

Analisi ecotossicologiche di alcuni laghi altoatesini

Francesca Lazzeri & Paola Blasior

Abstract:

Ecotoxicological analyses in some lakes in South Tyrol

An ecotoxicological research was carried out during 2003 on seven lakes of South Tyrol. Because of the tight correlation between sediments and the above standing water column, analyses were performed on sediments as well as on superficial and bottom water samples. A solid/liquid equilibrium is established, which generally produces an enrichment of nutrients and toxic elements in the interstitial water. The two tests prescribed by the current law (DECRETO LEGISLATIVO 152 /99), were applied to evaluate the toxicity of the taken samples: the acute toxicity test with the crustacean *Daphnia magna* and the acute toxicity test with the bioluminescence bacterium *Vibrio fischeri*. The aim of this research was to demonstrate how the employment of ecotoxicological tests on both water and sediment matrices is useful for the evaluation of the lakes' environmental quality. The study also underlines the relevancy of lake sediments for such studies.

Keywords: ecotoxicology, freshwater lakes, sediments, superficial waters, bioluminescent bacteria, *Daphnia magna*, South Tyrol, Italy

1. Introduzione

La normativa comunitaria ed il testo unico sulle acque pongono al centro della strategia per la tutela ed il risanamento dei corpi idrici, la conoscenza del loro stato di qualità ambientale, costituendo quest'ultima l'obiettivo primario per la salvaguardia dei molteplici usi a cui la risorsa acqua è destinata (DECRETO LEGISLATIVO 152 /99 e successive modifiche).

L'enorme dispersione di sostanze inquinanti di sintesi chimica e loro derivati nell'ambiente, molte delle quali sfuggono sistematicamente alle normali indagini analitiche di laboratorio poiché non previste, costituiscono, com'è noto, una delle principali cause, tipicamente antropica, del degrado delle risorse idriche (GUZZELLA & GRONDA 1995, PERSOONE et al. 1993).

Gli effetti tossici che un'immissione, derivante da attività industriali e/o agricole, può determinare sull'ecosistema di un corpo idrico recettore ed i meccanismi d'interazione fra xenobiotici e ambiente idrico, non sono deducibili dall'esclusiva identificazione delle sostanze inquinanti preselezionate. La tossicità complessiva di un corpo idrico, infatti, è notevolmente influenzata dalla massa totale d'inquinanti immessa, dalle imprevedibili sinergie tossicologiche che possono verificarsi fra loro e dai meccanismi di bioaccumulo, che gli esseri viventi attuano concentrando nei propri tessuti le sostanze assorbite dall'ambiente (DI FERRO et al. 2002).

Per un'esaustiva valutazione del rischio tossicologico è quindi necessario integrare i classici controlli chimici con sistemi di rilevazione basati su indicatori biologici, quali ad esempio l'Indice Biotico Esteso (IBE) ed i test ecotossicologici. Questi

rappresentano un valido strumento d'indagine capace di fornire risposte utili sia nelle attività di monitoraggio dello stato di qualità ambientale delle risorse idriche, sia nella previsione dell'impatto sui corpi recettori da parte di scarichi inquinanti (VOLTERRA 1996). Gli organismi utilizzati sono specie sensibili a determinate sostanze inquinanti e subiscono variazioni rilevabili del loro stato fisiologico in funzione della concentrazione dell'inquinante tossico e della durata dell'esposizione.

La valutazione della potenziale contaminazione degli ambienti acquatici ha subito in tempi recenti una radicale trasformazione; i primi studi di ecotossicologia acquatica ponevano l'attenzione solo sulle acque superficiali, tradizionali recettori di reflui urbani ed industriali, piuttosto che sui sedimenti. Oggi, al contrario, si tende a dare sempre più importanza ai sedimenti poiché sono proprio questi a rappresentare spesso il maggior rischio per l'ambiente (BURGESS & SCOTT 1992).

Le sostanze che si depositano nel sedimento, quali sostanze umiche come cellulosa e lignina d'origine prevalentemente vegetale e sostanze bituminose d'origine animale, sono generalmente poco solubili in acqua e perciò tendono ad accumularsi nei sedimenti. È fondamentale evidenziare che sedimenti e colonna d'acqua sovrastante sono strettamente correlati (LIS & AHLF 1996), infatti, si stabilisce un equilibrio solido/liquido che generalmente comporta un arricchimento in elementi e composti tossici nell'acqua interstiziale (KNIGHT 1984, CAIRNS et al. 1984, SALOMONS et al. 1987, TESSIER & CAMPBELL 1987, CHAPMAN 1987). La contaminazione può riguardare direttamente gli organismi bentonici (CIBOROWSKI & CORKUM 1988, GIESY et al. 1988, SCHLÖSSER 1988, GIESY & HOKE 1989, 1990) o indirettamente gli altri organismi, attraverso la catena alimentare o per fenomeni di risospensione e rilascio che rendono nuovamente disponibili gli inquinanti (NEBEKER et al. 1983).

