

## Relazioni tra carico organico, nutrienti e microinquinanti: depurare aumenta il rischio chimico?

Silvana Galassi<sup>1\*</sup>, Luigi Viganò<sup>2</sup>, Marina Mingazzini<sup>2</sup>, Roberta Bettinetti<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Milano

<sup>2</sup> Istituto di Ricerca sulle Acque, CNR, Brugherio

<sup>3</sup> Dipartimento di Scienze Chimiche e Ambientali, Università degli Studi dell'Insubria, Como

\* Referente per la corrispondenza: [silvana.galassi@unimi.it](mailto:silvana.galassi@unimi.it)

### Riassunto

Poiché la problematica dei microinquinanti è molto complessa sia per il numero elevato di potenziali agenti tossici sia per le interazioni tra le diverse specie chimiche presenti nell'acqua, risulta indispensabile affiancare alle metodiche analitiche l'uso di metodi biologici che rispondono in modo integrato all'insieme dei potenziali inquinanti. Tali metodologie sono state ampiamente applicate al fiume Po, soprattutto in un punto critico rappresentato dalla confluenza del fiume Lambro. La recente entrata in funzione dei depuratori di Milano, che dovrebbe drasticamente diminuire il carico organico e dei nutrienti potrebbe aumentare la biodisponibilità di metalli e altre sostanze potenzialmente pericolose. Questa ipotesi è corroborata da uno studio in cui si dimostra che la tossicità del nichel presente nelle acque del Lambro su *Ceriodaphnia dubia* è attenuata dal carbonio organico disciolto (DOC). D'altra parte la riduzione dell'eutrofizzazione culturale dei laghi potrebbe aumentare la biodisponibilità di inquinanti organici persistenti (POP), favorendo il bioaccumulo negli organismi acquatici, come si dimostra in uno studio in cui si confrontano tre grandi laghi italiani interessati da recenti fenomeni di inquinamento da DDT.

PAROLE CHIAVE: biotest / biodisponibilità / carico organico / stato trofico / microinquinanti

### Relationships among organic loading, nutrients and micropollutants: does wastewater processing enhance chemical risk?

Micropollutant monitoring is a very complex issue both because of the high number of potential toxicants and the interaction among the different chemical species. Biotests represent suitable tools for evaluating the global effect of the bioavailable fraction of micropollutants occurring in the water bodies. These methods have been widely applied to the Po river, focusing the attention on the confluence of the Lambro river, whose dissolved organic carbon (DOC) and nutrient load should drastically decrease after the starting up of the wastewater treatment plants of the city of Milan. Micropollutant bioavailability is expected to increase as DOC and nutrient concentration will decrease. A case study is presented to show how nickel toxicity to *Ceriodaphnia dubia*, partially mitigated by DOC, might increase as organic carbon is removed by the wastewater processing. Moreover, lake trophic status recovery might increase the bioavailability of persistent organic pollutants (POPs) to the aquatic organisms as it can be understood comparing the situation of three Italian great lakes, recently involved in cases of DDT pollution.

KEY WORDS: biotest / bioavailability / organic load / trophic state / micropollutants

### INTRODUZIONE

Recentemente, una Commissione istituita dalla Camera dei Deputati che ha riunito le competenze dei Ministeri di Ambiente, Agricoltura e Attività produttive, ha presentato una risoluzione molto esplicitiva sulla gravità della situazione idrica del Paese in cui si fa riferimento ad una “situazione di carenza idrica, già rilevata in tutta Italia dalla Protezione Civile, dalle principali Autorità di bacino e da diverse Regioni, (che) non rappresenta ormai più una eccezione”, a una “for-

te riduzione dei fenomeni piovosi e delle precipitazioni nevose, particolarmente significativa nel corso del periodo 2006/2007”... al problema per il bacino del Po”, “(...) alla risalita del cuneo salino, che impedisce la derivazione di acqua dolce per le attività agricole, esponendo l'intero territorio padano al forte rischio di nuovi e ingenti danni all'agricoltura”.

Gli aspetti quantitativi, che sembrano preoccupare seriamente i nostri parlamentari, non possono, tutta-

via, essere disgiunti da quelli qualitativi in quanto la qualità dell'acqua è destinata a peggiorare in seguito all'uso sempre più intensivo delle risorse disponibili, che determina la chiusura del ciclo dell'acqua su una scala molto ridotta rispetto a quella naturale.

