata un valido strumento di datazione in quanto l'evoluzione temporale dei popolamenti a diatomee nel corso degli ultimi 50 anni è ben documentata sia dalla letteratura (Ruggiu, 1989, Ruggiu *et al.*, 1998), sia da uno studio recente sui sedimenti (Marchetto e Musazzi, 2001; Marchetto *et al.*, 2003) e quindi è possibile dai singoli profili riconoscere con un notevole grado di affidabilità i vari livelli in cui si sono verificate le principali modificazioni nella comunità planctonica. I lavori citati hanno anche mostrato che la composizione specifica dei campioni di diatomee in carote prelevate in varie parti del Lago Maggiore differiscono per la componente bentonica, ma sono molto omogenee per quanto riguarda le specie planctoniche.

In particolare dall'esame delle diverse carote è possibile individuare tre zone:

1. una zona più profonda, antica, non presente in tutte le carote, che comprende popolazioni di diatomee fortemente dominate da *Cyclotella comensis*, con la sporadica presenza di *Rhizosolenia (=Uroselenia) eriensis*, due specie caratteristiche di laghi oligotrofi.
2. una zona intermedia in cui *C. comensis* scompare gradualmente, e compaiono successivamente specie di acque mesotrofe, tra cui *Fragilaria crotonensis*, *Aulacoseira* spp., *Stephanodiscus* spp.
3. una zona superficiale, all'incirca corrispondente all'ultimo decennio, in cui l'abbondanza delle specie caratteristiche di acque eutrofe e mesotrofe si riduce, e si ha un ritorno alla dominanza di *C. comensis*, ma con abbondanza relativa inferiore rispetto alla sezione più profonda.

I punti di transizione da una zona all'altra sono marcati dalla comparsa di percentuali significative di *Tabellaria flocculosa*. A partire dalla bibliografia citata, la fase di transizione tra la zona 2 e la zona 3 delle carote corrisponde con notevole affidabilità al 1989, quando le popolazioni di diatomee hanno risposto in modo netto al recupero delle migliori condizioni del lago. Il punto di passaggio tra la zona 1 e 2 può essere fatto risalire ad una data di poco anteriore al 1965, quando Goldman *et al.* (1968) trovavano il plancton del Lago Maggiore ricco di *Tabellaria flocculosa*. Poiché in molte delle carote prelevate nel 1989 e nel 1991 questo cambiamento veniva rilevato in coincidenza con la universale massima concentrazione di ¹³⁷Cs da deposizione atmosferica, si è ragionevolmente datato con l'anno 1963 questo livello sedimentario caratterizzato dalla fioritura di *Tabellaria flocculosa*. Nella stessa zona della carota è inoltre riconoscibile un netto cambiamento nella composizione litologica della carota che può anch'esso essere messo in relazione con la variazione dello stato trofico del Lago Maggiore in quegli anni (da grigio chiaro a strato più scuro e più ricco di sostanza organica).

Quando possibile, è stato utilizzato il punto di passaggio dalla zona 2 alla zona 3 come livello di datazione, e il tasso di sedimentazione è stato calcolato dividendo la profondità di tale livello (sottraendo eventualmente lo spessore del materiale apportato dalla piena del 2000) per la differenza tra il 1989 e l'anno di prelievo della carota.

Per la carote prelevate nel 2002, è stato utilizzato un marker differente: la massima abbondanza relativa di *Stephanodiscus* spp., databile al 1983. Questo approccio è stato poi abbandonato a favore di quella descritta più sopra, in quanto più immediata ed efficiente dal punto di vista operativo.

Ove possibile, i tassi di sedimentazione calcolati a partire dal limite tra la zona 2 e la zona 3 sono stati confermati valutando il limite tra la zona uno e la zona due. Quest'ultimo livello è stato utilizzato per la stima del tasso di sedimentazione della carota LM2002/27/1, in quanto il limite tra la zona 2 e la zona 3 si trovava nei centimetri più superficiali della carota e non era sufficiente ad un calcolo abbastanza preciso del tasso di sedimentazione.

Nel caso della carota LM2006/32b/9/1, le diatomee presenti erano tutte caratteristiche della zona uno, perciò il sedimento di questa carota è stato considerato completamente precedente al 1963 e la carota è stata quindi scartata, sostituita dalla carota 2006/52/10/1, prelevata appositamente in sostituzione della precedente.

Per le carote del campionamento di marzo 2004, vista la notevole analogia litologica con quelle prelevate nel settembre 2003, non è stato ritenuto necessario procedere all'analisi delle diatomee sub-fossili.

Bibliografia

- CIP AIS. 2002. *Monitoraggio della presenza di DDT ed altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore. Rapporto Annuale Aprile 2001- Marzo 2002*, 89 pp.
- Goldman, C.R., M. Gerletti, P. Javornicky, U. Melchiorri-Santolini & E. De Amezaga. 1968 Primary productivity, bacteria, phyto- and zooplankton in Lake Maggiore: correlations and relationships with ecological factors. *Mem. Ist. ital. Idrobiol.*, 23: 49-127.
- Marchetto, A. and S. Musazzi. 2001. Comparison between sedimentary and living diatoms in Lago Maggiore (N. Italy): implications of using transfer functions. *J. Limnol.* 60: 19-26.
- Marchetto, A., A. Lami, S. Musazzi, J. Massaferrò, L. Langone, P. Guilizzoni. 2003. Lake Maggiore (N. Italy) trophic history: fossil diatom, plant pigments, chironomids and comparison with long-term limnological data. *Quaternary International*, 2003: 97-110.
- Ruggiu, D. 1989. An evaluation of phytoplankton communities of Lago Maggiore typifying the stages of its trophic evolution. *Mem. Ist. ital. Idrobiol.*, 46: 89-102.
- Ruggiu, D., G. Morabito, P. Panzani and A. Pugnètti. 1998. Trends and relations among basic phytoplankton characteristics in the course of the long-term oligotrophication of Lake Maggiore (Italy). *Hydrobiologia*, 369/370: 243-257.

3.2. Contaminanti nei sedimenti del Lago Maggiore

Durante il mese di ottobre 2006 e febbraio 2007 si è provveduto a raccogliere le carote di sedimento nelle stazioni previste dal programma (vedi cap. 3.1.).

In base alle conoscenze acquisite negli studi precedenti, per il Bacino di Pallanza (quello più vicino alla sorgente inquinante), sono state campionate le stesse 3 stazioni (13, 16 e 17) degli anni precedenti, distribuite lungo un transetto che unisce idealmente gli abitati di Baveno e di Suna in modo tale da rappresentare al meglio le diverse caratteristiche sedimentologiche, morfometriche e geografiche dell'area allo studio e con lo scopo di seguirne l'evoluzione nel tempo. Le altre tre stazioni campionate, come negli anni precedenti, sono posizionate lungo l'asse principale del lago a Brissago (30B), Ghiffa (32B) e Ispra (27). Il campionamento del Bacino di Pallanza è stato condotto con modalità semestrale, mentre quella del resto del lago ha avuto cadenza annuale.

I dettagli relativi al campionamento e al calcolo della rata di sedimentazione sono riportati nel capitolo 3.1. Per l'estrazione, la preparazione dei campioni e l'analisi dei composti organici si fa riferimento alla metodica già utilizzata (CIP AIS, 1999). Per il trattamento dei campioni e l'analisi dei metalli (As, Cd, Cu, Hg) si sono utilizzate le stesse procedure e gli stessi metodi analitici riportati nel rapporto precedente (CIP AIS, 2002).

3.2.1. Composti organoclorurati nella Baia di Pallanza

Le concentrazioni dei composti organoclorurati delle carote raccolte nel Bacino di Pallanza sono riportate nella Tabella 3.2.1. Sono stati analizzati 12 campioni anziché i sei previsti dal programma che richiedeva soltanto l'analisi della prima sezione.

Tab. 3.2.1. Concentrazioni (ng g^{-1}) dei composti organoclorurati nei campioni del Bacino di Pallanza.

Campioni	Carota 13		Carota 13		Carota 16		Carota 16		Carota 17		Carota 17	
	ottobre 2006	ottobre 2006	febbraio 2007	febbraio 2007	ottobre 2006	ottobre 2006	febbraio 2007	febbraio 2007	ottobre 2006	ottobre 2006	febbraio 2007	febbraio 2007
Sezione (cm)	0,25-0,50	0-0,25	0,4-0,8	0-0,4	0,3-0,6	0-0,3	0,4-0,8	0-0,4	0,4-0,8	0-0,4	0,2-0,4	0-0,2
Periodo	04/06-10/05	10/06-04/06	08/06-02/06	02/07-08/06	05/06-10/05	10/06-05/06	10/06-02/06	02/07-10/06	03/06-07/05	10/06-03/06	08/06-02/06	02/07-08/06
op'DDT	0,18	0,78	1,00	4,32	0,50	0,55	2,76	1,71	0,42	0,47	1,33	1,31
pp'DDT	13,80	9,40	11,61	12,40	39,88	3,02	42,10	10,19	11,97	6,45	8,80	6,27
op'DDE	0,56	0,92	0,55	1,15	0,63	0,85	0,43	0,61	1,87	1,12	0,46	0,24
pp'DDE	3,39	16,14	8,69	39,86	3,06	4,27	5,57	9,43	5,94	5,78	2,79	1,78
op'DDD	3,95	3,15	2,98	2,70	1,25	3,74	2,01	3,44	3,15	0,75	2,65	1,36
pp'DDD	11,41	8,64	7,92	7,42	4,86	8,26	5,45	7,58	11,74	2,73	8,90	4,21
DDT Tot	33,30	39,03	32,75	67,85	50,18	20,69	58,33	32,96	35,10	17,30	24,92	15,16
Alfa-HCH	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Beta-HCH	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Gamma-HCH	0,15	0,34	0,22	0,36	0,31	0,46	0,23	0,37	0,12	0,27	0,15	0,18
Delta-HCH	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
HCH TOT	0,15	0,34	0,22	0,36	0,31	0,46	0,23	0,37	0,12	0,27	0,15	0,18
HCB	0,28	0,36	0,59	0,54	1,84	1,02	0,39	0,78	0,38	0,42	0,25	0,43
t-eptacloro	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
endrin	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
metoxiclor	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
mirex	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Totale	0,28	0,36	0,59	0,54	1,84	1,02	0,39	0,78	0,38	0,42	0,25	0,43

Tab. 3.2.1. Continua

Campioni	Carota 13 ottobre 2006		Carota 13 febbraio 2007		Carota 16 ottobre 2006		Carota 16 febbraio 2007		Carota 17 ottobre 2006		Carota 17 febbraio 2007	
	0,25-0,50	0-0,25	0,4-0,8	0-0,4	0,3-0,6	0-0,3	0,4-0,8	0-0,4	0,4-0,8	0-0,4	0,2-0,4	0-0,2
Periodo	04/06- 10/05	10/06- 04/06	08/06- 02/06	02/07- 08/06	05/06- 10/05	10/06- 05/06	10/06- 02/06	02/07- 10/06	03/06- 07/05	10/06- 03/06	08/06- 02/06	02/07- 08/06
PCB 18	<0,05	<0,05	0,37	0,37	<0,05	<0,05	0,20	0,46	<0,05	<0,05	0,49	0,37
PCB 28	<0,05	<0,05	0,37	0,35	<0,05	<0,05	0,20	0,40	<0,05	<0,05	0,38	0,21
PCB 31	<0,05	<0,05	0,23	0,28	<0,05	<0,05	0,22	0,34	<0,05	<0,05	0,26	0,28
PCB 44	0,30	0,78	0,60	0,72	0,33	0,24	0,50	0,71	0,53	0,57	0,54	0,43
PCB 52	0,33	0,38	0,35	0,46	0,21	0,13	0,18	0,41	0,23	0,43	0,29	0,23
PCB 101	0,73	1,24	1,28	1,18	0,61	0,41	1,12	1,32	1,16	1,06	1,30	0,79
PCB 149	0,43	0,75	0,85	1,05	0,47	0,32	0,72	0,88	0,87	0,53	0,86	0,61
PCB 118	0,86	0,99	0,88	0,82	0,56	0,62	0,74	1,00	0,83	0,61	0,69	0,52
PCB 153	0,64	1,68	1,08	1,71	0,71	0,35	1,43	2,18	0,91	1,05	1,56	1,38
PCB 138	0,34	1,30	1,00	0,94	0,64	0,41	1,25	1,23	1,29	0,95	1,21	0,66
PCB 180	0,39	1,05	0,89	0,75	0,29	0,19	0,88	0,81	0,44	0,44	0,64	0,56
PCB 170	0,16	0,76	0,38	0,30	0,15	0,08	0,28	0,39	0,22	0,11	0,27	0,20
PCB 194	<0,05	<0,05	0,16	0,19	0,10	<0,05	0,09	0,17	0,15	0,15	0,19	0,10
PCB TOT	4,18	8,93	8,44	9,14	4,06	2,75	7,81	10,31	6,62	5,87	8,68	6,33

Per quanto riguarda la contaminazione da DDT (Tabella 3.2.1), si osserva una distribuzione non omogenea nelle tre stazioni considerate nella sezione più recente con un andamento crescente delle concentrazioni passando dalla carota 17 localizzata di fronte a Pallanza alla 13 posta di fronte a Baveno. I valori mediamente si attestano sui 30-35 ng g⁻¹; per quanto concerne la presenza dei metaboliti pp'DDD e pp'DDE e del composto parentale pp'DDT non vi è una chiara tendenza, a volte prevale il pp'DDE come per la sezione superficiale della carota 13, a volte il pp'DDT come, anche se di poco, per le carote 16 e 17. I risultati relativi alle differenti sezioni evidenziano un trend in diminuzione per la carota 17 negli anni recenti e un picco di contaminazione nella sezione recente della carota 13 (Fig. 3.2.1). La diminuzione osservata nella carota 17, quella più direttamente influenzata dal trasporto del materiale particellato del Toce, farebbe supporre un minor contributo, per il periodo considerato, dell'apporto del fiume rispetto alla contaminazione riscontrata negli anni precedenti (CIP AIS, 2003; 2004; 2005; 2006), probabilmente a causa dell'andamento del regime idrografico del fiume che non ha mai registrato tra il 2005 e il 2007 eventi di piena.

Sintetizzando i risultati degli ultimi sei anni, i composti organoclorurati, DDT e relativi metaboliti ed isomeri, sono presenti in concentrazioni significative solo nel Bacino di Pallanza, sottolineando come la contaminazione presente nella baia sia strettamente legata al trasferimento di particelle inquinanti dilavate dai suoli contaminati del sito industriale di Pieve Vergonte. Infatti dall'analisi della Figura 3.2.2 (CIP AIS, 2002; 2003; 2004; 2005; 2006) sono evidenti i rapporti esistenti tra le portate medie del Fiume Toce e le concentrazioni totali di DDT: gli apporti delle piene negli anni 2000, 2002 e 2004 si evidenziano come picchi di contaminazione nei sedimenti raccolti nei mesi successivi. In particolare la piena del 2000 ha interessato tutte le stazioni; quelle del 2002 e del 2004 le stazioni 13 e 17. Le concentrazioni di DDT totali sono in diminuzione nelle sezioni recenti, con l'eccezione della stazione 13 in cui si registra un consistente aumento.

Per quanto riguarda gli altri insetticidi organoclorurati, il lindano è l'unico HCH presente e la sua contaminazione, inferiore a 1 ng g⁻¹, è molto contenuta, così come si osserva per l'HCB, l'unico altro composto determinato in concentrazioni rilevabili nella maggior parte dei campioni. I PCB risultano presenti in concentrazioni totali molto contenute e inferiori o pari a 10 ng g⁻¹ in tutti i campioni analizzati e non si osservano differenze tra le varie stazioni considerate nel bacino, così come osservato in passato.

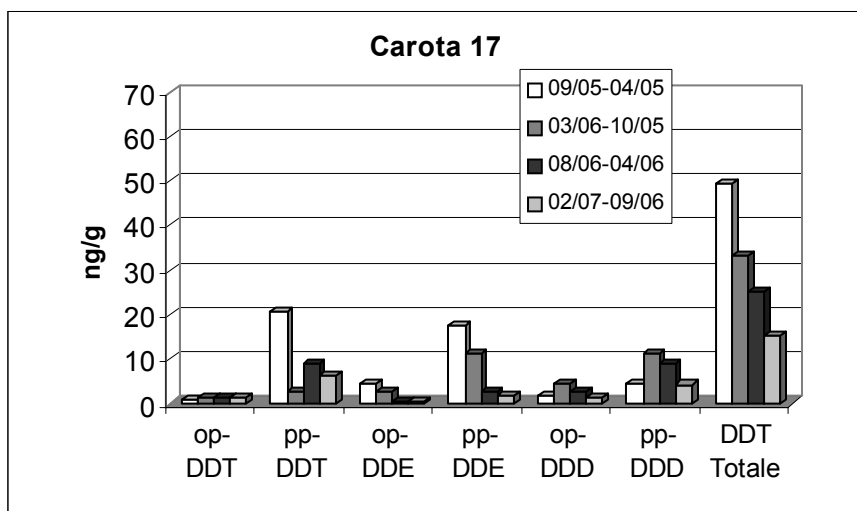
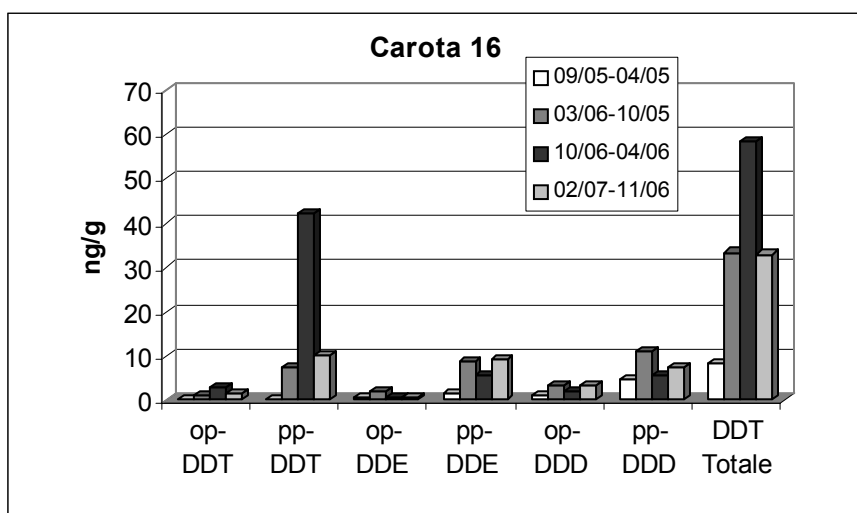
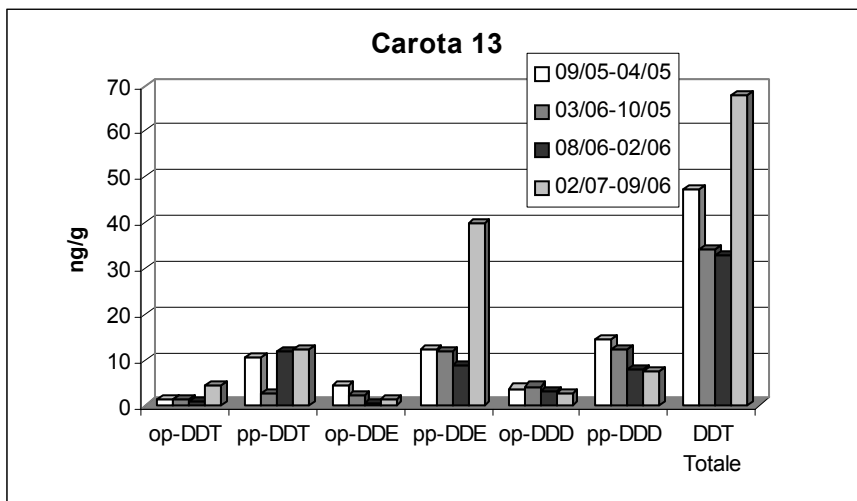


Fig. 3.2.1. Valori di DDT e dei suoi isomeri e metaboliti nei campioni del Bacino di Pallanza.

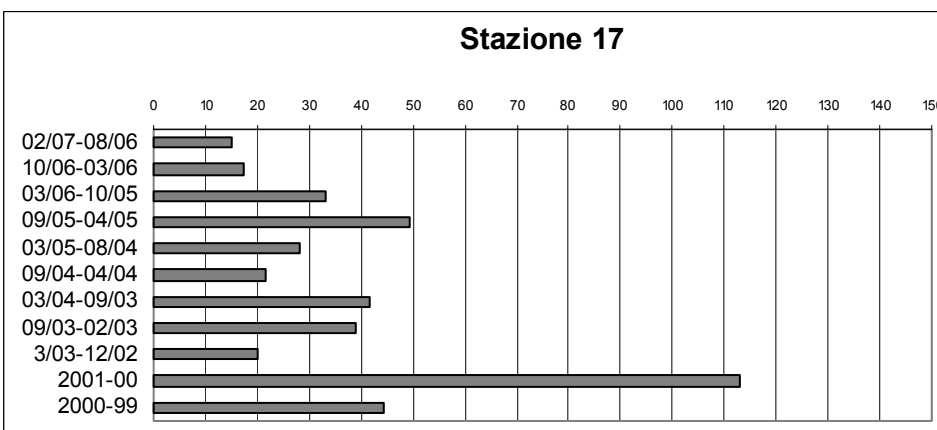
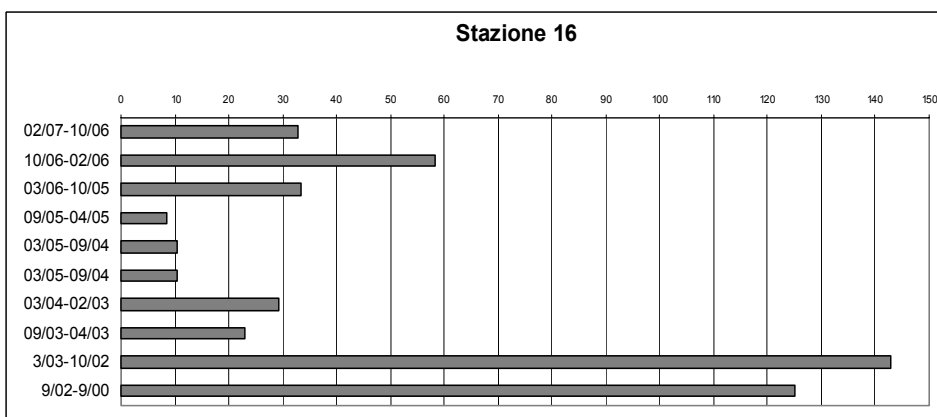
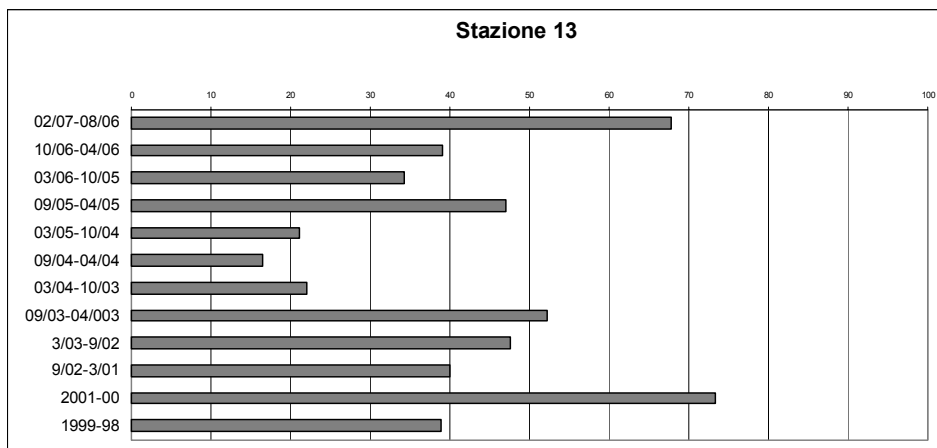
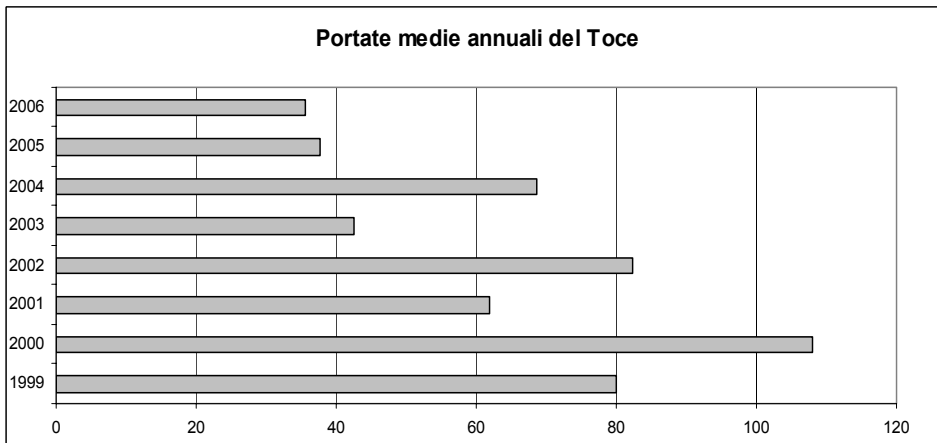


Fig. 3.2.2. Valori totali di DDT nelle carote della Baia di Pallanza e portate medie annuali del Toce.

3.2.2. Metalli nella Baia di Pallanza

Per il trattamento dei campioni e l'analisi dei metalli (As, Cd, Cu, Hg) si sono utilizzate le stesse procedure e gli stessi metodi analitici riportati in un precedente rapporto (CIPAIS, 2002). Ulteriori dettagli sulle procedure utilizzate sono riportati in Camusso *et al.* (2002).

Per il controllo di qualità dei dati analitici, insieme ai campioni di sedimento sono stati mineralizzati ed analizzati alcuni campioni in triplicato, bianchi di procedura e materiali certificati di sedimento del BCR (CRM 280 e S7). L'accuratezza percentuale è stata del 91 – 104% per tutti gli elementi e la ripetibilità (come deviazione standard relativa) è stata dello 1,5–5% a seconda degli elementi.

Sono stati analizzati gli elementi As, Cd, Cu e Hg in 18 campioni sui 12 previsti, per un totale di 72 analisi su 48. Le concentrazioni dei metalli (As, Cd, Cu, Hg) misurate nelle sezioni delle carote prelevate nelle tre stazioni (13, 16 e 17) del Bacino di Pallanza nel primo (ottobre 2006) e secondo campionamento (febbraio 2007) sono riportate nella Tabella 3.2.2. Nella tabella sono riportati oltre alle sezioni (in cm) di carota di sedimento, anche i periodi corrispondenti in base ai tassi di sedimentazione (cap. 3.1)

Tab. 3.2.2. Concentrazioni dei metalli in mg kg^{-1} nei campioni del Bacino di Pallanza.

Campionamento	Carota N°	Sezione (cm)	Periodo	As mg kg^{-1}	Cd mg kg^{-1}	Cu mg kg^{-1}	Hg mg kg^{-1}
febbraio 2007	13	0-0,4	02/07 – 08/06	70,6	0,271	31,1	0,162
		0,4-0,8	08/06 – 02/06	30,0	0,311	36,6	0,183
ottobre 2006	13	0-0,25	10/06 – 04/06	31,8	0,294	39,3	0,167
		0,25-0,50	04/06 – 10/05	30,2	0,406	44,4	0,220
febbraio 2007	16	0-0,40	02/07 – 08/06	48,4	0,438	60,0	0,271
		0,4-0,8	08/06 – 02/06	15,0	0,248	34,4	0,135
ottobre 2006	16	0-0,30	10/06 – 05/06	57,5	0,422	60,7	0,230
		0,3-0,6	05/06 – 11/05	27,0	0,394	51,0	0,200
febbraio 2007	17	0-0,2	02/07 – 08/06	42,2	0,463	63,2	0,248
		0,2-0,4	08/06 – 02/06	37,9	0,468	58,5	0,302
ottobre 2006	17	0-0,4	10/06 – 03/06	36,8	0,429	63,0	0,238
		0,4-0,8	03/06 – 07/05	36,9	0,367	56,6	0,212

Le concentrazioni di arsenico nei sedimenti superficiali del febbraio 2007 presentano livelli maggiori nella carota 13 (Baveno) rispetto alle carote 16 e 17 (Suna, di fronte a Pallanza) (70,6 , 48,4 e 42,2 mg kg^{-1} rispettivamente). Gli altri metalli cadmio, rame e mercurio presentano concentrazioni simili nella carota 16 (0,438, 60 e 0,271 mg kg^{-1}) e nella carota 17 (0,463, 63,2 e 0,248 mg kg^{-1}) e valori più bassi nella carota 13 del 50 - 30%.

Nel semestre precedente (ottobre 2005) si osservano andamenti simili per tutti gli elementi, ad eccezione dell'arsenico. Le concentrazioni più alte di As sono state misurate nella carota 16 (As=57,5) rispetto alle carota 13 e 17 (31,8 e 36,8 mg kg^{-1}), mentre per cadmio, rame e mercurio i valori si confermano più bassi nella 13 rispetto alle altre due carote 16 e 17.

Gli andamenti annuali dei metalli nelle singole stazioni sono riportati nelle figure 3.2.3 – 3.2.8. In generale si osserva che nei sedimenti superficiali della Baia di Pallanza le

concentrazioni di As presentano un andamento simile e uniforme nelle stazioni più litorali ma con un massimo nel febbraio 2007 (carote 13 e 17) rispetto ai valori meno uniformi della stazione centrale (carota 16). Andamento decrescente per il rame nella stazione litorale 13 (Fig. 3.2.3) mentre nelle altre due stazioni si osserva un andamento non uniforme con valori che si mantengono più alti anche nel periodo recente (Fig. 3.2.4 e 3.2.5).

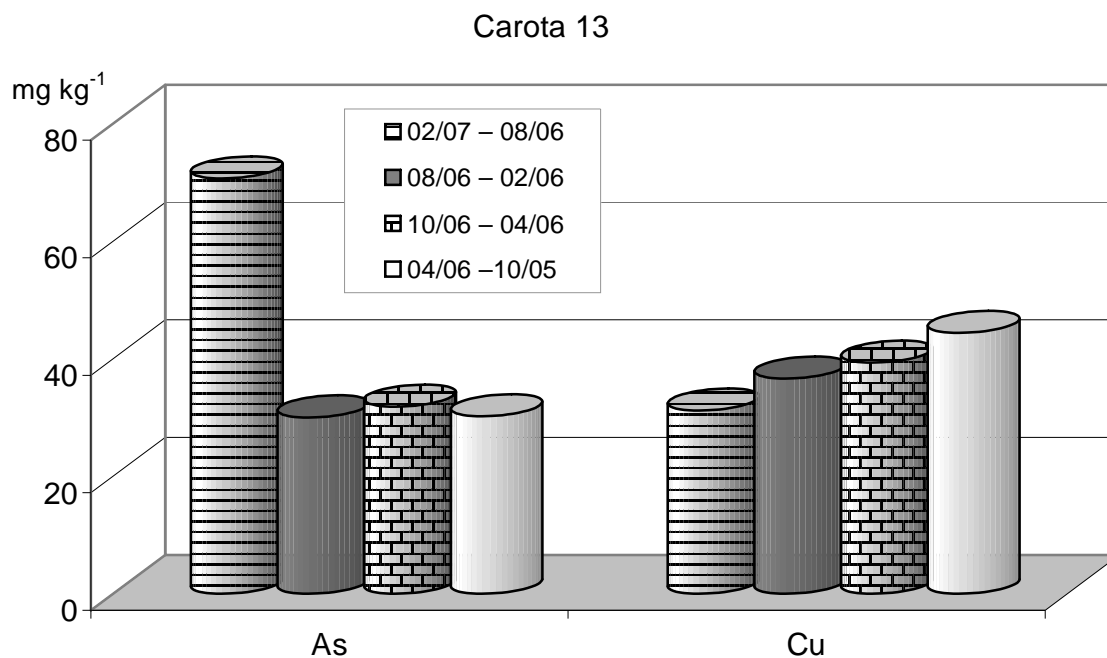


Fig. 3.2.3. Concentrazione di arsenico e rame nel Bacino di Pallanza (carota 13)

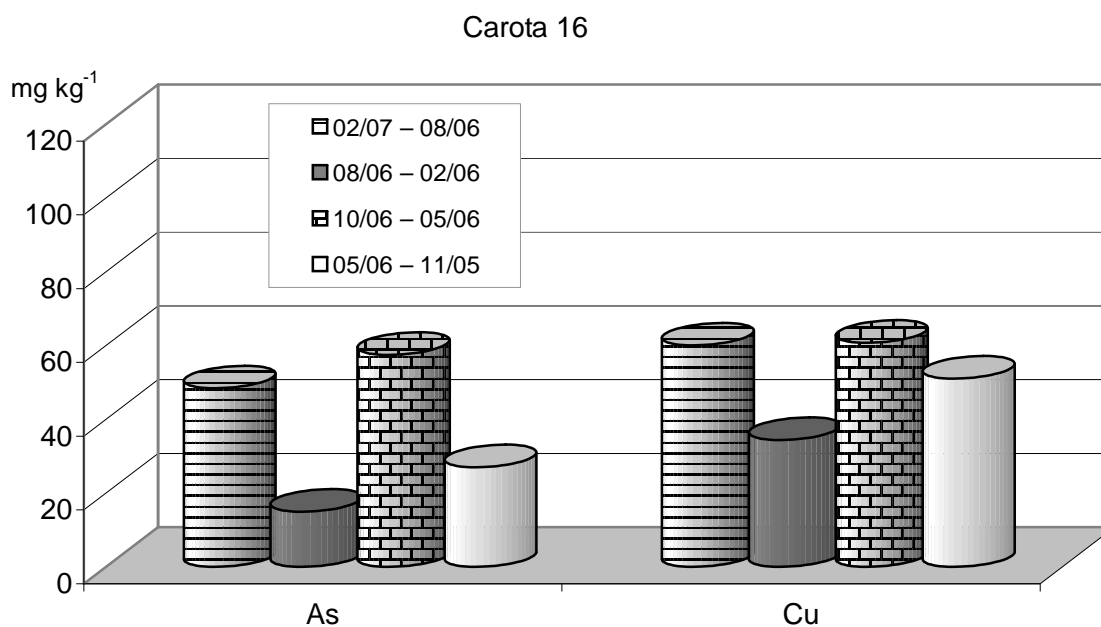


Fig. 3.2.4. Concentrazione di arsenico e rame nel Bacino di Pallanza (carota 16)

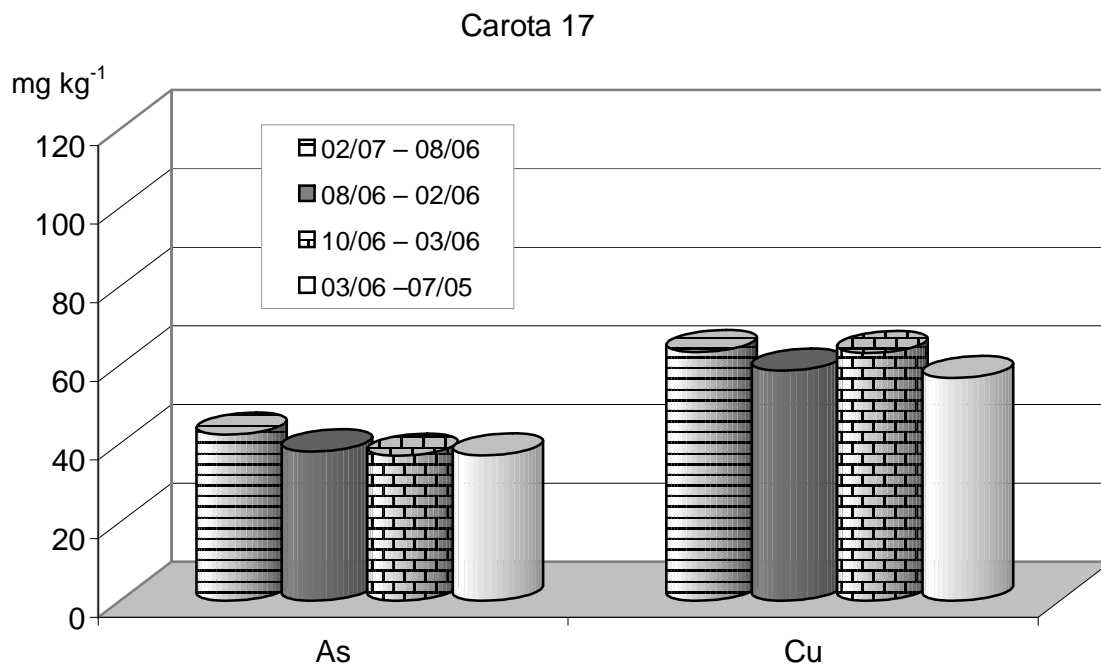


Fig. 3.2.5. Concentrazione di arsenico e rame nel Bacino di Pallanza (carota 17)

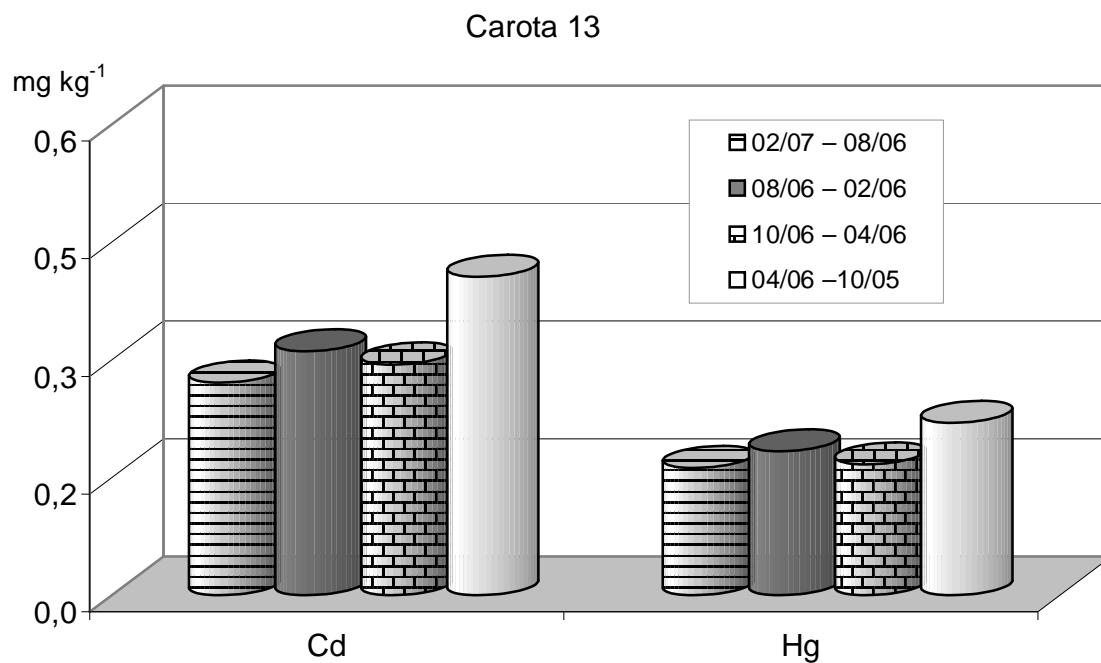


Fig. 3.2.6. Concentrazione di cadmio e mercurio nel Bacino di Pallanza (carota 13)