Numerosi tossici inoltre vengono normalmente riscontrati solo a livello di tracce nelle acque, mentre gli stessi elementi e composti tendono generalmente ad essere accumulati nei sedimenti anche in concentrazioni molto elevate. Non a caso la Commissione Europea (ADRIAANSE et al. 1995) indica che i sedimenti sono ormai il mezzo di elezione per lo studio dei fenomeni di contaminazione da parte di fosforo (elemento eutrofizzante), metalli, idrocarburi policiclici aromatici (IPAs), idrocarburi volatili alogenati (VOX), esaclorobenzolo (HCB), policlorobifenili (PCBs), pesticidi organoclorurati, fenoli clorurati, olii, ecc.

Rispetto ai test di tossicità sui campioni d'acqua, quelli sui sedimenti sono obiettivamente più complessi perché i sedimenti stessi hanno una matrice eterogenea, comprendente 3 componenti principali:

1. una fase liquida, ovvero l'acqua interstiziale
2. una fase solida inorganica
3. una fase solida organica

In un test di tossicità, quindi, gli organismi sono esposti a tossici in soluzione, tossici adsorbiti sulle particelle e tossici incorporati in tali particelle. L'esposizione può dunque avvenire per contatto o per ingestione; ciò significa che anche il percorso metabolico di un inquinante, ed il suo effetto, possono essere variabili, a parità di concentrazione nel sedimento tal quale di origine, in funzione della ripartizione di tale inquinante nelle diverse fasi del sedimento (BAUDO 2001).

Poiché nessun organismo, da solo, offre garanzie di poter essere utilizzato in tutti i casi, di norma è consigliato di non limitare gli esperimenti ad una sola specie, ma di utilizzare una "batteria di test", allo scopo di analizzare il più ampio spettro d'effetti su organismi diversi (crostacei, batteri, microalghe o semi di piante) con risposte differenti ai vari composti presenti nelle matrici ambientali contaminate (ODDO & TRILLI 1998).

Il saggio sul sedimento tal quale permette di valutare gli effetti dovuti al contatto diretto tra sedimento ed organismo test e quindi stimare la tossicità di composti associati alle particelle del sedimento stesso. Il saggio sull'elutriato acquoso e sull'acqua interstiziale permette invece la valutazione della frazione delle sostanze biodisponibili ed è proposto per studiare i meccanismi di ripartizione dei vari tossici ed i processi che portano alla manifestazione di effetti indesiderati sugli organismi viventi; tuttavia, nessuno di questi sistemi è esente da critiche, tanto che BURTON (1991) conclude che non esiste un metodo "ottimale" per verificare la tossicità dei sedimenti.

La scelta dei test di tossicità da utilizzare e delle matrici (acquosa o solida) sulle quali applicarli è stata quindi fatta valutando alcuni elementi, quali la sensibilità dell'organismo test, la rapidità, la semplicità e la standardizzazione del metodo. Sono stati utilizzati pertanto il test acuto con il crostaceo cladocero d'acqua dolce *Daphnia magna* e il test acuto con i batteri bioluminescenti della specie *Vibrio fischeri* per l'analisi dei campioni d'acqua superficiale, profonda e dell'elutriato dei sedimenti, mentre la tossicità del sedimento tal quale è stata testata solamente con i batteri bioluminescenti.

2. Materiali e metodi

Nel corso del 2003 è stato condotto uno studio di ecotossicologia su campioni di sedimento, acqua superficiale ed acqua profonda di sette laghi altoatesini: Monticolo Piccolo, Costalovara, S. Valentino, S. Maria (Tret), Valdurna, Monticolo Grande e Caldaro (Fig. 1).

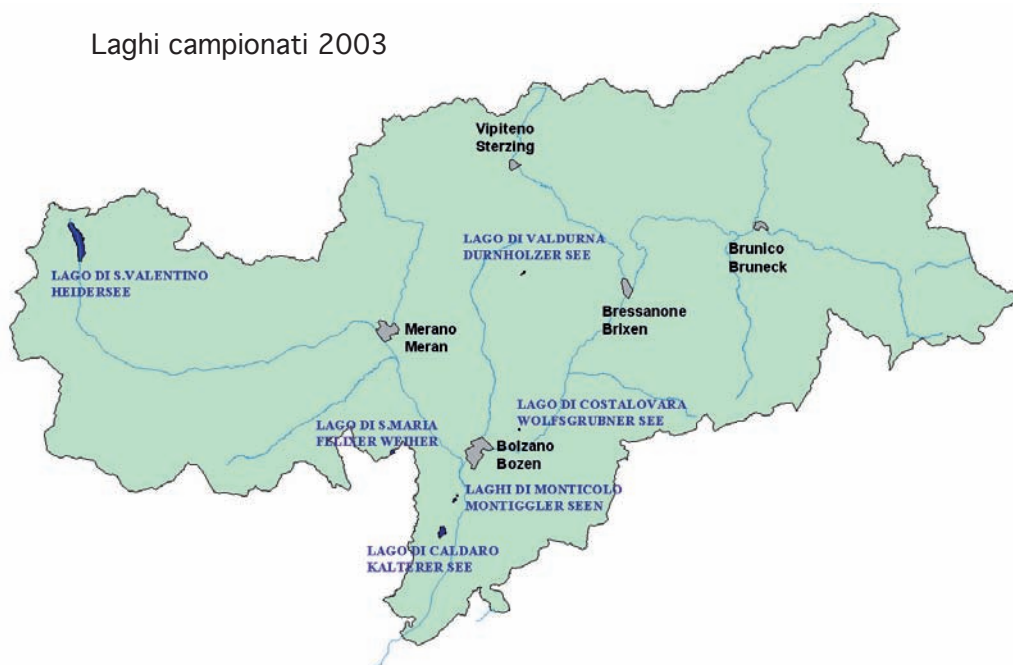


Fig. 1: Laghi campionati.