Il bacino del Po fornisce ogni anno circa 20 km<sup>3</sup> d'acqua per i vari usi, di cui quello agricolo è il più rilevante (66%). Dopo l'uso l'acqua viene restituita col carico inquinante che ogni attività umana tipicamente produce. Il trattamento biologico delle acque di scarico dei grandi centri urbani ha fortemente limitato il carico organico, gli apporti di nutrienti inorganici (N, P) e di materiale particolato ai corpi idrici recettori ma non sempre è in grado di eliminare microinquinanti potenzialmente pericolosi. Anzi, il fatto che i trattamenti depurativi siano selettivi sulla miscela degli inquinanti può, paradossalmente, aggravare gli effetti tossici di alcuni di essi nonostante sia stato ridotto il carico inquinante complessivo.

La tossicità di molte sostanze, soprattutto dei metalli, diminuisce infatti al crescere della concentrazione nelle acque dei soluti ad attività complessante (DI TORO *et al.*, 2001) e del particolato sospeso che sequestra sia microinquinanti inorganici sia organici per adsorbimento superficiale.

È noto ad esempio che la biodisponibilità dei microinquinanti organici per il bioaccumulo negli organismi acquatici dei laghi diminuisce all'aumento dello stato trofico (LARSSON *et al.*, 1992; HOLMQVIST *et al.*, 2005) perché le fioriture algali rimuovono gli inquinanti poco solubili presenti nella zona fotica trasportandoli nel sedimento di fondo.

Nel bacino del Po è noto già da tempo il ruolo delle interazioni tra nutrienti inorganici disciolti (N, P) e tossicità (MINGAZZINI, 1993). Anche il ruolo del materiale organico particolato è stato indagato in più occasioni e ha dimostrato molteplici interazioni essendo vettore, potenzialmente, sia di sostanze nutritive che di inquinanti tossici (VIGANÒ, 2000; VIGANÒ *et al.*, 2008). Le interazioni sono complesse ed il risultato finale non è facilmente prevedibile (MOERMOND *et al.*, 2004; VIGANÒ *et al.*, 2007). In ogni caso, questi studi mettono in evidenza come solo un organismo vivente sia in grado di rispondere al complesso di inquinanti, non solo presenti, ma realmente disponibili a interagire con gli organismi acquatici. Per questo motivo i saggi ecotossicologici si rendono necessari per la valutazione complessiva del rischio chimico e delle sue variazioni in funzione degli interventi di depurazione attivi nel territorio (GALASSI *et al.*, 2007).

In questo lavoro vengono riportati due casi di studio che dimostrano l'utilità dell'uso di organismi sentinella per quantificare la tossicità e la bioaccumulabilità di metalli in traccia e microinquinanti organici allo scopo

di sensibilizzare gli organi di gestione e controllo sulla necessità di introdurre i saggi ecotossicologici nei controlli routinari delle acque sia per la classificazione del loro stato di qualità (GALASSI *et al.*, 2004) sia per guidare le indispensabili indagini di tipo analitico volte a individuare i composti che presentano un rischio reale per le comunità acquatiche e la salute umana.

## MATERIALI E METODI

Sono state scelte le seguenti stazioni di prelievo delle acque del Fiume Lambro: il Maglio, all'uscita del fiume dal Lago di Pusiano; Brugherio, a monte di Milano e a valle dell'immissione dello scarico dell'impianto di depurazione di Monza S. Rocco; Melegnano, a valle delle immissioni degli scarichi della città di Milano al tempo dell'indagine solo parzialmente depurati; Orio Litta, poco prima della confluenza del Lambro meridionale nel Po. Nel bacino del Lambro è insediato circa il 30% degli abitanti residenti del bacino del Po e un terzo degli addetti delle attività industriali idroesigenti (BARBIERO e GIULIANO, 1997). Questo fiume trasferisce nel Po elevate quantità di materiale organico (IRSA, 1997; 2000; VIGANÒ *et al.*, 2008). Per la valutazione dell'interazione tra sostanza organica e microinquinanti sono stati utilizzati saggi biologici, che rispondono alla frazione biodisponibile dei soluti presenti nelle acque.