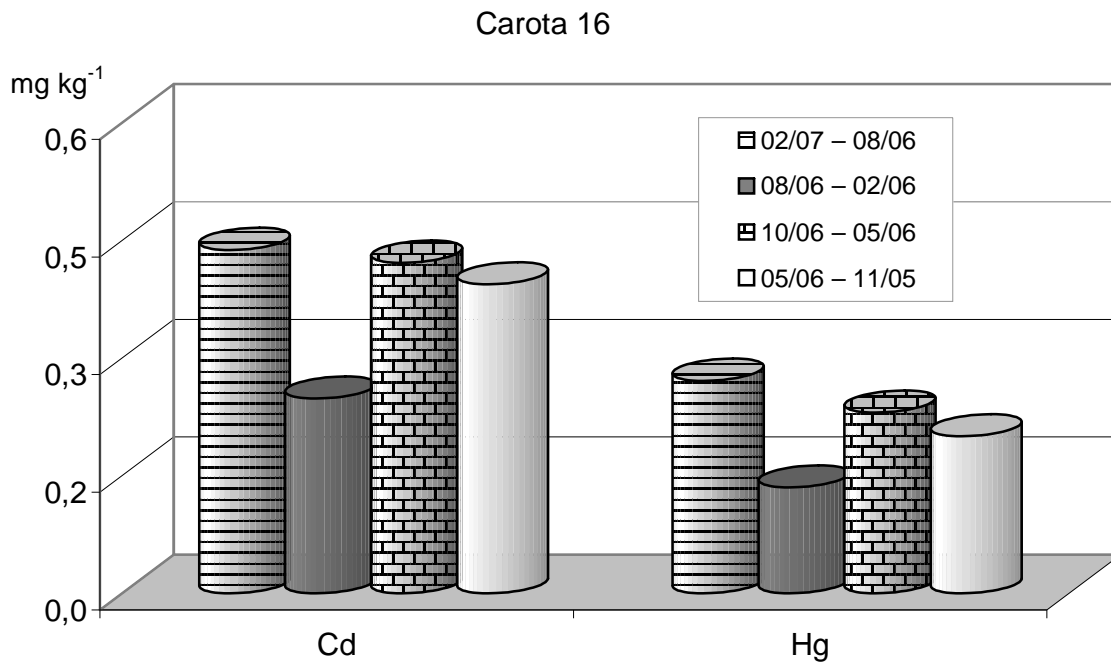


Fig. 3.2.7. Concentrazione di cadmio e mercurio nel Bacino di Pallanza (carota 16)

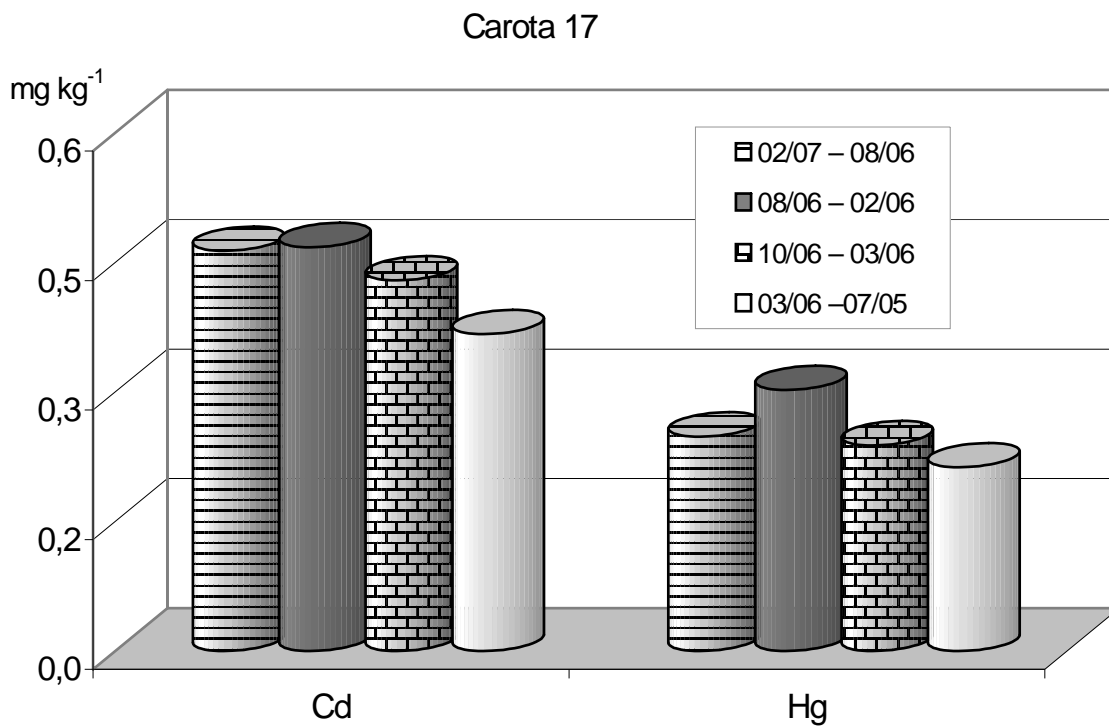


Fig. 3.2.8. Concentrazione di cadmio e mercurio nel Bacino di Pallanza (carota 17)

Andamento decrescente anche per il cadmio e il mercurio nella stazione 13 (Fig. 3.2.6) dove si osservano anche i valori più bassi; andamenti meno uniformi e valori più alti nelle altre due stazioni (Fig. 3.2.7 e 3.2.8) dove le concentrazioni di mercurio sono ancora superiori al valore soglia (TEC = 0,18 mg kg⁻¹).

L'andamento pluriennale (2000-2006) del mercurio nei sedimenti della Baia di Pallanza evidenzia come i massimi di concentrazione si registrano in corrispondenza degli eventi di piena importanti come quello del 2000, ma anche del 2002 e del 2004 e quindi seguano l'andamento della portata del Fiume Toce (Fig. 3.2.2). Questo andamento è maggiormente evidente nelle stazioni litorali (13 e 17) di fronte a Baveno e Pallanza, dove si deposita preferenzialmente materiale fine e ricco di sostanza organica ed è quindi anche sito di accumulo del mercurio piuttosto che nella stazione direttamente influenzata dal Toce (16) dove si deposita il materiale alloctono più grossolano. Le variazioni del mercurio in questa ultima stazione sono più contenute anche perché le concentrazioni di mercurio si diluiscono sul totale della quantità trasportata rispetto alla zona a sedimentazione minore e più lenta, come si può verificare in termini di flusso (CIPAIS 2004).

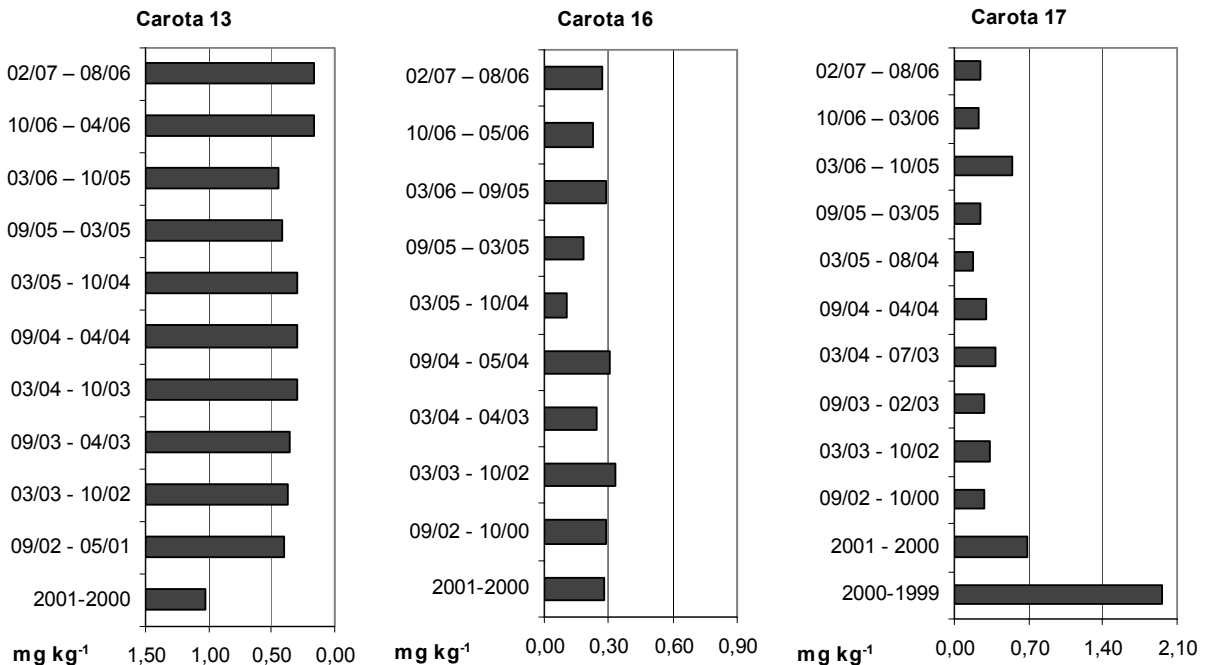


Fig. 3.2.9. Andamento pluriennale (2000-2006) di mercurio nei sedimenti del Bacino di Pallanza.

3.2.3. Composti organoclorurati nel lago (asse N-S)

I dati relativi alle tre carote analizzate lungo l'asse principale del lago sono riportati nella Tabella 3.2.3 e in Fig. 3.2.10. Da Nord a Sud le stazioni campionate sono: Brissago (30B), Ghiffa (32B) e Ispra (27). La carota 30B, campionata nel bacino nord del Lago Maggiore, è caratterizzata da una minore contaminazione rispetto alla rimanente parte del lago, ma si evidenzia un continuo aumento del DDT totale negli anni più recenti (CIPAIS, 2002; 2003; 2004; 2005; 2006) tale per cui la sezione più superficiale della carota 30B è caratterizzata da un contenuto di DDT totale simile a quella della carota 52 raccolta nel bacino centrale (v. Cap. 3.1). Tale andamento è in accordo con quanto rilevato nella carota campionata nel giugno 2001 (CIPAIS, 2002), in cui i livelli maggiori di DDT si osservavano

agli inizi degli anni '90 e negli anni 1998-2001 in conseguenza della piena del 2000, evidenziando come la contaminazione del Bacino di Pallanza abbia raggiunto per effetto delle correnti anche il bacino Nord del lago attraverso la deposizione di particolato fini inquinate. In questa carota sono prevalenti i metaboliti pp'DDD e pp'DDE rispetto al composto parentale pp'DDT, come già precedentemente evidenziato (CIP AIS, 2002; 2003; 2004; 2005).

Tab. 3.2.3. Concentrazioni (ng g⁻¹) dei composti organoclorurati nei campioni dell'asse Nord-Sud.

Campionamento	Carota 30B ottobre 2006		Carota 52 ottobre 2006		Carota 27 ottobre 2006		
	Sezione (cm)	0,2-0,4	0-0,2	0,25-0,5	0-0,25	0,2-0,4	0-0,2
	Periodo	03/06-07/05	10/06-03/06	03/06 - 09/05	10/06 - 03/06	04/05-05/04	10/06-04/05
op'DDT	0,21	0,44	0,78	1,39	1,03	1,17	
pp'DDT	2,40	2,71	7,99	11,37	7,56	9,08	
op'DDE	0,87	1,03	2,06	2,53	5,48	6,68	
pp'DDE	3,16	7,20	7,88	9,79	18,68	23,17	
op'DDD	1,23	4,42	4,20	5,39	6,63	7,59	
pp'DDD	3,89	10,44	9,43	16,28	12,05	15,73	
DDT Tot.	11,76	26,24	32,33	46,74	51,44	63,42	
Alfa-HCH	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Beta-HCH	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Gamma-HCH	0,44	0,98	0,24	0,81	0,15	0,27	
Delta-HCH	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
HCH Tot.	0,44	0,98	0,24	0,81	0,15	0,27	
HCB	0,49	0,57	1,34	1,93	0,92	0,81	
t-eptacloro	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
dieldrin	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
metoxiclor	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
mirex	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Totale	0,49	0,57	1,34	1,93	0,92	0,81	
PCB 18	<0,05	<0,05	0,86	1,05	<0,05	<0,05	
PCB 28	<0,05	<0,05	1,04	0,45	<0,05	<0,05	
PCB 31	<0,05	<0,05	0,34	0,23	<0,05	<0,05	
PCB 44	0,55	0,98	1,26	1,16	<0,05	0,99	
PCB 52	0,40	0,36	0,61	0,47	<0,05	0,51	
PCB 101	1,00	1,44	3,25	3,16	<0,05	2,10	
PCB 149	0,83	1,35	1,70	1,25	1,95	1,29	
PCB 118	1,01	1,34	1,35	1,25	1,35	<0,05	
PCB 153	2,49	2,62	1,91	2,33	2,78	1,93	
PCB 138	1,01	1,28	1,36	2,09	<0,05	1,92	
PCB 180	0,48	0,76	0,62	0,86	2,03	1,05	
PCB 170	0,21	0,42	0,38	0,33	<0,05	0,60	
PCB 194	0,12	<0,05	0,11	0,14	1,33	0,12	
PCB Tot.	8,11	10,54	14,78	14,77	9,44	10,51	

Tale considerazione porta a concludere che non vi siano fonti locali di contaminazione, ma che si tratta del trasporto di particolato inquinato di origine non recente, probabilmente già parzialmente sottoposto a fenomeni di degradazione. La contaminazione da altri insetticidi organoclorurati è invece trascurabile; i valori di PCB totali sono compresi tra 8 e 10 ng g⁻¹, molto simili a quelli osservati nelle altre stazioni.

Per la carota 52, campionata al posto della 32B nel bacino centrale, alla massima profondità, le due sezioni di sedimento analizzate evidenziano una maggiore contaminazione da DDT nella sezione più superficiale, indicando un fenomeno di sequestro in questa parte

profonda del lago. Anche, in questa carota è prevalente il metabolita pp'DDD rispetto al composto parentale pp'DDT, come già precedentemente evidenziato (CIPAIS, 2002; 2003; 2004;2005). La contaminazione da altri insetticidi organoclorurati è invece trascurabile e quella da PCB è inferiore ai 15 ng g⁻¹ come osservato anche in passato.

Per la carota 27 che appartiene al Bacino Sud del Lago Maggiore, la contaminazione risulta essere maggiore rispetto a quella dei bacini Nord e Centrale (Fig. 3.2.10); sono principalmente presenti i metaboliti pp'DDD e pp'DDE rispetto al composto parentale pp'DDT. La contaminazione da altri insetticidi organoclorurati è invece trascurabile e quella da PCB è inferiore a 11 ng g⁻¹.

In un'ideale asse Nord-Sud l'andamento delle concentrazioni totali di DDT è il seguente: 26 ng g⁻¹ (30B) → 46 ng g⁻¹ (52) → 63 ng g⁻¹ (27), con un arricchimento nelle sezioni recenti pari a 1 → 1,8 → 2,4 passando da Nord a Sud.

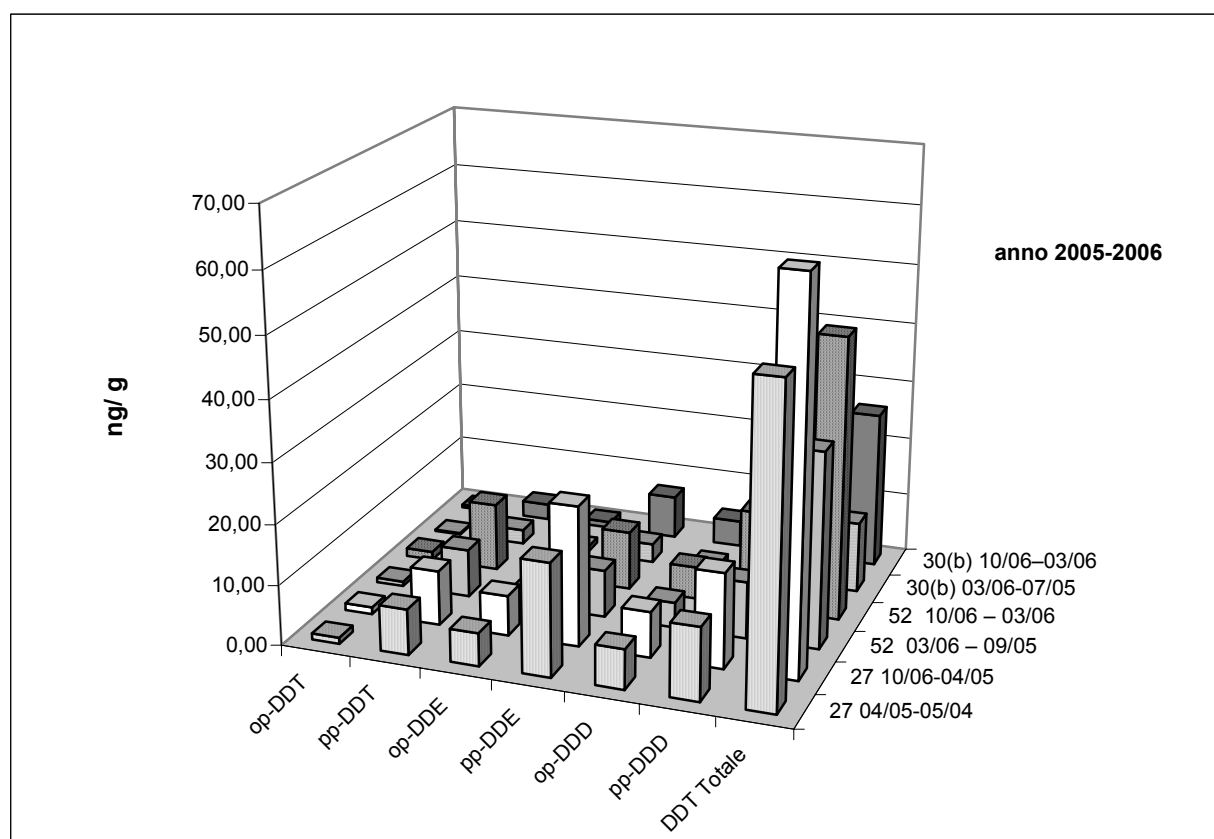


Fig. 3.2.10. Valori di DDT e dei suoi isomeri e metaboliti nei campioni dell'asse Nord-Sud.

Considerando i risultati ottenuti nei sei anni di campionamento (Fig. 3.2.11) (CIPAIS, 2002; 2003; 2004; 2005; 2006) sono evidenti gli apporti delle piene negli anni 2000, 2002 e 2004 con picchi di contaminazione nei sedimenti raccolti nei mesi successivi, in particolare la piena del 2000 e quella del 2004 hanno interessato le stazioni 32 e 27; quella del 2002 la stazione 27.

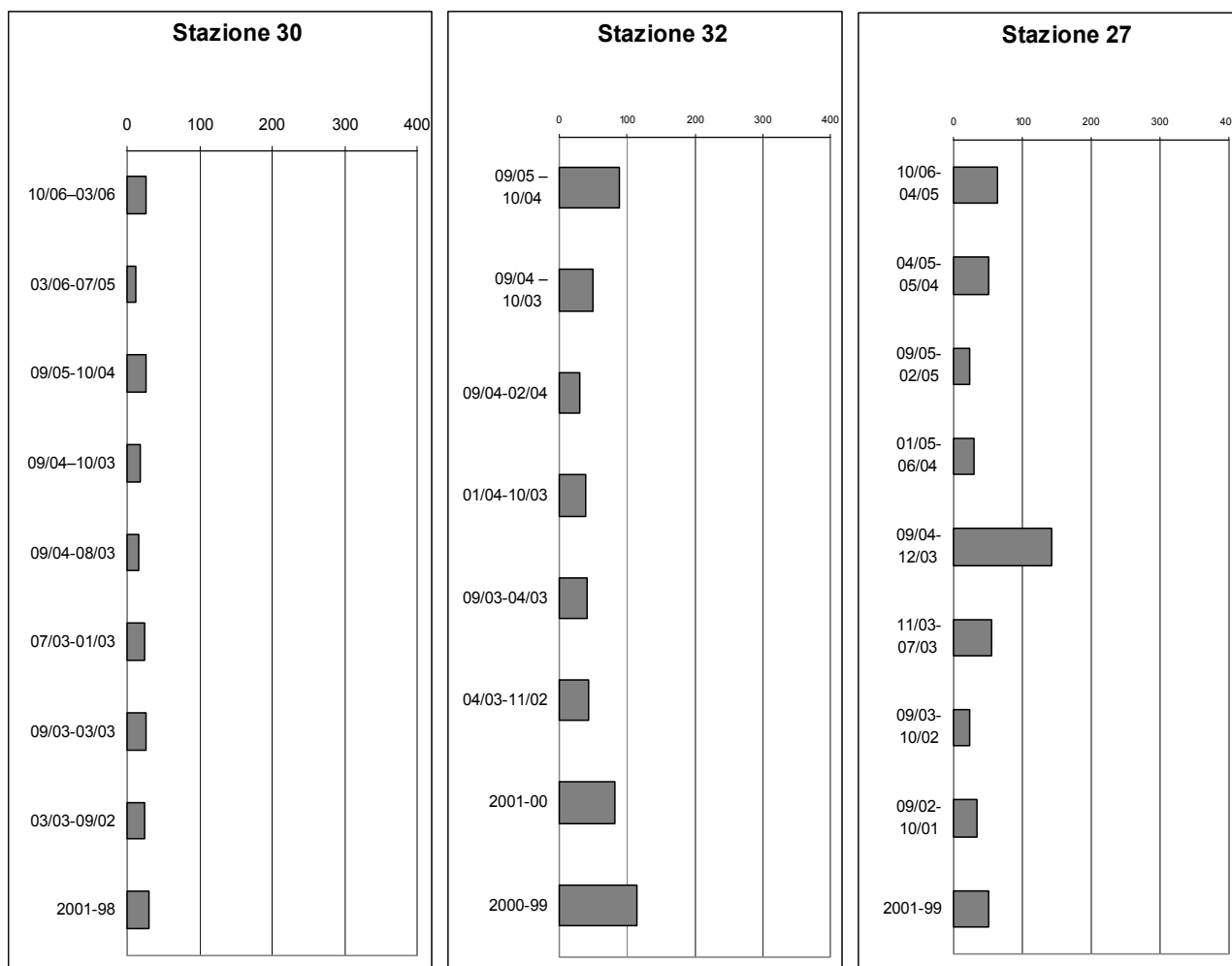


Fig. 3.2.11. Valori di DDT totale nelle stazioni dell'asse Nord-Sud.

3.2.4. Metalli lungo l'asse Nord-Sud del lago

Le concentrazioni di arsenico, cadmio, rame e mercurio determinate nelle sezioni superficiali delle carote raccolte lungo l'asse Nord-Sud sono riportate nella Tabella 3.2.4, insieme ai livelli degli stessi metalli analizzati nelle sezioni corrispondenti a periodi precedenti.

Tab. 3.2.4. Concentrazioni dei metalli in mg kg⁻¹ nei sedimenti del lago (asse N-S).

Campionamento	Carota N°	Sezione (cm)	Periodo	As mg kg ⁻¹	Cd mg kg ⁻¹	Cu mg kg ⁻¹	Hg mg kg ⁻¹
ottobre 2006	30B	0 - 0,2	10/06 - 03/06	57,6	0,714	47,7	0,106
		0,2 - 0,4	03/06 - 07/05	32,5	0,848	48,9	0,102
ottobre 2006	52	0 - 0,50	10/06 - 09/05	25,0	0,730	41,3	0,328
		0,50 - 0,75	09/05 - 02/05	36,0	0,848	62,5	0,357
ottobre 2006	27	0 - 0,2	10/06 - 04/05	81,4	1,165	76,0	0,492
		0,2 - 0,4	04/05 - 05/04	61,2	1,074	67,8	0,530

Per la stazione di Brissago (30B) nel bacino settentrionale, il primo strato di sedimento corrisponde alla sedimentazione di circa 7 mesi (marzo 2006 –ottobre 2006), mentre per la stazione di Ghiffa (52) e di Ispra (27) nel bacino centrale e meridionale il primo strato riportato in Tabella 3.2.4. corrisponde a oltre un anno. E’da notare inoltre che nella stazione di Ghiffa nel bacino centrale la carota campionata (carota 52) nell’ottobre 2006 non è confrontabile con la carota 32B utilizzata negli anni precedenti.

In generale si osserva che per il mercurio le concentrazioni vanno da valori più bassi nella zona settentrionale ($Hg = 0,106 \text{ mg kg}^{-1}$) a valori intermedi nella parte centrale ($Hg = 0,328 \text{ mg kg}^{-1}$) a valori massimi ($Hg = 0,492 \text{ mg kg}^{-1}$) nella zona meridionale, tuttavia il dato del bacino centrale è molto distante da quello precedentemente registrato in questa stazione.

Per arsenico, cadmio e rame i valori massimi si osservano vicino all’emissario nel bacino meridionale ($As = 81,4$; $Cd = 1,165$ e $Cu = 76 \text{ mg kg}^{-1}$), mentre nelle altre due stazioni questi due elementi presentano dati molto simili ($0,714$ e $0,730 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Cd}$; e $47,7$ e $41,3 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Cu}$), mentre i valori di arsenico nel Bacino Nord sono almeno il doppio di quelli della stazione di Ghiffa ($57,6$ e $25,0 \text{ mg kg}^{-1}$).

Questi dati confermano per il 2006 la prevalenza di una minore contaminazione nella zona nord (Brissago, carota 30B) rispetto a quella meridionale, per tutte e quattro gli elementi anche se i livelli di cadmio e arsenico non sono irrilevanti (Tabella 3.2.4 e Fig. 3.2.12 e 3.2.13). Da un confronto con gli strati più profondi non si osserva un andamento univoco per tutti gli elementi. Il cadmio è in diminuzione nel bacino nord e centrale, ma più alto nel bacino meridionale ove anche arsenico e rame sono in aumento, mentre il mercurio è in calo. Nel bacino nord sono relativamente costanti i dati di rame e mercurio.

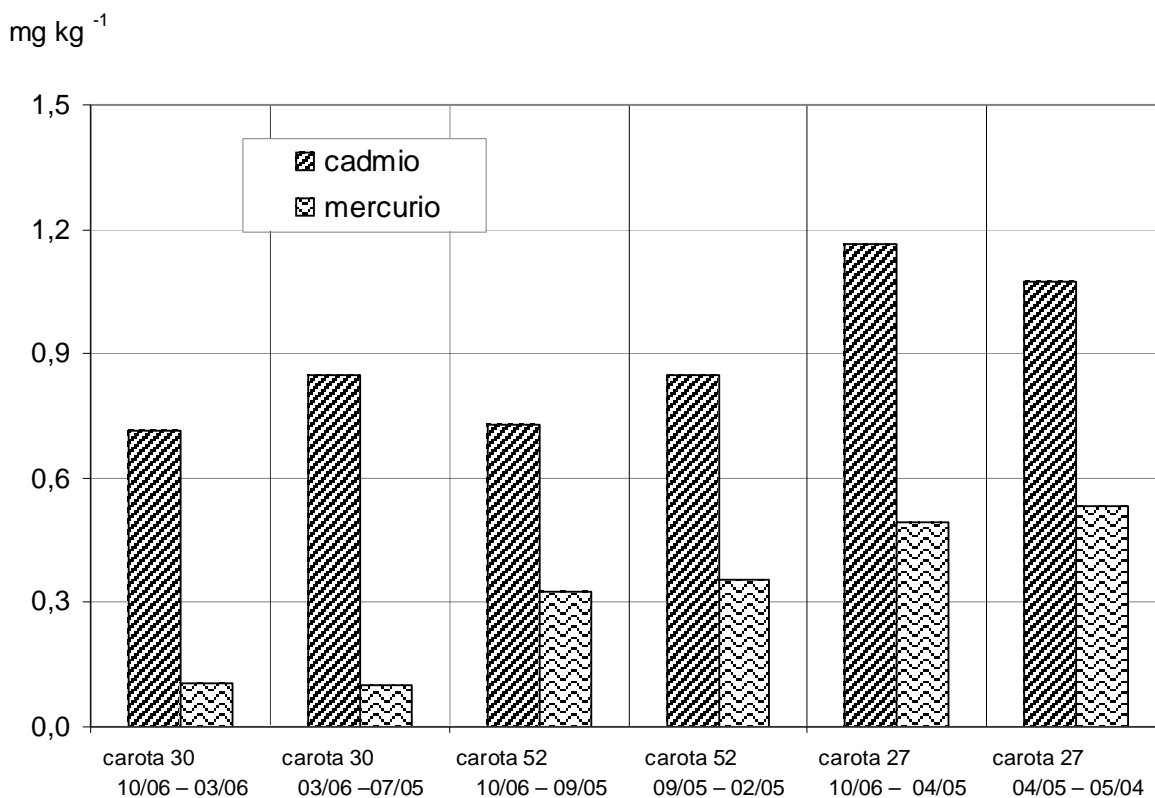


Fig. 3.2.12. Concentrazioni di cadmio e mercurio lungo l’asse Nord-Sud.

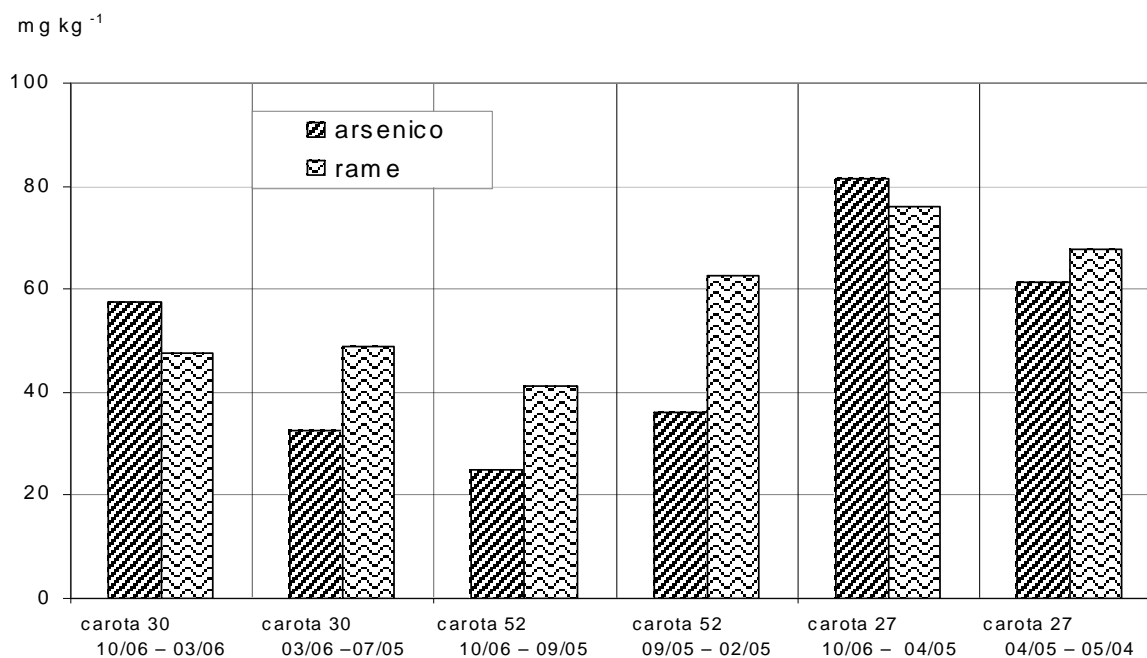


Fig. 3.2.13. Concentrazioni di rame e arsenico lungo l'asse Nord-Sud.

Se si considera invece l'andamento pluriennale (2000- 2006) dei contaminanti metallici nelle tre stazioni (Fig. 3.2.14) arsenico e rame sono relativamente costanti nel bacino nord e centrale e le loro concentrazioni registrano dei picchi in corrispondenza di eventi idrologici di piena del Toce come quella del 2000, mentre nella stazione di Ispra (carota 27) si osservano dei massimi probabilmente legati al trasporto dei contaminanti insieme al materiale in direzione dell'emissario con un certo ritardo temporale di almeno un anno rispetto agli eventi sopra descritti. Le concentrazioni di rame sono relativamente costanti e uniformi su tutto il bacino, mentre quelle dell'arsenico sembrano indicare la diversa contaminazione ed origine dai diversi sottobacini.

Gli andamenti del cadmio sembrano registrare queste variazioni di concentrazione nei sedimenti in funzione del regime idrologico del Toce e non si osservano trend in diminuzione o in crescita in nessuno dei tre bacini (Fig. 3.2.15). Mentre per il mercurio gli andamenti nelle tre stazioni suggeriscono, oltre ai massimi dovuti agli eventi di piena, delle differenze anche di distribuzione areale con valori più alti nel bacino centrale e meridionale proporzionali all'entità dell'evento, e alla tessitura e alla composizione del materiale sedimentato su cui si adsorbe e si lega preferenzialmente. Anche nel bacino settentrionale si registrano delle variazioni temporali nelle concentrazioni di mercurio, ma sono più contenute e in relazione al regime idrologico; tuttavia in questa parte del lago i valori osservati sembrano suggerire una contaminazione diffusa legata principalmente alle modalità di trasporto del mercurio e alle sue proprietà chimico-fisiche.

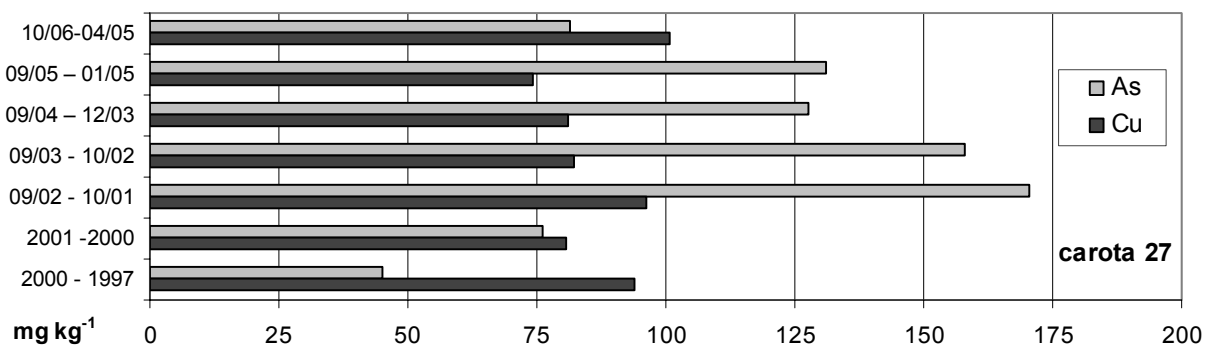
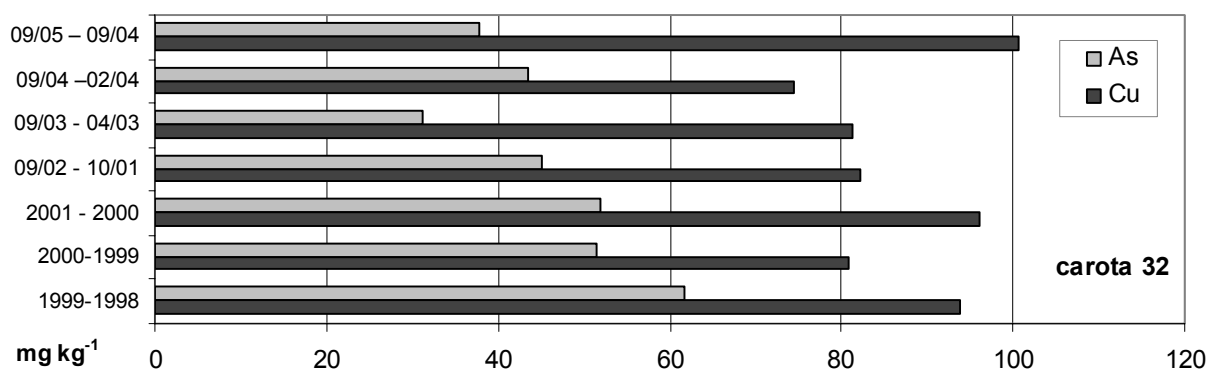
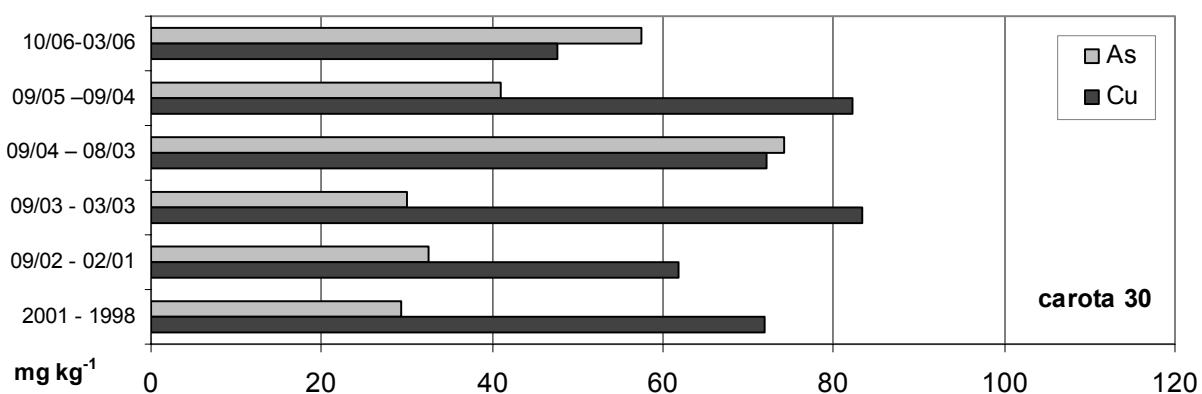


Fig. 3.2.14. Andamento pluriennale (1999-2006) di rame e arsenico nei sedimenti nelle tre stazioni lungo l'asse Nord-Sud.