Per ciascun lago sono stati effettuati prelievi in più punti, scelti in modo che il campionamento fosse sufficientemente rappresentativo delle condizioni del lago nel suo complesso:

- un punto dove il lago raggiunge la sua massima profondità;
- uno o più punti, a seconda delle dimensioni lacustri, dove si presentassero particolari condizioni, per peculiarità ambientali o situazioni di influsso antropico (ad es.: presenza di un canneto, eventuali scarichi sospetti, attività umane, ecc.);
- un punto di prelievo il più possibile vicino alla foce di eventuali immissari del fiume, evitando però le aree dove il sedimento è troppo grossolano;
- un punto vicino ad eventuali effluenti.

Per ciascun punto di campionamento sono stati prelevati i seguenti campioni:

- campione di sedimento utilizzando la benna Eckman calata al fondo manualmente;
- campione di acqua superficiale;
- campione di acqua profonda mediante il campionatore Schindler.

I campioni di sedimento sono stati raccolti in doppi sacchetti chiusi ermeticamente e conservati in frigorifero a 4°C fino all'esecuzione dei test.

Per valutare la tossicità dei campioni in esame sono stati utilizzati due test previsti dal DECRETO LEGISLATIVO 152 /99: il test di tossicità acuta con il cladocero *Daphnia magna* ed il test di tossicità acuta con i batteri bioluminescenti della specie *Vibrio fischeri*.

Saggio di tossicità acuta con *Daphnia magna*

La metodica seguita è la UNI EN ISO 6341:1999. Per la conduzione del test sono stati utilizzati dafnidi di *Daphnia magna* Straus d'età inferiore a 24 ore ottenuti dall'allevamento del nostro laboratorio, secondo il metodo IRSA. I neonati di meno di 24 ore vengono immessi nel campione da analizzare e dopo un periodo di tempo prestabilito (24 ore) si osserva la percentuale di individui immobili intesa come:

$$\frac{\text{Numero di organismi immobilizzati}}{20 \text{ (n° totale d'individui utilizzati per ogni test)}} \%$$

Il test acuto è stato eseguito sui campioni tal quali d'acqua superficiale, d'acqua profonda e sull'elutriato del sedimento, ottenuto seguendo il metodo proposto da BURTON et al. (1996). Tale metodo prevede una diluizione del campione 1:4 con "acqua artificiale" (acqua utilizzata come controllo durante l'esecuzione del test e preparata secondo la metodica), agitazione della soluzione per 30 minuti con agitatore magnetico e successiva sedimentazione per 1 ora. Il surnatante è stato poi prelevato e centrifugato per 15 minuti a 10.000 x g per ridurre al minimo le particelle solide sospese.

Saggio di tossicità acuta con *Vibrio fischeri*

Il test con i batteri bioluminescenti sfrutta la naturale capacità di un gruppo di batteri marini appartenenti alla specie *Vibrio fischeri* (ceppo NRRL, numero 11177, liofilizzati e congelati a -20/25°C) di emettere luce, se si trovano nelle condizioni ottimali.

Il protocollo sperimentale utilizzato è quello proposto dal Manuale MICROTOX®, messo a punto dalla ditta AZUR Environmental (USA), che segue la metodica EN ISO 11348-3. Attraverso uno specifico strumento, il luminometro MICROTOX® M500 vengono effettuate delle misure di luminescenza a tempi rispettivamente di 5, 15 e 30 minuti, a 490 nm di lunghezza d'onda. La presenza di sostanze inibenti si manifesta mediante una riduzione della bioluminescenza proporzionale alla tossicità del campione in esame (% d'inibizione).

Il test acuto, utilizzando il protocollo del "Test preliminare", è stato eseguito sui campioni tal quali d'acqua superficiale e d'acqua profonda.

Per quanto riguarda invece il sedimento tal quale è stato utilizzato il protocollo del "Basic Solid Phase Test", che prevede un miscelamento con agitatore magnetico per 10 minuti di 7 g di sedimento tal quale e 35 ml di *Diluent Solid Phase* fornito dalla Azur Environmental. Trascorso tale intervallo di tempo, vengono prelevati 2 ml dalla sospensione in agitazione e posti in una cuvetta ed in seguito vengono eseguite 8 diluizioni seriali con fattore di diluizione 1:2. Queste ultime vengono aggiunte ai batteri bioluminescenti e dopo 30 minuti si procede alla lettura dell'emissione luminosa con lo strumento Microtox®. Oltre alle 8 diluizioni seriali viene preparato un controllo in cui i batteri vengono a contatto con il solo diluente. Questa misura rappresenta il valore di luminescenza nelle condizioni di riferimento.

Un software collegato al luminometro elabora statisticamente i dati ed emette il risultato finale sotto forma di EC50 (concentrazione alla quale si ha il 50% d'inibizione della bioluminescenza) alle varie diluizioni e le caratteristiche della retta di interpolazione.