In questo caso di studio è stato utilizzato il saggio cronico con *Ceriodaphnia dubia* a 7 giorni (EPA, 1989) su campioni prelevati dal Fiume Lambro nell'aprile del 2004 e filtrati con filtri in fibra di vetro (0,7 µm) al fine di rimuoverne i solidi sospesi.

Per lo studio relativo all'interazione tra stato trofico e tossicità è stato utilizzato il saggio di crescita algale a lungo termine (EPA, 1978), eseguito secondo la procedura proposta da MINGAZZINI (1993) su acque del Fiume Lambro addizionate con diverse concentrazioni di nutrienti. Infine, per la valutazione della bioaccumulabilità degli inquinanti organici persistenti (POP) in funzione della trofia sono stati considerati alcuni dati di letteratura (CIPAIS, 1999; 2007; RIVA *et al.*, 2008; BETTINETTI *et al.*, 2008) relativi alle concentrazioni dei DDT totali nei pesci e nei molluschi di laghi con diverso stato trofico, quali il Lago Maggiore, oligotrofo (CIPAIS, 2006) e i laghi di Como e d'Isèo che sono eutrofici (BUZZI, 2002; GARIBALDI *et al.*, 2003)

## RISULTATI E DISCUSSIONE

### Il fiume Lambro

In generale, l'elevato apporto di materiale organico deve essere considerato un fattore degenerativo in quanto provoca diversi effetti indesiderabili tra i quali una minore penetrazione della luce e una riduzione dell'ossigeno disciolto nella colonna d'acqua e negli

interstizi dei sedimenti (WOOD e ARMITAGE, 1997; VIGANÒ *et al.*, 1999). L'apporto di materiale organico può rappresentare, tuttavia, un fattore di mitigazione molto efficace rispetto alla tossicità dovuta a microinquinanti sia inorganici sia organici. In effetti, il materiale organico, sia disciolto che particolato, può da un lato legare in modo più o meno labile le specie ioniche e le molecole organiche, e dall'altro essere fonte di nutrimento per quegli organismi meno esigenti che possono di conseguenza prosperare (HAITZER *et al.*, 1998; HAURI e HORNE, 2004; VIGANÒ *et al.*, 2008).

Diversi studi sono stati eseguiti in passato sia per quantificare l'effetto tossico dei microinquinanti presenti nel Lambro, sia per valutare l'influenza del carico inquinante sul Fiume Po (GALASSI *et al.*, 1992; VIGANÒ *et al.*, 1996; IRSA, 1997; MINGAZZINI *et al.*, 2002; MINGAZZINI e PALUMBO, 2004; GALASSI *et al.*, 2004; VIGANÒ *et al.*, 2008).

Nel caso delle acque prelevate in diverse località del Fiume Lambro nel 2004 i risultati dei saggi ecotossicologici sono stati messi in relazione con la durezza, l'alcalinità, la concentrazione di carbonio organico disciolto (DOC) e con la concentrazione di nichel (Tab. I), metallo la cui concentrazione si avvicinava o superava le soglie di tossicità per *Ceriodaphnia dubia* riportate in letteratura (KSZOS *et al.*, 1992; SCHUBAUER *et al.*, 1993).

Il nichel è un metallo che trova ampio impiego nella produzione di acciaio inossidabile ed altre leghe, come catalizzatore nei processi di elettrodeposizione e nella produzione di batterie e componenti elettronici. La sua tossicità per pesci (HOANG *et al.*, 2004) e invertebrati (KSZOS *et al.*, 1992; SCHUBAUER *et al.*, 1993) è fortemente influenzata dal pH e dalla durezza delle acque. Con durezza simile a quella misurata nel Lambro a partire dalla stazione di Brugherio e con la stessa concentrazione di Ni si era osservata una mortalità di *C. dubia* pari al 100% degli individui saggiati (KSZOS *et al.*, 1992). È chiaro che la presenza di concentrazioni elevate di DOC sembra attenuare l'effetto tossico del nichel nelle acque del Lambro.