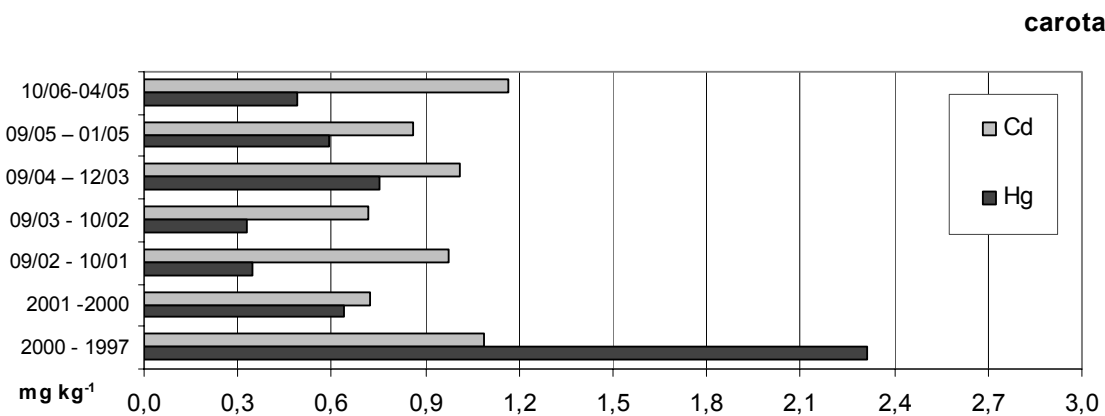
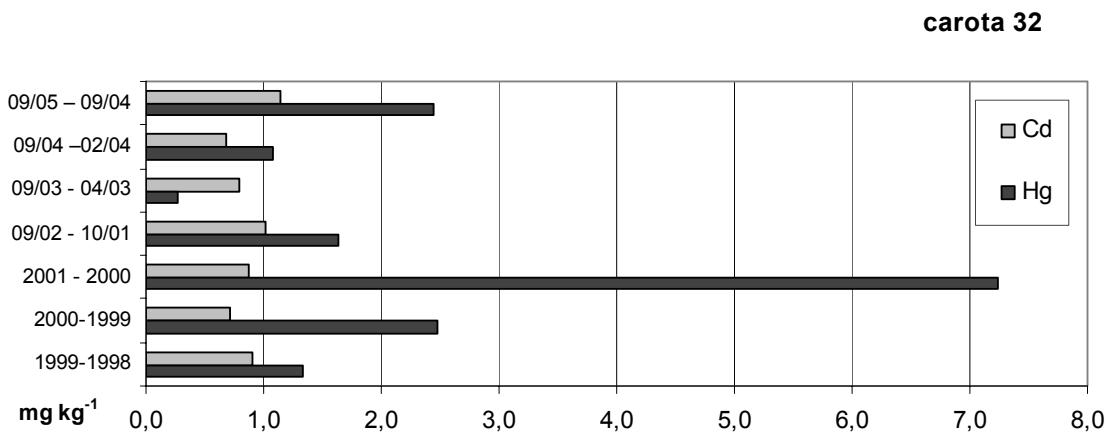
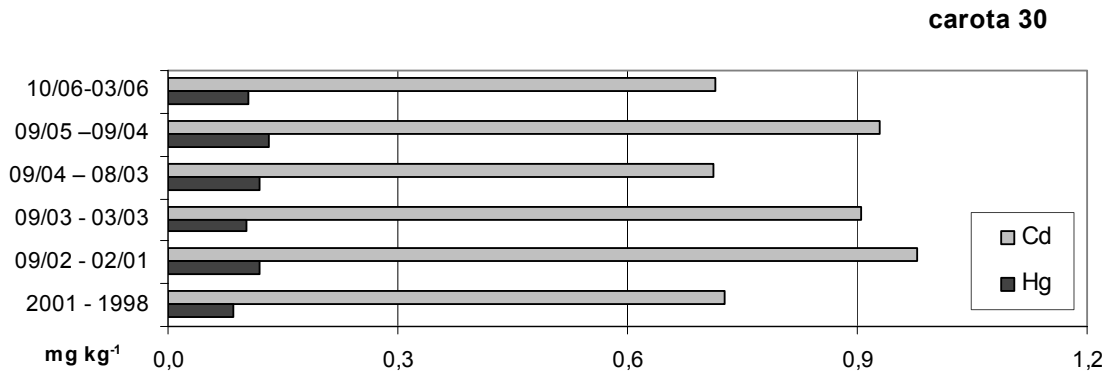


Fig. 3.2.15. Andamento pluriennale (1999-2006) di cadmio e mercurio nei sedimenti nelle tre stazioni lungo l'asse Nord-Sud.

Bibliografia

- CIP AIS. 1999. *Ricerche sulla distribuzione e gli effetti del DDT nell'ecosistema Lago Maggiore*. Rapporto finale sui risultati delle indagini, 81 pp.
- CIP AIS. 2002. *Monitoraggio della presenza di DDT ed altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore*. Rapporto Annuale Aprile 2001- Marzo 2002, 89 pp.

- CIP AIS. 2003. *Monitoraggio della presenza di DDT ed altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore. Rapporto Annuale Aprile 2002- Marzo 2003*, 68 pp.
- CIP AIS 2004 *Monitoraggio della presenza di DDT ed altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore. Rapporto Annuale Aprile 2003 – Marzo 2004*, 78 pp.
- CIP AIS 2005 *Monitoraggio della presenza di DDT ed altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore. Rapporto Annuale Aprile 2004 – Marzo 2005*, 76 pp.
- CIP AIS 2006 *Monitoraggio della presenza di DDT ed altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore. Rapporto Annuale Aprile 2005 – Marzo 2006*, 76 pp.
- Camusso M., S. Galassi & D. Vignati. 2002. Assessment of River Po sediment quality by micropollutant analysis. *Water Research*, 36: 2491-2504.
- CIP AIS 2004 (a cura di M. Camusso e G. Borsani). *Indagine conoscitiva sui livelli di mercurio nei comparti ambientali del Lago Maggiore*, 71 pp.

4. INDAGINI SUI SEDIMENTI DEI TRIBUTARI

Sono stati condotti i quattro campionamenti previsti per i tributari Maggia, Verzasca, Margorabbia, Tresa, Toce e per il Ticino emissario nei mesi di aprile, luglio, ottobre 2006 e gennaio 2007 rispettando la scadenza prevista trimestrale. Sono stati, inoltre, campionati i fiumi Boesio e Bardello, nell'ambito del contratto CIP AIS *Monitoraggio DDT e PCB nei sedimenti fluviali dei fiumi Boesio e Bardello*, con le stesse scadenze degli altri tributari del lago.

Nell'anno considerato i regimi dei fiumi sono stati in molti casi in regime di morbida come nel aprile e ottobre 2006 e nel gennaio 2007; il periodo di magra è stato quello relativo al campionamento di luglio 2006 (Tabella 4.1); soltanto nel mese di aprile e ottobre 2006 la portata è stata in alcuni casi in piena o in morbida/piena. Il Fiume Verzasca risulta essere quasi sempre in regime di morbida, in quanto la sua portata è regolata dalla società Verzasca SA che utilizza le acque del fiume a scopo idroelettrico; tuttavia nell'ottobre 2006 si è verificato un eccezionale evento di piena del fiume, per la prima volta nei sei anni considerati di campionamento.

I campioni di sedimento fluviale sono stati raccolti nelle stazioni relative alla foce dei fiumi Maggia, Verzasca, Margorabbia, Tresa, Boesio, Bardello, Toce e nel Ticino emissario, in uscita dal Lago Maggiore. I campioni sono stati liofilizzati e la frazione fine del sedimento (<0,05 mm) è stata analizzata per il contenuto in carbonio organico e la presenza di composti organoclorurati.

Per quanto riguarda il carbonio organico (Tabella 4.1), il Maggia e il Tresa sono i fiumi caratterizzati dai valori più contenuti ($1,23 \pm 0,82$ % e $1,85 \pm 1,06$ %, rispettivamente), mentre la Verzasca, il Boesio e il Bardello presentano i valori più elevati ($6,13 \pm 3,21$, $4,20 \pm 3,71$, $4,13 \pm 1,54$ rispettivamente). Esistono evidenti variazioni del contenuto di carbonio organico tra i vari campionamenti e i fiumi Verzasca e Boesio sono quelli che presentano le maggiori variazioni stagionali.

Tab. 4.1. Regimi dei fiumi al momento del campionamento e percentuale di carbonio organico nella frazione granulometrica del sedimento <0,05 mm.

<i>Fiumi</i>	<i>aprile 2006</i>	<i>luglio 2006</i>	<i>ottobre/novembre 2006</i>	<i>gennaio 2007</i>
Toce	<i>Morbida</i>	<i>Magra</i>	<i>Morbida</i>	<i>Morbida</i>
Tresa	<i>Morbida/Piena</i>	<i>Morbida</i>	<i>Morbida</i>	<i>Morbida/Piena</i>
Ticino emissario	<i>Morbida</i>	<i>Magra</i>	<i>Morbida</i>	<i>Morbida</i>
Margorabbia	<i>Morbida/Piena</i>	<i>Morbida</i>	<i>Morbida</i>	<i>Morbida</i>
Maggia	<i>Morbida/Piena</i>	<i>Magra/Morbida</i>	<i>Morbida/Piena</i>	<i>Morbida</i>
Verzasca	<i>Morbida</i>	<i>Morbida</i>	<i>Piena</i>	<i>Morbida</i>
Boesio	<i>Morbida</i>	<i>Magra</i>	<i>Morbida</i>	<i>Morbida</i>
Bardello	<i>Morbida</i>	<i>Magra</i>	<i>Morbida</i>	<i>Morbida</i>
Toce	2,0	3,2	0,6	2,5
Tresa	3,1	1,5	0,6	2,2
Ticino emissario	4,8	2,1	1,6	3,0
Margorabbia	5,3	1,1	1,4	2,5
Maggia	0,9	2,4	0,5	1,1
Verzasca	6,9	1,4	7,8	8,4
Boesio	7,6	1,4	0,6	7,2
Bardello	4,0	5,8	4,6	2,1

L'analisi dei composti organoclorurati (OCs) è riportata nelle Tabelle da 4.2 a 4.9. Il Fiume Maggia (Tabella 4.2) è senz'altro da considerare come il meno contaminato, per quanto concerne i composti organoclorurati. I composti DDT, HCH e HCB sono caratterizzati da valori di fondo, generalmente inferiori a 1 ng g^{-1} . Anche per quanto attiene i PCB, i valori totali si attestano tra $0,3$ e $2,2 \text{ ng g}^{-1}$, i risultati sono in linea con gli anni precedenti. Esprimendo i risultati normalizzati rispetto al contenuto in carbonio organico, le concentrazioni di DDT, HCH e HCB si confermano pari ai valori di fondo: $< 0,05 \text{ ng mg}^{-1}$ e quelle dei PCB sono comprese tra $0,02$ e $0,3 \text{ ng mg}^{-1}$ e quindi sono sostanzialmente vicine ai valori di fondo. Il fiume risulta quindi essere incontaminato come nel passato per il DDT e PCB.

Per quanto riguarda la Verzasca (Tabella 4.3) i quattro campionamenti eseguiti evidenziano una elevata contaminazione da DDT e PCB rispetto a quella del Fiume Maggia. La presenza del pp'DDT sottolinea l'origine recente del fenomeno di contaminazione da DDT, che potrebbe probabilmente essere imputabile al trasporto atmosferico di questo composto attraverso i venti che principalmente hanno direzione sud-nord. Esprimendo i risultati rispetto al carbonio organico, i valori di DDT totale si attestano tra $0,05$ e $0,2 \text{ ng mg}^{-1}$, valori più contenuti rispetto al passato, ma sempre relativamente più elevati di quelli del Fiume Maggia. I valori di PCB sono molto variabili, da 1 a 40 ng g^{-1} , tuttavia normalizzandoli rispetto al carbonio organico, risultano compresi tra $0,03$ e $0,5 \text{ ng mg}^{-1}$; l'arricchimento di questo fiume in carbonio organico aumenta quindi la sua capacità di accumulare gli inquinanti organici organoclorurati.

Per quanto concerne il Margorabbia (Tabella 4.4) si osserva una modesta contaminazione da composti organoclorurati compresa tra 1 e 2 ng g^{-1} per DDT e tra 2 e 4 ng g^{-1} per i PCB. Tale contaminazione è molto ridotta anche normalizzando le concentrazioni rispetto al contenuto in carbonio organico (valori pari a $0,02$ - $0,06 \text{ ng mg}^{-1}$).

Per il Fiume Tresa (Tabella 4.5) la contaminazione da DDT e altri insetticidi risulta anche in questo caso modesta e quella da PCB è contenuta tra 2 e 5 ng g^{-1} , in accordo con quanto evidenziato negli anni precedenti (CIP AIS, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006).

Per il Fiume Toce (Tabella 4.6) è evidente, anche se sostanzialmente in calo rispetto agli anni passati, la contaminazione da DDT con una prevalente presenza di pp'DDT, ad eccezione del campione raccolto nell'aprile 2006; le concentrazioni totali sono comprese in un intervallo di valori tra 3 e 22 ng g^{-1} . Se normalizzate rispetto al contenuto di carbonio organico le concentrazioni di DDT osservate risultano maggiori rispetto agli altri fiumi considerati, comprese tra $0,2$ e $1,3 \text{ ng mg}^{-1}$, in quanto il contenuto di carbonio organico di questo fiume è scarso. La contaminazione degli altri composti organoclorurati è risultata modesta, ad eccezione del contenuto totale di PCB del campione raccolto nel gennaio 2007.

I campioni di sedimento del Ticino emissario (Tabella 4.7) evidenziano in questo anno una contaminazione non trascurabile da DDT, compresa tra 1 e 13 ng g^{-1} che, normalizzando rispetto al carbonio organico, si contiene in valori compresi tra $0,1$ e $0,4 \text{ ng mg}^{-1}$, quindi molto più contenuta. Per quanto concerne i PCB, i livelli sono sempre non trascurabili e variano da 2 a 30 ng g^{-1} con un picco osservato nel campionamento di aprile 2006. Anche in questo caso si conferma la contaminazione di questo fiume, anche se con elevate variazioni temporali. La contaminazione da PCB non è tuttavia da imputare al Fiume Toce ma va ricercata in altri fonti di contaminazione come: presenza di fonti locali quali immissioni dirette nelle acque del lago da aree industriali o impianti di depurazione; contributi di altri immissari del Lago Maggiore, quali il Bardello e il Boesio; fenomeni di trasporto ed erosione di particolato contaminato derivante dalla parte più a sud del lago che confluiscono verso l'emissario. Quest'ultima ipotesi sarebbe confermata anche dai risultati delle analisi condotte sulla carota 28 raccolta nella parte più a sud del lago nel giugno 2001 (CIP AIS, 2002).

Tab. 4.2. Concentrazione dei principali composti organoclorurati nei sedimenti fluviali del F. Maggia.

	<i>aprile 2006</i>	<i>luglio 2006</i>	<i>ottobre 2006</i>	<i>gennaio 2007</i>	<i>aprile 2006</i>	<i>luglio 2006</i>	<i>ottobre 2006</i>	<i>gennaio 2007</i>
DDT isomeri e metaboliti	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
op-DDT	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
pp-DDT	<0,01	<0,01	0,06	<0,01	<0,001	<0,001	0,005	<0,001
op-DDE	<0,01	<0,01	<0,01	0,38	<0,001	<0,001	<0,001	0,052
pp-DDE	<0,01	0,11	0,12	0,49	<0,001	0,007	0,009	0,067
op-DDD	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
pp-DDD	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
DDT totale	-	0,11	0,18	0,87	-	0,007	0,014	0,119
Lindano ed isomeri	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
α-HCH	0,10	<0,01	<0,01	<0,01	0,010	<0,001	<0,001	<0,001
β-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
γ-HCH	<0,01	0,09	<0,01	<0,01	<0,001	0,005	<0,001	<0,001
δ-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
HCH totale	0,10	0,09	-	-	0,010	0,005	-	-
HCB e pesticidi organoclorurati	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
HCB	0,03	0,02	0,04	0,08	0,003	0,001	0,003	0,011
T-eptacloro	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,001	<0,001	0,003	<0,001
Endrin	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Metoxyclor	0,38	<0,01	<0,01	<0,01	0,039	<0,001	<0,001	<0,001
Mirex	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
totale	0,41	0,02	0,07	0,08	0,042	0,001	0,005	0,011
PCB	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
PCB 18	<0,01	<0,01	<0,01	0,12	<0,001	<0,001	<0,001	0,016
PCB 28	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,001	<0,001	<0,001	0,004
PCB 31	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,001	<0,001	<0,001	0,004
PCB 52	<0,01	<0,01	0,15	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PCB 44	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	<0,001	<0,001	<0,001	0,011
PCB 101	<0,01	0,12	<0,01	0,53	<0,001	0,007	<0,001	0,073
PCB 149	0,25	0,10	<0,01	0,06	0,026	0,006	<0,001	0,008
PCB 118	<0,01	<0,01	<0,01	0,89	<0,001	<0,001	<0,001	0,121
PCB 153	0,24	0,28	<0,01	0,12	0,025	0,017	<0,001	0,016
PCB 138	0,30	0,30	<0,01	0,08	0,031	0,017	<0,001	0,010
PCB 180	<0,01	0,01	0,11	0,13	<0,001	0,001	0,008	0,017
PCB 170	0,15	0,15	0,05	0,08	0,015	0,009	0,004	0,011
PCB 194	0,03	0,04	<0,01	0,04	0,003	0,002	<0,001	0,006
PCB totale	0,97	1,00	0,31	2,19	0,100	0,058	0,024	0,298

Tab. 4.3. Concentrazione dei principali composti organoclorurati nei sedimenti fluviali del F. Verzasca.

	<i>aprile 2006</i>	<i>luglio 2006</i>	<i>ottobre 2006</i>	<i>gennaio 2007</i>	<i>aprile 2006</i>	<i>luglio 2006</i>	<i>ottobre 2006</i>	<i>gennaio 2007</i>
DDT isomeri e metaboliti	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
op-DDT	1,61	2,08	<0,01	0,78	0,019	0,025	<0,001	0,020
pp-DDT	2,06	8,02	0,41	1,45	0,024	0,097	0,019	0,038
op-DDE	<0,01	0,18	<0,01	<0,01	<0,001	0,002	<0,001	<0,001
pp-DDE	10,51	2,65	0,55	1,52	0,122	0,032	0,025	0,039
op-DDD	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,001	0,000	<0,001	<0,001
pp-DDD	1,42	1,72	<0,01	0,22	0,017	0,021	<0,001	0,006
DDT totale	15,60	14,69	0,96	3,96	0,181	0,177	0,044	0,103
Lindano ed isomeri	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
α-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
β-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
γ-HCH	<0,01	0,05	<0,01	<0,01	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
δ-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	0,24	<0,001	<0,001	<0,001	0,006
HCH totale	-	0,05	-	0,24	-	0,001	-	0,006
HCB e pesticidi organoclorurati	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
HCB	0,43	0,09	0,03	0,26	0,005	0,001	0,001	0,007
T-εptacloro	<0,01	0,11	0,03	<0,01	<0,001	0,001	0,002	<0,001
Endrin	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Metoxyclor	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mirex	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
totale	0,43	0,20	0,06	0,26	0,005	0,002	0,003	0,007
PCB	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
PCB 18	<0,01	0,05	<0,01	0,20	<0,001	0,001	<0,001	0,005
PCB 28	<0,01	<0,01	<0,01	0,15	<0,001	<0,001	<0,001	0,004
PCB 31	<0,01	<0,01	<0,01	0,13	<0,001	<0,001	<0,001	0,003
PCB 52	<0,01	0,21	0,05	0,34	<0,001	0,003	0,002	0,009
PCB 44	<0,01	0,06	0,03	0,18	<0,001	0,001	0,001	0,005
PCB 101	2,29	0,03	<0,01	0,79	0,027	<0,001	<0,001	0,020
PCB 149	4,22	1,25	0,09	0,27	0,049	0,015	0,004	0,007
PCB 118	7,46	0,60	<0,01	0,28	0,087	0,007	<0,001	0,007
PCB 153	9,17	2,71	0,16	0,67	0,107	0,033	0,007	0,017
PCB 138	10,19	2,68	<0,01	0,74	0,119	0,032	<0,001	0,019
PCB 180	4,04	0,01	0,18	0,53	0,047	<0,001	0,009	0,014
PCB 170	1,67	1,12	0,06	0,31	0,019	0,013	0,003	0,008
PCB 194	0,37	0,26	<0,01	<0,01	0,004	0,003	<0,001	<0,001
PCB totale	39,40	8,96	0,58	4,59	0,458	0,108	0,027	0,119

Tab. 4.4. Concentrazione dei principali composti organoclorurati nei sedimenti fluviali del F. Margorabbia.

	<i>aprile 2006</i>	<i>luglio 2006</i>	<i>ottobre 2006</i>	<i>gennaio 2007</i>	<i>aprile 2006</i>	<i>luglio 2006</i>	<i>ottobre 2006</i>	<i>gennaio 2007</i>
DDT isomeri e metaboliti	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
op-DDT	0,19	<0,01	0,20	<0,01	0,003	<0,001	0,004	<0,001
pp-DDT	1,26	0,22	0,75	0,77	0,020	0,004	0,013	0,014
op-DDE	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
pp-DDE	<0,01	0,53	0,71	0,62	<0,001	0,010	0,012	0,011
op-DDD	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
pp-DDD	<0,01	0,12	<0,01	<0,01	<0,001	0,002	<0,001	<0,001
DDT totale	1,45	0,89	1,65	1,38	0,023	0,016	0,029	0,025
Lindano ed isomeri	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
α-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
β-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	0,09	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
γ-HCH	<0,01	<0,01	0,12	<0,01	<0,001	<0,001	0,002	<0,001
δ-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
HCH totale	-	-	0,12	0,09	-	-	0,002	0,002
HCB e pesticidi organoclorurati	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
HCB	0,37	0,06	0,17	0,17	0,006	0,001	0,003	0,003
T-eptacloro	<0,01	<0,01	<0,01	0,10	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
Endrin	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Metoxyclor	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mirex	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
totale	0,37	0,06	0,17	0,27	0,006	0,001	0,003	0,005
PCB	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
PCB 18	<0,01	<0,01	<0,01	0,12	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
PCB 28	<0,01	0,12	<0,01	0,14	<0,001	0,002	<0,001	0,003
PCB 31	0,17	<0,01	<0,01	0,07	0,003	<0,001	<0,001	0,001
PCB 52	<0,01	0,20	0,29	0,16	<0,001	0,004	0,005	0,003
PCB 44	<0,01	0,09	0,10	0,06	<0,001	0,002	0,002	0,001
PCB 101	<0,01	0,29	0,55	0,44	<0,001	0,005	0,010	0,008
PCB 149	<0,01	0,18	0,28	0,25	<0,001	0,003	0,005	0,004
PCB 118	<0,01	0,40	0,35	0,92	<0,001	0,007	0,006	0,017
PCB 153	<0,01	0,47	0,61	0,34	<0,001	0,009	0,011	0,006
PCB 138	1,51	0,45	0,57	0,50	0,024	0,008	0,010	0,009
PCB 180	<0,01	0,43	0,33	0,31	<0,001	0,008	0,006	0,006
PCB 170	0,30	0,15	0,13	0,15	0,005	0,003	0,002	0,003
PCB 194	0,22	0,10	<0,01	<0,01	0,003	0,002	<0,001	<0,001
PCB totale	2,20	2,90	3,20	3,45	0,035	0,053	0,056	0,063

Tab. 4.5. Concentrazione dei principali composti organoclorurati nei sedimenti fluviali del F. Tresa.

	<i>aprile 2006</i>	<i>luglio 2006</i>	<i>ottobre 2006</i>	<i>gennaio 2007</i>	<i>aprile 2006</i>	<i>luglio 2006</i>	<i>ottobre 2006</i>	<i>gennaio 2007</i>
DDT isomeri e metaboliti	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
op-DDT	<0,01	<0,01	0,16	<0,01	<0,001	<0,001	0,006	<0,001
pp-DDT	0,42	0,25	0,31	0,49	0,009	0,007	0,012	0,025
op-DDE	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
pp-DDE	0,33	0,51	0,55	0,27	0,007	0,014	0,021	0,013
op-DDD	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,001	0,000	<0,001	<0,001
pp-DDD	<0,01	<0,01	0,12	0,70	<0,001	<0,001	0,005	0,035
DDT totale	0,74	0,78	1,14	1,46	0,016	0,021	0,044	0,073
Lindano ed isomeri	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
α-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
β-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
γ-HCH	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
δ-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
HCH totale	-	0,03	-	-	-	0,001	-	-
HCB e pesticidi organoclorurati	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
HCB	0,19	0,05	0,10	<0,01	0,004	0,001	0,004	<0,001
T-eptacloro	0,93	<0,01	<0,01	<0,01	0,020	<0,001	<0,001	<0,001
Endrin	<0,01	1,59	<0,01	<0,01	<0,001	0,042	<0,001	<0,001
Metoxyclor	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mirex	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
totale	1,13	1,64	0,10	-	0,025	0,043	0,004	-
PCB	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
PCB 18	<0,01	0,04	0,04	0,14	<0,001	0,001	0,002	0,007
PCB 28	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PCB 31	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PCB 52	<0,01	0,13	0,08	0,08	<0,001	0,003	0,003	0,004
PCB 44	<0,01	0,07	0,06	0,05	<0,001	0,002	0,002	0,003
PCB 101	<0,01	0,31	0,33	0,37	<0,001	0,008	0,013	0,018
PCB 149	<0,01	0,32	0,70	0,18	<0,001	0,008	0,027	0,009
PCB 118	<0,01	0,28	0,19	<0,01	<0,001	0,007	0,007	<0,001
PCB 153	0,68	0,58	0,89	0,33	0,015	0,015	0,034	0,017
PCB 138	0,45	0,52	0,70	0,33	0,010	0,014	0,027	0,016
PCB 180	0,43	0,58	0,91	0,36	0,009	0,015	0,035	0,018
PCB 170	0,17	0,23	0,41	0,15	0,004	0,006	0,016	0,007
PCB 194	0,11	0,08	0,17	0,07	0,002	0,002	0,007	0,004
PCB totale	1,83	3,14	4,49	2,06	0,040	0,083	0,173	0,103

Tab. 4.6. Concentrazione dei principali composti organoclorurati nei sedimenti fluviali del F. Toce.

	<i>aprile 2006</i>	<i>luglio 2006</i>	<i>ottobre 2006</i>	<i>gennaio 2007</i>	<i>aprile 2006</i>	<i>luglio 2006</i>	<i>ottobre 2006</i>	<i>gennaio 2007</i>
DDT isomeri e metaboliti	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
op-DDT	1,72	0,38	0,36	1,89	0,036	0,019	0,042	0,111
pp-DDT	0,69	1,91	2,65	10,25	0,015	0,096	0,306	0,603
op-DDE	0,93	0,25	<0,01	1,22	0,020	0,012	<0,001	0,072
pp-DDE	5,24	1,06	0,40	4,03	0,110	0,053	0,046	0,237
op-DDD	3,18	0,48	<0,01	1,53	0,067	0,024	<0,001	0,090
pp-DDD	2,23	1,36	<0,01	3,49	0,047	0,069	<0,001	0,205
DDT totale	14,00	5,45	3,41	22,40	0,295	0,274	0,394	1,318
Lindano ed isomeri	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
α-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
β-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
γ-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
δ-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	0,51	<0,001	<0,001	<0,001	0,030
HCH totale	-	-	-	0,51	-	-	-	0,030
HCB e pesticidi organoclorurati	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
HCB	0,57	0,17	0,07	0,37	0,012	0,008	0,008	0,021
T-eptacloro	0,28	<0,01	<0,01	<0,01	0,006	<0,001	<0,001	<0,001
Endrin	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Metoxyclor	0,89	<0,01	<0,01	<0,01	0,019	<0,001	<0,001	<0,001
Mirex	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
totale	1,74	0,17	0,07	0,37	0,037	0,008	0,008	0,021
PCB	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
PCB 18	0,08	<0,01	<0,01	<0,01	0,002	<0,001	<0,001	<0,001
PCB 28	<0,01	0,01	<0,01	0,23	<0,001	<0,001	<0,001	0,013
PCB 31	<0,01	<0,01	<0,01	0,10	<0,001	<0,001	<0,001	0,006
PCB 52	<0,01	0,16	0,07	0,51	<0,001	0,008	0,008	0,030
PCB 44	0,14	0,05	0,07	0,22	0,003	0,003	0,008	0,013
PCB 101	0,44	0,30	<0,01	3,48	0,009	0,015	<0,001	0,205
PCB 149	1,23	0,10	<0,01	2,26	0,026	0,005	<0,001	0,133
PCB 118	0,74	0,23	<0,01	2,17	0,016	0,011	<0,001	0,127
PCB 153	<0,01	0,36	<0,01	5,51	<0,001	0,018	<0,001	0,324
PCB 138	2,30	0,41	<0,01	3,53	0,049	0,021	<0,001	0,208
PCB 180	1,38	0,34	0,11	4,25	0,029	0,017	0,013	0,250
PCB 170	0,48	0,13	<0,01	1,20	0,010	0,007	<0,001	0,071
PCB 194	0,19	0,07	<0,01	0,18	0,004	0,003	<0,001	0,011
PCB totale	6,98	2,17	0,25	23,63	0,147	0,109	0,029	1,391

Tab. 4.7. Concentrazione dei principali composti organoclorurati nei sedimenti del F. Ticino emissario.

	<i>aprile 2006</i>	<i>luglio 2006</i>	<i>ottobre 2006</i>	<i>gennaio 2007</i>	<i>aprile 2006</i>	<i>luglio 2006</i>	<i>ottobre 2006</i>	<i>gennaio 2007</i>
DDT isomeri e metaboliti	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
op-DDT	1,34	0,25	0,07	1,49	0,038	0,038	0,038	0,028
pp-DDT	3,36	1,95	0,41	3,44	0,096	0,096	0,096	0,064
op-DDE	0,67	0,74	<0,01	<0,01	0,019	0,019	0,019	<0,001
pp-DDE	5,75	1,89	0,27	1,83	0,164	0,164	0,164	0,034
op-DDD	0,51	0,54	<0,01	<0,01	0,015	0,015	0,015	<0,001
pp-DDD	1,14	2,87	<0,01	0,40	0,033	0,033	0,033	0,007
DDT totale	12,75	8,23	0,75	7,16	0,365	0,365	0,365	0,132
Lindano ed isomeri	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
α-HCH	<0,01	0,01	<0,01	0,18	<0,001	<0,001	<0,001	0,003
β-HCH	0,08	0,02	<0,01	<0,01	0,002	0,001	<0,001	<0,001
γ-HCH	0,17	0,02	0,03	<0,01	0,005	0,001	0,001	<0,001
δ-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
HCH totale	0,25	0,06	0,03	0,18	0,007	0,002	0,001	0,003
HCB e pesticidi organoclorurati	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
HCB	0,30	0,38	0,04	0,53	0,009	0,011	0,001	0,010
T-eptacloro	<0,01	0,36	0,05	0,59	<0,001	0,011	0,002	0,011
Endrin	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Metoxyclor	0,54	<0,01	<0,01	<0,01	0,015	<0,001	<0,001	<0,001
Mirex	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
totale	0,84	0,75	0,09	1,12	0,024	0,022	0,003	0,021
PCB	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
PCB 18	<0,01	<0,01	<0,01	0,71	<0,001	<0,001	<0,001	0,013
PCB 28	<0,01	0,23	<0,01	0,74	<0,001	0,007	<0,001	0,014
PCB 31	<0,01	<0,01	<0,01	0,34	<0,001	<0,001	<0,001	0,006
PCB 52	<0,01	1,00	0,11	0,99	<0,001	0,029	0,003	0,018
PCB 44	0,36	0,52	0,05	0,57	0,010	0,015	0,002	0,011
PCB 101	3,08	0,05	0,65	1,52	0,088	0,001	0,020	0,028
PCB 149	4,98	1,78	0,38	0,57	0,142	0,052	0,012	0,011
PCB 118	4,48	3,89	0,52	1,14	0,128	0,114	0,016	0,021
PCB 153	<0,01	4,42	0,50	0,81	<0,001	0,130	0,015	0,015
PCB 138	10,29	4,92	<0,01	1,08	0,294	0,145	<0,001	0,020
PCB 180	2,83	2,18	0,32	0,02	0,081	0,064	0,010	0,000
PCB 170	1,13	1,00	0,14	0,28	0,032	0,029	0,004	0,005
PCB 194	0,34	<0,01	<0,01	<0,01	0,010	<0,001	<0,001	<0,001
PCB totale	27,49	20,00	2,66	8,78	0,786	0,588	0,083	0,162

Tab. 4.8. Concentrazione dei principali composti organoclorurati nei sedimenti del F. Boesio.

	<i>aprile 2006</i>	<i>luglio 2006</i>	<i>ottobre 2006</i>	<i>gennaio 2007</i>	<i>aprile 2006</i>	<i>luglio 2006</i>	<i>ottobre 2006</i>	<i>gennaio 2007</i>
DDT isomeri e metaboliti	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
op-DDT	0,17	0,05	0,58	<0,01	0,002	0,001	0,007	<0,001
pp-DDT	2,62	0,55	0,54	<0,01	0,037	0,006	0,006	<0,001
op-DDE	<0,01	0,12	0,10	0,18	<0,001	0,001	0,001	0,003
pp-DDE	2,78	2,43	1,71	1,29	0,039	0,028	0,020	0,019
op-DDD	<0,01	0,09	<0,01	0,23	<0,001	0,001	<0,001	0,003
pp-DDD	<0,01	0,46	0,44	0,90	<0,001	0,005	0,005	0,013
DDT totale	5,56	3,70	3,38	2,60	0,079	0,042	0,040	0,037
Lindano ed isomeri	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
α-HCH	0,04	<0,01	0,07	0,10	0,001	<0,001	0,001	0,001
β-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
γ-HCH	<0,01	0,08	<0,01	<0,01	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
δ-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
HCH totale	0,04	0,08	0,07	0,10	0,001	0,001	0,001	0,001
HCB e pesticidi organoclorurati	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
HCB	0,59	0,24	0,29	0,24	0,008	0,003	0,003	0,003
T-εptacloro	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Endrin	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Metoxychlor	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mirex	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
totale	0,59	0,24	0,29	0,24	0,008	0,003	0,003	0,003
PCB	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
PCB 18	<0,01	<0,01	0,47	0,28	<0,001	<0,001	0,006	0,004
PCB 28	<0,01	<0,01	0,43	0,35	<0,001	<0,001	0,005	0,005
PCB 31	<0,01	<0,01	<0,01	0,33	<0,001	<0,001	<0,001	0,005
PCB 52	<0,01	0,57	1,47	0,40	<0,001	0,006	0,018	0,006
PCB 44	0,84	0,25	0,65	0,25	0,012	0,003	0,008	0,004
PCB 101	3,06	0,91	0,82	0,76	0,043	0,010	0,010	0,011
PCB 149	4,77	1,19	3,18	0,25	0,067	0,014	0,038	0,004
PCB 118	7,29	1,71	8,99	0,65	0,103	0,019	0,107	0,009
PCB 153	10,42	2,56	1,79	0,66	0,147	0,029	0,021	0,009
PCB 138	10,28	2,94	7,73	0,74	0,145	0,033	0,092	0,011
PCB 180	4,11	1,40	2,60	0,44	0,058	0,016	0,031	0,006
PCB 170	1,76	0,44	1,25	0,21	0,025	0,005	0,015	0,003
PCB 194	1,21	0,28	0,47	0,05	0,017	0,003	0,006	0,001
PCB totale	43,74	12,24	29,84	5,36	0,618	0,140	0,356	0,077

Tab. 4.9. Concentrazione dei principali composti organoclorurati nei sedimenti del F. Bardello.

	<i>aprile 2006</i>	<i>luglio 2006</i>	<i>ottobre 2006</i>	<i>gennaio 2007</i>	<i>aprile 2006</i>	<i>luglio 2006</i>	<i>ottobre 2006</i>	<i>gennaio 2007</i>
DDT isomeri e metaboliti	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
op-DDT	0,05	0,03	0,13	<0,01	0,002	0,001	0,007	<0,001
pp-DDT	0,34	<0,01	0,17	<0,01	0,017	<0,001	0,009	<0,001
op-DDE	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
pp-DDE	0,90	0,36	0,70	0,57	0,044	0,011	0,039	0,024
op-DDD	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
pp-DDD	<0,01	<0,01	0,10	0,42	<0,001	<0,001	0,006	0,018
DDT totale	1,29	0,39	1,10	0,99	0,063	0,012	0,060	0,041
Lindano ed isomeri	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
α-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
β-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
γ-HCH	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
δ-HCH	<0,01	0,14	<0,01	<0,01	<0,001	0,004	<0,001	<0,001
HCH totale	-	0,14	-	0,06	-	0,004	-	0,002
HCB e pesticidi organoclorurati	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
HCB	0,18	0,04	0,09	0,14	0,009	0,001	0,005	0,006
T-εptacloro	<0,01	<0,01	<0,01	0,14	<0,001	<0,001	<0,001	0,006
Endrin	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Metoxychlor	4,69	<0,01	<0,01	<0,01	0,229	<0,001	<0,001	<0,001
Mirex	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
totale	4,87	0,04	0,09	0,28	0,238	0,001	0,005	0,012
PCB	Concentrazioni riferite al peso secco di sedimento (ng g ⁻¹)				Concentrazioni normalizzate sui contenuti di carbonio organico (ng mg ⁻¹)			
PCB 18	<0,01	0,03	<0,01	0,13	<0,001	0,001	<0,001	0,006
PCB 28	<0,01	0,25	<0,01	0,09	<0,001	0,007	<0,001	0,004
PCB 31	<0,01	0,03	<0,01	0,10	<0,001	0,001	<0,001	0,004
PCB 52	<0,01	0,12	0,21	0,13	<0,001	0,004	0,012	0,005
PCB 44	<0,01	0,15	0,09	0,09	<0,001	0,004	0,005	0,004
PCB 101	0,38	0,45	<0,01	0,73	0,019	0,013	<0,001	0,030
PCB 149	0,48	0,41	0,58	0,32	0,023	0,012	0,032	0,013
PCB 118	<0,01	0,40	0,74	<0,01	<0,001	0,012	0,041	<0,001
PCB 153	<0,01	0,65	1,50	0,56	<0,001	0,019	0,082	0,024
PCB 138	1,43	0,80	1,73	0,61	0,070	0,024	0,095	0,025
PCB 180	<0,01	0,59	1,02	0,51	<0,001	0,018	0,056	0,021
PCB 170	0,39	0,25	0,47	0,20	0,019	0,007	0,026	0,008
PCB 194	0,09	0,12	0,28	0,02	0,004	0,004	0,015	0,001
PCB totale	2,77	4,23	6,62	3,48	0,135	0,126	0,364	0,145

I risultati delle analisi dei campioni del Fiume Boesio (Tabella 4.8) evidenziano per il DDT valori compresi tra 2 e 6 ng g⁻¹ che quindi rientrano nelle medie misurate nei primi anni dell'indagine (CIPAIS, 2003 e 2004). Per quanto concerne i PCB, la contaminazione di questo fiume risulta superiore a quella di fondo con un picco osservato nel campionamento di aprile e novembre 2006 e tali livelli rimangono superiori a quelli dei fiumi non contaminati anche dopo normalizzazione per il carbonio organico.