3. Risultati

Di seguito sono riportati in dettaglio i risultati, per ciascun lago esaminato, dei test di tossicità con il crostaceo cladocero *Daphnia magna* e con i batteri bioluminescenti della specie *Vibrio fischeri*.

Lago di Monticolo Piccolo: Per quanto riguarda il test di tossicità effettuato con *Daphnia magna*, i campioni di acqua superficiale, quelli di acqua profonda e gli elutriati non hanno evidenziato alcuna tossicità (0% organismi morti dopo 24 ore). Per quanto riguarda il test acuto con i batteri bioluminescenti della specie *Vibrio fischeri*, in tutti i punti indagati, sia per l'acqua superficiale che per quella profonda, non è stata rilevata tossicità, bensì ormesi, ovvero un fenomeno di biostimolazione dovuto molto probabilmente alla presenza di nutrienti, che accelerando il metabolismo dell'organismo determinano un aumento dell'emissione luminosa (Tab. 1). Per quanto riguarda invece i risultati del "Basic Solid Phase Test", secondo la classificazione proposta da "Laboratory for biological research in aquatic pollution of the University of Ghent" qui di seguito riportata:

non tossico	UT = 0
debolmente tossico	UT < 1
tossico	UT 1-10
molto tossico	UT 11 -100
estremamente tossico	UT > 100

UT = 100 : EC50

nessuno dei sedimenti tal quali analizzati ha evidenziato tossicità. Tra i quattro punti indagati esiste però una differenza di valori di EC50 che ci permette di stilare una scala di maggiore / minore effetto registrato; in particolare si può affermare che il punto MontP2 mostra il valore più basso di "tossicità"; infatti è stato possibile calcolare solamente un EC20, seguito da MontP3 e MontP4, mentre la "tossicità" maggiore è stata evidenziata per il punto MontP1, ovvero il punto più profondo del lago (Tab.2).
Si ricorda che a valori maggiori di EC50 corrisponde una minore tossicità.

Tab. 1: Lago di Monticolo Piccolo:

Risultati test con *Daphnia magna* su acqua superficiale, acqua profonda ed elutriato e risultati test con *Vibrio fischeri* su acqua superficiale e acqua profonda

Campione	Test con <i>Daphnia magna</i>	Test con <i>Vibrio fischeri</i>		
	% morti	% di effetto a 5'	% di effetto a 15'	Osservazioni
MontP1 H ₂ O sup.	0	-5,8 (da -16,2 a 4,5)	-13,6 (da -27,7 a 0,5)	Ormesi
MontP1 H ₂ O prof.	0	-3,2 (da -18,9 a 12,5)	-12,0 (da -28,31 a -4,4)	Ormesi
MontP1 elutriato	0			
MontP2 H ₂ O sup.	0	0,4 (da -7,559 a 8,4)	-3,3 (da -13,3 a 6,7)	Ormesi
MontP2 H ₂ O prof.	0	-3,3 (da -17,6 a 10,9)	-11,6 (da -28,8 a 5,6)	Ormesi
MontP2 elutriato	0			
MontP3 H ₂ O sup.	0	-2,1 (da -14,8 a 10,7)	-6,3 (da -16,4 a 3,8)	Ormesi
MontP3 H ₂ O prof.	0	1,3 (da -6,5 a 9,0)	-3,7 (da -8,6 a 1,2)	Ormesi
MontP3 elutriato	0			
MontP4 H ₂ O sup.	0	-5,5 (da -20,7 a 9,7)	-13,8 (da -29,5 a 1,8)	Ormesi
MontP4 H ₂ O prof.	0	-0,5 (da -7,8 a 6,7)	-3,7 (da -10,4 a 2,97)	Ormesi
MontP4 elutriato	0			

Tab. 2: Lago di Monticolo Piccolo:

Risultati "Basic Solid Phase Test" con *Vibrio fischeri* su sedimento tal quale

Campione	Test con <i>Vibrio fischeri</i>		
	EC 50 a 30'	EC 20 a 30'	Unità di tossicità (UT)
MontP1	13250 mg/l (da 11560 a 15180)	4180 mg/l (da 3391 a 5151)	0,0075
MontP2	NON RILEVABILE	72150 mg/l (da 7409 a 72600)	
MontP3	71600 mg/l (da 34300 a 149500)	12310 mg/l (da 7752 a 19550)	0,0014
MontP4	36750 mg/l (da 29980 a 45040)		0,0027

Lago di Costalovara: Per quanto riguarda il test di tossicità effettuato con *Daphnia magna*, i campioni di acqua superficiale, quelli di acqua profonda e gli elutriati non hanno evidenziato alcuna tossicità (0 % organismi morti), in nessuno dei punti indagati; la stessa cosa dicasi per l'analisi con i batteri bioluminescenti della specie *Vibrio fischeri*. Solamente per i punti Cost2 acqua superficiale, Cost3 acqua profonda, Cost4 acqua superficiale e Cost5 acqua superficiale si è registrata una lievissima riduzione della bioluminescenza emessa; per gli altri punti è stata invece rilevata ormesi (Tab.3). Per quanto riguarda invece i risultati del "Basic Solid Phase Test", sempre secondo la classificazione proposta da "Laboratory for biological research in aquatic pollution of the University of Ghent" (sopra esposta), i sedimenti dei punti Cost2, Cost3 e Cost4 sono risultati debolmente tossici, mentre quelli dei punti Cost1 e Cost5 si possono definire non tossici. L'inibizione maggiore si è avuta per il punto Cost4 (punto più profondo), quella minore per Cost5 (Tab. 4).