Questo effetto di riduzione della tossicità attesa è tanto più apprezzabile se consideriamo la moltitudine di microinquinanti la cui presenza nel Fiume Lambro a livelli subletali è stata dimostrata sia in questi campioni

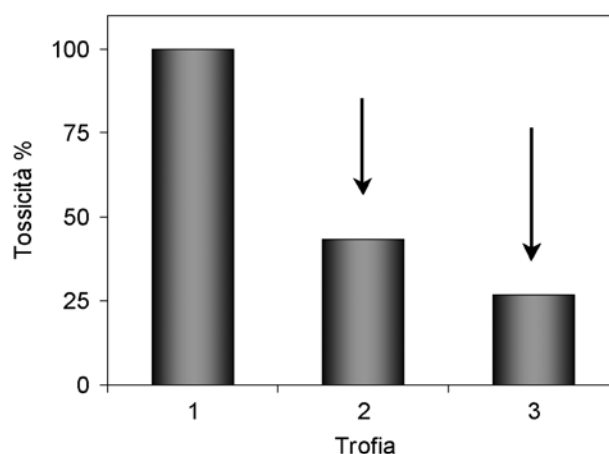
che in altri prelevati in precedenza (IRSA, 1997; VIGANÒ *et al.*, 2008).

L'effetto dello stato trofico sulla biodisponibilità degli inquinanti presenti nelle acque del Lambro prelevate alla confluenza con il Po è stato misurato con il saggio di crescita algale che ha dimostrato che aumentando la biomassa algale del campione con aggiunte scalari di nutrienti (da 1 a 3 volte la concentrazione originale) si osserva una riduzione dell'effetto tossico, espresso come percentuale della tossicità originale, fino al 27 % della tossicità osservata nel campione senza aggiunte di nutrienti (Fig.1).

È prevedibile, quindi, che l'entrata in funzione a pieno regime degli impianti di depurazione della città di Milano, abbattendo il carico organico e quello dei nutrienti, possa causare un aumento della biodisponibilità dei metalli e degli altri microinquinanti.

Ciò non significa, ovviamente, che la depurazione in sé non sia auspicabile; intendiamo solo sottolineare che si rende necessaria una sorveglianza sempre più efficace dei microinquinanti la cui biodisponibilità potrebbe essere in aumento e la cui presenza non è rilevabile attraverso gli abituali macrodescrittori utilizzati per il monitoraggio delle acque.

Inoltre le analisi eseguite specificatamente per la determinazione dei metalli non sono in grado di valutare la frazione biodisponibile per gli organismi acquatici.



**Fig. 1.** Riduzione percentuale della tossicità misurata in risposta all'incremento scalare dello stato trofico (1 - 3) con il saggio di crescita dell'alga *Pseudokirchneriella subcapitata*.

**Tab. I.** Risultati dei saggi cronici su *Ceriodaphnia dubia* eseguiti con campioni filtrati delle acque del Lambro e dati idrochimici.

	Riduzione fertilità (%)	DOC (mg/L)	Durezza (°F)	Alcalinità (meq/L)	Ni (µg/L)
Il Maglio	0	3,3	36,7	3,3	1,8
Brugherio	68	12,0	57,4	6,0	48,3
Melegnano	42	6,7	63,1	6,1	32,4
Orio Litta	39	8,4	53,0	5,7	22,5

## I grandi laghi

La contaminazione del Lago Maggiore da DDT e composti omologhi, di cui si è venuti a conoscenza nel 1996 (CIPAIS, 1998), ha rappresentato e rappresenta tuttora un'emergenza ambientale e sanitaria per i livelli che questi composti hanno raggiunto in alcune specie ittiche che sono risultate non idonee per il consumo umano.

Di recente scoperta (BETTINETTI *et al.*, 2008) è invece il caso di contaminazione dei laghi di Como e d'Iseo, molto verosimilmente derivata dalla fusione di masse glaciali, depositate alle quote elevate nel periodo di maggior uso del DDT. I ghiacciai, che in larga misura alimentano i due laghi, hanno funzionato da trappola per gli inquinanti negli anni '60-'80 quando il loro volume cresceva. Recentemente, in seguito alla fusione di gran parte del volume accumulato, li hanno rilasciati riversandoli nei laghi.

Fortunatamente, lo stato trofico dei due laghi, soprattutto nel periodo estivo, quando verosimilmente è avvenuto il rilascio, era piuttosto elevato e la biomassa algale deve aver adsorbito e portato sul fondo la maggior parte degli inquinanti.