Anche la contaminazione da DDT del Fiume Bardello (Tabella 4.9) è compresa tra 0,5 e 2 ng g⁻¹ e risulta quindi molto contenuta rispetto a quella misurata negli anni precedenti (CIPAIS, 2004 e 2005). Invece la contaminazione da PCB risulta quest'anno ridotta.

In conclusione, per l'anno considerato, si può affermare che per i Fiumi Maggia, Margorabbia, Tresa, Boesio e Bardello la contaminazione da DDT è contenuta ed è proporzionale all'arricchimento in carbonio organico del sedimento. Al contrario i fiumi Toce, Verzasca e Ticino emissario risultano contaminati da DDT.

Per i PCB i livelli osservati nel Ticino emissario potrebbero essere in parte imputabili agli apporti di Boesio e Verzasca, alla presenza di altri fonti locali di contaminazione o soprattutto all'erosione di particolato contaminato dalla parte più a sud del lago.

Gli altri insetticidi organoclorurati considerati (trans-eptacloro epossido, dieldrin, endrin, mirex e metoxylor) sono risultati per lo più assenti (< 0,1 ng g⁻¹), e la contaminazione da HCB è trascurabile.

In Figura 4.10 si riportano le medie e le deviazioni standard relative all'intero periodo considerato (2001-2007) delle concentrazioni di DDT totali e PCB totali dei sette tributari e del Ticino emissario. Gli andamenti riportati evidenziano per i PCB alcuni anni caratterizzati da un maggiore apporto (2001-02, 2004-05 e 2005-06) per quasi tutti i fiumi, mentre per il DDT l'andamento è variabile di fiume in fiume e l'unico evidente apporto è quello relativo al Fiume Toce, soprattutto nel periodo successivo alla piena dell'ottobre 2000. Per questo fiume, è evidente inoltre un generale trend in diminuzione. Molto variabile nel tempo è risultato l'andamento del Ticino emissario che è anche il fiume che mostra le deviazioni standard più ampie.

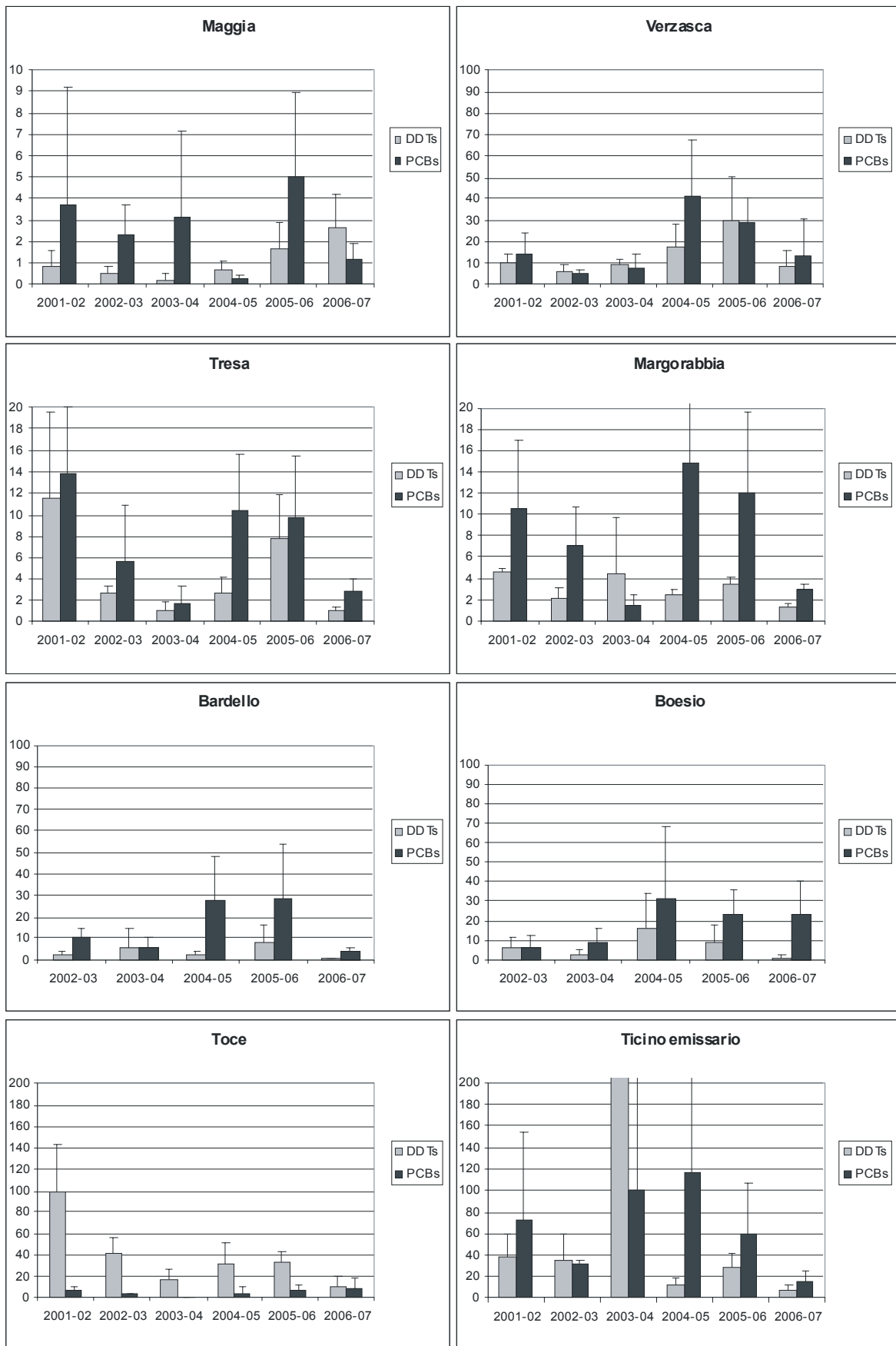


Fig. 4.10. Concentrazioni medie e relativa deviazione standard (ng g⁻¹p.s.) nei sei anni di campionamento considerati (2001-2007) per gli otto fiumi campionati.

Bibliografia

- CIP AIS. 1999. *Ricerche sulla distribuzione e gli effetti del DDT nell'ecosistema Lago Maggiore*. Rapporto finale sui risultati delle indagini, 81 pp.
- CIP AIS. 2002. *Monitoraggio della presenza di DDT ed altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore*. Rapporto Annuale Aprile 2001- Marzo 2002, 89 pp.
- CIP AIS. 2003. *Monitoraggio della presenza di DDT ed altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore*. Rapporto Annuale Aprile 2002- Marzo 2003, 68 pp.
- CIP AIS 2004 *Monitoraggio della presenza di DDT ed altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore*. Rapporto Annuale Aprile 2003 – Marzo 2004, 78 pp.
- CIP AIS 2005 *Monitoraggio della presenza di DDT ed altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore*. Rapporto Annuale Aprile 2004 – Marzo 2005, 76 pp.
- CIP AIS 2006 *Monitoraggio della presenza di DDT ed altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore*. Rapporto Annuale Aprile 2005 – Marzo 2006, 76 pp.

5. RICERCHE SULLE PRECIPITAZIONI ATMOSFERICHE

Al fine di stimare il contributo degli apporti atmosferici alla contaminazione da composti organoclorurati nel bacino imbrifero del Lago Maggiore, è proseguita l'attività di campionamento delle deposizioni *bulk* (cioè deposizioni secche e umide) in quattro aree significative: due in Italia, più vicine alla fonte di contaminazione di Pieve Vergonte e due in Svizzera in aree generalmente non inquinate, posizionando le stazioni a due differenti quote, una bassa (< 300 m s.l.m.) ed una ad alta quota (> 1000 m). Le località di campionamento selezionate sulla base della disponibilità di stazioni esistenti sono state: in Italia, Pallanza (200 m) e Alpe Devero (1600 m); in Svizzera, Locarno (300 m) e Robiei (2000 m). Per ciascuna stazione sono stati preparati i campioni medi ponderati mensili da maggio 2005 ad aprile 2006. Nel periodo in studio sono stati raccolti 12 campioni di precipitazioni per le stazioni svizzere e 12 per quelle italiane. La raccolta e la preparazione dei campioni medi ponderati è stata condotta dal CNR-ISE per le stazioni italiane e dal UPDA-SPAAS per quelle svizzere.

La concentrazione e l'analisi dei campioni (sino ad 2 litri in accordo con la quantità campionata) è stata condotta dal CNR-IRSA di Brugherio. Si è proceduto con una unica tecnica di concentrazione, filtrando il campione attraverso un supporto di Bakerbond Speedisk C18 XF 50 mm, seguendo la metodica EPA n.608/8080 per i pesticidi organoclorurati (OC) e i PCB. Tale metodica consente di estrarre e quantificare dal campione acquoso sia gli OC associati al particolato che quelli disciolti nella matrice acquosa. Il risultato è espresso come somma delle due componenti. L'analisi è stata condotta utilizzando la tecnica GC-MS/MS (Trace 2000 - PolarisQ della ThermoElectron).

I risultati delle analisi sono stati riportati nelle Tabelle 5.1.–5.4 come concentrazioni assolute misurate (ng l^{-1}), nonché nelle Tabelle 5.5–5.8 come carico mensile (ng cm^{-2}) calcolato sulla base del volume d'acqua raccolto e della superficie del campionario.

Per quanto concerne la stazione di Pallanza (Tabelle 5.1 e 5.5) le concentrazioni di DDT più elevate e il carico maggiore si osservano nei mesi di agosto 2006 e febbraio 2007; i composti prevalentemente presenti sono il pp'DDT e il pp'DDE. In merito al DDT totale (Figura 5.1), il carico annuale misurato a Pallanza è in netta diminuzione ($0,04 \text{ ng cm}^{-2}$) negli ultimi anni ed è circa la metà di quanto misurato nelle due annualità precedenti ($0,08 \text{ ng cm}^{-2}$), pari al 25% di quello determinato nel 2002-2003 e pari al 12,5% in meno rispetto a quello misurato nel 2001-2002 (CIP AIS, 2002; 2003; 2004; 2005; 2006).

Tra gli isomeri del HCH è prevalente la presenza del gamma isomero, il lindano, considerato il più volatile tra i composti dell'HCH analizzati. Il carico annuale nella stazione di Pallanza per questi inquinanti (pari a $0,06 \text{ ng cm}^{-2}$) è simile a quello misurato a Locarno Monti, ma circa il 50% in meno di quello misurato in alta quota ad Alpe Devero e Robiei. L'HCB è l'unico altro insetticida organoclorurato frequentemente presente (carico $0,011 \text{ ng cm}^{-2}$) con concentrazioni simili a quelle degli anni precedenti. Per i PCB (Figura 5.1) il carico calcolato per Pallanza ($0,08 \text{ ng cm}^{-2}$) è in linea rispetto a quanto determinato negli anni 2003-2004 e 2004-2005 (CIP AIS, 2004; 2005).

Per quanto concerne la stazione di Alpe Devero (Tabelle 5.2 e 5.6), i carichi annuali di DDT e HCB sono pari a circa $0,04$ e $0,025 \text{ ng cm}^{-2}$ rispettivamente, quello dei HCH è pari a $0,1 \text{ ng cm}^{-2}$ e quello dei PCB è pari a $0,15 \text{ ng cm}^{-2}$. La stazione di Alpe Devero per HCH e PCB è caratterizzata da un carico doppio rispetto a quello delle stazioni di bassa quota, affermando il fenomeno di ricondensazione ad alta quota dei composti più volatili, quali il lindano. Tale fenomeno era già stato evidenziato nel periodo 2002-03 e nel periodo 2003-2004 (CIP AIS, 2003; 2004) (Figura 5.1).

Tab. 5.1. Concentrazione [ng l^{-1}] dei principali composti organoclorurati nelle precipitazioni atmosferiche raccolte nella stazione di Pallanza (ND – Non Determinato).

DDT isomeri e metaboliti	Anno 2006								Anno 2007			
	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr
op-DDT	0,04	<0,01	<0,01	0,09	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
pp-DDT	0,16	0,20	<0,01	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	0,11	0,33	0,26	<0,01
op-DDE	<0,01	<0,01	0,12	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
pp-DDE	0,11	0,13	0,10	0,70	0,06	0,05	0,13	0,05	<0,01	0,41	0,16	0,07
op-DDD	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
pp-DDD	<0,01	<0,01	<0,01	0,11	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
DDT totale	0,20	0,20	0,34	1,02	0,12	0,05	0,18	0,11	0,11	0,74	0,42	0,07

Lindano ed isomeri	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr
α -HCH	0,14	<0,01	0,21	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,17	0,12
β -HCH	<0,01	<0,01	0,14	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,63	<0,01
γ -HCH	0,50	0,75	0,18	0,35	<0,01	0,40	0,19	0,40	0,48	0,38	0,66	0,95
δ -HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
HCH totale	0,64	0,75	0,53	0,35	-	0,40	0,19	0,40	0,48	0,38	1,46	1,07

HCb e pesticidi	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr
HCb	0,05	0,73	0,06	0,03	<0,01	<0,01	0,07	0,05	0,16	0,15	0,10	0,05
T-εptacloro	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Endrin	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Metoxyclor	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,65	<0,01	<0,01
Mirex	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
totale	0,05	0,73	0,06	0,03	-	-	0,07	0,05	0,16	1,80	0,10	0,05

PCBs	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr
PCB 18	<0,01	1,06	<0,01	0,29	<0,01	0,08	0,18	0,12	<0,01	0,10	0,08	0,03
PCB 28	<0,01	<0,01	<0,01	0,17	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 31	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 52	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,69	0,08	0,76	0,03
PCB 44	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,75	0,06	<0,01	<0,01
PCB 101	<0,01	<0,01	<0,01	0,16	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,23	<0,01	0,03
PCB 149	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	0,13	0,18	0,01	0,01
PCB 118	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,59	<0,01	<0,01
PCB 153	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,40	<0,01	<0,01
PCB 138	<0,01	0,10	0,28	0,10	0,02	0,05	0,03	0,07	0,16	0,27	0,04	0,12
PCB 180	<0,01	0,05	0,15	0,09	0,04	0,05	0,02	0,03	0,19	0,02	0,02	0,05
PCB 170	0,07	0,01	0,14	0,08	0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,02
PCB 194	<0,01	0,24	0,06	0,03	0,02	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	0,01	<0,01
PCBs totali	0,07	1,45	0,62	1,11	0,10	0,27	0,23	0,24	1,92	2,02	0,91	0,29

Tab. 5.2. Concentrazione [ng l⁻¹] dei principali composti organoclorurati nelle precipitazioni atmosferiche raccolte nella stazione di Alpe Devero.

DDT isomeri e metaboliti	Anno 2006								Anno 2007			
	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr
op-DDT	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
pp-DDT	<0,01	0,17	<0,01	0,07	<0,01	0,10	<0,01	0,12	<0,01	<0,01	0,18	0,53
op-DDE	0,02	<0,01	0,10	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	0,08	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
pp-DDE	0,08	0,09	0,08	0,09	0,06	0,06	0,10	0,05	<0,01	0,24	0,16	<0,01
op-DDD	0,02	<0,01	<0,01	0,06	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
pp-DDD	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	0,05	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	<0,01
DDT totale	0,12	0,26	0,20	0,27	0,16	0,16	0,22	0,25	-	0,24	0,42	0,53

Lindano ed isomeri	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr
α-HCH	<0,01	<0,01	0,14	<0,01	0,09	<0,01	<0,01	<0,01	0,37	0,03	<0,01	<0,01
β-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,20	<0,01
γ-HCH	0,31	1,09	0,70	0,17	0,40	0,67	0,60	0,70	0,46	0,15	0,27	1,56
δ-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,27	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
HCH totale	0,31	1,09	0,84	0,17	0,49	0,94	0,60	0,70	0,83	0,18	0,47	1,56

HCB e pesticidi	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr
HCB	0,04	0,73	0,03	<0,01	<0,01	0,02	0,12	0,05	0,14	0,15	0,09	0,15
T-εptacloro	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,26	<0,01	<0,01	<0,01
Endrin	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	4,68	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Metoxychlor	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,39	<0,01	<0,01
Mirex	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
totale	0,04	0,73	0,03	-	-	0,02	4,81	0,05	0,41	0,54	0,09	0,15

PCBs	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr
PCB 18	<0,01	0,67	<0,01	0,08	0,20	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,13	0,11	0,23
PCB 28	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,09	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 31	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 52	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	1,82	0,12	<0,01	<0,01
PCB 44	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	2,08	0,04	<0,01	<0,01
PCB 101	<0,01	0,35	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,15	0,03	0,13
PCB 149	<0,01	<0,01	<0,01	0,45	<0,01	0,10	0,21	<0,01	<0,01	0,08	<0,01	0,03
PCB 118	<0,01	<0,01	<0,01	0,18	<0,01	0,32	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 153	<0,01	<0,01	<0,01	0,37	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	0,04
PCB 138	<0,01	0,11	0,08	0,21	<0,01	0,19	0,16	<0,01	0,17	0,04	0,05	<0,01
PCB 180	0,06	0,04	<0,01	0,15	0,03	0,07	0,06	<0,01	0,04	0,08	0,02	0,02
PCB 170	0,03	<0,01	<0,01	0,06	0,01	0,03	<0,01	0,02	<0,01	0,01	0,01	<0,01
PCB 194	0,19	<0,01	0,20	0,04	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	0,01
PCBs totali	0,27	1,16	0,29	1,54	0,36	0,73	0,42	0,02	4,10	0,68	0,26	0,47

Tab. 5.3. Concentrazione [ng l⁻¹] dei principali composti organoclorurati nelle precipitazioni atmosferiche raccolte nella stazione di Locarno Monti (ND – Non Determinato).

DDT isomeri e metaboliti	Anno 2006								Anno 2007			
	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr
op-DDT	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,12	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
pp-DDT	<0,01	<0,01	<0,01	0,13	<0,01	<0,01	0,12	0,11	<0,01	0,57	<0,01	<0,01
op-DDE	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	0,12	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
pp-DDE	0,08	<0,01	0,16	<0,01	<0,01	0,13	0,10	<0,01	<0,01	0,22	<0,01	<0,01
op-DDD	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	0,08	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,05
pp-DDD	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	0,10	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06
DDT totale	0,08	-	0,16	0,21	0,08	0,30	0,34	0,23	-	0,80	-	0,12

Lindano ed isomeri	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr
α-HCH	0,08	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,18	0,18	0,16	0,09	0,25
β-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
γ-HCH	0,33	0,63	<0,01	0,44	0,31	<0,01	0,96	0,45	0,34	0,34	0,55	0,67
δ-HCH	<0,01	<0,01	0,30	<0,01	0,14	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,38	0,13	0,28
HCH totale	0,42	0,63	0,30	0,44	0,45	-	0,96	0,62	0,51	0,87	0,77	1,20

HCB e pesticidi	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr
HCB	0,16	0,11	<0,01	0,10	0,08	0,11	0,21	0,13	0,05	0,06	0,03	0,12
T-eptacloro	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,30	<0,01	<0,01
Endrin	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,15	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Metoxychlor	<0,01	<0,01	0,14	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,42	<0,01	<0,01
Mirex	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
totale	0,16	0,11	0,14	0,10	0,08	0,11	0,21	0,27	0,05	0,77	0,03	0,12

PCBs	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr
PCB 18	0,19	0,19	<0,01	<0,01	0,10	0,08	0,38	<0,01	<0,01	0,10	0,08	<0,01
PCB 28	0,09	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 31	0,08	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 52	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,20	0,15	1,49	0,09	0,06	<0,01
PCB 44	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,76	0,06	<0,01	<0,01
PCB 101	<0,01	<0,01	0,21	0,04	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,15	0,06	0,06
PCB 149	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,27	0,21	<0,01	0,09	0,03	0,04
PCB 118	<0,01	<0,01	0,09	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 153	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,23	<0,01	0,06	0,06
PCB 138	0,23	0,06	<0,01	0,07	0,05	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,17	0,07	0,17
PCB 180	0,05	0,05	0,33	0,07	0,06	0,04	0,01	0,06	0,01	0,12	0,02	0,11
PCB 170	0,06	<0,01	<0,01	0,04	0,05	0,03	0,08	0,02	<0,01	0,09	<0,01	0,06
PCB 194	0,15	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
PCBs totali	0,85	0,30	0,63	0,25	0,33	0,21	0,93	0,45	3,53	0,88	0,38	0,49

Tab. 5.4. Concentrazione [ng l^{-1}] dei principali composti organoclorurati nelle precipitazioni atmosferiche raccolte nella stazione di Robiei (ND – Non Determinato).

DDT isomeri e metaboliti	Anno 2006								Anno 2007			
	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr
op-DDT	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,18	<0,01	<0,01
pp-DDT	<0,01	0,15	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	<0,01	0,14	0,45	<0,01	<0,01
op-DDE	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,20	<0,01	0,12	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
pp-DDE	0,11	<0,01	0,11	0,06	<0,01	0,08	<0,01	0,11	<0,01	<0,01	<0,01	0,13
op-DDD	0,30	<0,01	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	<0,01	0,16	<0,01	0,04	<0,01
pp-DDD	<0,01	<0,01	0,09	<0,01	0,21	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,09	<0,01
DDT totale	0,41	0,15	0,25	0,06	0,21	0,34	0,13	0,23	0,30	0,63	0,13	0,13

Lindano ed isomeri	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr
α -HCH	0,13	<0,01	0,51	<0,01	0,18	<0,01	<0,01	0,10	<0,01	0,19	<0,01	0,10
β -HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
γ -HCH	0,81	0,87	<0,01	0,52	0,75	0,31	0,37	0,50	0,19	0,30	0,26	0,67
δ -HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,14	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
HCH totale	0,94	0,87	0,51	0,52	0,93	0,45	0,37	0,60	0,19	0,49	0,26	0,77

HCB e pesticidi	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr
HCB	0,06	0,08	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,18	0,07	0,08	0,04	0,08	0,04
T-eptacloro	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Endrin	<0,01	<0,01	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Metoxyclor	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Mirex	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
totale	0,06	0,08	0,07	<0,01	0,02	<0,01	0,18	0,07	0,08	0,04	0,08	0,04

PCBs	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr
PCB 18	<0,01	0,17	<0,01	0,17	<0,01	0,10	<0,01	<0,01	<0,01	0,09	0,06	0,04
PCB 28	<0,01	0,08	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	0,05	<0,01
PCB 31	<0,01	0,07	0,55	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,11	0,07	<0,01
PCB 52	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,09	<0,01	0,15	0,14	1,35	0,10	0,20	0,23
PCB 44	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,52	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 101	<0,01	<0,01	<0,01	0,10	0,16	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	0,42	0,08	0,11
PCB 149	<0,01	<0,01	0,06	0,27	0,35	<0,01	<0,01	0,05	0,12	0,36	0,04	0,12
PCB 118	<0,01	<0,01	0,42	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,56	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 153	<0,01	0,24	0,30	0,27	0,52	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,36	0,07	0,21
PCB 138	0,06	0,69	<0,01	0,71	0,65	0,05	0,07	0,12	0,29	0,44	0,21	0,48
PCB 180	0,11	0,45	<0,01	0,91	0,89	0,06	0,02	0,07	0,01	0,01	0,03	0,20
PCB 170	0,07	0,31	0,09	0,60	0,50	0,05	0,03	0,02	<0,01	0,01	0,02	0,08
PCB 194	0,17	<0,01	0,94	0,19	0,23	<0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,02
PCBs totali	0,41	2,01	2,40	3,22	3,40	0,33	0,27	0,97	3,28	1,96	0,83	1,48

Tab. 5.5. Carico [ng cm⁻²] dei principali composti organoclorurati nelle precipitazioni atmosferiche raccolte nella stazione di Pallanza.

DDT isomeri e metaboliti	Anno 2006								Anno 2007				Carico annuale
	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	
op-DDT	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
pp-DDT	0,002	0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,001	<0,001	0,002	<0,001	0,008
op-DDE	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
pp-DDE	0,001	<0,001	0,002	0,015	0,002	0,001	0,001	0,001	<0,001	0,001	0,001	0,001	0,024
op-DDD	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003
pp-DDD	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
DDT totale	0,002	0,001	0,005	0,021	0,004	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,003	0,001	0,043

Lindano ed isomeri	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	Carico annuale
α-HCH	0,001	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,001	0,007
β-HCH	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	<0,001	0,007
γ-HCH	0,005	0,002	0,003	0,007	<0,001	0,004	0,001	0,009	0,004	<0,001	0,005	0,007	0,048
δ-HCH	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
HCH totale	0,007	0,002	0,008	0,007	-	0,004	0,001	0,009	0,004	-	0,011	0,007	0,062

HCB e pesticidi	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	Carico annuale
HCB	0,001	0,002	0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,008
T-εptacloro	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Endrin	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Metoxyclor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	0,002
Mirex	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
totale	0,001	0,002	0,001	0,001	-	-	-	0,001	0,001	0,002	0,001	-	0,011

PCBs	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	Carico annuale
PCB 18	<0,001	0,003	<0,001	0,006	<0,001	0,001	0,001	0,003	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,015
PCB 28	<0,001	<0,001	<0,001	0,004	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,004
PCB 31	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001
PCB 52	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	<0,001	0,006	<0,001	0,012
PCB 44	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,006	<0,001	<0,001	<0,001	0,007
PCB 101	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,004
PCB 149	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,004
PCB 118	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,001
PCB 153	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,001
PCB 138	<0,001	<0,001	0,004	0,002	<0,001	0,001	<0,001	0,002	0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,012
PCB 180	<0,001	<0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	<0,001	0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,009
PCB 170	0,001	<0,001	0,002	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,005
PCB 194	<0,001	0,001	0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003
PCBs totali	0,001	0,005	0,010	0,023	0,003	0,003	0,002	0,005	0,014	0,003	0,007	0,002	0,077

Tab. 5.6. Carico [ng cm⁻²] dei principali composti organoclorurati nelle precipitazioni atmosferiche raccolte nella stazione di Alpe Devero.

DDT isomeri e metaboliti	Anno 2006								Anno 2007				Carico annuale	
	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr		
op-DDT	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
pp-DDT	<0,001	0,004	<0,001	0,002	<0,001	0,002	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,001	<0,001	0,012
op-DDE	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003
pp-DDE	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,002	<0,001	<0,001	0,015
op-DDD	0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,004
pp-DDD	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,004
DDT totale	0,004	0,006	0,003	0,006	0,005	0,003	0,002	0,002	-	0,001	0,006	0,001	<0,001	0,039

Lindano ed isomeri	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	Carico annuale
α-HCH	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	0,008
β-HCH	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	<0,001	0,003
γ-HCH	0,009	0,027	0,009	0,004	0,013	0,014	0,005	0,005	0,004	0,001	0,004	0,002	0,097
δ-HCH	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,005
HCH totale	0,009	0,027	0,011	0,004	0,016	0,019	0,005	0,005	0,007	0,001	0,006	0,002	0,113

HCB e pesticidi	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	Carico annuale
HCB	0,001	0,018	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,001	0,001	0,001	<0,001	0,025
T-eptacloro	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
Endrin	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,037	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,037
Metoxyclor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	0,002
Mirex	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
totale	0,001	0,018	-	-	-	-	0,038	-	0,003	0,002	0,001	-	0,065

PCBs	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	Carico annuale
PCB 18	<0,001	0,016	<0,001	0,002	0,007	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,001	<0,001	0,027
PCB 28	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003
PCB 31	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PCB 52	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,015	0,001	<0,001	<0,001	0,016
PCB 44	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,017	<0,001	<0,001	<0,001	0,017
PCB 101	<0,001	0,009	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,010
PCB 149	<0,001	<0,001	<0,001	0,011	<0,001	0,002	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,015
PCB 118	<0,001	<0,001	<0,001	0,004	<0,001	0,006	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,011
PCB 153	<0,001	<0,001	<0,001	0,009	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,010
PCB 138	<0,001	0,003	0,001	0,005	<0,001	0,004	0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,016
PCB 180	0,002	0,001	<0,001	0,004	0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,010
PCB 170	0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003
PCB 194	0,006	<0,001	0,003	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,010
PCBs totali	0,008	0,029	0,004	0,036	0,012	0,015	0,003	-	0,033	0,003	0,003	0,001	0,147

Tab. 5.7. Carico [ng cm⁻²] dei principali composti organoclorurati nelle precipitazioni atmosferiche raccolte nella stazione di Locarno Monti (ND – Non Determinato).

DDT isomeri e metaboliti	Anno 2006								Anno 2007				Carico annuale
	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	
op-DDT	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
pp-DDT	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	0,001	0,002	<0,001	0,004	<0,001	<0,001	0,010
op-DDE	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
pp-DDE	0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	0,002	0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,006
op-DDD	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003
pp-DDD	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
DDT totale	0,001	-	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	-	0,005	-	-	0,026

Lindano ed isomeri	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	Carico annuale
α-HCH	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,004	0,001	0,001	0,001	<0,001	0,007
β-HCH	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
γ-HCH	0,003	0,002	<0,001	0,011	0,006	<0,001	0,006	0,009	0,002	0,002	0,004	0,001	0,046
δ-HCH	<0,001	<0,001	0,003	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,001	0,010
HCH totale	0,003	0,002	0,003	0,011	0,009	-	0,006	0,013	0,003	0,005	0,006	0,002	0,063

HCB e pesticidi	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	Carico annuale
HCB	0,001	<0,001	<0,001	0,003	0,002	0,002	0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,012
T-eptacloro	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	0,002
Endrin	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003
Metoxyclor	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	0,004
Mirex	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
totale	0,001	-	0,002	0,003	0,002	0,002	0,001	0,006	-	0,005	-	-	0,021

PCBs	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	Carico annuale
PCB 18	0,002	0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,002	<0,001	<0,001	0,001	0,001	<0,001	0,009
PCB 28	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001
PCB 31	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001
PCB 52	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,003	0,009	0,001	<0,001	<0,001	0,014
PCB 44	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,010	<0,001	<0,001	<0,001	0,011
PCB 101	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,006
PCB 149	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,004	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,007
PCB 118	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001
PCB 153	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
PCB 138	0,002	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,001	<0,001	0,007
PCB 180	<0,001	<0,001	0,004	0,002	0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,010
PCB 170	0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,004
PCB 194	0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
PCBs totali	0,007	0,001	0,007	0,006	0,006	0,003	0,006	0,009	0,020	0,005	0,003	0,001	0,075

Tab. 5.8. Carico [ng cm⁻²] dei principali composti organoclorurati nelle precipitazioni atmosferiche raccolte nella stazione di Robiei.

DDT isomeri e metaboliti	Anno 2006								Anno 2007				Carico annuale
	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	
op-DDT	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,004	<0,001	<0,001	0,004
pp-DDT	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	0,001	0,010	<0,001	<0,001	0,013
op-DDE	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	<0,001	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,010
pp-DDE	0,003	<0,001	0,001	0,002	<0,001	0,002	<0,001	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,014
op-DDD	0,009	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,012
pp-DDD	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,005	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	0,008
DDT totale	0,012	0,001	0,002	0,002	0,005	0,008	0,003	0,010	0,002	0,014	0,002	0,001	0,061

Lindano ed isomeri	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	Carico annuale
α-HCH	0,004	<0,001	0,003	<0,001	0,004	<0,001	<0,001	0,004	<0,001	0,004	<0,001	<0,001	0,020
β-HCH	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
γ-HCH	0,024	0,007	<0,001	0,020	0,017	0,007	0,009	0,022	0,001	0,006	0,005	0,003	0,121
δ-HCH	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003
HCH totale	0,028	0,007	0,003	0,020	0,021	0,010	0,009	0,027	0,001	0,011	0,005	0,004	0,144

HCB e pesticidi	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	Carico annuale
HCB	0,002	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,004	0,003	<0,001	0,001	0,001	<0,001	0,013
T-eptacloro	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Endrin	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Metoxyclor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mirex	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
totale	0,002	0,001	-	-	-	-	0,004	0,003	-	0,001	0,001	-	0,013

PCBs	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	Carico annuale
PCB 18	<0,001	0,001	<0,001	0,007	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,001	<0,001	0,013
PCB 28	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,001	<0,001	0,003
PCB 31	<0,001	0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,001	<0,001	0,007
PCB 52	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	0,004	0,006	0,007	0,002	0,004	0,001	0,026
PCB 44	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,008	<0,001	<0,001	<0,001	0,008
PCB 101	<0,001	<0,001	<0,001	0,004	0,004	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	0,009	0,001	0,001	0,020
PCB 149	<0,001	<0,001	<0,001	0,010	0,008	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,008	0,001	0,001	0,031
PCB 118	<0,001	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,025	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,028
PCB 153	<0,001	0,002	0,002	0,010	0,011	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,008	0,001	0,001	0,035
PCB 138	0,002	0,005	<0,001	0,027	0,015	0,001	0,002	0,005	0,002	0,010	0,004	0,002	0,074
PCB 180	0,003	0,004	<0,001	0,035	0,020	0,001	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,068
PCB 170	0,002	0,002	0,001	0,023	0,011	0,001	0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,043
PCB 194	0,005	<0,001	0,006	0,007	0,005	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,024
PCBs totali	0,012	0,016	0,015	0,123	0,075	0,007	0,006	0,043	0,018	0,043	0,015	0,007	0,381

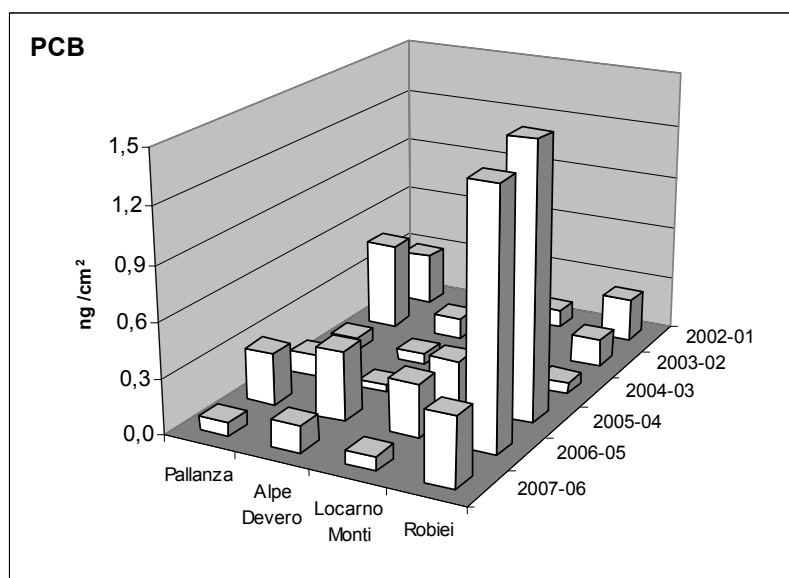
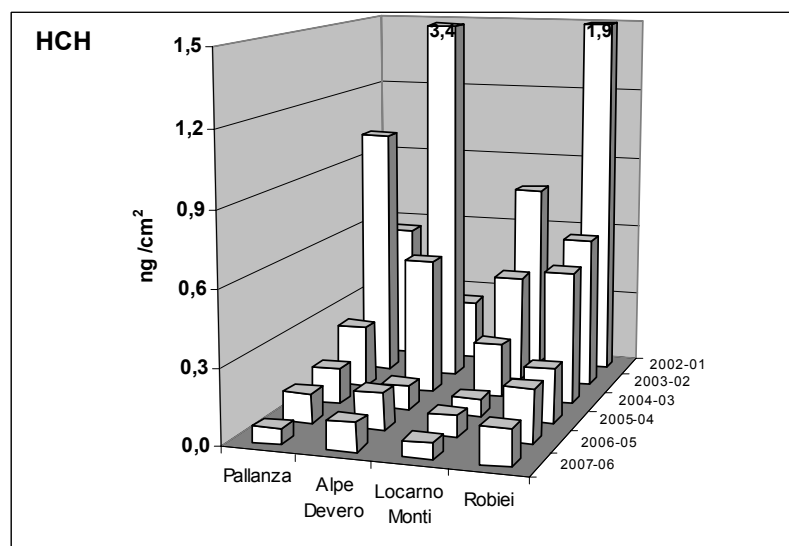
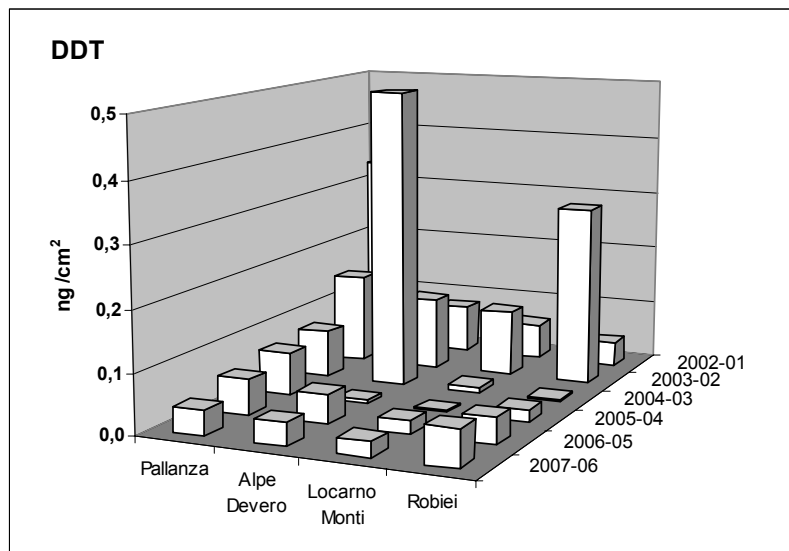


Fig. 5.1 Carichi [ng cm^{-2}] dei principali composti organoclorurati nelle precipitazioni atmosferiche raccolte nelle quattro stazioni considerate.

Per quel che concerne il DDT, la stazione svizzera di valle, quella di Locarno (Tabelle 5.3 e 5.7), risulta essere solo parzialmente inquinata da questo tipo di contaminazione e il DDT è presente in 9 dei 12 campioni analizzati. Il carico annuale risulta inferiore, anche se di poco, a quello delle altre stazioni ($0,026 \text{ ng cm}^{-2}$). Per gli HCH e i PCB, il carico è simile a quello dell'altra stazione di bassa quota, cioè quella di Pallanza (Figura 5.1). Non si osservano sostanziali variazioni dei carichi nei vari mesi considerati.