Tab. 3: Lago di Costalovara:

Risultati test con *Daphnia magna* su acqua superficiale, acqua profonda ed elutriato e risultati test con *Vibrio fischeri* su acqua superficiale e acqua profonda

Campione	Test con <i>Daphnia magna</i>	Test con <i>Vibrio fischeri</i>		
	% morti	% di effetto a 5'	% di effetto a 15'	Osservazioni
Cost1 H ₂ O sup.	0	-2,2 (da -16,6 a 12,2)	-6,8 (da -25,5 a 11,9)	Ormesi
Cost1 H ₂ O prof.	0	-1,5 (da -9,7 a 6,6)	-1,9 (da -9,9 a 6,1)	Ormesi
Cost1 elutriato	0			
Cost2 H ₂ O sup.	0	2,9 (da -0,9 a 6,8)	2,1 (da -1,1 a 5,2)	
Cost2 H ₂ O prof.	0	-1,5 (da -7,6 a 4,6)	-4,3 (da -10,8 a 2,3)	Ormesi
Cost2 elutriato	0			
Cost3 H ₂ O sup.	0	-0,2 (da -8,1 a 7,8)	-0,6 (da -10,1 a 8,9)	Ormesi
Cost3 H ₂ O prof.	0	4,4 (da 1,2 a 7,7)	1,624 (da -2,204 a 5,4)	
Cost3 elutriato	0			
Cost4 H ₂ O sup.	0	1,2 (da -3,7 a 6,1)	0,3959 (da -4,450 a 5,241)	
Cost4 H ₂ O prof.	0	1,0 (da -4,3 a 6,7)	-2,3 (da -8,3 a 3,7)	Ormesi
Cost4 elutriato	0			
Cost5 H ₂ O sup.	0	2,9 (da -13,6 a 19,5)	1,0 (da -16,7 a 18,8)	
Cost5 H ₂ O prof.	0	-1,9 (da -10,9 a 7,1)	-3,3 (da -9,8 a 3,2)	Ormesi
Cost5 elutriato	0			

Tab. 4: Lago di Costalovara:

Risultati "Basic Solid Phase Test" con *Vibrio fischeri* su sedimento tal quale

Campione	Test con <i>Vibrio fischeri</i>		
	EC 50 a 30'	EC 20 a 30'	Unità di tossicità (UT)
Cost1	1788 mg/l (da 1303 a 2454)		0,0559
Cost2	797,5 mg/l (da 389,4 a 1634)		0,1254
Cost3	464,4 mg/l (da 253,4 a 850,8)		0,2153
Cost4	233,8 mg/l (da 205,5 a 266,1)		0,4277
Cost5	2725 mg/l (da 2245 a 3307)		0,0367

Lago di S. Valentino: Per quanto riguarda il test di tossicità effettuato con *Daphnia magna*, i campioni di acqua superficiale, quelli di acqua profonda e gli elutriati non hanno evidenziato alcuna tossicità (0% organismi morti) in nessuno dei punti indagati. Per quanto riguarda il test acuto con *Vibrio fischeri*, solamente per i punti SVal1 acqua profonda e SVal5 acqua superficiale si è registrata una lievissima riduzione della bioluminescenza emessa, per gli altri punti è stata invece rilevata ormesi. È interessante osservare che a provocare maggiore inibizione della bioluminescenza, sia stata proprio l'acqua superficiale del punto SVal1, in corrispondenza dell'uscita del troppopieno della canalizzazione (fognatura) dei paesi di S.Valentino e Corona in Val Venosta (Tab.5). Per quanto riguarda invece i risultati del "Basic Solid Phase Test", i sedimenti tal quali di tutti e quattro i punti analizzati sono risultati debolmente tossici. L'inibizione maggiore si è avuta per il punto SVal3 (punto più profondo), quella minore per SVal5. Purtroppo non è stato possibile raccogliere il sedimento nel punto SVal1, poiché il substrato era troppo grossolano (Tab.6).

Tab. 5: Lago di S. Valentino:

Risultati test con *Daphnia magna* su acqua superficiale, acqua profonda ed elutriato e risultati test con *Vibrio fischeri* su acqua superficiale e acqua profonda

Campione	Test con <i>Daphnia magna</i>	Test con <i>Vibrio fischeri</i>		
	% morti	% di effetto a 5'	% di effetto a 15'	Osservazioni
SVal1 H ₂ O sup.	0	-1,9 (da -7,6 a 3,6)	-8,2 (da -14,9 a -1,4)	Ormesi
SVal1 H ₂ O prof.	0	5,1 (da 1,2 a 8,9)	3,2 (da 0,6 a 5,8)	
SVal1 elutriato	Non prelevato sedimento			
SVal2 H ₂ O sup.	0	-3,3 (da -11,1 a 4,6)	-12,9 (da -21,0 a -4,7)	Ormesi
SVal2 H ₂ O prof.	0	-0,2 (da -10,7 a 10,2)	-3,5 (da -14,1 a 7,1)	Ormesi
SVal2 elutriato	0			
SVal3 H ₂ O sup.	0	-3,0 (da -9,3 a 3,4)	-3,8 (da -11,1 a 3,6)	Ormesi
SVal3 H ₂ O prof.	0	-2,5 (da -11,6 a 6,6)	-7,5 (da -17,1 a 2,1)	Ormesi
SVal3 elutriato	0			
SVal4 H ₂ O sup.	0	-1,0 (da -8,8 a 6,8)	-3,2 (da -12,8 a 6,3)	Ormesi
SVal4 H ₂ O prof.	0	-1,0 (da -13,1 a 11,2)	-6,1 (da -19,2 a 7,1)	Ormesi
SVal4 elutriato	0			
SVal5 H ₂ O sup.	0	3,1 (da -6,1 a 12,4)	0,6 (da -9,1 a 10,3)	
SVal5 H ₂ O prof.	0	-5,7 (da -11,5 a 0,2)	-13,1 (da -21,9 a -4,3)	Ormesi
SVal5 elutriato	0			