La relazione tra stato trofico e bioaccumulo nella fauna lacustre è stata studiata nei laghi scandinavi, dimostrando che l'accumulo nella fauna pelagica diminuisce al crescere del grado di eutrofizzazione (HOLMQUIST *et al.*, 2005). Nella zona litorale poco profonda, invece, dove il sedimento è in equilibrio con l'intera colonna d'acqua perché non esiste stratificazione, gli inquinanti sono rimasti in circolazione più a lungo provocando un picco molto vistoso di concentrazione nel mollusco bivalve *Dreissena polymorpha* (Tab. II).

I livelli di contaminazione raggiunti nei tessuti molli degli individui di dreissena raccolti nei laghi di Como e d'Iseo nel 2005 sono risultati molto più alti di quelli misurati nel Lago Maggiore ed inoltre sono risultati molto più contaminati dei pesci pur appartenendo ad un livello trofico inferiore.

A nostro avviso, questo strano comportamento, mai osservato in passato e apparentemente in contrad-

dizione coi modelli teorici di trasferimento degli inquinanti nelle reti trofiche, può essere giustificato dalle circostanze descritte in precedenza: la biomassa algale che ha tempi di rigenerazione piuttosto rapidi rimuove gli inquinanti presenti nella colonna d'acqua della zona pelagica trasferendoli nella zona ipolimnica, isolata dall'epilimnio nel periodo di stratificazione. Questo fenomeno porta a una situazione dinamica alla quale non possono essere applicati i modelli di bioaccumulo che si basano sull'assunzione di considerare sistemi in condizioni di equilibrio.

Nelle zone litorali la colonna d'acqua scambia continuamente soluti con i sedimenti, che rilasciano i composti accumulati in seguito ai fenomeni di decomposizione della materia organica. I molluschi che vivono in questa zona del lago hanno raggiunto concentrazioni più elevate sia grazie alla loro elevata capacità di filtrazione del materiale in sospensione sia grazie alla maggior durata della contaminazione dovuta al rilascio dai sedimenti del materiale contaminato.

Anche in questo caso possiamo dire che una forma di inquinamento, l'eutrofizzazione, ha protetto da un'altra forma, i microinquinanti organici, e che i danni causati dalla fusione dei ghiacciai e dal rilascio dei pesticidi clorurati sono stati inferiori a quelli che si sarebbero verificati in laghi oligotrofici. Questo significa, però, che il recupero delle acque lacustri dal punto di vista trofico le rende più vulnerabili al rischio legato alla presenza dei microinquinanti che, a maggior ragione, andrebbero monitorati mediante l'uso di organismi bioaccumulatori.

## CONCLUSIONI

La maggior parte dei corpi idrici del bacino nel Po sta attraversando una fase di miglioramento per quanto riguarda la situazione di contaminazione descrivibile con i macrodescrittori, grazie all'entrata in funzione di nuovi impianti di depurazione e, nel caso dei laghi, della diversione degli scarichi diretti mediante la realizzazione di condotte circumlacuali.

**Tab. II.** Contaminazione da DDT totali (mg kg<sup>-1</sup> lipidi). Modificata da BETTINETTI *et al.* (2008).

	<i>Dreissena polymorpha</i>			<i>Alosa fallax</i>		
	L.d'Iseo	L. di Como	L. Maggiore	L.d'Iseo	L. di Como	L. Maggiore
1996	0,10	0,11	1,1-3,0*	-	-	9,50* (media 1998)
2003	0,15°	0,20 °	0,7-1,4 °	-	-	-
2005	28,86	28,30	1,1-1,9	-	5,27	6,46#
2006	8,73	-	0,7-1,0	-	-	2,52#
2007	11,18	6,11	-	0,57	0,84	-

\*CIPAIS, 1998; #CIPAIS, 2007 °RIVA *et al.* (2008)

In questa situazione, il problema dei microinquinanti, molto trascurato in passato sia perché considerato secondario rispetto a fenomeni vistosi come l'anossia di tratti di fiumi e l'eutrofizzazione dei laghi, sia perché parzialmente "coperto" dal macroinquinamento, potrebbe manifestarsi in tutta la sua pericolosità. D'altra parte alcuni microinquinanti entrano a far parte della lista di sostanze pericolose per le quali sono stati stabiliti "standard di qualità" nella Direttiva 2000/60/CE, il cui superamento determina un peggioramento del giudizio di qualità e quelli che non sono ancora stati inclusi nelle liste potrebbero essere inseriti in futuro, una volta accertato il rischio che essi rappresentano

per gli usi più esigenti delle acque.