La stazione di Robiei (Tabelle 5.4 e 5.8) in alta quota è caratterizzata da un carico di DDT per la prima volta di poco più elevato di quello misurato a Pallanza, risentendo quindi di un arricchimento rispetto alla corrispondente stazione di pianura di Locarno Monti.

Per quanto concerne l'HCH la stazione di Robiei è caratterizzata da un carico doppio rispetto a quello delle stazioni di bassa quota, riaffermando il fenomeno di ricondensazione ad alta quota dei composti più volatili. Tale fenomeno era già stato evidenziato nel periodo 2005-06 e nel periodo 2001-02 (CIP AIS, 2002; 2006), anni in cui il carico di Lindano a Robiei risultava tre volte superiore rispetto alla stazione di Locarno (Figura 5.1).

Infine, per i PCB la stazione di Robiei evidenzia un carico annuale pari a $0,38 \text{ ng cm}^{-2}$, il più elevato tra quello delle quattro stazioni considerate a causa di una contaminazione elevata osservata nel campione di settembre 2006. Per il terzo anno consecutivo, quindi, la stazione di Robiei risulta la più contaminata da PCB (Figura 5.1).

In conclusione i sei anni di campionamenti eseguiti nelle quattro stazioni considerate (Figura 5.1) evidenziano andamenti differenti tra stazione e stazione e da anno e anno; per DDT e HCH si evidenziano andamenti di carico in diminuzione negli ultimi tre anni, mentre per i PCB è evidente un contemporaneo periodo di arricchimento nei carichi delle stazione a più alta quota, soprattutto a Robiei.

Bibliografia

- CIP AIS. 2002. *Monitoraggio della presenza di DDT ed altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore*. Rapporto Annuale Aprile 2001- Marzo 2002, 89 pp.
- CIP AIS. 2003. *Monitoraggio della presenza di DDT ed altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore*. Rapporto Annuale Aprile 2002- Marzo 2003, 68 pp.
- CIP AIS. 2004. *Monitoraggio della presenza di DDT ed altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore*. Rapporto Annuale Aprile 2003 – Marzo 2004, 78 pp.
- CIP AIS 2005 *Monitoraggio della presenza di DDT ed altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore*. Rapporto Annuale Aprile 2004 – Marzo 2005, 76 pp.
- CIP AIS 2006 *Monitoraggio della presenza di DDT ed altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore*. Rapporto Annuale Aprile 2005 – Marzo 2006, 76 pp.

6. MONITORAGGIO DELLA CONTAMINAZIONE DA DDT NEL LAGO MAGGIORE MEDIANTE L'ANALISI DI ORGANISMI INDICATORI

6.1. Biomonitoraggio con molluschi bivalvi

Diverse centinaia di esemplari di *Dreissena polymorpha* sono state prelevate alla fine di aprile 2006 in 14 diverse stazioni di campionamento (Fig. 6.1.1), le stesse già selezionate nel biennio 2004-2005, in modo da valutare l'andamento della contaminazione da DDT soprattutto nella parte centrale del Verbano. Le metodiche analitiche e di campionamento sono le stesse utilizzate negli anni precedenti e già descritte nei precedenti Rapporti CIP AIS.

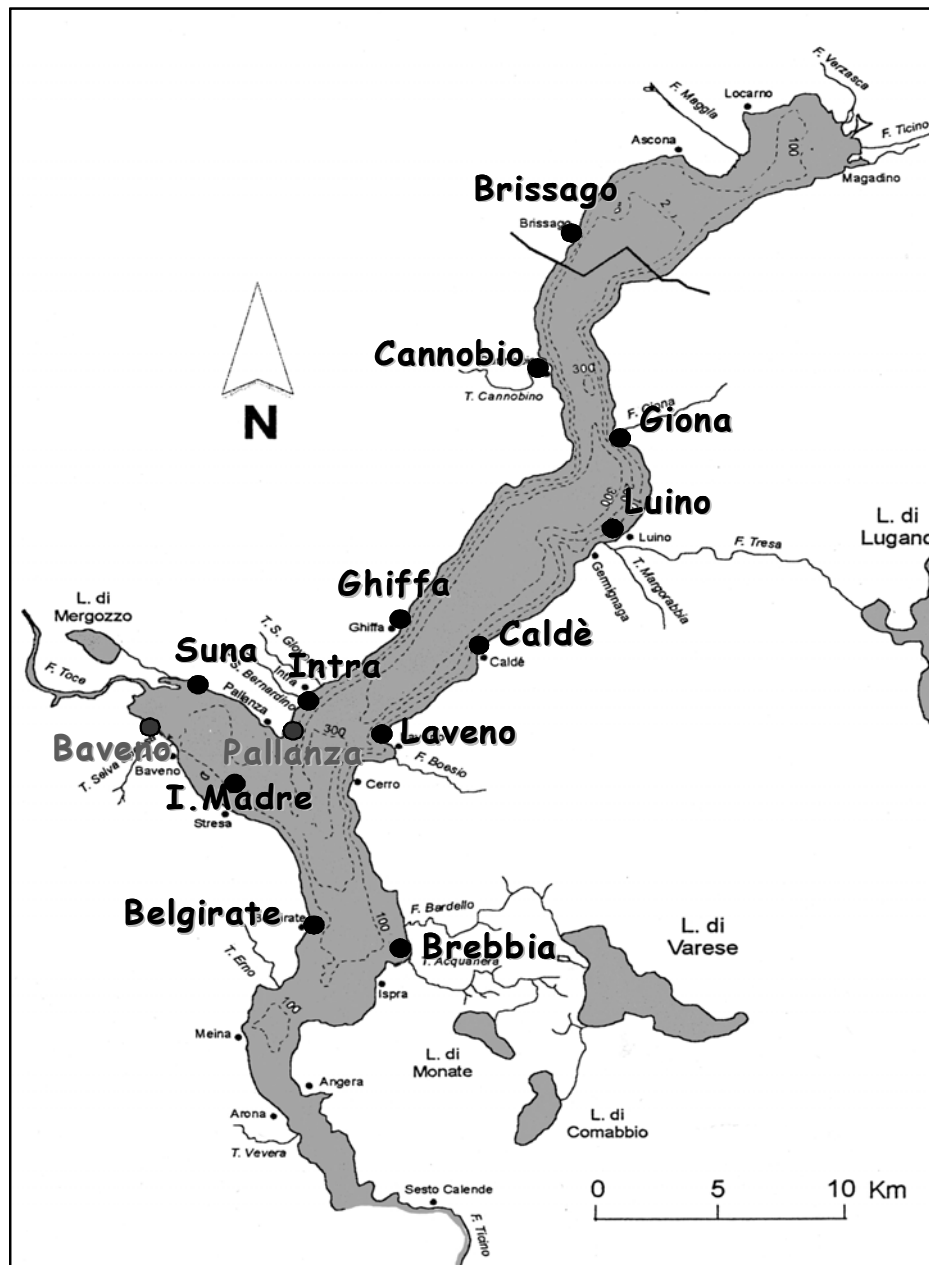


Fig. 6.1.1. Stazioni di campionamento scelte per il prelievo dei bivalvi. In grigio chiaro sono indicate i due siti di prelievo "storici", di cui abbiamo dati a partire dal 1996.

I risultati ottenuti (Fig. 6.1.2) hanno confermato l'andamento già osservato nel 2005, in quanto il sito di prelievo di Baveno non risulta più quello maggiormente interessato dalla contaminazione da pp'DDT e relativi composti omologhi (conc. inferiore a $1 \mu\text{g g}^{-1}$ lipidi). Al contrario, le stazioni che hanno mostrato i valori più alti, in termini di DDT totali, sono state Laveno ($4,0 \mu\text{g g}^{-1}$ lipidi), Ghiffa ($3,2 \mu\text{g g}^{-1}$ lipidi) e Luino ($2,9 \mu\text{g g}^{-1}$ lipidi), poste nella parte centrale del lago, seguite da Suna ($2,7 \mu\text{g g}^{-1}$ lipidi) e Brebbia ($2,6 \mu\text{g g}^{-1}$ lipidi). I siti di prelievo più settentrionali (Brissago, Cannobio, Giona) sono risultati tendenzialmente meno contaminati, con un valore medio pari a $1,1 \mu\text{g g}^{-1}$ lipidi. Non sono state evidenziate, al contrario, particolari differenze tra le due diverse sponde del Verbano. Il risultato più sorprendente è che mediamente il 93% dei DDT totali sia ormai rappresentato solo ed esclusivamente dal pp'DDE, a testimonianza del fatto che, almeno nel primo semestre 2006, non si sono verificate nuove immissioni del composto parentale dal bacino imbrifero.

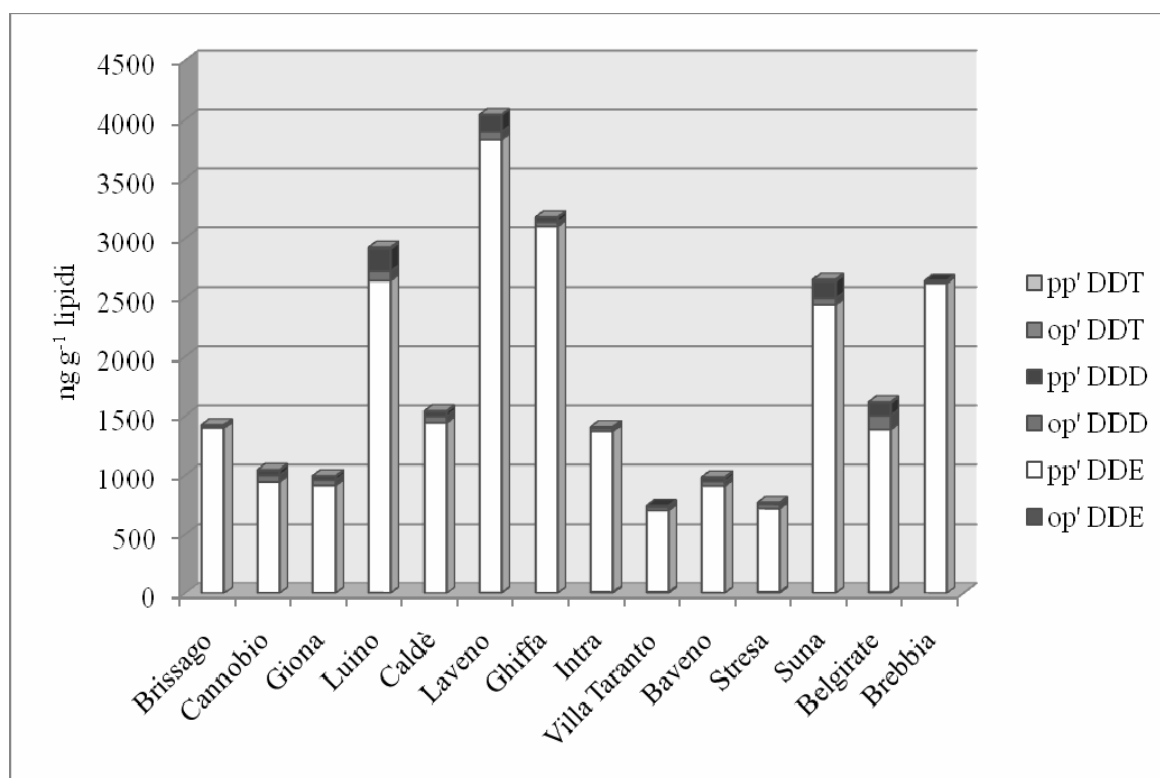


Fig. 6.1.2. Concentrazione dei DDT totali e dei singoli composti omologhi nelle 14 stazioni di campionamento monitorate.

Se, tuttavia, si confrontano i livelli di DDT totali rilevati nell'ultimo triennio (Fig. 6.1.3) si nota come nel 2006 si sia verificato un peggioramento della contaminazione per la maggior parte dei siti di prelievo. Tali differenze non sono imputabili a differenze fisiologiche né al ciclo riproduttivo dell'animale, in quanto il prelievo è avvenuto sempre nello stesso periodo dell'anno fin dal 1996. Le concentrazioni medie 2006 ($1,9 \mu\text{g g}^{-1}$ lipidi) sono aumentate del doppio rispetto agli stessi valori medi rilevati nel 2004 ($1 \mu\text{g g}^{-1}$ lipidi) e 2005 ($0,9 \mu\text{g g}^{-1}$ lipidi). Le cause di questo deciso aumento della contaminazione non sono attualmente note, ma potrebbero essere legate ad un'immissione dal bacino imbrifero, soprattutto nella zona centrale del lago, di pp'DDE oppure a possibili frane sublacuali che hanno determinato una risospensione dei sedimenti lacustri. Tale ipotesi potrebbe essere suffragata dal fatto che alcuni dati chimici dei sedimenti campionati nel lago nel 2006 sono profondamente diversi rispetto agli anni precedenti, come conseguenza di probabili cambiamenti nel fondo della cuvetta lacustre.

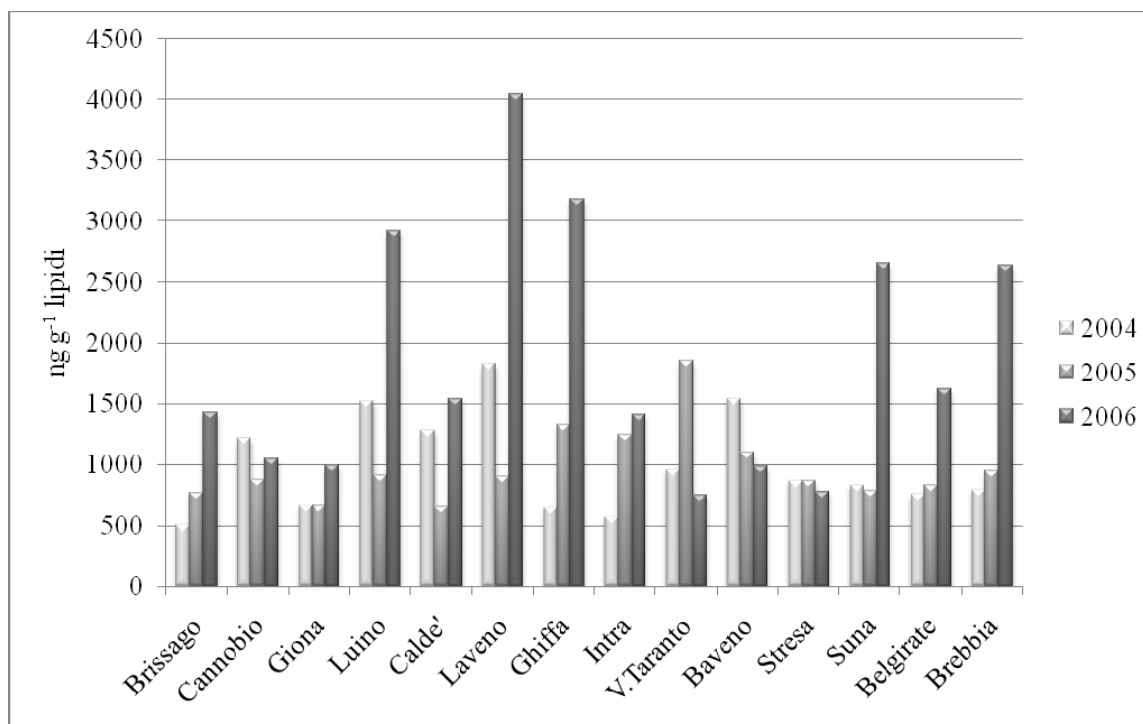


Fig. 6.1.3. Comparazione tra i livelli di DDT totali rilevati nelle 14 stazioni di campionamento negli anni 2004, 2005, 2006.

In conclusione, ancora una volta i dati di contaminazione 2006 tendono ad indicare come l'ecosistema lacustre non sia assolutamente in equilibrio, in quanto si osservano evidenti oscillazioni annuali dovute a cause diverse.

La valutazione dello stato di contaminazione da pp'DDT e relativi composti omologhi da svolgersi mediante l'impiego del bivalve *Dreissena polymorpha* è stata eseguita con due modalità differenti durante i sei anni del Progetto Esecutivo CIP AIS. Nel biennio 2001-2002, infatti, si è proceduto allo studio delle variazioni temporali dell'inquinamento in due sole stazioni di campionamento: Baveno, posta a fianco dell'immissione del Fiume Toce, e Pallanza-Villa Taranto, situata invece oltre Punta Castagnola e rappresentativa della situazione di contaminazione al di fuori della Baia di Pallanza. Tale indagine si è realizzata attraverso il prelievo mensile da aprile ad ottobre nel biennio sopra indicato di diverse centinaia di bivalvi che, attraverso opportune metodologie di estrazione, purificazione ed analisi gas-cromatografiche, hanno permesso di evidenziare le fluttuazioni temporali dell'inquinamento da pp'DDT e relativi composti omologhi nella zona a maggior rischio ambientale dell'intero bacino. Per completezza d'informazione, il nostro Gruppo di Ricerca ha indipendentemente provveduto a campionare i bivalvi in questi due siti anche durante l'inverno 2001, al di fuori dal contratto stipulato.

Dal 2003, previa autorizzazione ottenuta dalla CIP AIS, si è allargato il campo d'indagine per poter valutare lo stato di contaminazione dell'intero perimetro del lago mediante tale organismo-sentinella che fornisce ampie garanzie di sensibilità, rapidità nell'accumulo dei contaminanti e, essendo sessile, in grado di evidenziare anche il cosiddetto *fingerprint* sito-specifico dell'inquinamento. In particolare, dal 2003 al 2006 sono state campionate 14 diverse stazioni nel periodo pre-riproduttivo del bivalve (aprile-maggio), scelte appositamente per coprire l'intero bacino e mettere in evidenza altre eventuali sorgenti puntiformi di contaminazione. La presentazione dei dati ottenuti nell'intero arco del progetto esecutivo non può quindi prescindere da questa evidente discrepanza tra i primi due anni ed i successivi quattro.

La figura 6.1.4 presenta il confronto tra le concentrazioni di DDT totali misurate mensilmente tra aprile 2001 ed ottobre 2002, mostrando anche i mesi da noi campionati indipendentemente dagli accordi contrattuali. Si può notare come i livelli di contaminazione aumentino nei due periodi primaverili, per poi calare decisamente in entrambi gli anni durante l'estate e l'autunno. Questo andamento è dovuto sia al ciclo riproduttivo del bivalve sia al variare delle condizioni idrologiche del lago. Infatti, subito dopo la parziale o totale circolazione tardo-primaverile del lago si ha una risalita delle acque ipolimniche più contaminate e, contemporaneamente, *D. polymorpha* inizia ad accumulare riserve lipidiche in funzione dell'evento riproduttivo, che avviene verso la fine di maggio. Questa concomitanza di eventi porta ad un bioaccumulo maggiore di tutte le sostanze lipofile rispetto al resto dell'anno (Binelli e Provini, 2003). Il calo osservato, invece, nel periodo estivo è dovuto al rilascio dei gameti che, ricchi di lipidi, determinano una sorta di depurazione naturale del mollusco.

Se analizziamo in dettaglio gli andamenti temporali possiamo osservare come nel biennio 2001-2002 la Baia di Pallanza sia stata un'area a forte rischio ambientale e non interessata da un calo dei livelli di DDT totali, in quanto i valori misurati nel mese di aprile 2002 sono solo circa l'8% inferiori rispetto a quelli misurati nell'aprile 2001. Al contrario, nella stazione di Pallanza-V. Taranto si è registrato un calo evidente del 43% rispetto all'anno precedente, a testimonianza del fatto che nel resto del lago la contaminazione tendeva a diminuire, in quanto interessata solo indirettamente dalla continua immissione di DDT dal Fiume Toce. E' comunque opportuno far notare che i valori più elevati dei DDT totali rilevati nel mese di aprile 2001 sia a Baveno (4517 ng g⁻¹ lipidi) che a Pallanza-V. Taranto (1948 ng g⁻¹ lipidi) siano stati entrambi circa il 30 % maggiori rispetto a quelli rilevati nello stesso periodo e nelle stesse stazioni nel 1996, prima della chiusura dello scarico della industria chimica di Pieve Vergonte. La ragione è dovuta prevalentemente al pesante evento alluvionale che ha colpito la zona di Pallanza nell'autunno 2000 e che ha determinato un nuovo rilascio di DDT sia dai terreni attorno e dentro la fabbrica, sia una mobilitazione verso il lago dei sedimenti contaminati del Torrente Marmazza e del Fiume Toce. L'effetto di tale alluvione si è fatta sentire anche l'anno successivo, grazie al meccanismo di risalita delle acque ipolimniche descritto precedentemente, e a due nuovi piccoli eventi alluvionali avvenuti nella primavera 2002.

A testimonianza dell'effetto che l'evento alluvionale ha avuto sulla contaminazione da DDT del Lago Maggiore nel biennio 2001-2002 possiamo notare come a Pallanza-V. Taranto il composto maggiormente rilevato sia stato il pp'DDD (Figura 6.1.5 a) e che anche all'interno della baia tale omologo è stato quello prevalente, ad eccezione dei mesi di maggio e giugno 2001 (Figura 6.1.5 b). Il pp'DDD, infatti, è un eccellente marcatore, in quanto risulta essere il principale metabolita in condizioni riducenti, caratteristiche proprio di eventi alluvionali (ATSDR, 2000). D'altra parte, i livelli di DDD sono sempre risultati trascurabili rispetto agli altri omologhi negli anni precedenti e, come descritto più avanti, anche in quelli successivi, confermando che tale composto si forma solo in particolari condizioni idrologiche.

Per valutare se gli elevati valori di contaminazione osservati nel 2001-2002 potessero determinare un effetto nei confronti della biocenosi del Verbano, abbiamo effettuato uno studio indipendente sul comportamento riproduttivo e la maturazione dei gameti di esemplari di *D. polymorpha* prelevati a Baveno e a Pallanza-V. Taranto, confrontando i risultati anche con bivalvi prelevati in altri ambienti italiani non interessati da un inquinamento da DDT. I risultati delle analisi istologiche hanno messo in evidenza che gli esemplari prelevati nel sito più contaminato presentavano un ritardo nella maturazione degli oociti ed un'incidenza statisticamente significativa di un quadro patologico riferibile ad effetti di degenerazione degli oociti e, nel caso dei maschi, ad un ritardo nel rilascio dei gameti di ben due mesi rispetto agli individui femminili prelevati nello stesso sito (Binelli *et al.*, 2004).

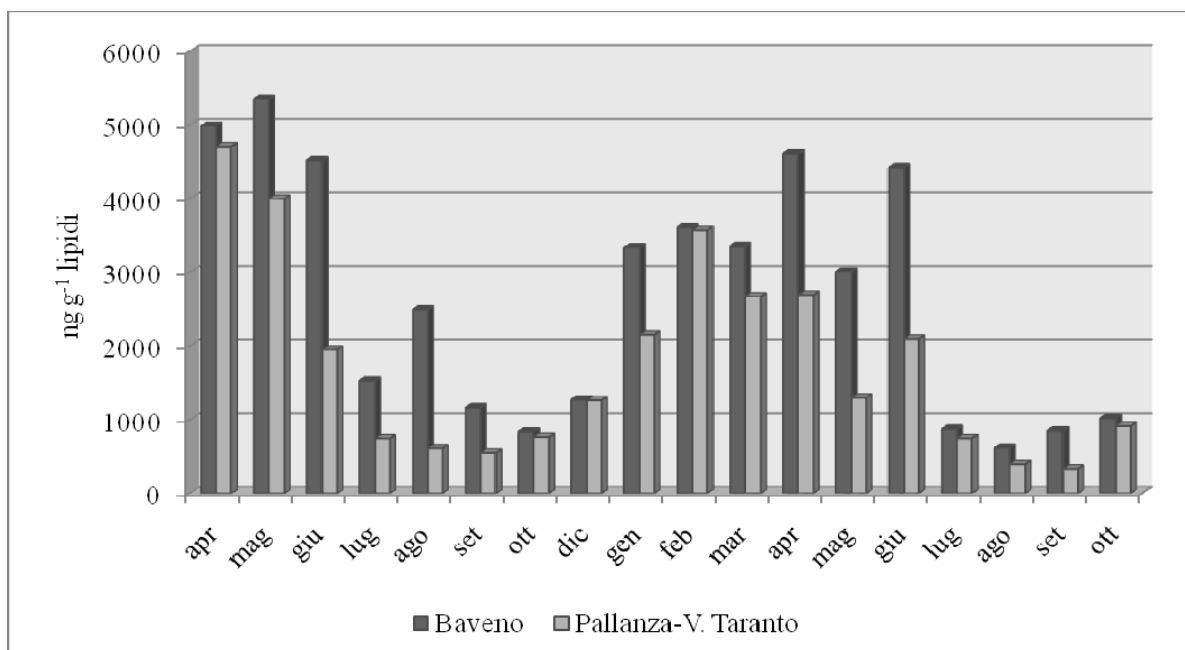


Fig. 6.1.4. Concentrazione dei DDT totali misurata mensilmente nel periodo aprile 2001-ottobre 2002.

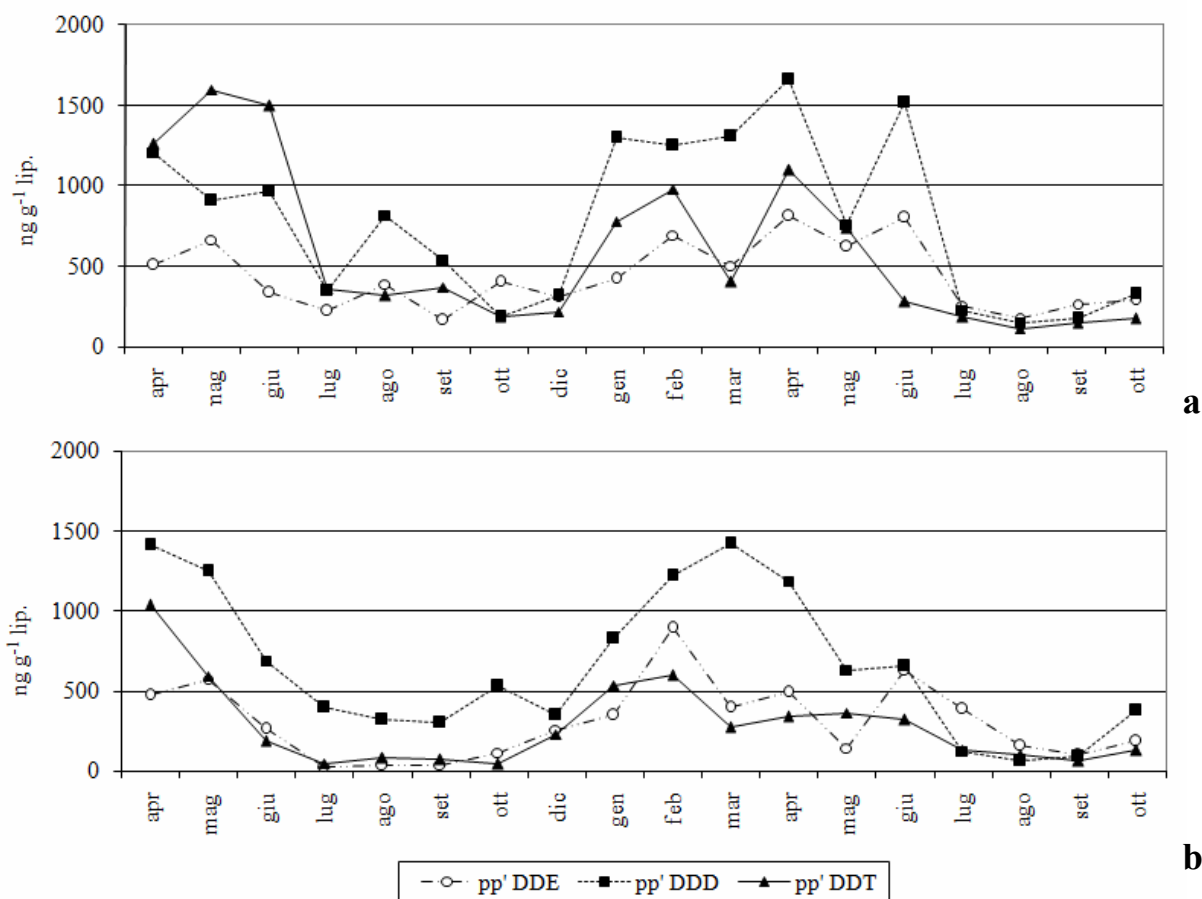


Fig. 6.1.5. Andamento temporale dei livelli dei tre isomeri pp' misurati nel periodo aprile 2001-ottobre 2002 nelle stazioni di Baveno (a) e Pallanza-Villa Taranto (b).

Dal 2003 i bivalvi sono stati prelevati in 14 stazioni una sola volta l'anno, durante il periodo pre-riproduttivo (Tabella 6.1.1). Nel 2003 abbiamo eseguito un primo *screening* lungo tutto il perimetro del lago, spingendosi in Svizzera (Magadino e Brissago), fino alla sua parte più meridionale (Ranco ed Arona). Dopo aver valutato come la zona a maggior rischio ambientale fosse l'area centrale e, ovviamente, la Baia di Pallanza, negli anni successivi abbiamo abbandonato i siti geograficamente più a nord e più a sud (Magadino, Ranco e Arona) per concentrare i prelievi di bivalvi proprio in queste due aree, aggiungendo le stazioni di campionamento di Ghiffa, Suna e Belgirate (Tabella 6.1.1).

Tab. 6.1.1. Stazioni di prelievo utilizzate nel quadriennio 2003-2006 e relativa suddivisione in zone geografiche.

Zona	Stazione di prelievo	2003	2004	2005	2006
Nord	Magadino	X			
	Brissago	X	X	X	X
	Cannobio	X	X	X	X
	Giona	X	X	X	X
Centro	Luino	X	X	X	X
	Caldè	X	X	X	X
	Ghiffa		X	X	X
	Intra	X	X	X	X
	Pallanza-V. Taranto	X	X	X	X
	Laveno	X	X	X	X
Baia	Baveno	X	X	X	X
	Suna		X	X	X
	Stresa	X	X	X	X
	Belgirate		X	X	X
Sud	Brebbia	X	X	X	X
	Ranco	X			
	Arona	X			

La suddivisione in aree diverse consente di eseguire un confronto più semplice ed immediato tra i livelli di contaminazione raggiunti negli ultimi anni nel Verbano. La figura 6.1.6 mostra i valori mediani dei DDT totali misurati nei quattro anni, ottenuti nelle diverse zone in cui il Verbano è stato idealmente suddiviso. A causa dei diversi punti di prelievo scelti nel 2003 rispetto agli anni successivi il confronto statistico è stato possibile solo tra le aree Nord e Centro del lago. Sono state individuate differenze statisticamente significative (ANOVA, Fisher LSD *post-hoc* test, $p < 0.05$) tra i livelli 2003 e 2006 misurati nella zona più settentrionale, a testimonianza di un lieve peggioramento della contaminazione avvenuta nell'ultimo anno di campionamento. Sicuramente il dato più interessante è che il valore mediano dei DDT totali misurati nelle stazioni poste nell'area centrale del Verbano nel 2006 è

risultato statisticamente differente ($p < 0.01$) rispetto a tutti i livelli osservati negli anni precedenti. Il peggioramento della situazione ambientale non è al momento spiegabile, in quanto potrebbe essere legata o a nuovi rilasci dal bacino legati all'attività antropica oppure a particolari condizioni ideologiche e sedimentarie, quali frane sublacuali, che avrebbero potuto rilasciare questi composti dai sedimenti. Nonostante non sia stato possibile eseguire un confronto statistico, si può osservare come anche la zona Sud presenti un aumento della contaminazione da DDT, in quanto sono stati raggiunti livelli più che doppi rispetto agli anni precedenti. Al contrario, l'inquinamento misurato nella Baia di Pallanza è risultato costante nei quattro anni di campionamento (Figura 6.1.6), con differenze non statisticamente significative tra gli anni 2004, 2005 e 2006. Tale risultato indicherebbe che, dopo la pesante alluvione dell'ottobre 2000, nessun apporto significativo di DDT è più avvenuto dal Fiume Toce, contribuendo all'abbattimento della contaminazione all'interno della baia. Dal confronto tra i diversi anni, compreso il biennio 2001-2002, possiamo comunque trarre la conclusione che l'ecosistema non ha ancora raggiunto una condizione di equilibrio tra le sue diverse componenti, in quanto si verificano troppo spesso ampie fluttuazioni dei livelli di contaminazione. Inoltre, i dati 2006 sembrerebbero indicare un peggioramento della qualità ambientale in zone che non dovrebbero essere state interessate da sorgenti puntiformi di DDT negli anni precedenti.

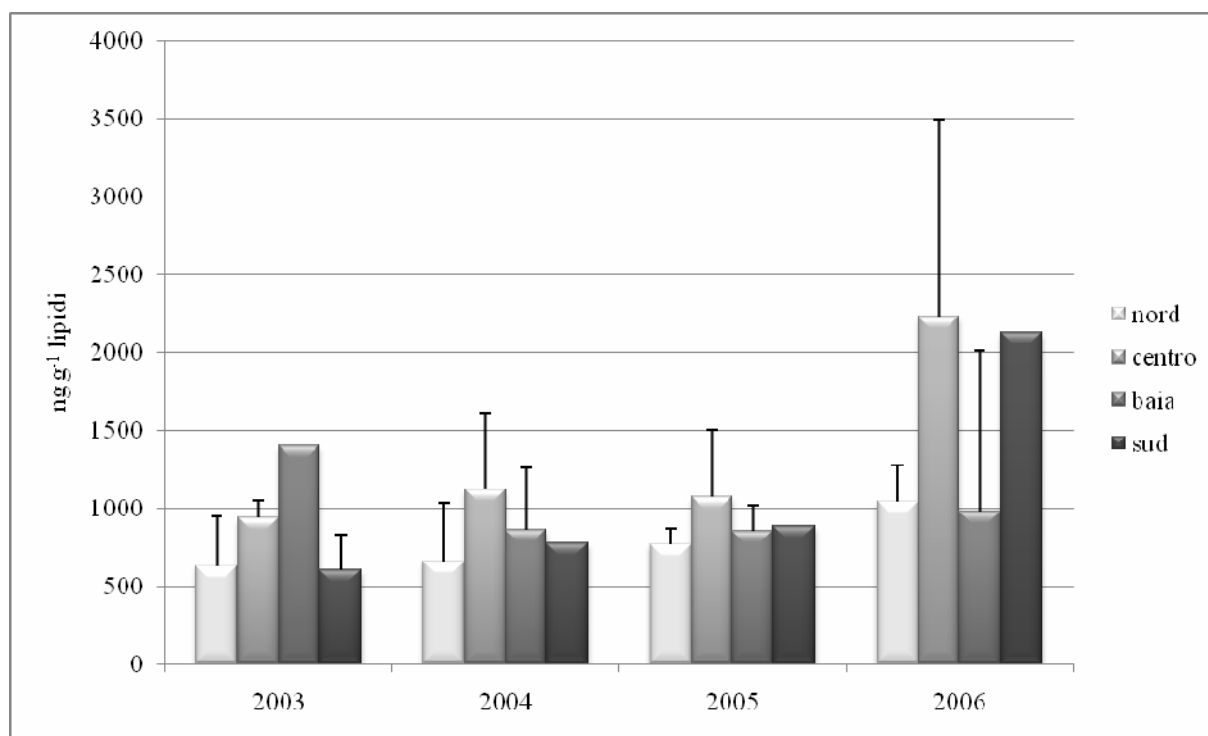


Fig. 6.1.6. Valori mediани ottenuti nel periodo 2003-2006 della concentrazione di DDT totali nelle quattro diverse zone in cui è stato idealmente suddiviso il bacino del Lago Maggiore. Dove possibile è stata indicata anche la deviazione standard (barre verticali).

A testimonianza dei continui cambiamenti legati anche alla bio-trasformazione tra i diversi omologhi, possiamo notare le evidenti variazioni delle percentuali medie dei 6 composti durante il periodo 2003-2006 (Figura 6.1.7). In particolare, si assiste ad un deciso aumento del pp'DDE, soprattutto nell'ultimo anno di campionamento, nel quale il metabolita finale del pp'DDT rappresenta mediamente ben il 94% del totale. Al contrario, il composto parentale risulta essere in costante calo durante il triennio 2003-2005, per arrivare a livelli

assolutamente trascurabili nel 2006. Anche il pp'DDD tende a calare, in quanto si passa da una percentuale di circa il 40% nel 2003, probabilmente a seguito dell'effetto-memoria legato ancora all'alluvione del 2000, fino a solo il 3% registrato nell'ultimo anno. Questi andamenti confermano innanzitutto che da diversi anni non sembrano esserci delle nuove immissioni di pp'DDT nel bacino del Verbano e che, ormai, quasi tutta la contaminazione registrata, almeno nei bivalvi, è dovuta al pp'DDE. Tale situazione non deve stupire, ma neppure tranquillizzare perché tale composto è, innanzitutto, il più stabile e quindi più persistente dal punto di vista ambientale (ATSDR, 2000). Inoltre, per le sue caratteristiche chimico-fisiche, è l'omologo più volatile, costituendo una possibile fonte di futura contaminazione per ecosistemi vicini al Verbano. Infine, il pp'DDE è un potente interferente endocrino, in quanto compete con i recettori del testosterone, determinando un possibile effetto demascolinizzante nell'individuo esposto.

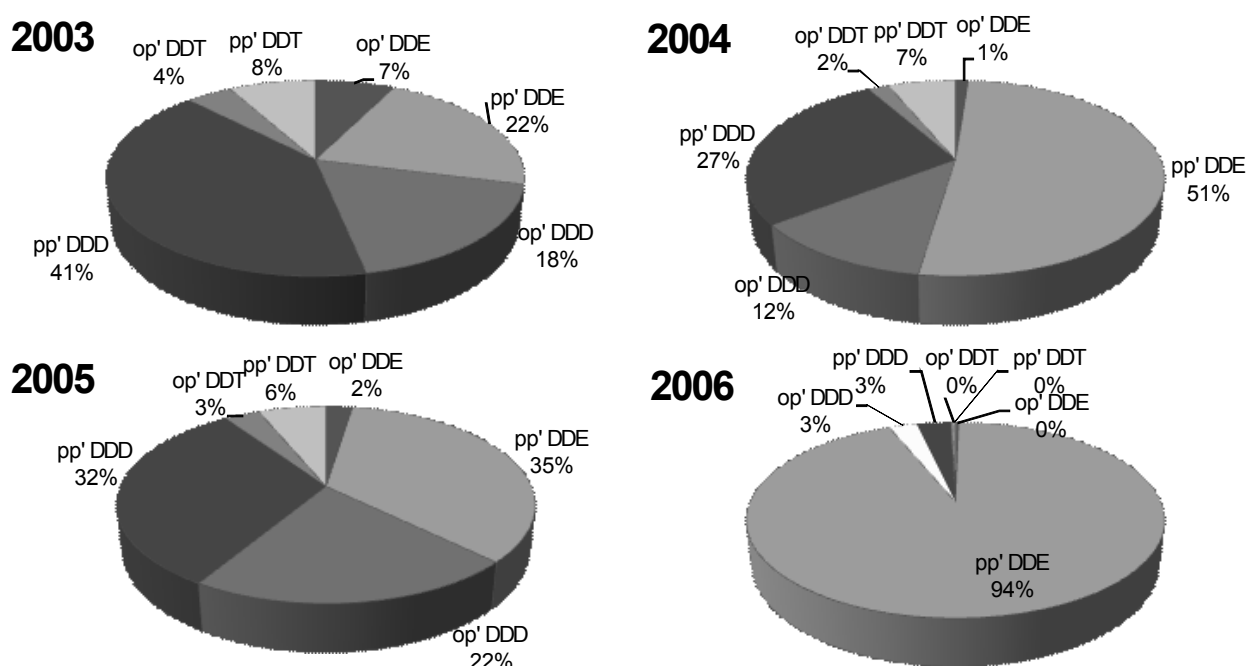


Fig. 6.1.7. Percentuali medie dei diversi composti omologhi calcolate annualmente nel periodo 2003-2006 per le 14 stazioni di campionamento.