Tab. 6: Lago di S. Valentino:

Risultati "Basic Solid Phase Test" con *Vibrio fischeri* su sedimento tal quale

Campione	Test con <i>Vibrio fischeri</i>		
	EC 50 a 30'	EC 20 a 30'	Unità di tossicità (UT)
SVal1	Non prelevato sedimento		
SVal2	247,4 mg/l (da 116,4 a 525,8)		0,4042
SVal3	151,3 mg/l (da 36,31 a 630,1)		0,6609
SVal4	368,5 mg/l (da 292,0 a 465,0)		0,2713
SVal5	498,1 mg/l (da 266,0 a 932,6)		0,2008

Lago di S. Maria (Tret): Per quanto riguarda il test di tossicità effettuato con *Daphnia magna*, i campioni di acqua superficiale, quelli di acqua profonda e gli elutriati non hanno evidenziato alcuna tossicità (0% organismi morti) in nessuno dei punti indagati; lo stesso dicasi per il test acuto con i batteri bioluminescenti della specie *Vibrio fischeri*. In nessuno dei punti campionati, né per l'acqua superficiale, né per quella profonda è stata rilevata tossicità; solamente per i punti S.Maria1 acqua profonda e S.Maria4 acqua superficiale si è registrata una lievissima riduzione della bioluminescenza emessa. Per gli altri punti è stata invece rilevata ormesi (Tab. 7).

Per quanto riguarda invece i risultati del "Basic Solid Phase Test", nessuno dei sedimenti dei quattro punti analizzati è risultato tossico. L'inibizione maggiore si è avuta per il punto S. Maria2 (in prossimità dell'effluente), quella minore per S. Maria3, dove è stato possibile calcolare solamente un EC20 (Tab. 8).

Tab. 7: Lago di S. Maria:

Risultati test con *Daphnia magna* su acqua superficiale, acqua profonda ed elutriato e risultati test con *Vibrio fischeri* su acqua superficiale e acqua profonda

Campione	Test con <i>Daphnia magna</i>	Test con <i>Vibrio fischeri</i>		
	% morti	% di effetto a 5'	% di effetto a 15'	Osservazioni
S.Maria1 H ₂ O sup.	0	-1,4 (da -10,2 a 7,4)	-4,2 (da -11,7 a 3,2)	Ormesi
S.Maria1 H ₂ O prof.	0	0,8 (da -5,4 a 7,1)	0,7 (da -4,9 a 6,3)	
S.Maria1 elutriato	0			
S.Maria2 H ₂ O sup.	0	-2,4 (da -13,7 a 8,9)	-6,270 (da -17,32 a 4,781)	Ormesi
S.Maria2 H ₂ O prof.	0	-3,4 (da -15,1 a 8,2)	-5,0 (da -15,8 a 5,7)	Ormesi
S.Maria2 elutriato	0			
S.Maria3 H ₂ O sup.	0	-0,5 (da -6,7 a 5,8)	-7,4 (da -15,4 a 0,5)	Ormesi
S.Maria3 H ₂ O prof.	0	-8,6 (da -16,3 a -0,9)	-20,5 (da -30,1 a -10,9)	Ormesi
S.Maria3 elutriato	0			
S.Maria4 H ₂ O sup.	0	3,1 (da -1,9 a 8,1)	1,8 (da -5,5 a 9,1)	
S.Maria4 H ₂ O prof.	0	-7,6 (da -11,5 a -3,8)	-15,78 (da -20,3 a -11,3)	Ormesi
S.Maria4 elutriato	0			

Tab. 8: Lago di S. Maria:

Risultati "Basic Solid Phase Test" con *Vibrio fischeri* su sedimento tal quale

Campione	Test con <i>Vibrio fischeri</i>			
	EC 50 a 30'	EC 20 a 30'	Unità di tossicità (UT)	Osservazioni
S.Maria1	59290 mg/l (da 49450 a 71090)		0,0017	
S.Maria2	37220 mg/l (da 25050 a 55310)		0,0027	
S.Maria3	NON RILEVABILE	92260 mg/l (da 9684 a 878900)		% effetto più alta: 6,13 %
S.Maria4	210300 mg/l (da 193300 a 228800)		0,0005	Sono stati presi in considerazione solo 4 valori su 10 per il calcolo dell'EC50

Lago di Valdurna: Per quanto riguarda il test di tossicità effettuato con *Daphnia magna*, i campioni di acqua superficiale, quelli di acqua profonda e gli elutriati non hanno evidenziato alcuna tossicità (0% organismi morti). Anche mediante il test con *Vibrio fischeri*, in nessuno dei punti indagati, né per l'acqua superficiale né per quella profonda è stata rilevata tossicità; solamente per il punto Vald5, sia l'acqua profonda che quella superficiale hanno mostrato una lievissima riduzione della bioluminescenza emessa; per gli altri punti è stata invece rilevata ormesi. Il punto Vald5 si trova a metà tra l'ingresso dei due affluenti, Rio dell'Alpe Grande e Rio Sebia; l'apporto dei due rii potrebbe avere qualche influenza sulla lieve inibizione rilevata (Tab. 9).