Per prevenire emergenze ecologiche e sanitarie legate alla presenza di composti potenzialmente pericolosi per la vita acquatica e la salute umana, si rende necessario, quindi, un monitoraggio di tipo biologico che faccia uso sia di saggi ecotossicologici su singoli campioni, sia di organismi bioaccumulatori prelevati direttamente dai corpi idrici.

La Direttiva 2000/60/CE è molto carente al riguardo e la comunità scientifica dovrebbe esercitare tutto il suo peso sia a livello nazionale sia internazionale per introdurre questi strumenti di controllo in aggiunta ai già previsti controlli analitici.

## BIBLIOGRAFIA

- BARBIERO G., GIULIANO G., 1997. Analisi dei fattori di generazione dell'inquinamento nel bacino del Lambro. In atti del Convegno *Nodo Lambro-Po: trasporto di inquinanti ed effetti biologici*, Milano, 8 maggio 1996. IRSA Quaderni 102.
- BETTINETTI R., QUADRONI S., GALASSI S., BACCHETTA R., BONARDI L., VAILATI G., 2008. Is meltwater from Alpine glaciers a secondary DDT source for lakes? *Chemosphere* **73**: 1027-1031.
- BUZZI F., 2002. Phytoplankton assemblages in two sub-basins of Lake Como. *Journal of Limnology* **61**: 117-128.
- CIP AIS, 1999. Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere. *Ricerche sulla distribuzione e gli effetti del DDT nell'ecosistema del Lago Maggiore*. Rapporto finale sui risultati delle indagini, 81 pp.
- CIP AIS, 2006. Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere. *Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici*. Programma quinquennale, 2003-2007, 84 pp.
- CIP AIS, 2007. Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere. *Monitoraggio della presenza del DDT e di altri contaminanti nell'ecosistema del lago Maggiore. Campagna 2006-2007*. Rapporto finale 2001-2007, 102 pp.
- DI TORO D.M., ALLEN H.E., BERGMAN H.L., MEYER J.S., PAQUIN P.R., SANTORE R.C., 2001. Biotic Ligand Model of the acute toxicity of metals. 1. Technical basis. *Environmental Toxicology Chemistry* **20**: 2383-2396.
- EPA, 1978. *The Selenastrum capricornutum Printz algal assay bottle test. Experimental design, application and data interpretation protocol*. EPA-600/4-78-018. Corvallis, Oregon.
- EPA, 1989. *Short-term methods for estimating the chronic toxicity of effluents and receiving waters to freshwater organisms*. EPA-600/4-89-001. Cincinnati, Ohio.
- GALASSI S., GUZZELLA L., MINGAZZINI M., VIGANO' L., CAPRI S., SORA S., 1992. Toxicological and chemical characterization of organic micropollutants in river Po waters (Italy). *Water Research* **26**: 19-27.
- GALASSI S., GUZZELLA L., CROCE V., 2004. Screening organic micropollutants in surface waters by SPE extraction and ecotoxicological testing. *Chemosphere* **54**: 1619-1624.
- GALASSI S., BETTINETTI R., CROCE V., 2007. Bioassays: a neglected tool in the Directive 2000/60 EU for the water policy. In: proceedings of the *International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics*, A. Kungolos, K. Aravossis, A. Karagiannidis, P. Samaras (eds): 2823-2829.
- GARIBALDI L., ANZANI A., MARIENI A., LEONI B., MOSELLO R., 2003. Studies on the phytoplankton of deep subalpine Lake Iseo. *Journal of Limnology* **62**: 177-189.
- HAITZER, M., HOSS, S., TRAUNSPURGER, W., STEINBERG, C., 1998. Effects of dissolved organic matter (DOM) on the bioconcentration of organic chemicals in aquatic organisms. *Chemosphere* **37**: 1335-1362.
- HAURI J.F., HORNE A.J., 2004. Reduction in labile copper in the 7-day *Ceriodaphnia dubia* toxicity test due to the interaction with zooplankton food. *Chemosphere* **56**: 717-723.
- HOANG T.C., TOMASSO J.R., KLAINE S.J., 2004. Influence of water quality and age on nickel toxicity to fathead minnow (*Pimephales promelas*). *Environmental Toxicology Chemistry* **23**: 86-92.
- HOLMQVIST N., STENROTH P., BERGLUND O., NYSTROM P., GRANELLI W., LARSSON P., 2005. Lake trophic status and bioaccumulation of polychlorinated biphenyls in benthic organisms: a comparison between littoral and profundal invertebrates. *Canadian Journal Fishery Aquatic Science* **62**: 1201-1209.
- IRSA, 1997. *Nodo Lambro-Po: trasporto di inquinanti ed effetti biologici*. Quaderni IRSA n. 102.
- IRSA, 2000. *Caratterizzazione dei sedimenti e qualità ecologica del fiume Po*. Quaderni IRSA n. 113.