Infine, siamo in possesso di una serie decennale di dati dei livelli di DDT totali raggiunti nelle due stazioni di Baveno e Pallanza-V. Taranto, che rappresenta una serie storica fondamentale (Figura 6.1.8) difficilmente riscontrabile nella letteratura scientifica riguardante i composti di sintesi. Il confronto tra i due siti dimostra come i livelli siano stati tendenzialmente più che doppi nella stazione posta all'interno della baia fino al 2002, per poi omogeneizzarsi nel periodo successivo, fino ad invertire l'andamento nel 2005. Se escludiamo il biennio 2001-2002, l'andamento della contaminazione da DDT totali sembra essere in lenta diminuzione soprattutto a Baveno, a causa del continuo calo nel rilascio di tali composti da parte del Fiume Toce. Poiché, però, gli ultimi anni non sono stati interessati da alluvioni come avvenuto, al contrario, all'inizio del secolo, il calo osservato potrebbe essere legato solo alle particolari condizioni idrologiche e meteorologiche, particolarmente siccitose in alcuni anni, e, andrebbe quindi verificato anche nei prossimi anni.

In conclusione, l'ecosistema lacustre sembra ancora in evoluzione, in quanto l'andamento della contaminazione sembra essere strettamente dipendente non solo dalle attività antropiche (sversamenti diretti e indiretti, pulizia degli invasi), ma anche dalle condizioni atmosferiche, che soprattutto in questi ultimi anni sono caratterizzate da variazioni estreme, oscillanti tra periodi di prolungata siccità a violente precipitazioni che possono portare anche ad eventi estremi quali le alluvioni registrate nel biennio 2001-2002.

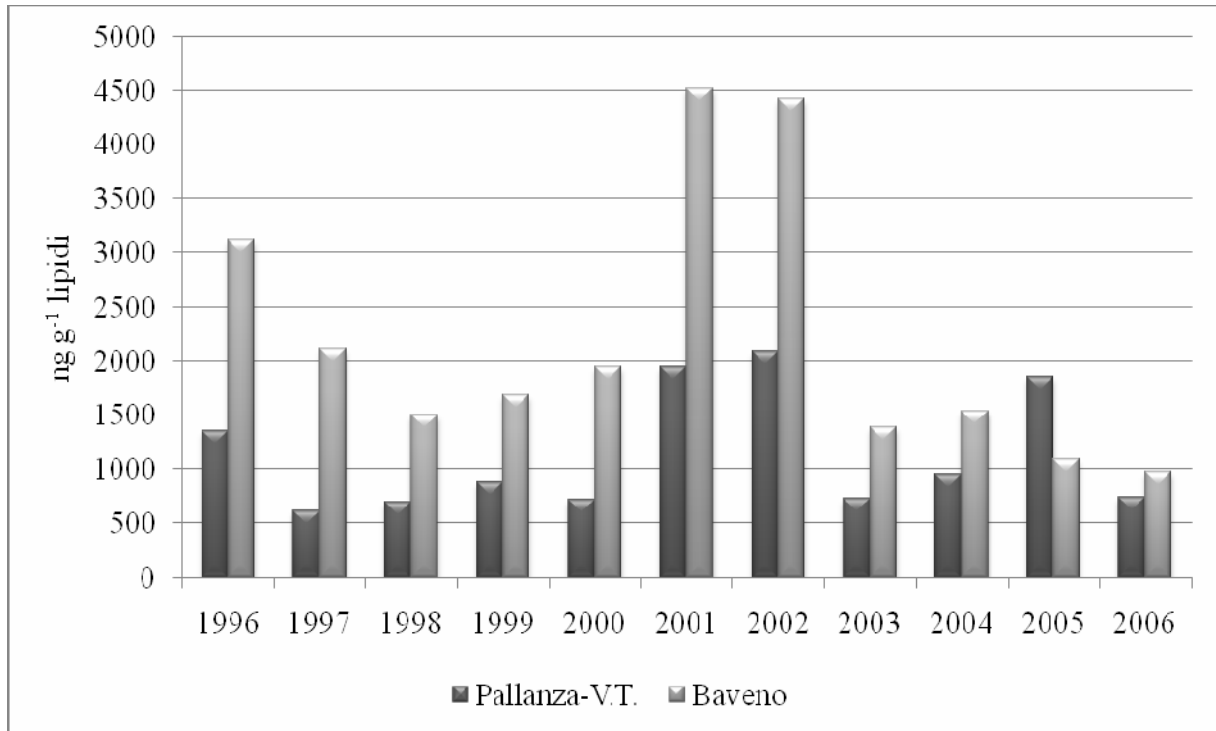


Fig. 6.1.8. Confronto tra i valori di DDT totali misurati a Baveno e Pallanza-Villa Taranto dal 1996 al 2006.

Bibliografia

- ATSDR, 2000. *Toxicological profile for DDT, DDE and DDD*. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, GA, USA. pp. 393.
- Binelli A. and A. Provini. 2003. DDT is still a problem in developed Countries: the heavy pollution of Lake Maggiore. *Chemosphere*, 52(4): 717-723.
- Binelli A., R. Bacchetta, P. Mantecca, F. Ricciardi, A. Provini, G. Vailati. 2004. DDT in zebra mussels from Lake Maggiore: level of contamination and endocrine disruptions. *Aquatic Toxicology*, 69(2): 175-188.

6.2 Effetti della contaminazione sulla popolazione di uccelli ittiofagi

Se si esamina l'andamento temporale della contaminazione da DDT e PCB nelle uova di svasso raccolte a Fondo Toce (Fig. 6.2.1), si può osservare che la concentrazione massima di pp'DDE, di gran lunga il componente principale (>95% dei DDT totali), è stata raggiunta nel campionamento del 2005. Il valore medio minimo di spessore del guscio è stato invece misurato nei campioni del 2004 ed è risultato significativamente inferiore rispetto agli anni precedenti.

Non esistono in letteratura informazioni relative agli effetti dell'accumulo del DDT e dei PCB nello Svasso maggiore. Livelli di pp'DDE compresi tra 2,5 e 8 $\mu\text{g g}^{-1}$ in peso fresco (p.f.) dell'uovo (che rappresenta circa il 22% del peso secco) sono ritenuti efficaci nel causare una riduzione del successo riproduttivo in alcune specie di uccelli piscivori (Custer *et al.*, 1999).

Convertendo i nostri dati in peso fresco, si ottengono livelli di pp'DDE compresi tra circa 1 e circa 10 $\mu\text{g g}^{-1}$ p.f. Purtroppo alla contaminazione da pp'DDE si somma quella da PCB. Per i PCB è stata individuata una soglia di effetto di 3-5 $\mu\text{g g}^{-1}$ p.f. (Giesy *et al.*, 1994). Le medie dei valori dei PCB non hanno superato questa soglia ma singole uova del Lago Maggiore e soprattutto del Garda l'hanno ampiamente superata. Data la complessità delle miscele dei PCB e la variabilità delle combinazioni dei diversi contaminanti non è facile valutare l'effetto cumulativo di queste sostanze tossiche.

Le misure dello spessore del guscio che abbiamo effettuato su tutte le uova analizzate sinora, in collaborazione col Prof. Giulio Melone del Dipartimento di Biologia dell'Università di Milano, mediante tecniche di microscopia elettronica, hanno mostrato una debole ma significativa correlazione tra assottigliamento del guscio e concentrazioni dei PCB (spessore = -1,58 PCB + 269, $r^2 = 0,439$) e una riduzione significativa dello spessore dal 1998 al 2004 (Fig.6.2.1).

Oltre alla misura dello spessore del guscio sono state eseguiti dosaggi di due ormoni, il testosterone (T) e l'estradiolo (E) sulle uova raccolte nel 2004 e nel 2005; queste analisi sono state condotte nel laboratorio della Prof. Cinta Porte del *Consejo Europeo Superior de Investigaciones Científicas* (CSIC) di Barcellona (Tab.6.2.1).

Dalla letteratura è noto che il pp'DDE determina effetti anti-androgenici su molte specie animali. In effetti, le uova raccolte a Fondo Toce contengono livelli di testosterone mediamente inferiori a quelle di Desenzano del Garda sebbene le differenze osservate non siano confermate dall'analisi statistica data la grande variabilità dei dati del Maggiore.

Se si confronta, invece, la concentrazione media di testosterone ($45,08 \pm 9,26 \text{ ng g}^{-1}$ peso secco) nelle uova che contengono più di 4 mg kg^{-1} di pp'DDE con la media di quelle meno contaminate ($31,78 \pm 7,32 \text{ ng g}^{-1}$ p.s.), si osserva una differenza statisticamente significativa ($p = 0,096$), confermando un possibile effetto della contaminazione sull'inibizione della produzione di testosterone nello svasso.

Va tuttavia osservato che il numero di campioni sui quali è stato possibile eseguire i dosaggi ormonali è stato piuttosto esiguo anche a causa degli elevati costi di queste determinazioni. Considerata l'importanza delle implicazioni di questo studio sulla conservazione della fauna selvatica, dispiace che queste ricerche non possano continuare. Si spera che questi primi risultati possano indurre gli Enti locali e le Organizzazioni per la difesa della fauna a sostenere queste ricerche. Al momento, si può concludere che esistono indicazioni di un possibile effetto negativo della contaminazione sulle popolazioni di svasso ma che tali effetti non possono essere attribuiti unicamente alla contaminazione da DDT e dei suoi metaboliti. Risulta, inoltre, sempre più problematico reperire un'area di riferimento a bassa contaminazione ambientale da composti organoclorurati.

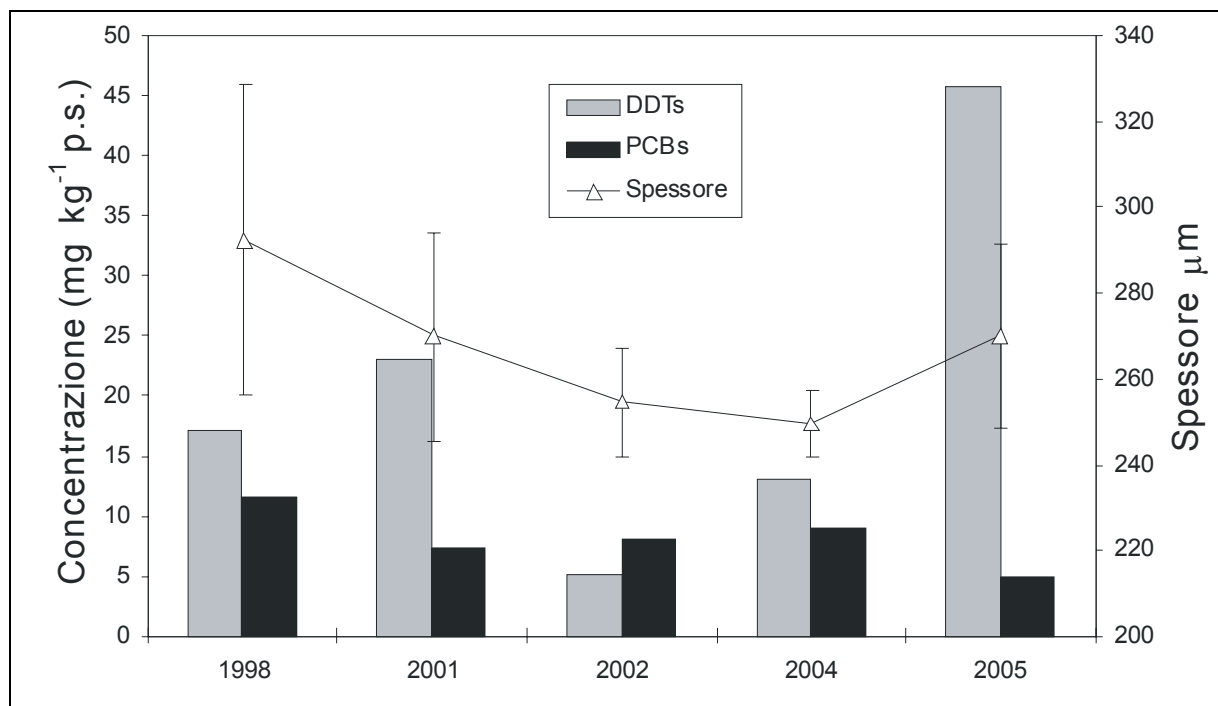


Fig. 6.2.1. Andamento temporale della contaminazione delle uova di Svasso maggiore e spessore del guscio.

Tabella 6.2.1. Risultati dei dosaggi ormonali nelle uova di svasso.

	campione	Testosterone ng g ⁻¹ p.s.	Estradiolo ng g ⁻¹ p.s.	pp'DDE (mg kg ⁻¹ p.s.)	PCB tot. (mg kg ⁻¹ p.s.)
Garda 2004	B1	52,23	6,03	1,29	1,11
Garda 2004	B2	46,81	3,47	1,41	1,63
Garda 2004	C1	44,81	2,98	5,21	22,81
Garda 2004	D1	42,57	85,57	5,4	23,93
Garda 2004	E1	52,14	3,13	6,25	24,71
Garda 2004	F1	35,85	8,48	5,02	21,82
Garda 2004	G1	50,16	3,05	1,48	3,85
Garda 2004	G2	51,93	3,33	1,17	3,45
Garda 2004	G3	26,7	1,03	1,48	3,5
	mediana	46,81	3,33	1,48	3,85
	media	44,8	13,01	3,19	11,87
	sd	8,7	27,29		
Maggiore 2004	I1	28,81	1,48	8,89	5,32
Maggiore 2004	L1	25,15	1,56	17,12	14,58
Maggiore 2004	N1	42,12	5,33	23,04	8,09
Maggiore 2004	O1	26,2	3,07	4,52	6,64
Maggiore 2004	P1	36,63	2,07	10,87	9,85
Maggiore 2005	T1	67,9	2,77	32,05	4,84
Maggiore 2005	T2	38,83	2,21	78,12	22,48
Maggiore 2005	T3	43,29	2,26	33,78	4,84
Maggiore 2005	T4	63,98	68,3	49,83	0,83
	mediana	43,29	3,13	23,04	6,64
	media	41,43	9,89	28,69	8,61
	sd	15,41	21,93	23,42	6,46

Bibliografia

- Custer, T.W., Custer, C.M., Hines, R.K., Gutreuter, S., Stromborg, K.L., Allen, P.D., Melancon, M.J. (1999) Organochlorine contaminants and reproductive success of double-crested cormorants from Green Bay, Wisconsin, USA. *Environ. Toxicol. Chem.*, 18: 1209-1217.
- Giesy J. P., Ludwig J. P. & Tillitt D. E. 1994. Deformities in birds of the Great Lakes region. Assigning causality. *Environmental Science and Technology*, 28:128A-135A.

6.3. Indagini sul comparto ittico

Anche nel sesto anno d'indagine i campionamenti delle specie ittiche sono stati eseguiti con frequenza stagionale tramite pescatori professionisti e hanno riguardato la zona pelagica (lavarello, *Coregonus* sp.; bondella, *Coregonus macrophthalmus*; agone, *Alosa fallax lacustris*) e litorale (tinca, *Tinca tinca*; scardola, *Scardinius erythrophthalmus*; cavedano, *Leuciscus cephalus*; pesce persico, *Perca fluviatilis*) del Lago Maggiore, sia nella porzione lombarda che in quella piemontese del lago. Le pescate sono state realizzate in giugno, settembre, dicembre 2006 e in marzo 2007 avendo cura di catturare un numero di pesci sufficiente a costituire *pools* di 10 individui per ogni specie ittica in esame, in modo da poter predisporre campioni di parte edibile opportunamente omogeneizzati. Quando questo non è stato possibile le analisi sono state eseguite su *pools* numericamente ridotti o su singoli campioni. Le specifiche dei campioni utilizzati sono riportate in Tabella 6.3.1 dove sono registrati anche i valori medi di lunghezza e peso delle specie pescate nel periodo in studio. Tinca non è stata pescata in Piemonte nel dicembre 2006. Tutti i campioni sono stati sottoposti ad analisi di contenuto lipidico, DDTs, PCBs, esaclorobenzene (HCB) e Hg (Tabelle 6.3.2-6.3.5) con le stesse metodiche già descritte nei precedenti rapporti. Infine, vengono mostrati gli andamenti, a partire dal luglio 2001 e fino al marzo 2007, delle concentrazioni di DDT totale (Figg. 6.3.1-6.3.7), mercurio (Figg. 6.3.8-6.3.14) e PCB totali (Figg. 6.3.15-6.3.21) nella parte edibile di ciascuna delle specie ittiche campionate nelle acque piemontesi e lombarde, anche in riferimento alla “media lago”, vale a dire al valore medio assunto come rappresentativo della concentrazione media del contaminante in quel determinato popolamento ittico lacustre.

Tab. 6.3.1. Specifiche delle specie ittiche campionate nel sesto anno di indagini nelle acque piemontesi (P) e lombarde (L) del Lago Maggiore: numero di individui e sesso, lunghezza e peso medio.

		giugno 2006			settembre 2006			dicembre 2006			marzo 2007		
		N° e sesso	Lungh. cm	Peso g	N° e sesso	Lungh. cm	Peso g	N° e sesso	Lungh. cm	Peso g	N° e sesso	Lungh. cm	Peso g
Tinca	P	1f	46	3040	1f	33	880	0	0	0	1f	33	1035
	L	4f	38	1323	2m+1f	30	807	2f	38	1591	1m+4f	44	2367
Scardola	P	5m+5f	16	82	7m+3f	18	130	2m+8f	22	200	1m+9f	27	480
	L	3m+7f	18	118	6m+4f	19	146	1m+9f	18	121	1m+7f	24	324
Cavedano	P	3m+7f	21	194	2m+6f	20	147	2m+8f	25	322	2m+6f	21	155
	L	3m+3f	26	246	6m+4f	22	167	1m+7f	23	227	7f	43	1533
Pesce persico	P	7m+3f	14	49	8m+2f	17	72	4m+6f	17	79	6m+4f	16	69
	L	7m+1f	14	40	10m	14	51	2m+8f	15	49	3m+7f	16	60
Lavarello	P	3m+7f	23	191	5m+5f	28	343	3m+7f	28	338	2m+7f	27	251
	L	3m+6f	22	137	4m+6f	21	149	3m+7f	20	136	6m+4f	19	97
Bondella	P	5m+5f	17	76	7m+3f	19	89	3m+7f	22	160	2m+8f	21	106
	L	5m+5f	19	84	5m+5f	21	162	4m+6f	21	161	3m+7f	19	98
Agone	P	7m+3f	21	104	10m	23	135	1m+9f	20	98	2m+2f	22	114
	L	7m+3f	19	86	5m+4f	22	124	1m+9f	22	108	1m+9f	22	126

Tab. 6.3.2. Giugno 2006. Risultati analitici riferiti alla parte edibile delle specie ittiche campionate nelle porzioni piemontese (P) e lombarda (L) del Lago Maggiore: contenuti di grassi (%), DDT totale e suoi isomeri e metaboliti (mg kg⁻¹), PCBs (mg kg⁻¹), esaclorobenzene HCB (mg kg⁻¹) e mercurio (mg Hg kg⁻¹).

	TINCA		SCARDOLA		CAVEDANO		PERSICO		LAVARELLO		BONDELLA		AGONE	
	P	L	P	L	P	L	P	L	P	L	P	L	P	L
grassi %	2,78	0,57	0,72	0,58	1,02	2,60	1,41	1,15	2,77	1,96	2,00	1,77	5,63	7,06
op-DDD	0,047	0,004	0,004	0,004	0,005	0,007	0,010	0,008	0,006	0,009	0,012	0,012	0,037	0,027
pp-DDD	0,026	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,013	0,007	0,010	0,016	0,020	0,023	0,047	0,019
op-DDE	0,006	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,003	0,002	0,004	0,007	0,010
pp-DDE	0,076	0,002	0,005	0,004	0,015	0,018	0,035	0,017	0,011	0,020	0,016	0,028	0,042	0,062
op-DDT	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,010	0,015
pp-DDT	0,010	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,001	0,004	0,004	0,004	0,005	0,004	0,005	0,016	0,024
DDT totale	0,170	0,008	0,011	0,011	0,023	0,029	0,066	0,039	0,035	0,056	0,056	0,075	0,159	0,157
PCB28	0,004	0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,001	0,002	0,001	0,004	0,003
PCB52	0,006	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,004	0,004
PCB101	0,027	0,002	0,002	0,002	0,003	0,004	0,004	0,004	0,003	0,004	0,004	0,005	0,010	0,014
PCB118	0,048	0,002	0,001	0,002	0,004	0,004	0,004	0,003	0,011	0,003	0,004	0,005	0,010	0,010
PCB138	0,048	0,004	0,004	0,004	0,008	0,007	0,007	0,006	0,004	0,006	0,008	0,010	0,020	0,026
PCB153	0,056	0,004	0,004	0,004	0,007	0,007	0,007	0,005	0,004	0,006	0,007	0,009	0,019	0,025
PCB180	0,026	0,003	0,003	0,003	0,005	0,006	0,004	0,005	0,003	0,005	0,007	0,006	0,014	0,019
PCB totale	0,215	0,016	0,014	0,015	0,030	0,033	0,030	0,028	0,028	0,026	0,034	0,038	0,081	0,101
HCB	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,003
Hg	0,219	0,098	0,049	0,028	0,157	0,085	0,147	0,120	0,072	0,084	0,088	0,090	0,161	0,122

Tab. 6.3.3. Settembre 2006. Risultati analitici riferiti alla parte edibile delle specie ittiche campionate nelle porzioni piemontese (P) e lombarda (L) del Lago Maggiore: contenuti di grassi (%), DDT totale e suoi isomeri e metaboliti (mg kg⁻¹), PCBs (mg kg⁻¹), esaclorobenzene HCB (mg kg⁻¹) e mercurio (mg Hg kg⁻¹).

	TINCA		SCARDOLA		CAVEDANO		PERSICO		LAVARELLO		BONDELLA		AGONE	
	P	L	P	L	P	L	P	L	P	L	P	L	P	L
grassi %	0,50	1,10	1,00	0,70	1,40	1,30	1,00	0,90	3,00	2,40	2,00	2,90	4,20	4,40
op-DDD	0,005	0,006	0,007	0,003	0,003	0,006	0,004	0,004	0,007	0,006	0,014	0,008	0,029	0,022
pp-DDD	<0,001	0,003	<0,001	0,002	<0,001	0,001	0,005	0,003	0,014	0,014	0,036	0,021	0,066	0,026
op-DDE	0,002	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,004	0,002	0,004	0,004
pp-DDE	0,007	0,008	0,008	0,004	0,011	0,014	0,005	0,004	0,011	0,010	0,036	0,015	0,025	0,027
op-DDT	0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,002	0,004	0,003	0,008	0,010
pp-DDT	0,002	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,002	0,001	0,003	0,003	0,008	0,004	0,019	0,021
DDT totale	0,017	0,019	0,016	0,009	0,014	0,022	0,016	0,012	0,039	0,036	0,102	0,053	0,151	0,110
PCB28	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003
PCB52	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,002	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,002
PCB101	0,003	0,004	0,003	0,002	0,002	0,005	0,003	0,002	0,003	0,003	0,005	0,004	0,008	0,010
PCB118	0,005	0,006	0,013	0,004	0,004	0,008	0,004	0,004	0,005	0,004	0,008	0,006	0,013	0,015
PCB138	0,004	0,007	0,006	0,004	0,004	0,008	0,004	0,004	0,005	0,005	0,009	0,006	0,014	0,016
PCB153	0,005	0,008	0,008	0,004	0,004	0,009	0,004	0,004	0,006	0,004	0,010	0,006	0,015	0,018
PCB180	0,001	0,003	0,003	0,001	0,001	0,004	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,005	0,006
PCB totale	0,021	0,030	0,038	0,017	0,018	0,038	0,018	0,017	0,025	0,019	0,037	0,026	0,060	0,070
HCB	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
Hg	0,075	0,072	0,055	0,053	0,073	0,077	0,071	0,075	0,077	0,077	0,086	0,079	0,166	0,164

Tab. 6.3.4. Dicembre 2006. Risultati analitici riferiti alla parte edibile delle specie ittiche campionate nelle porzioni piemontese (P) e lombarda (L) del Lago Maggiore: contenuti di grassi (%), DDT totale e suoi isomeri e metaboliti (mg kg⁻¹), PCBs (mg kg⁻¹), esaclorobenzene HCB (mg kg⁻¹) e mercurio (mg Hg kg⁻¹).

	TINCA		SCARDOLA		CAVEDANO		PERSICO		LAVARELLO		BONDELLA		AGONE	
	P	L	P	L	P	L	P	L	P	L	P	L	P	L
grassi %	*	3,47	1,00	0,55	1,52	1,20	0,88	0,80	3,00	2,83	1,91	2,80	8,60	8,24
op-DDD	*	0,024	0,004	0,005	0,006	0,003	0,004	0,010	0,007	0,013	0,005	0,008	0,032	0,056
pp-DDD	*	0,017	0,002	0,002	0,007	0,001	0,004	0,002	0,021	0,032	0,013	0,022	0,058	0,120
op-DDE	*	0,005	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,005	0,001	0,002	0,006	0,014
pp-DDE	*	0,084	0,011	0,004	0,026	0,009	0,009	0,006	0,016	0,044	0,011	0,016	0,046	0,069
op-DDT	*	0,006	0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,004	0,002	0,002	0,008	0,020
pp-DDT	*	0,006	0,001	0,002	0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,003	0,006	0,002	0,004	0,014	0,029
DDT totale	*	0,142	0,019	0,013	0,042	0,013	0,017	0,020	0,051	0,104	0,034	0,054	0,164	0,308
PCB28	*	0,005	0,001	0,001	<0,001	0,001	0,001	0,013	0,001	0,004	0,002	0,001	0,002	0,001
PCB52	*	0,005	<0,001	0,014	<0,001	<0,001	0,008	0,004	0,001	0,002	<0,001	0,001	0,003	0,004
PCB101	*	0,019	0,002	0,003	0,004	0,002	0,002	0,006	0,003	0,006	0,002	0,003	0,010	0,018
PCB118	*	0,030	0,004	0,005	0,006	0,003	0,004	0,011	0,004	0,008	0,004	0,005	0,014	0,016
PCB138	*	0,050	0,004	0,004	0,006	0,004	0,003	0,009	0,004	0,009	0,004	0,005	0,015	0,018
PCB153	*	0,060	0,004	0,005	0,007	0,004	0,003	0,010	0,005	0,009	0,004	0,006	0,017	0,022
PCB180	*	0,022	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0,005	0,010
PCB totale	*	0,191	0,016	0,034	0,025	0,016	0,022	0,056	0,020	0,041	0,018	0,023	0,066	0,089
HCB	*	0,002	<0,001	0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,003	0,004
Hg	*	0,107	0,036	0,033	0,128	0,050	0,116	0,064	0,064	0,075	0,052	0,051	0,103	0,113

* Nel caso della tinca non sono state effettuate catture nelle acque piemontesi.

Tab. 6.3.5. Marzo 2007. Risultati analitici riferiti alla parte edibile delle specie ittiche campionate nelle porzioni piemontese (P) e lombarda (L) del Lago Maggiore: contenuti di grassi (%), DDT totale e suoi isomeri e metaboliti (mg kg⁻¹), PCBs (mg kg⁻¹), esaclorobenzene HCB (mg kg⁻¹) e mercurio (mg Hg kg⁻¹).

	TINCA		SCARDOLA		CAVEDANO		PERSICO		LAVARELLO		BONDELLA		AGONE	
	P	L	P	L	P	L	P	L	P	L	P	L	P	L
grassi %	1,19	2,19	1,17	0,72	2,00	2,98	1,00	1,00	1,32	2,36	1,49	2,32	5,51	8,06
op-DDD	0,012	0,014	0,004	0,006	0,001	0,013	0,008	0,005	0,005	0,006	0,007	0,008	0,032	0,035
pp-DDD	0,009	0,010	0,004	0,004	0,006	0,006	0,003	0,002	0,016	0,022	0,016	0,016	0,053	0,031
op-DDE	0,002	0,003	0,001	<0,001	0,004	0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,009
pp-DDE	0,029	0,023	0,019	0,021	0,002	0,084	0,014	0,006	0,014	0,024	0,023	0,044	0,050	0,080
op-DDT	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,002	<0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,006	0,013
pp-DDT	0,002	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,004	0,001	0,003	0,003	0,004	0,003	0,014	0,026
DDt tot	0,054	0,053	0,029	0,032	0,014	0,107	0,031	0,014	0,040	0,059	0,055	0,077	0,160	0,194
PCB28	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,002	0,003	0,002	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,002	<0,001
PCB52	0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	0,002	0,007	0,004
PCB101	0,007	0,014	0,003	0,004	0,002	0,011	0,005	0,002	0,002	0,002	0,005	0,004	0,011	0,017
PCB118	0,010	0,020	0,004	0,004	0,004	0,017	0,008	0,005	0,003	0,003	0,006	0,005	0,007	0,010
PCB138	0,008	0,021	0,006	0,005	0,003	0,029	0,009	0,004	0,004	0,003	0,008	0,005	0,023	0,031
PCB153	0,013	0,014	0,006	0,004	0,004	0,030	0,010	0,005	0,004	0,004	0,008	0,006	0,022	0,032
PCB180	0,002	0,005	0,002	0,002	0,002	0,006	0,003	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,008	0,008
PCBtot	0,041	0,076	0,021	0,019	0,017	0,097	0,038	0,020	0,015	0,015	0,030	0,024	0,080	0,102
HCB	<0,001	0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003
Hg	0,046	0,156	0,116	0,076	0,049	0,205	0,155	0,080	0,092	0,078	0,074	0,093	0,146	0,146

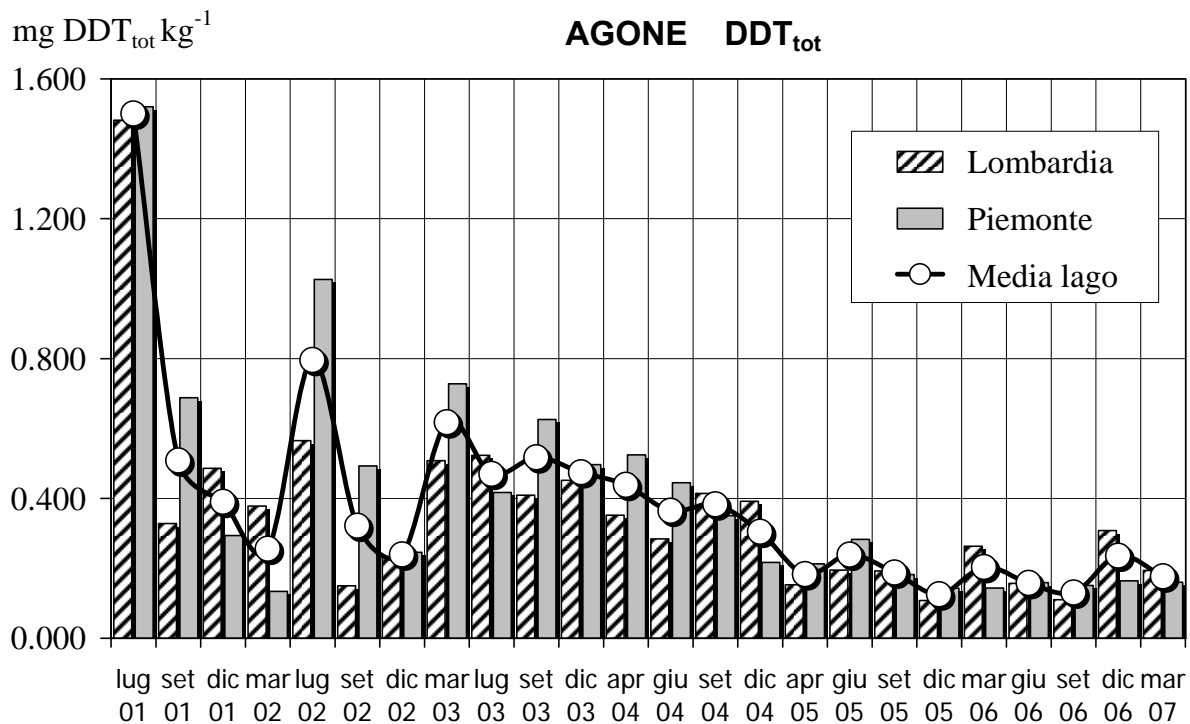


Fig. 6.3.1. Concentrazioni di DDT totale riscontrate su un campione medio di agone formato quando possibile da un *pool* di 10 pesci (solo parte edibile).

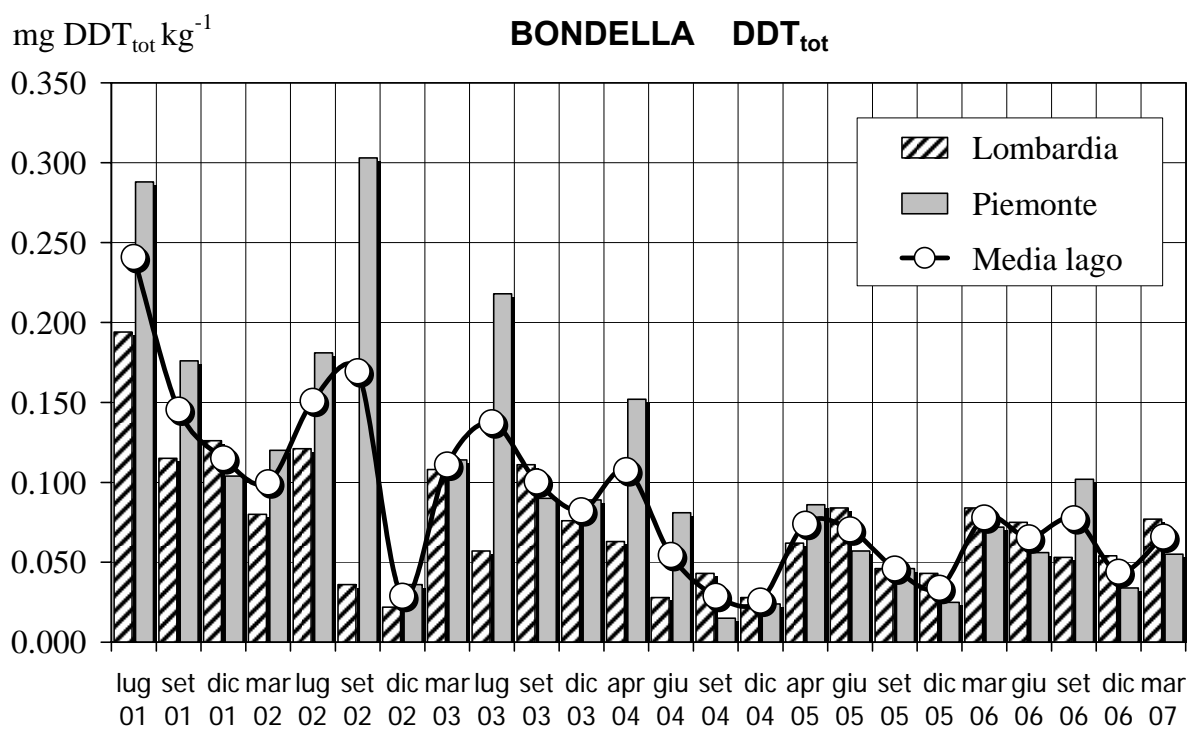


Fig. 6.3.2. Concentrazioni di DDT totale riscontrate su un campione medio di bondella formato quando possibile da un *pool* di 10 pesci (solo parte edibile).

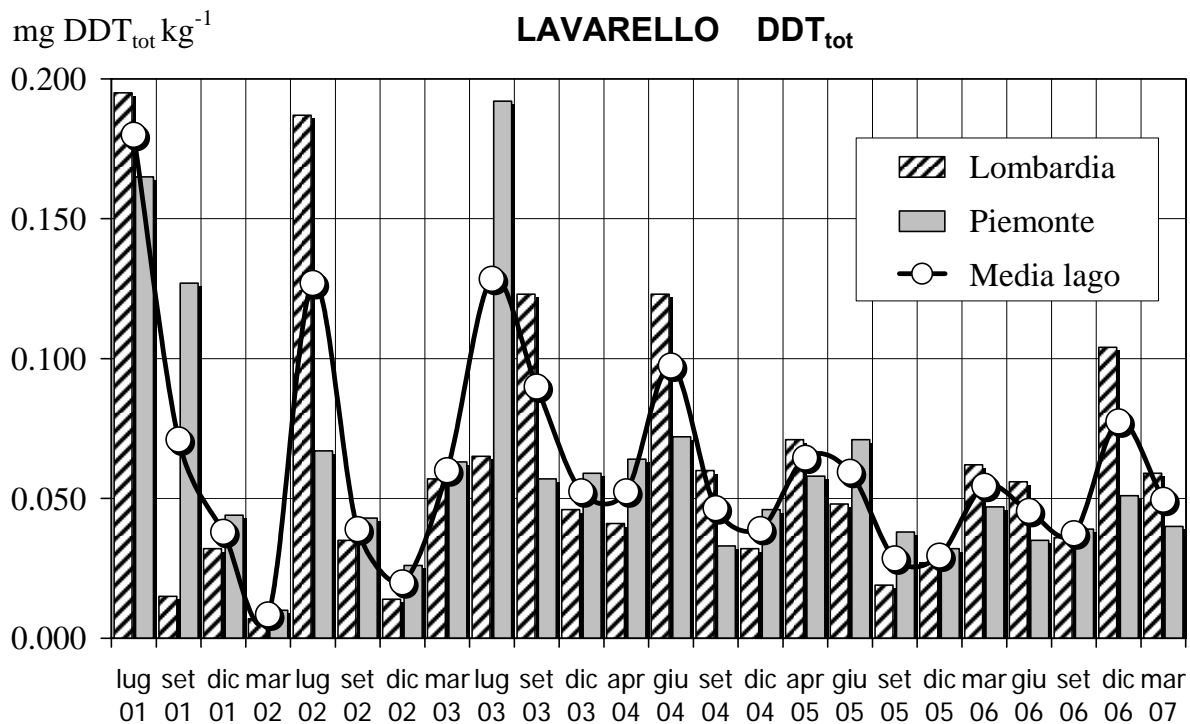


Fig. 6.3.3. Concentrazioni di DDT totale riscontrate su un campione medio di lavarello formato quando possibile da un pool di 10 pesci (solo parte edibile).