Per quanto riguarda invece i risultati del "Basic Solid Phase Test", i sedimenti dei punti Vald3 (punto più profondo) e Vald4 sono risultati debolmente tossici, mentre i sedimenti dei restanti punti si possono considerare non tossici. L'inibizione maggiore si è avuta per il punto Vald4 (in prossimità dell'affluente Rio Sebia), quella minore per Vald1 (Tab. 10).

Tab. 9: Lago di Valdurna:

Risultati Test con *Daphnia magna* su acqua superficiale, acqua profonda ed elutriato e risultati test con *Vibrio fischeri* su acqua superficiale e acqua profonda

Campione	Test con <i>Daphnia magna</i>	Test con <i>Vibrio fischeri</i>		
	% morti	% di effetto a 5'	% di effetto a 15'	osservazioni
Vald1 H ₂ O sup.	0	-8,7 (da -13,2 a -4,2)	-10,0 (da -15,2 a -4,9)	Ormesi
Vald1 H ₂ O prof.	0	0,4 (da -3,4 a 4,2)	-5,1 (da -10,7 a 0,4)	Ormesi
Vald1 elutriato	0			
Vald2 H ₂ O sup.	0	-0,5 (da -4,3 a 3,3)	-3,9 (da -7,6 a -0,1)	Ormesi
Vald2 H ₂ O prof.	0	2,5 (da -3,5 a 8,5)	-0,8 (da -7,2 a 5,6)	Ormesi
Vald2 elutriato	0			
Vald3 H ₂ O sup.	0	-0,5 (da -5,4 a 4,4)	-0,5 (da -5,7 a 4,7)	Ormesi
Vald3 H ₂ O prof.	0	1,9 (da -4,0 a 7,9)	-2,2 (da -9,1 a 4,7)	Ormesi
Vald3 elutriato	0			
Vald4 H ₂ O sup.	0	2,2 (da -2,8 a 7,3)	-0,7 (da -5,5 a 4,2)	Ormesi
Vald4 H ₂ O prof.	0	-3,5 (da -9,3 a 2,2)	-5,6 (da -12,2 a 0,9)	Ormesi
Vald4 elutriato	0			
Vald5 H ₂ O sup.	0	2,2 (da -1,4 a 5,9)	0,4 (da -3,9 a 4,6)	
Vald5 H ₂ O prof.	0	5,9 (da 3,5 a 8,5)	1,5 (da -1,9 a 4,9)	
Vald5 elutriato	0			

Tab. 10: Lago di Valdurna:

Risultati "Basic Solid Phase Test" con *Vibrio fischeri* su sedimento tal quale

Campione	Test con <i>Vibrio fischeri</i>		
	EC 50 a 30'	EC 20 a 30'	Unità di tossicità (UT)
Vald1	12500 mg/l (da 10730 a 14560)		0,008
Vald2	2548 mg/l (da 2094 a 3101)		0,0392
Vald3	368,5 mg/l (da 330,6 a 410,6)		0,2714
Vald4	348,7 mg/l (da 244,0 a 498,4)		0,2868
Vald5	1053 mg/l (da 756,4 a 1465)		0,094

Lago di Monticolo Grande: Per quanto riguarda il test di tossicità effettuato con *Daphnia magna*, i campioni di acqua superficiale, quelli di acqua profonda e gli elutriati non hanno evidenziato alcuna tossicità (0% organismi morti). Anche con il test con *Vibrio fischeri*, né per l'acqua superficiale né per quella profonda, è stata evidenziata tossicità; è stata invece rilevata ormesi (Tab. 11).

Per quanto riguarda invece i risultati del "Basic Solid Phase Test", solamente i sedimenti del punto MontG2 sono risultati debolmente tossici, mentre tutti gli altri si possono considerare non tossici. L'inibizione maggiore si è avuta appunto per il punto MontG2, mentre quella minore per MontG4 (Tab. 12).