- KSZOS L.A., STEWART A., TAYLOR P.A., 1992. An evaluation of Nickel toxicity to *Ceriodaphnia dubia* and *Daphnia magna* in a contaminated stream and in laboratory tests. *Environmental Toxicology Chemistry* **11**: 1001-1012.
- LARSSON P., COLLVIN L., OKLA L., MEYER G., 1992. Lake productivity and water chemistry as governorso of uptake of persistent pollutants in fish. *Environmental Science Technology* **26**: 346-352.
- MINGAZZINI M., 1993. Comparison of different methods for quantitative toxicity measurements on natural waters using *S. capricornutum*. *Water Research* **27**: 1055-1062.
- MINGAZZINI M., POLESSELLO S., GALASSI S., GUZZELLA L., 2002. Role of nonylphenol ethoxylates as possible tracers of recent industrial contamination of river sediments. *Fresenius Environmental Bulletin* **11**: 795-799.
- MINGAZZINI M., PALUMBO M.T., 2004. Toxicity Characterization of organic contaminants in riverwater: a TRE approach using algal tests. In: proceedings of 3<sup>rd</sup> European Conference on Pesticides and Organic Micropollutants in the Environment. Vol. 3: 377-380.
- MOERMOND C.T.A., ROOZEN F.C.J., ZWOLSMAN J.J.G., KOELMANS A.A., 2004. Uptake of sediment-bound bioavailable polychlorobiphenyls by bethivorous carp (*Cyprinus carpio*). *Environmental Science Technology* **38**: 4503-4509.
- RIVA C., BINELLI A., PROVINI A., 2008. Evaluation of several priority pollutants in zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) in the largest Italian subalpine lakes. *Environmental Pollution* **151**: 652-662.
- SCHUBAUER-BERIGAN M.K., DIERKES J.R., MONSON P.D., ANKLEY G.T. 1993. pH-dependent toxicity of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn to *Ceriodaphnia dubia*, *Pimephales promelas*, *Hyalella azteca*, and *Lumbriculus variegatus*. *Environmental Toxicology Chemistry* **12**: 1261-1266.
- WOOD P.J., ARMITAGE P.D., 1997. Biological effects of fine sediment in the lotic environment. *Environmental Management* **21**: 203-217.
- VIGANÒ L., BASSI A., GARINO A., 1996. Toxicity evaluation of waters from a tributary of the river Po using a 7-day *Ceriodaphnia dubia* test. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **35**: 199-208.
- VIGANÒ L., BARBIERO G., BUFFAGNI A., MINGAZZINI M., PAGNOTTA R., 1999. Assessment of the alterations of the aquatic environment downstream from a polluted tributary. *Aquatic Ecosystem Health Management* **2**: 55-69.
- VIGANÒ L., 2000. Assessment of the toxicity of the River Po sediments with *Ceriodaphnia dubia*. *Aquatic Toxicology* **47**: 191-202.
- VIGANÒ L., FARKAS A., GUZZELLA L., ROSCIOLI C., ERRATICO C., 2007. The accumulation levels of PAHs, PCBs, and DDTs are related in an inverse way to the size of a benthic amphipod (*Echinogammarus stammeri* Karaman) in the River Po. *Science of the Total Environment* **373**: 131-145.
- VIGANÒ L., PATROLECCO L., POLESSELLO S., PAGNOTTA R., 2008. Interactions between trophic and toxic factors in a polluted urban river. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **69**: 49-57.