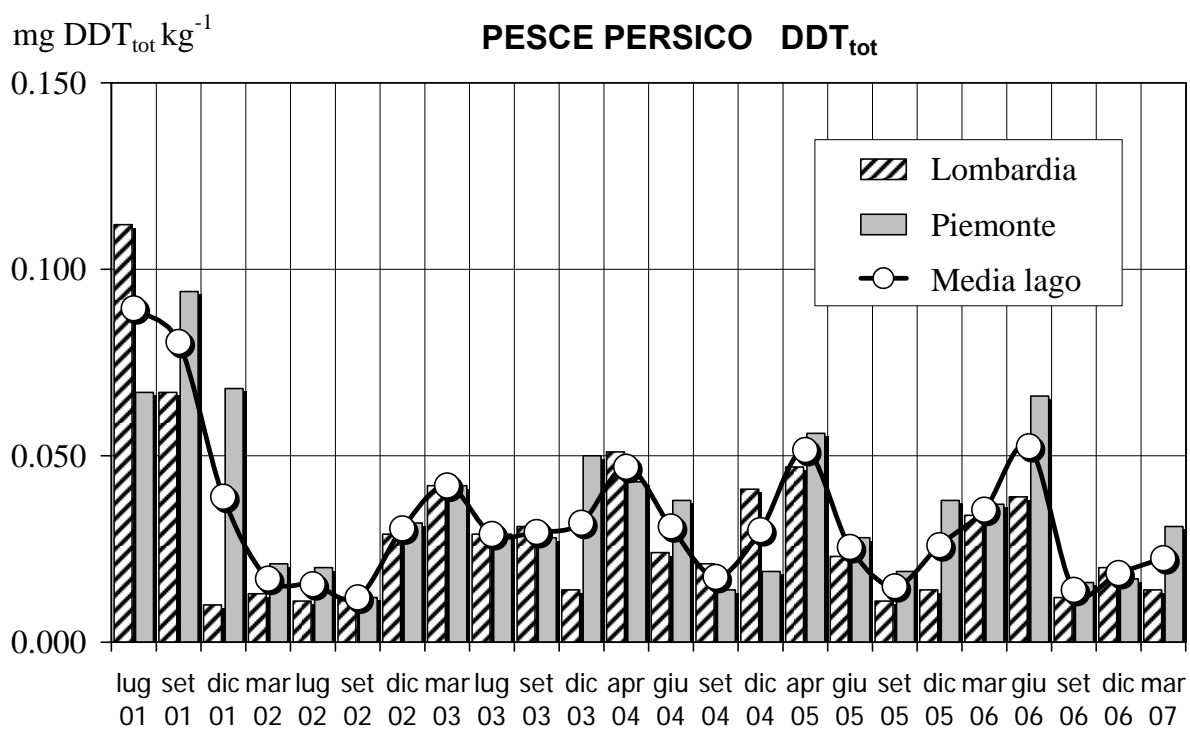


Fig. 6.3.4. Concentrazioni di DDT totale riscontrate su un campione medio di pesce persico formato quando possibile da un pool di 10 pesci (solo parte edibile).

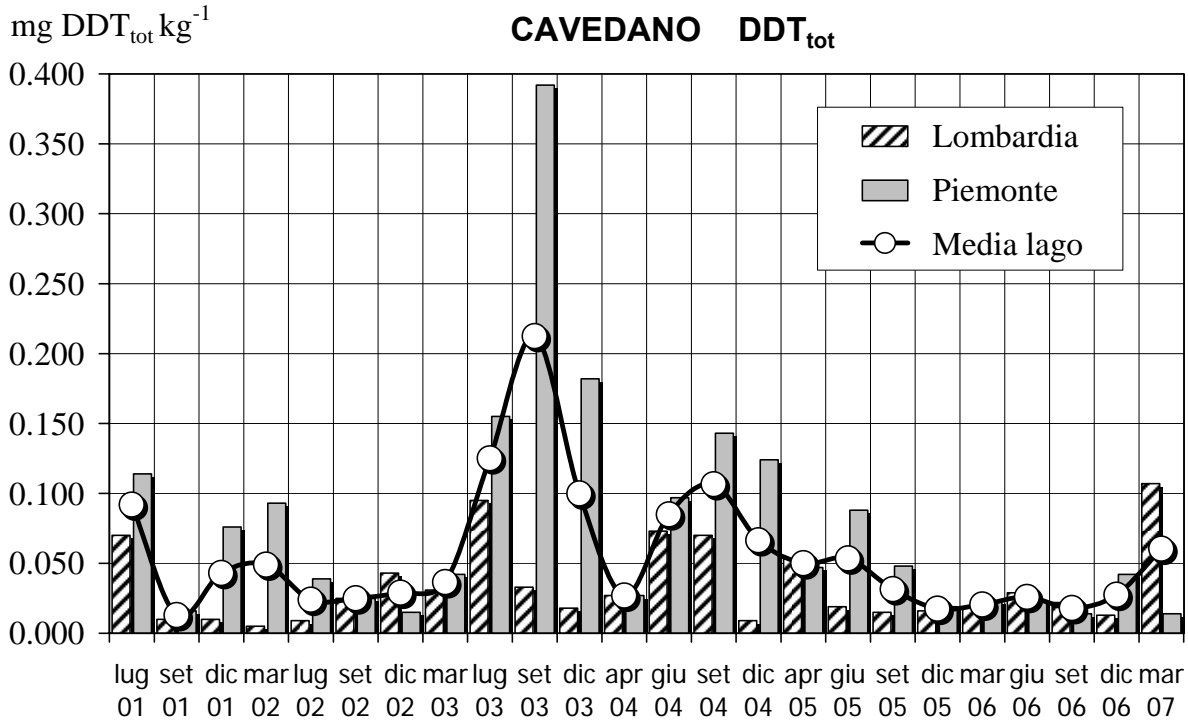


Fig. 6.3.5. Concentrazioni di DDT totale riscontrate su un campione medio di cavedano formato quando possibile da un *pool* di 10 pesci (solo parte edibile).

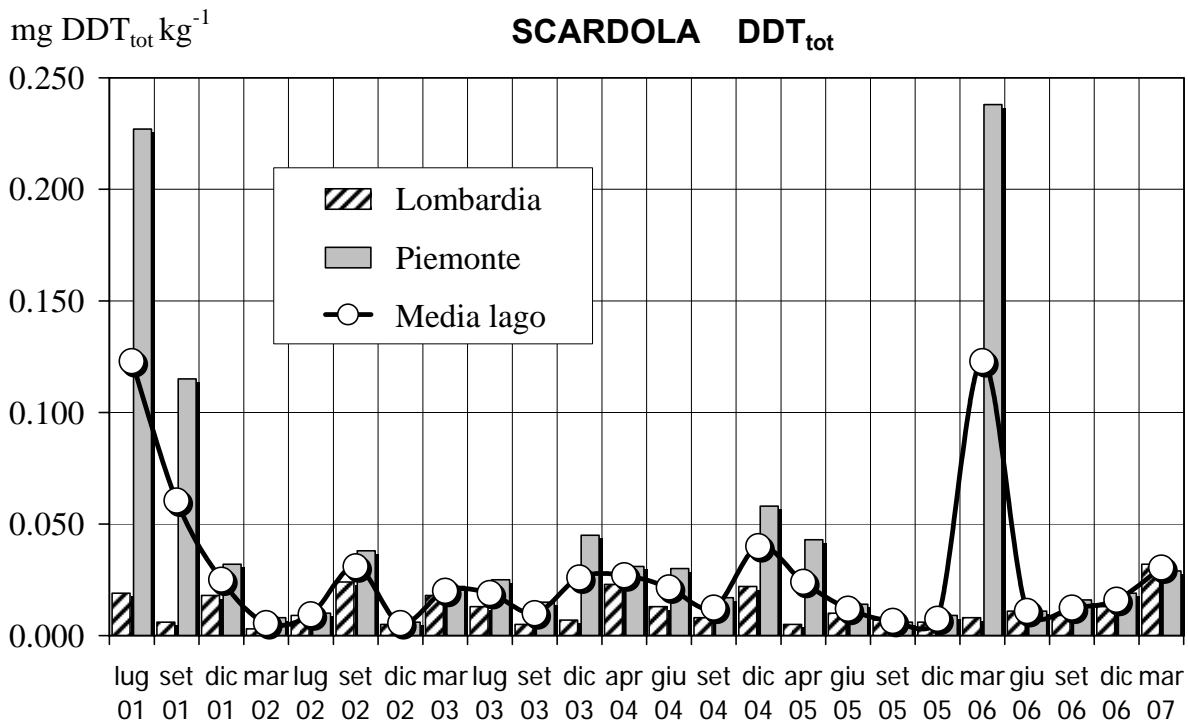


Fig. 6.3.6. Concentrazioni di DDT totale riscontrate su un campione medio di scardola formato quando possibile da un *pool* di 10 pesci (solo parte edibile).

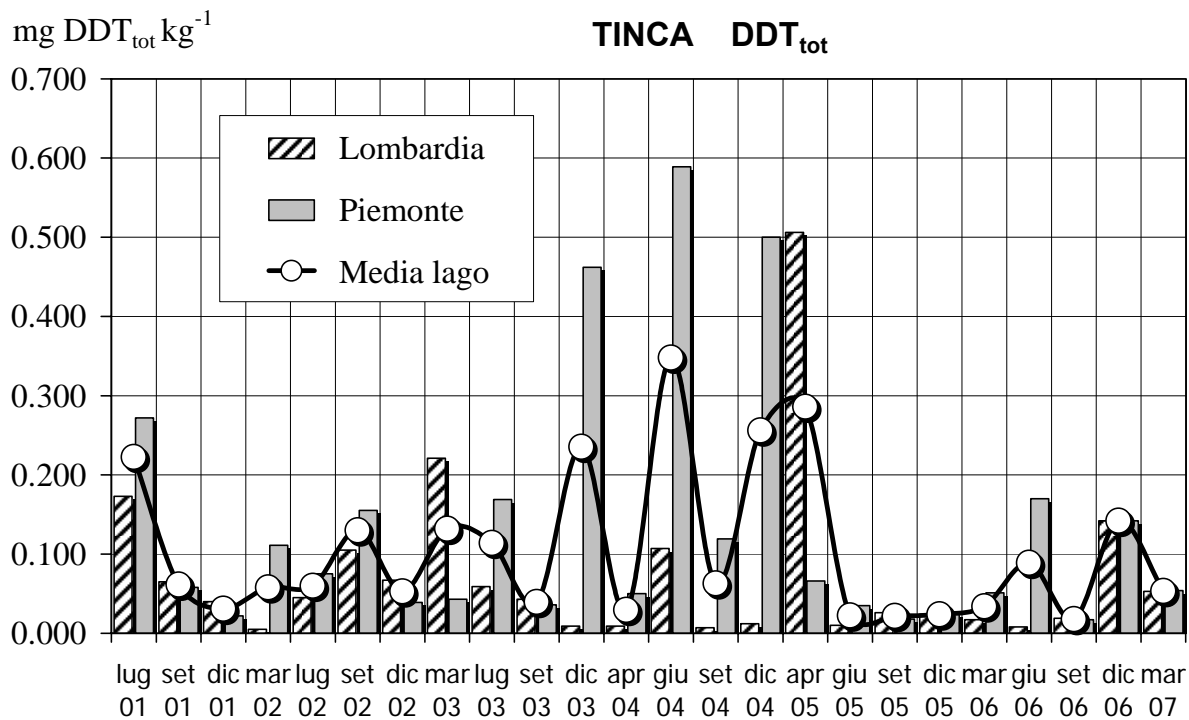


Fig. 6.3.7. Concentrazioni di DDT totale riscontrate su un campione medio di tinca formato quando possibile da un pool di 10 pesci (solo parte edibile). I dati relativi alla tinca del Piemonte del dicembre 2006 sono stati assunti uguali a quelli della Lombardia per mancanza di campioni.

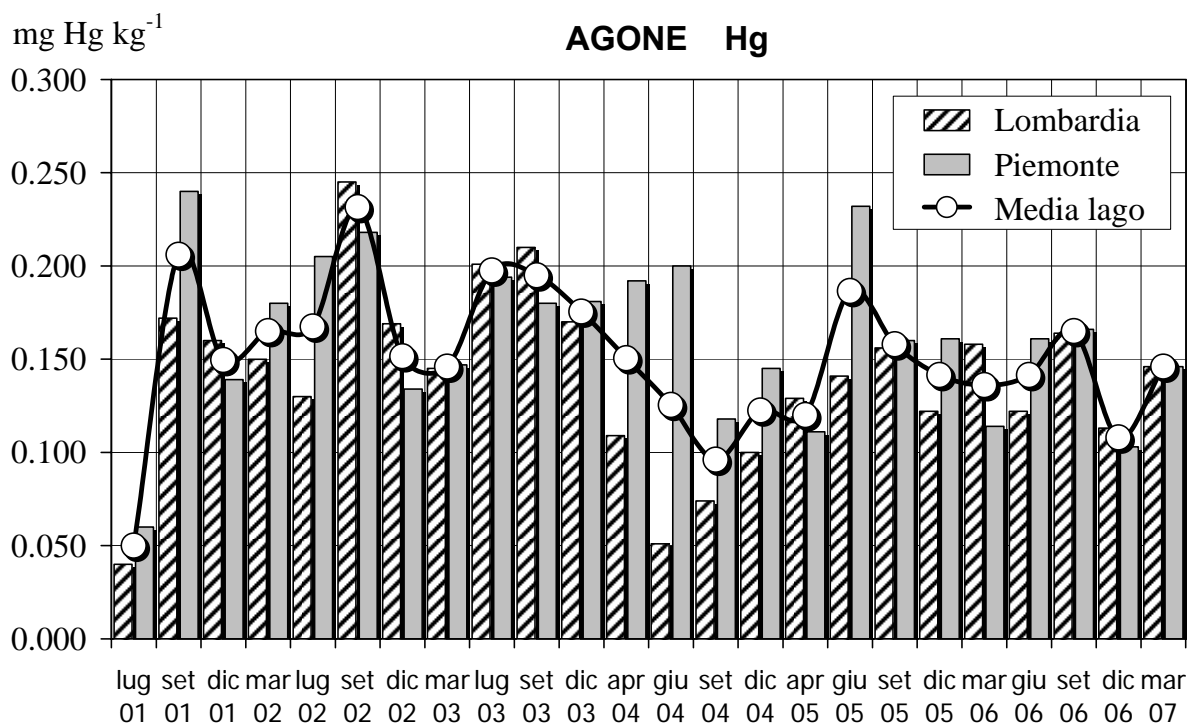


Fig. 6.3.8. Concentrazioni di mercurio riscontrate su un campione medio di agone formato quando possibile da un pool di 10 pesci (solo parte edibile).

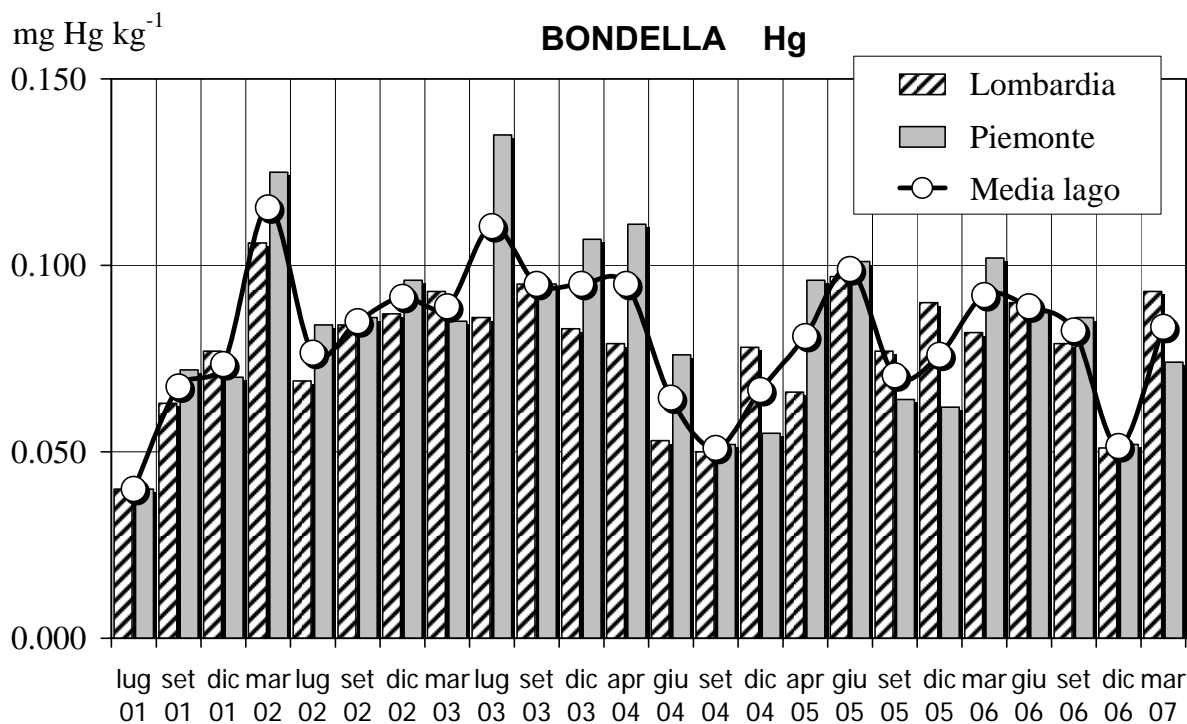


Fig. 6.3.9. Concentrazioni di mercurio riscontrate su un campione medio di bondella formato quando possibile da un *pool* di 10 pesci (solo parte edibile).

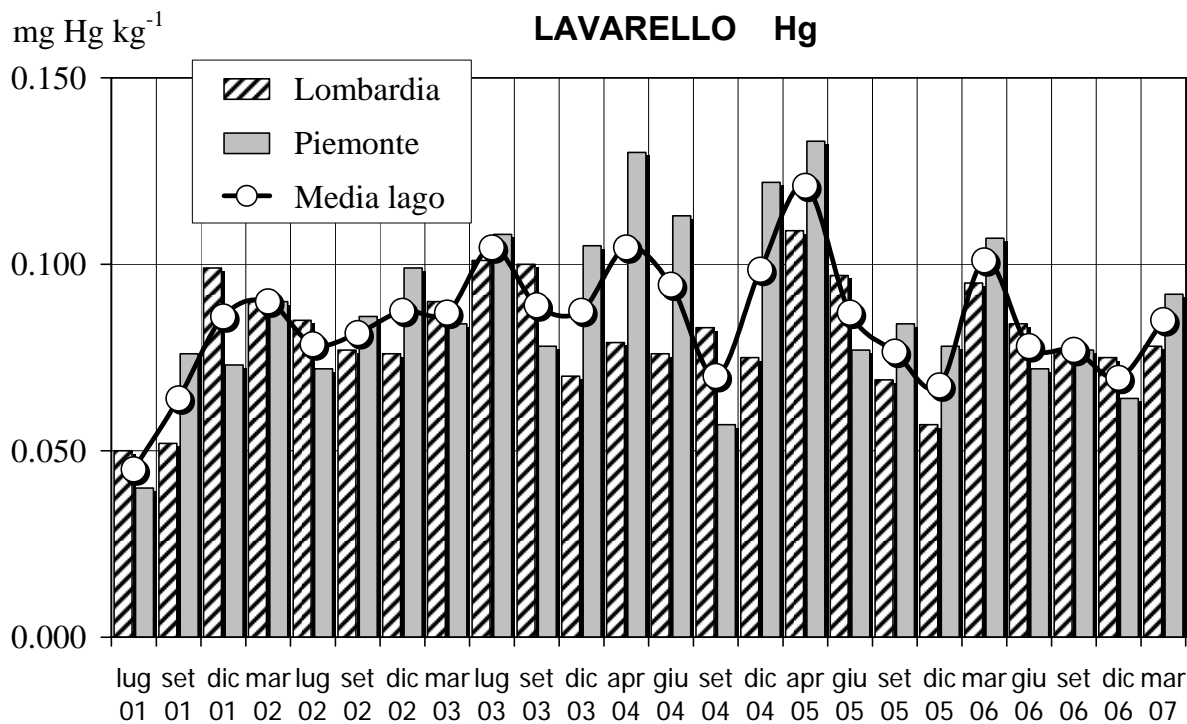


Fig. 6.3.10. Concentrazioni di mercurio riscontrate su un campione medio di lavarello formato quando possibile da un *pool* di 10 pesci (solo parte edibile).

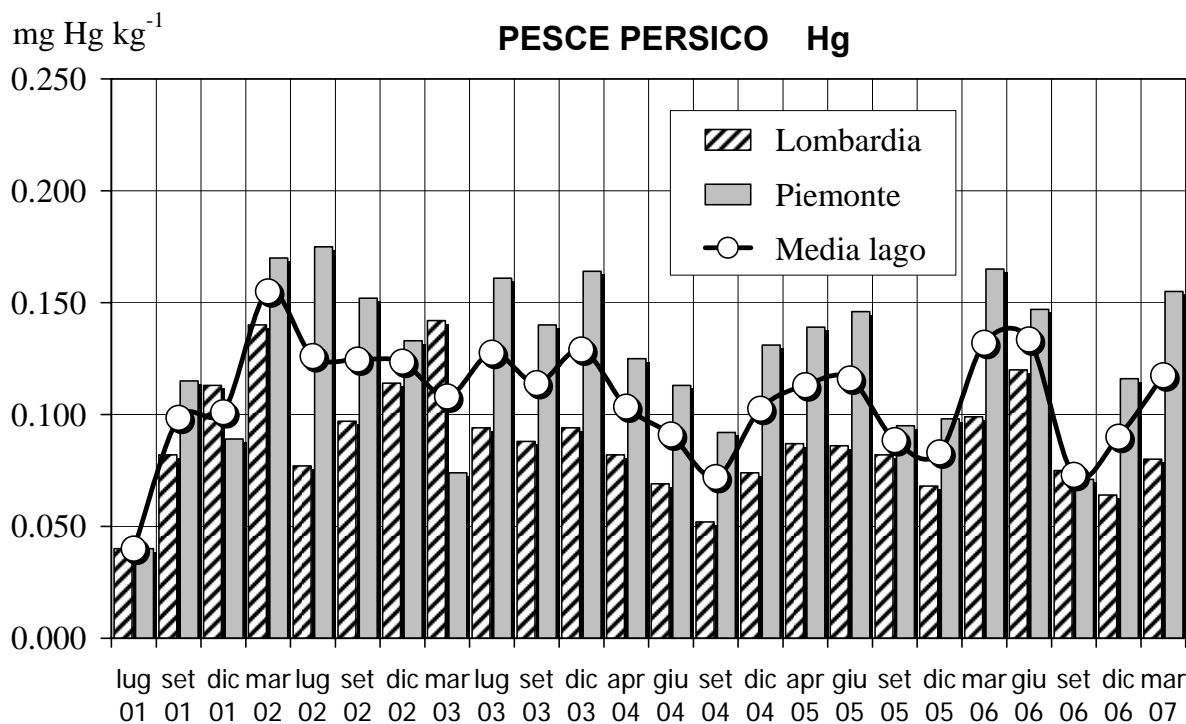


Fig. 6.3.11. Concentrazioni di mercurio riscontrate su un campione medio di pesce persico formato quando possibile da un *pool* di 10 pesci (solo parte edibile).

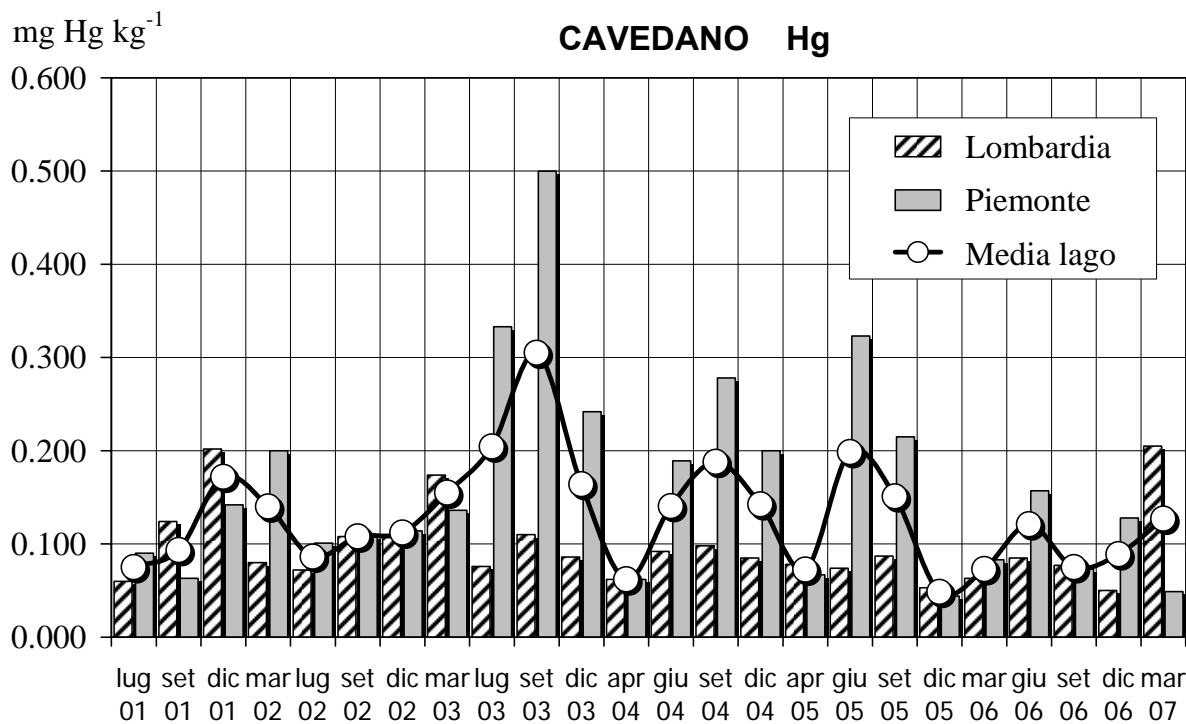


Fig. 6.3.12. Concentrazioni di mercurio riscontrate su un campione medio di cavedano formato quando possibile da un *pool* di 10 pesci (solo parte edibile).

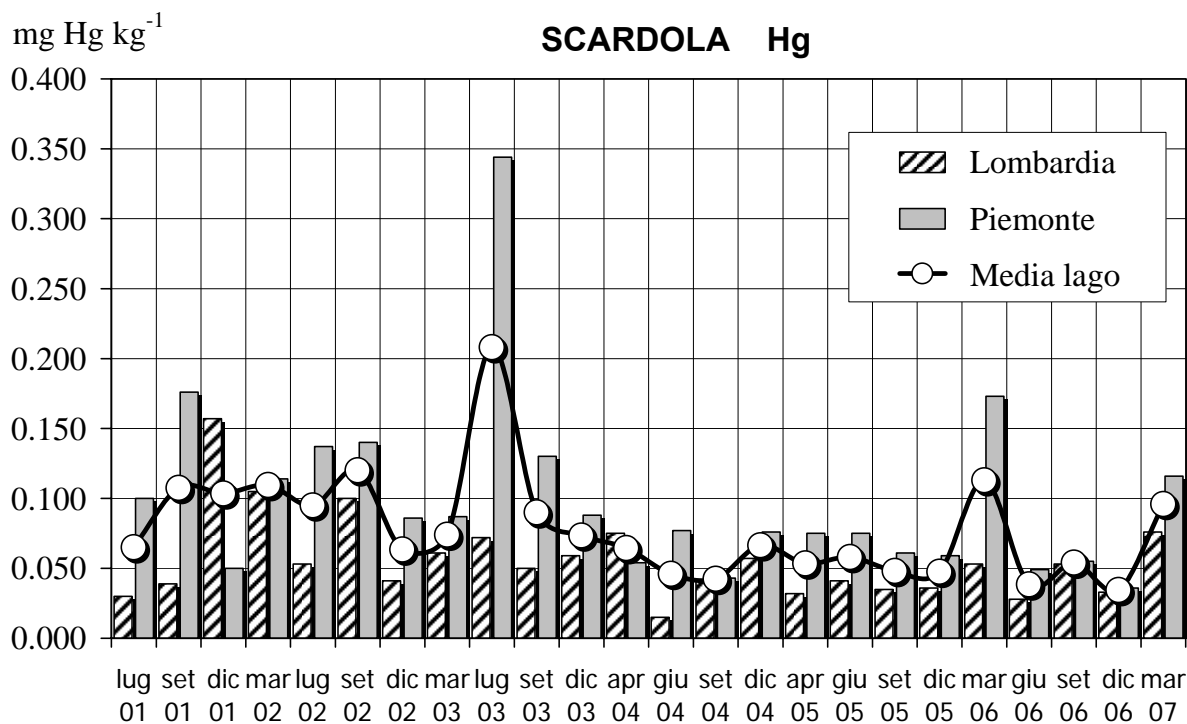


Fig. 6.3.13. Concentrazioni di mercurio riscontrate su un campione medio di scardola formato quando possibile da un *pool* di 10 pesci (solo parte edibile).

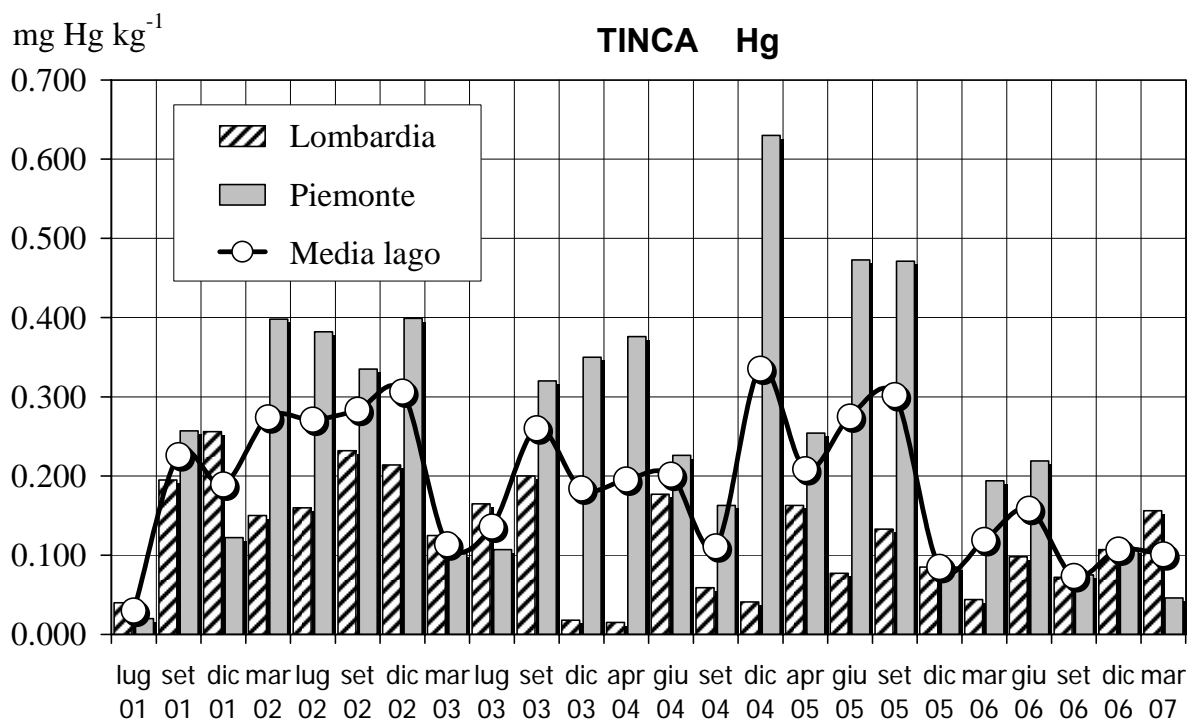


Fig. 6.3.14. Concentrazioni di mercurio riscontrate su un campione medio di tinca formato quando possibile da un *pool* di 10 pesci (solo parte edibile). I dati relativi alla tinca del Piemonte del dicembre 2006 sono stati assunti uguali a quelli della Lombardia per mancanza di campioni.

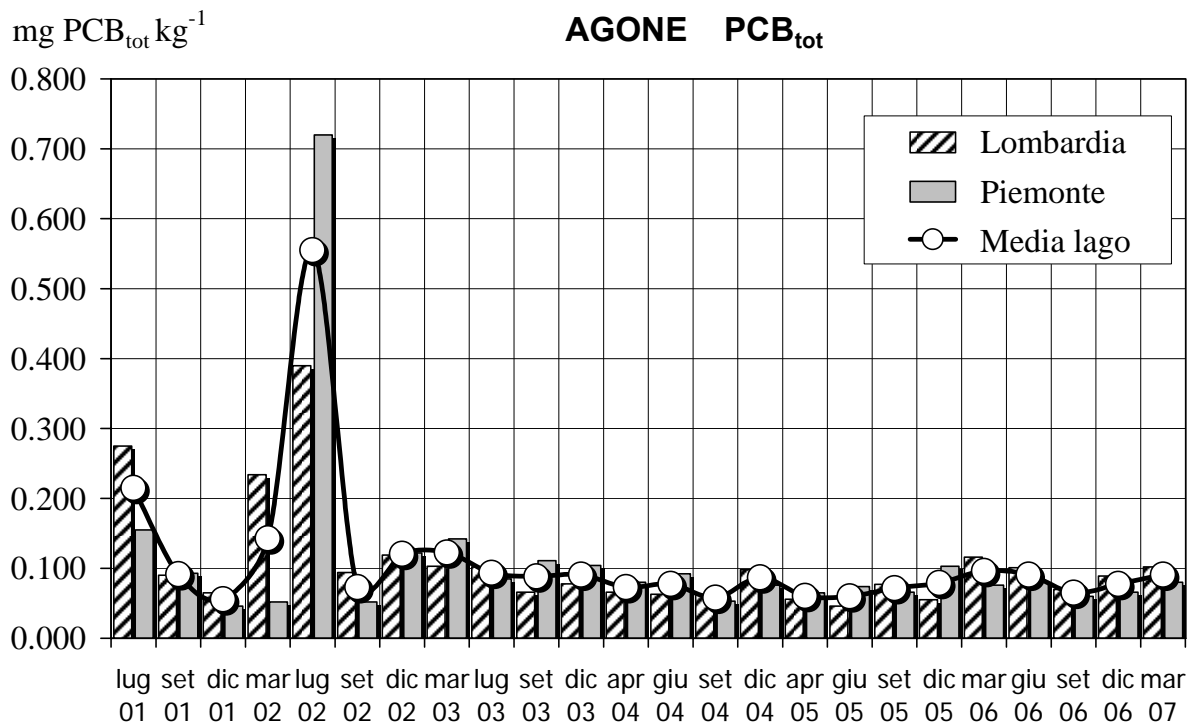


Fig. 6.3.15. Concentrazioni di PCB totali riscontrate su un campione medio di agone formato quando possibile da un *pool* di 10 pesci (solo parte edibile).

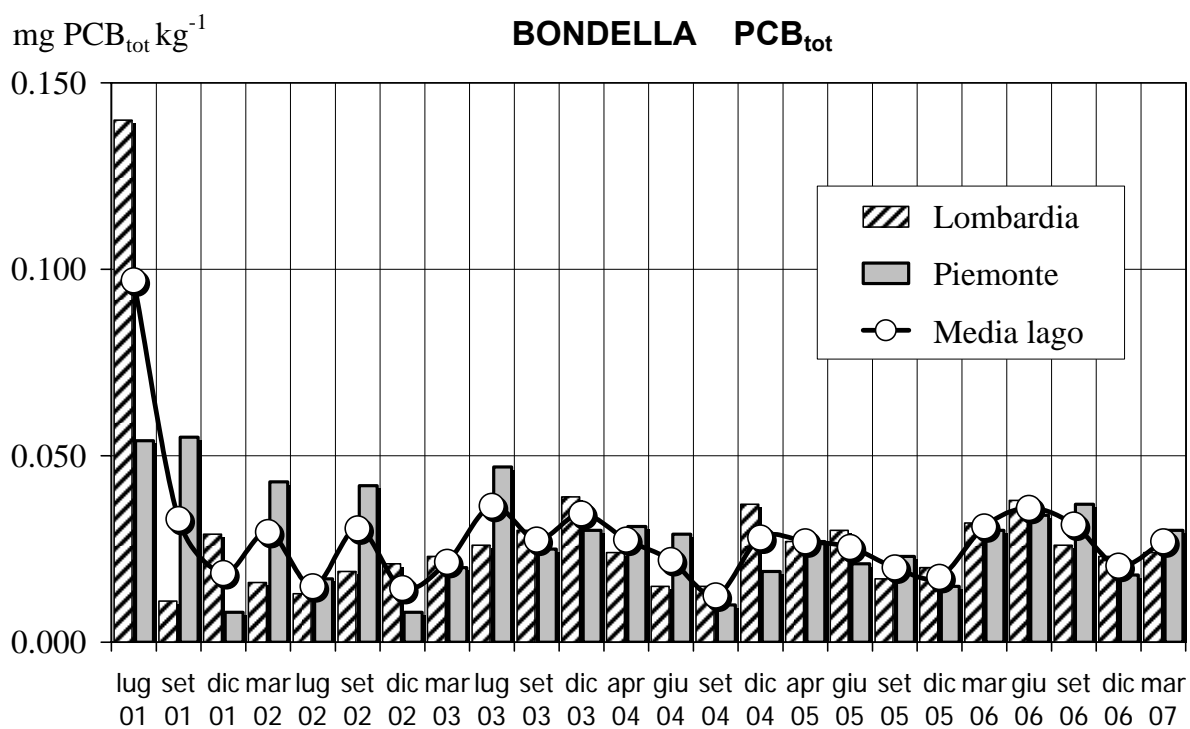


Fig. 6.3.16. Concentrazioni di PCB totali riscontrate su un campione medio di bondella formato quando possibile da un *pool* di 10 pesci (solo parte edibile).

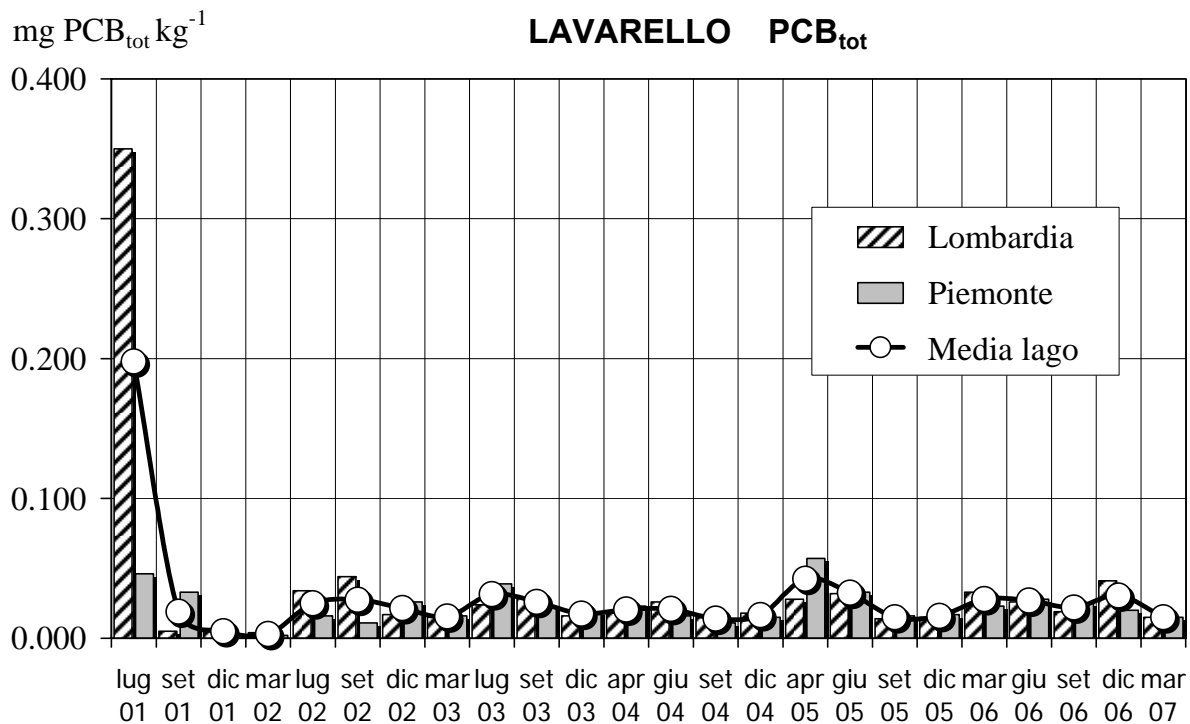


Fig. 6.3.17. Concentrazioni di PCB totali riscontrate su un campione medio di lavarello formato quando possibile da un *pool* di 10 pesci (solo parte edibile).

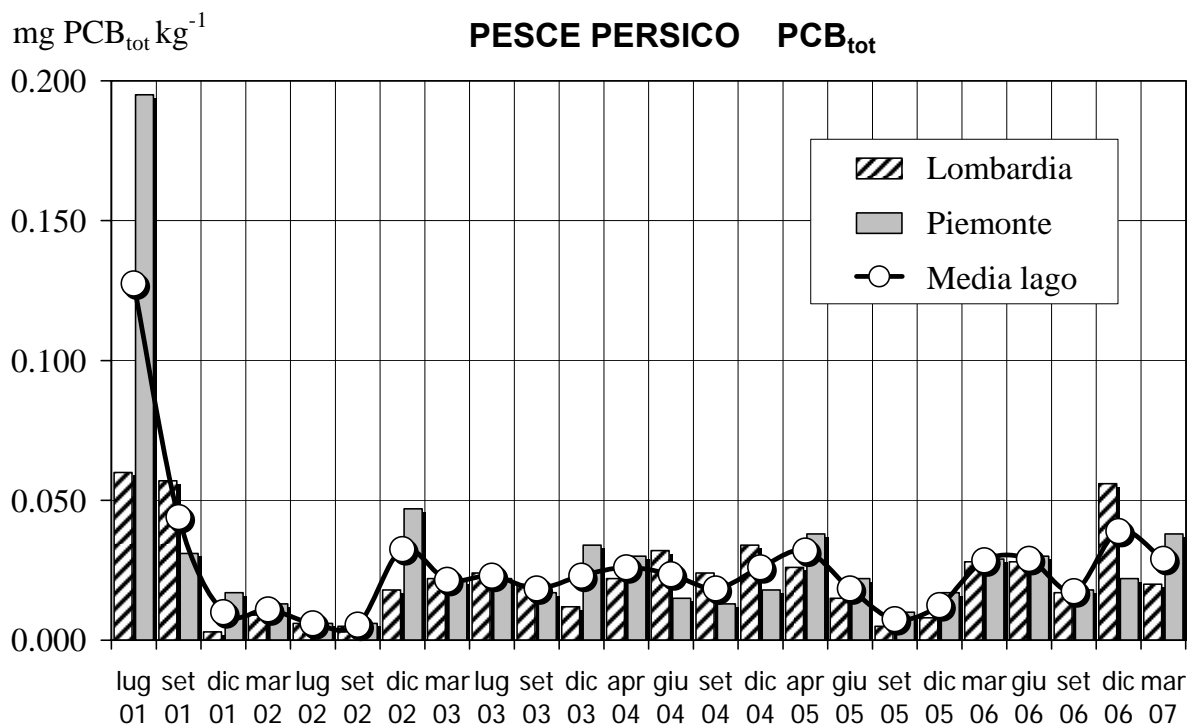


Fig. 6.3.18. Concentrazioni di PCB totali riscontrate su un campione medio di pesce persico formato quando possibile da un *pool* di 10 pesci (solo parte edibile).

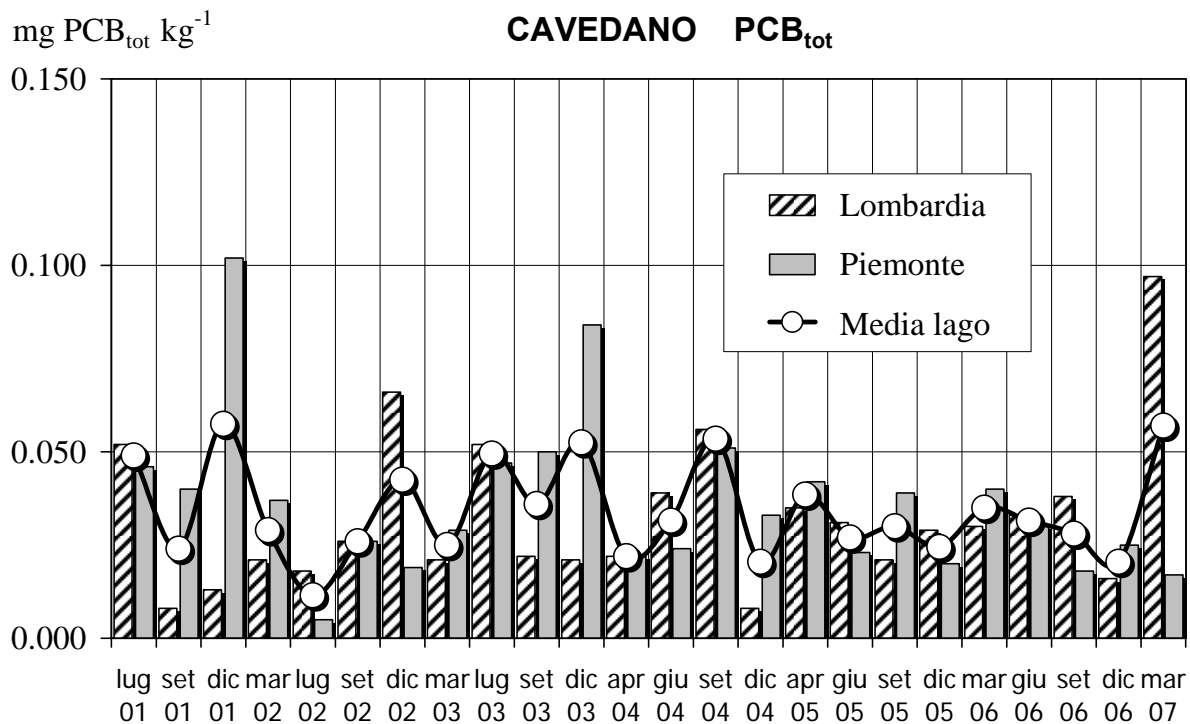


Fig. 6.3.19. Concentrazioni di PCB totali riscontrate su un campione medio di cavedano formato quando possibile da un *pool* di 10 pesci (solo parte edibile).

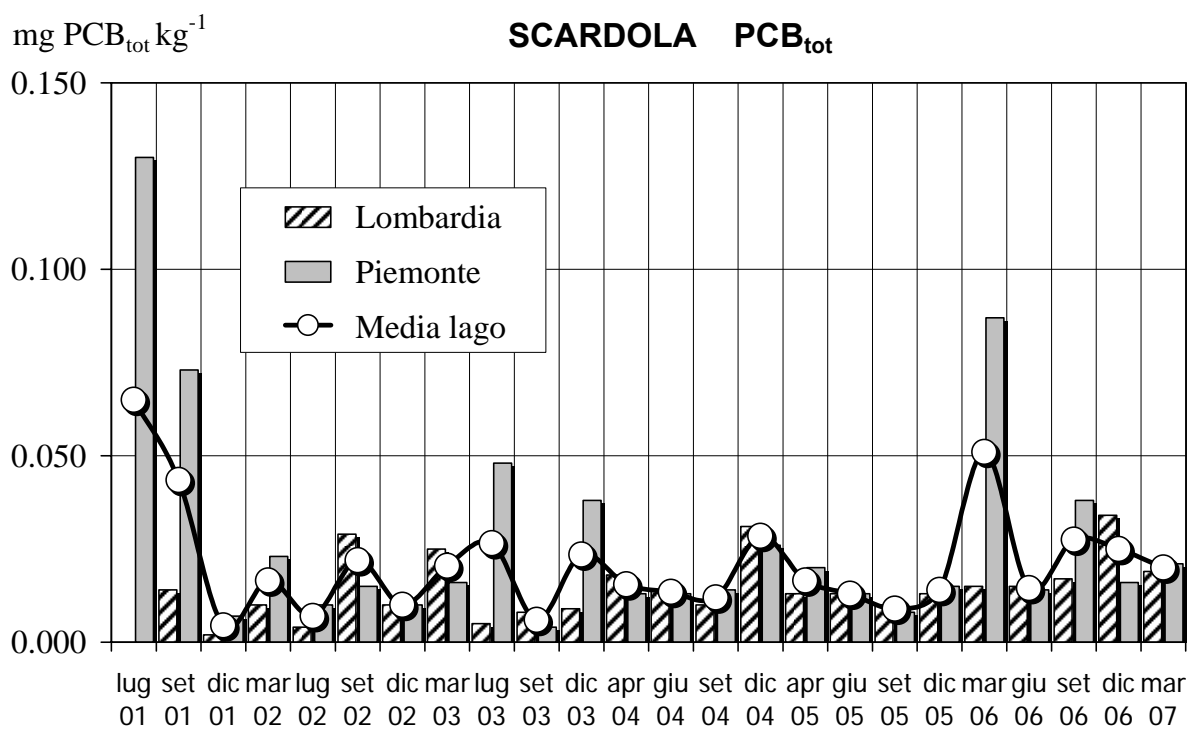


Fig. 6.3.20. Concentrazioni di PCB totali riscontrate su un campione medio di scardola formato quando possibile da un *pool* di 10 pesci (solo parte edibile).

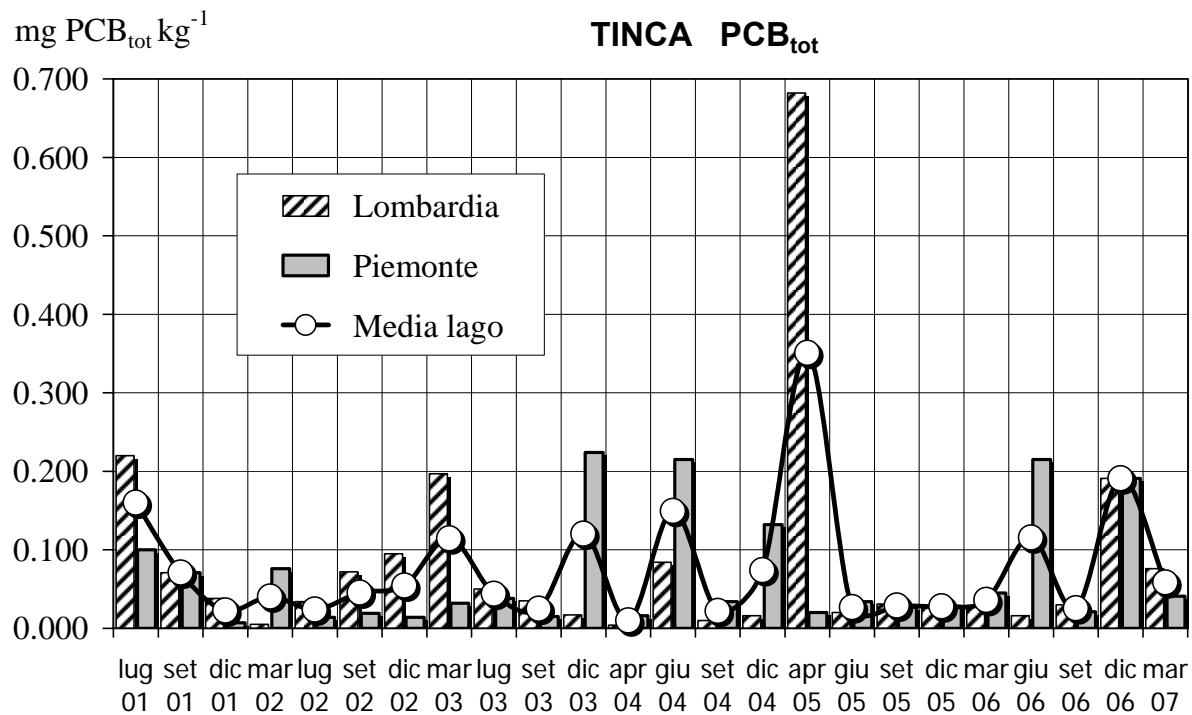


Fig. 6.3.21. Concentrazioni di PCB totali riscontrate su un campione medio di tinca formato quando possibile da un *pool* di 10 pesci (solo parte edibile). I dati relativi alla tinca del Piemonte del dicembre 2006 sono stati assunti uguali a quelli della Lombardia per mancanza di campioni.

7. CONCLUSIONI

Lo studio del quale si riferisce nel presente rapporto rappresenta la sintesi di sei anni dell'attività di ricerca promossa dalla Commissione Internazionale per la Protezione delle acque italo-svizzere (CIPAIS) a seguito del rilevamento della presenza nei sedimenti e nei pesci del Lago Maggiore di concentrazioni elevate di DDT. Le prime indagini condotte nel 1996 (Calderoni et al., 1996) avevano evidenziato livelli di concentrazione dell'insetticida indicativi di una compromissione ambientale recente. Anche se la contaminazione non aveva prodotto effetti sulla qualità delle acque lacustri tali da pregiudicarne le utenze di uso potabile e balneare, l'accertamento della presenza dell'insetticida nella fauna ittica aveva comunque indotto le Autorità sanitarie italiane e svizzere ad adottare misure restrittive, che per la parte italiana hanno riguardato il divieto di consumo alimentare umano e quindi della pesca di alcune specie (agone, bondella, lavarello, alborella e scardola), caratterizzate da concentrazioni dell'inquinante superiori ai limiti di legge, mentre in Svizzera tali misure sono state assunte unicamente per agone e salmerino.

Per affrontare la grave situazione di emergenza messa in luce dalle prime analisi, venne poi predisposto un progetto di indagini dettagliate ed allargate a varie componenti dell'ecosistema Lago Maggiore e del suo bacino imbrifero allo scopo di:

- monitorare la distribuzione del DDT nei diversi comparti funzionali biotici e abiotici del lago e dei suoi tributari;
- valutarne i meccanismi di trasferimento in lago e lungo la catena alimentare;
- riconoscere eventuali danni arrecati alla funzionalità ecosistemica e la presenza di criticità nei suoi componenti;
- identificare l'estensione spaziale della contaminazione e la sua durata nel tempo;
- accertare la presenza delle possibili fonti di inquinamento.

Tali ricerche che furono già allora seguite dalla Commissione e che si svolsero nel 1998 (CIPAIS, 1999), raggiunsero importanti conclusioni sull'origine e sulla diffusione del DDT:

- esso è principalmente derivato dal Fiume Toce e in particolare dall'insediamento industriale di Pieve Vergonte che vi recapita i propri scarichi tramite il Rio Marmazza, anche se sono emerse evidenze di una possibile contaminazione diffusa nell'intero bacino, probabilmente dovuta sia all'utilizzo in passato in agricoltura dell'insetticida, sia al suo trasporto atmosferico con successiva ricaduta sul territorio;
- la contaminazione dei sedimenti è risultata minore nella parte settentrionale del lago rispetto al bacino centrale e alla zona meridionale, mentre la contaminazione più elevata si è accertata nella Baia di Pallanza come diretta conseguenza di maggiori apporti dal Toce;
- i massimi di inquinamento nei sedimenti sono stati riscontrati negli anni '70 con una successiva diminuzione fino agli anni '90 quando tuttavia si sono evidenziati picchi di concentrazione in alcune stazioni;
- le matrici biologiche, assieme ai sedimenti, sono risultate quelle maggiormente interessate dall'inquinamento: benthos litorale (*Dreissena* e *Unio*), pesci e uova di germano reale e di Svasso maggiore si sono dimostrati utili bioindicatori, tanto è vero che i molluschi e le uova provenienti dalla Baia di Pallanza hanno presentato livelli di contaminazione assai più alti di quelli raccolti in altre zone del lago;
- la contaminazione del popolamento ittico è invece risultata generalizzata nell'intero bacino lacustre mostrando tuttavia un trend in diminuzione delle concentrazioni dei DDT dal 1996 al 1998.

Le indagini sui diversi comparti ambientali furono riprese a partire dall'aprile 2001 allo scopo di seguire l'evoluzione del DDT e di verificare la presenza e la distribuzione spazio-temporale di altri composti organo-clorurati, quali PCB, HCB, HCH, nonché di metalli potenzialmente tossici (Cd, Cu, As e Pb) oltre al mercurio nel popolamento ittico. Le analisi sono state condotte, sull'ecosistema lacustre (acqua, sedimenti, molluschi e pesci), sui suoi principali tributari (relativamente ai sedimenti) e sulle acque di pioggia raccolte in due località di pianura e in due d'alta quota. Osservazioni relative alla concentrazione di inquinanti e ai loro effetti sono stati eseguiti inoltre sulle uova di Svasso maggiore.

Per quanto riguarda il DDT e i suoi metaboliti ed isomeri, il quadro generale emerso a conclusione delle indagini che si sono svolte in questi ultimi sei anni (aprile 2001-marzo 2007), anche in confronto con la situazione accertata nel 1996 e nel 1998, è quello di un ambiente caratterizzato da una contaminazione di origine puntuale pregressa che, sebbene ormai esaurita, continua a manifestarsi non solo in conseguenza di interventi antropici nel bacino imbrifero, ma anche di eventi naturali.

In effetti l'apporto di DDT all'ecosistema lacustre non deriva solamente dal sito contaminato di Pieve Vergonte, ma anche dall'atmosfera e dal reticolo idrografico. Tale diversificazione delle fonti fa sì che il fenomeno della contaminazione sia meno puntiforme di quanto atteso, e che la dinamica temporale del trend in diminuzione finora osservato sia largamente soggetta ad una serie di fattori che, nel loro insieme, sono causa di forte instabilità e vulnerabilità del sistema. Un esempio tipico di tale instabilità è rappresentato dall'aumento di contaminanti osservato in quasi tutti i comparti dell'ecosistema in occasione delle piene. Se il tempo necessario per il ritorno alle condizioni precedenti l'evento di piena è piuttosto breve per il comparto acquoso, altrettanto non può dirsi per gli altri comparti, caratterizzati da un più lento turnover. Se nel passato l'area industriale di Pieve Vergonte era il principale emettitore, oggi la molteplicità delle fonti di contaminazione è la causa più probabile delle oscillazioni sovrapposte al trend pluriennale in diminuzione. L'ecosistema lacustre appare dunque ancora lontano dal raggiungimento di condizioni di equilibrio. A questo va ancora aggiunto che la circolazione interna al lago del DDT e di altri microinquinanti è indotta anche dalla risospensione dei sedimenti superficiali nella fascia litorale soprattutto durante gli eventi alluvionali.

Comune a tutti i comparti dell'ecosistema è la prevalenza del pp'DDE e, in subordine del pp'DDD rispetto al composto parentale pp'DDT la cui presenza nell'acqua risulta inferiore al limite di rilevabilità del metodo analitico a partire dal novembre 2006, mentre la distribuzione lungo la colonna d'acqua dei composti di degradazione appare disomogenea per la presenza occasionale di picchi di concentrazione in corrispondenza del termoclinio o in prossimità del fondo in concomitanza con i valori più bassi di ossigeno disciolto.

Per quanto riguarda i sedimenti lacustri, le indagini hanno messo in evidenza che DDT e suoi metaboliti ed isomeri sono presenti in concentrazioni significative soprattutto nel Bacino di Pallanza, fatto che a nostro avviso è indice di una contaminazione strettamente legata al trasferimento in questa zona del lago di particelle inquinanti dilavate dai suoli del sito industriale di Pieve Vergonte. A conferma della correttezza di tale interpretazione è il legame esistente tra le portate medie del Fiume Toce e le concentrazioni totali di DDT: picchi di contaminazione nei sedimenti sono stati infatti osservati nei mesi successivi alle piene degli anni 2000, 2002 e 2004. In particolare, l'aumento nelle concentrazioni è stato messo in luce in tutte le stazioni in occasione della piena del 2000, tra le tre quella di maggior importanza. Gli effetti delle piene del 2002 e del 2004 sono invece stati osservati solamente nelle stazioni di Baveno e Pallanza.

In merito alla distribuzione spaziale del DDT nei sedimenti raccolti lungo l'asse longitudinale del lago, le diverse indagini hanno dimostrato che in quelli profondi i contenuti più elevati corrispondono agli anni 70', con massimi relativi nella prima metà degli anni '90,

mentre nei sedimenti superficiali e più recenti (primi 0-2 cm) le concentrazioni risultano significativamente più basse, anche se gli eventi di piena precedentemente ricordati tendono ad interrompere il trend in diminuzione. In ogni caso la contaminazione è minore nella parte settentrionale del lago rispetto alla zona centrale e meridionale con un progressivo arricchimento delle concentrazioni di DDT totale da nord a sud pari a 26 → 46 → 63 ng g⁻¹ probabilmente da imputare al trasporto di materiale particellato dall'area centrale del lago verso l'emissario.

La presenza di altri insetticidi organoclorurati risulta trascurabile mentre quella di PCB è avvertibile, ma limitata essendo inferiore a 15 ng g⁻¹. Anche nel caso dei metalli si osserva la prevalenza di una minore contaminazione nella zona nord rispetto a quella meridionale, sebbene le concentrazioni di cadmio e arsenico non siano comunque irrilevanti anche nella zona nord del lago. Da un confronto con gli strati più profondi, e quindi più antichi, delle carote non si osserva un andamento univoco per tutti gli elementi metallici e per le diverse zone del lago. Il cadmio risulta in diminuzione nel bacino nord, ove sono invece costanti i valori di concentrazione di rame e mercurio, e in quello centrale, mentre tende ad aumentare, unitamente ad arsenico e rame, nel bacino meridionale, nel quale il mercurio è più basso.

Analogamente a quanto osservato per i composti organici, significative modificazioni del trend pluriennale della concentrazione dei metalli pesanti nei sedimenti sembrano essere indotte da importanti eventi inerenti il regime idrologico del Toce. L'andamento del mercurio mostra l'esistenza di importanti differenze areali di concentrazione conseguenti all'occorrenza degli eventi di piena, con valori più elevati nel bacino centrale e in quello meridionale, e differenze proporzionali all'entità dell'evento e alla tessitura e alla composizione del materiale sedimentato su cui si adsorbe e si lega in via preferenziale. Più contenute risultano le variazioni temporali nelle concentrazioni di mercurio del bacino settentrionale; i valori osservati in questa parte del lago, sembrano suggerire una contaminazione diffusa legata principalmente alle modalità di trasporto del mercurio e alle sue proprietà chimico-fisiche.

Per quanto concerne i tributari, gli andamenti riportati per i sei anni di campionamento evidenziano per i PCB alcuni anni caratterizzati da un maggiore apporto (2001-02, 2004-05 e 2005-06) per quasi tutti i fiumi, mentre per il DDT l'andamento è variabile di fiume in fiume e l'unico evidente apporto è quello relativo al Fiume Toce, soprattutto nel periodo successivo alla piena dell'ottobre 2000. Molto variabile nel tempo è risultato l'andamento del Ticino emissario che è anche il fiume che mostra le variazioni più ampie.

L'analisi delle deposizioni atmosferiche dei sei anni di campionamenti eseguiti nelle quattro stazioni considerate evidenziano andamenti differenti tra stazione e stazione e da anno e anno; per DDT e HCH si evidenziano andamenti di carico in diminuzione negli ultimi tre anni, mentre per i PCB è evidente un contemporaneo periodo di arricchimento nei carichi delle stazioni a più alta quota, soprattutto a Robiei.

Dai risultati delle analisi effettuate sui tessuti dei pesci si rileva che solamente l'agone, notoriamente ricco di grassi, presenta livelli di DDT che, pur essendo marcatamente inferiori a quelli del 2001, sono ancora di gran lunga superiori a quelli fissati come limite massimo per la commerciabilità dalla normativa italiana (0,10 mg kg⁻¹ per valori percentuali di grasso compresi tra 5-20). Per le altre specie ittiche, pur con qualche eccezione legata alla taglia o all'habitat (ad esempio, la scardola nel marzo 2006, tinca, bondella) le attuali concentrazioni risultano inferiori o molto prossime ai limiti fissati della normativa vigente (0,05 mg kg⁻¹, per valori percentuali di grassi <5%). Anche i tenori di mercurio e PCBs, pur essendo indicativi di una contaminazione avvertibile, restano nella norma.

Di particolare interesse sono, a nostro avviso, i risultati relativi agli aspetti più propriamente eco-fisiologici dello studio dei quali riteniamo utile dare un breve cenno. Confrontando i picchi di concentrazione nell'acqua della frazione biodisponibile di DDT con quelli misurati nei tessuti di due specie ittiche di particolare significato economico, il

coregone bondella e l'agone, si osserva come non vi sia tra i due una immediata corrispondenza temporale e che nei pesci il picco di concentrazione venga puntualmente osservato con un certo ritardo rispetto alla frazione acquosa. Quest'ultima sembrerebbe a sua volta rispondere soprattutto ad eventi di piena verificatisi qualche mese prima.

Interessante è, a tale proposito, l'analisi dei tempi di ritardo nella risposta della componente ittica rispetto all'occorrenza della piena: ad esempio, i picchi di pp'DDT, pp'DDE e pp'DDD osservati sia nel coregone bondella sia negli agoni nella primavera 2003 e nell'ottobre-novembre 2004, sembrano dipendere dagli apporti delle piene del novembre 2002. D'altra parte si è anche notato un incremento primaverile nel coregone bondella non associabile né a piogge intense né ad esondazioni. Verosimilmente, ragioni fisiologiche, oltre a quelle ambientali, contribuiscono a determinare gli incrementi osservati, sovrapponendosi al generale trend in diminuzione della contaminazione. Inoltre, la velocità della diminuzione sembra diversa per i diversi composti: essa risulta infatti molto più evidente per il composto parentale pp'DDT piuttosto che per i suoi due metaboliti, pp'DDE e pp'DDD. Le fluttuazioni nelle concentrazioni del pp'DDE sono maggiormente evidenti rispetto a quelle degli altri composti, in quanto questo composto è un metabolita che può essere prodotto sia nell'ambiente sia nel pesce stesso a partire dal pp'DDT fino a quando quest'ultimo è presente nei tessuti del pesce. In ogni caso, risulta chiaro che la fase di lenta ma progressiva diminuzione di concentrazione dell'insetticida nei pesci è ancora in corso.

Qualora la contaminazione da pp'DDE nell'acqua dovesse stabilizzarsi attorno a valori di concentrazione di $0,04 \text{ ng l}^{-1}$, quali quelli misurati nell'ultimo campionamento, è possibile prevedere, in base ai modelli di bioaccumulo, il raggiungimento a breve termine di concentrazioni nella parte edibile che rendano stabilmente accettabili il consumo umano non solo di lavarello e bondella ma anche dell'agone. A titolo prudenziale tuttavia, occorre osservare come i modelli sinora adottati prevedano situazioni di equilibrio stazionario tra acqua e organismo e non tengano conto della "memoria" della contaminazione pregressa. I dati in nostro possesso, al contrario, evidenziano come tale equilibrio non sia ancora stato raggiunto e come vi sia in generale un effetto memoria apprezzabile da parte della componente ittica. In altre parole, i pesci che superano il primo anno di età hanno ancora nei loro tessuti i pesticidi accumulati nel periodo pregresso, e questi ultimi vengono rilasciati molto lentamente. Sembrerebbe essere questa la principale causa del ritardo nella risposta delle popolazioni dei pesci del lago alle modificazioni messe in luce nel comparto acquoso, nel quale si osserva una più pronta risposta alla diminuzione dei carichi inquinanti.

Alla diagnosi di non raggiunte condizioni di stabilità del sistema si giunge anche a partire dai risultati relativi ai molluschi, a carico dei quali si osservano evidenti oscillazioni annuali delle concentrazioni nei tessuti dovute a cause diverse. Si è più volte scritto nei singoli capitoli che gli eventi meteorologici influenzano fortemente l'accumulo degli inquinanti nel sistema, ed in particolar modo nel comparto dei sedimenti: a risentire degli effetti negativi sono innanzitutto quegli organismi che vivono a diretto contatto con essi. Se si esclude dalla valutazione dei risultati complessivi l'occorrenza di questi eventi particolari, risulta evidente che la contaminazione da DDT nei molluschi, nei pesci e nelle uova di svasso, è oggi prevalentemente rappresentata dai suoi composti omologhi, pp'DDE, pp'DDD. Tale prevalenza sta ad indicare che la contaminazione ha cause antiche, ma è anche il risultato di una più elevata persistenza nell'ambiente di questi composti rispetto al composto parentale. Essa è dunque indice della necessità di monitorare il sistema per qualche anno ancora. Tale necessità sembrerebbe ancora più evidente qualora si consideri l'elevato errore analitico associato alla determinazione in matrici organiche biologiche di pesticidi e, in misura inferiore di metalli, errore che può essere ridotto sensibilmente attraverso l'aumento del numero di campioni analizzati. L'elevata variabilità di questo dato, infatti, non permette ad

oggi di trarre conclusioni certe sulle possibili conseguenze ambientali della contaminazione e sui suoi effetti sul metabolismo dei molluschi.

Le stesse cautele valgono a maggior ragione per le indagini relative alle uova di Svasso. La difficoltà negli anni scorsi nel reperire un numero sufficiente di uova ha fatto sì che a partire dal 2005 lo studio venisse modificato, sì da indirizzarlo verso aspetti tossicologici, quali quello degli effetti di DDT e PCB sul metabolismo che regola lo spessore dei gusci e sulla produzione di ormoni sessuali. Dai primi risultati si può concludere che esistono indicazioni di un possibile effetto negativo della contaminazione sulle popolazioni di svasso, ma che tali effetti non possono essere attribuiti unicamente alla contaminazione da DDT e dei suoi metaboliti. In effetti la comparazione con campioni raccolti in altri siti meno contaminati sembrerebbe indicare che la presenza di PCB e di DDE si traducano rispettivamente in un assottigliamento dei gusci delle uova e in una possibile inibizione della produzione di testosterone.

A conclusioni analoghe si è giunti attraverso studi specifici sul comportamento riproduttivo e sulla maturazione delle cellule sessuali (gameti) mediante analisi istologiche sul mollusco *Dreissena polymorpha*: esemplari prelevati nel sito più contaminato presentavano un generale ritardo nella maturazione dei gameti ed un rilascio dei gameti maschili posticipato di ben due mesi rispetto a quello dei gameti femminili, nonché effetti degenerativi degli oociti.

Lo studio sui molluschi ha altresì messo in rilievo un peggioramento del livello di contaminazione della zona centrale del lago (Ghiffa, Suna e Belgirate) rispetto a quello del Bacino di Pallanza. Tale risultato, unitamente a quello relativo ai sedimenti sia lacustri che dei tributari, starebbe ad indicare una diffusione dell'inquinamento anche da metalli, ad aree del lago, quali quella settentrionale, che in passato erano risultate molto meno contaminate. Evidentemente, sono gli apporti dai tributari, le correnti lacustri e quelli dalle acque meteoriche i principali responsabili dell'ampliamento della contaminazione osservato (i campioni di pioggia prelevati nelle stazioni d'alta quota hanno livelli di inquinanti pari, se non più elevati, rispetto a quelli di pianura).

In conclusione, i numerosi e diversificati risultati ottenuti dal 2001 al 2007, se per il DDT da un lato hanno chiarito molti aspetti inerenti la distribuzione, il livello di contaminazione e l'origine degli inquinanti, dall'altro riferiscono di un ecosistema in continua evoluzione, ed il cui destino finale non è affatto facilmente prevedibile. In questa lunga fase di transizione, durante la quale il composto parentale presenta una lenta degradazione verso i metaboliti DDE e DDD, giocano un ruolo fondamentale le variabili meteorologiche. Infatti, come abbiamo visto, a determinare l'incertezza delle previsioni sono gli eventi di piena e le precipitazioni intense, fattori spesso decisivi nella diffusione e nella contaminazione dell'ambiente attraverso il dilavamento dei terreni inquinati e l'apporto di sostanze tossiche dall'atmosfera.

In effetti, oltre a quanto già menzionato per agone e coregoni nel 2002 e 2003, si è evidenziata nell'estate del 2001 una forte impennata delle concentrazioni del DDT totale nei sedimenti superficiali e nelle diverse matrici biologiche. Essa era una probabile conseguenza degli eventi alluvionali dell'autunno del 2000 e, come tale, indicava un'ulteriore via di rifornimento al lago, vale a dire quella associata agli episodi di piena dei tributari con mobilitazione e successivo trasporto di DDT ed altri contaminanti storicamente accumulatisi nel corso di molti decenni sul terreno e nei suoli.

Anche alla luce di quanto sopra evidenziato, va ancora ricordato che il rifornimento di inquinanti al lago rischia di incrementarsi ulteriormente nella fase realizzativa dei previsti interventi di sistemazione idraulica del T. Marmazza e di spostamento dell'alveo nella sua sede originaria a monte dell'insediamento industriale di Pieve Vergonte, nonché durante i prossimi lavori di bonifica dei suoli in tutto l'areale storicamente interessato da smaltimenti e confinamenti dei diversi reflui e rifiuti aziendali.

In tale prospettiva le ricerche già programmate dalla CIP AIS dal 2008 al 2012 assumono un ruolo irrinunciabile non solo per monitorare la presenza del DDT e di altri contaminanti nei vari comparti indagati, ma anche per verificare l'efficacia degli interventi di bonifica in funzione dei loro possibili effetti sull'ecosistema lacustre.

Bibliografia

- Calderoni, A., A. Caprioglio & R. de Bernardi. 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.
- CIP AIS. 1999. *Ricerche sulla distribuzione e gli effetti del DDT nell'ecosistema Lago Maggiore. Rapporto finale sui risultati delle indagini*. Ed. Commissione internazionale per la protezione acque italo-svizzere: 81 pp.

8. GLOSSARIO

- ANOVA (analisi della varianza): tecnica statistica che permette di confrontare due o più gruppi di dati comparando la variabilità *interna* a questi gruppi con la variabilità *tra* i gruppi.
- Bacino imbrifero: è quella parte di territorio che circonda il lago e che, a causa della sua pendenza, fa da imbuto di raccolta delle acque piovane. Lo spartiacque è la parte più alta del bacino imbrifero per cui le precipitazioni atmosferiche che cadono oltre lo spartiacque non scendono superficialmente verso il lago.
- Bioaccumulo: processo attraverso cui sostanze tossiche (per esempio il DDT) si accumulano all'interno di un organismo in concentrazioni crescenti man mano che si sale di livello trofico.
- Biocenosi: è l'insieme di flora e fauna che vive in un ecosistema.
- Bivalvi: molluschi appartenenti al *Phylum* dei Mollusca. Sono caratterizzati da un corpo protetto da una conchiglia formata da due parti, dette valve.
- Biotrasformazione: conversione di una sostanza in altri composti da parte di organismi; comprende la biodegradazione.
- Condizione riducente: in riferimento a determinate condizioni dell'acqua e del sedimento di un corpo d'acqua in cui l'ossigeno è assente o molto scarso.
- DDD (diclorodifenildicloroetano): della famiglia degli organoclorurati (OC). Prodotto di degradazione del DDT con proprietà chimico-fisiche simili.
- DDE (diclorodifenildicloroetilene): della famiglia degli organoclorurati. Prodotto di degradazione del DDT con proprietà chimico-fisiche simili.
- DDT (diclorodifeniltricloroetano): della famiglia degli organoclorurati. E' una sostanza incolore altamente idrofobica usata come potente antiparassitario.
- Diatomee: microalghe unicellulari provviste di una parete silicea formata da due gusci dette teche o valve.
- 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.
- Gamete: cellula riproduttiva o germinale matura.
- 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): della famiglia degli organoclorurati. Idrocarburo polialogenato, tossico.
- HCH (esaclorocicloesano): della famiglia degli organoclorurati. Idrocarburo polialogenato, tossico.
- Ipolimnio: la parte più profonda di un lago stratificato termicamente, che non subisce l'azione del vento (vedi anche epilimnio).
- 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.

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.

Oocita: è la cellula uovo che fondendosi con lo spermatozoo dà luogo all'embrione durante la fecondazione.

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.

PCB (policlorobifenili): della famiglia degli organoclorurati. Classe di composti organici considerati inquinanti persistenti dalla tossicità paragonabile a quella della diossina.

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.

Suscettività magnetica: misura il grado di magnetizzazione di un materiale (es. sedimento lacustre) in corrispondenza di un campo magnetico. È molto elevata in minerali ferromagnetici trasportati dai fiumi e soprattutto in rocce vulcaniche.

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).

Torbida (o torbidite): l'insieme dei materiali minuti, come argille e sabbia, trasportati in sospensione dalla corrente, e sedimentati sul fondo dei laghi.

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