Tab. 11: Lago di Monticolo Grande:

Risultati test con *Daphnia magna* su acqua superficiale, acqua profonda ed elutriato e risultati test con *Vibrio fischeri* su acqua superficiale e acqua profonda

Campione	Test con <i>Daphnia magna</i>	Test con <i>Vibrio fischeri</i>		
	% morti	% di effetto a 5'	% di effetto a 15'	osservazioni
MontG1 H ₂ O sup.	0	-4,1 (da -14,5 a 6,4)	-10,3 (da -24,2 a 3,7)	Ormesi
MontG1 H ₂ O prof.	0	-5,4 (da -14,2 a 3,3)	-13,5 (da -25,1 a -1,8)	Ormesi
MontG1 elutriato	0			
MontG2 H ₂ O sup.	0	-0,7 (da -6,6 a 5,2)	-2,7 (da -10,4 a 5,1)	Ormesi
MontG2 H ₂ O prof.	0	-1,8 (da -7,9 a 4,3)	-4,0 (da -9,9 a 1,8)	Ormesi
MontG2 elutriato	0			
MontG3 H ₂ O sup.	0	-8,6 (da -13,7 a -3,4)	-19,3 (da -22,9 a -15,6)	Ormesi
MontG3 H ₂ O prof.	0	-5,6 (da -11,0 a -0,2)	-14,7 (da -21,3 a -8,1)	Ormesi
MontG3 elutriato	0			
MontG4 H ₂ O sup.	0	-12,3 (da -19,6 a -5,1)	-20,8 (da -28,3 a -13,4)	Ormesi
MontG4 H ₂ O prof.	0	-12,8 (da -20,2 a -5,3)	-15,4 (da -22,9 a -7,8)	Ormesi
MontG4 elutriato	0			
MontG 5 H ₂ O sup.	0	-11,1 (da -22,8 a 0,6)	-16,3 (da -29,8 a -2,8)	Ormesi
MontG5 H ₂ O prof.	0	-8,9 (da -22,6 a 4,7)	-15,1 (da -28,9 a -1,3)	Ormesi
MontG5 elutriato	0			

Tab. 12: Lago di Monticolo Grande:

Risultati "Basic Solid Phase Test" con *Vibrio fischeri* su sedimento tal quale

Campione	Test con <i>Vibrio fischeri</i>		
	EC 50 a 30'	EC 20 a 30'	Unità di tossicità (UT)
MontG1	1531 mg/l (da 1249 a 1877)		0,0653
MontG2	979,4 mg/l (da 865,1 a 1109)		0,1021
MontG3	2000 mg/l (da 1836 a 2179)		0,05
MontG4	32160 mg/l (da 28440 a 36370)		0,0031
MontG5	1531 mg/l (da 1249 a 1877)		0,0653

Lago di Caldaro: Per quanto riguarda il test di tossicità effettuato con *Daphnia magna*, i campioni di acqua superficiale, quelli di acqua profonda e gli elutriati non hanno evidenziato alcuna tossicità (0% organismi morti). Per quanto riguarda invece il test acuto con *Vibrio fischeri*, in nessuno dei punti indagati, né per l'acqua superficiale né per quella profonda è stata rilevata tossicità; è stata invece rilevata ormesi (Tab. 13).

Per quanto riguarda invece i risultati del "Basic Solid Phase Test", per i punti Cal3 e Cal4 l'effetto più alto registrato è un'inibizione della bioluminescenza rispettivamente del 17,43% e del 5,995%; non raggiungendo il 50% non è quindi possibile calcolare l'EC50, mentre per il punto Cal2 si è registrata addirittura ormesi. Il sedimento che ha fatto registrare una maggiore "inibizione" è Cal1, in prossimità del "centro nautico" (Tab. 14).

Tab. 13: Lago di Caldaro:

Risultati test con *Daphnia magna* su acqua superficiale, acqua profonda ed elutriato e risultati test con *Vibrio fischeri* su acqua superficiale e acqua profonda

Campione	Test con <i>Daphnia magna</i>	Test con <i>Vibrio fischeri</i>		
	% morti	% di effetto a 5'	% di effetto a 15'	osservazioni
Cal1 H ₂ O sup.	0	0,9 (da -22,4 a 24,2)	-3,4 (da -26,9 a 20,1) Ormesi	
Cal1 H ₂ O prof.	0	-13,9 (da -25,1 a -2,7)	-22,1 (da -30,6 a -13,5)	Ormesi
Cal1 elutriato	0			
Cal2 H ₂ O sup.	0	-2,5 (da -26,1 a 21,0)	-5,4 (da -26,5 a 15,7)	Ormesi
Cal2 H ₂ O prof.	0	-21,0 (da -31,6 a -10,4)	-19,8 (da -31,7 a -7,9)	Ormesi
Cal2 elutriato	0			
Cal3 H ₂ O sup.	0	-12,3 (da -19,9 a -4,7)	-27,5 (da -36,3 a -18,7)	Ormesi
Cal3 H ₂ O prof.	0	-13,4 (da -24,9 a -1,9)	-27,4 (da -38,7 a -16,0)	Ormesi
Cal3 elutriato	0			
Cal4 H ₂ O sup.	0	-25,7 (da -32,7 a -18,7)	-43,4 (da -49,9 a -36,8)	Ormesi
Cal4 H ₂ O prof.	0	-25,6 (da -34,4 a -16,8)	-46,4 (da -53,4 a -39,4)	Ormesi
Cal4 elutriato	0			
Cal5 H ₂ O sup.	0	-15,2 (da -22,5 a -7,8)	-24,6 (da -31,2 a -17,9)	Ormesi
Cal5 H ₂ O prof.	0	-10,0 (da -18,8 a -1,2)	-20,0 (da -30,8 a -9,2)	Ormesi
Cal5 elutriato	0			

Tab. 14: Lago di Caldaro:

Risultati "Basic Solid Phase Test" con *Vibrio fischeri* su sedimento tal quale

Campione	Test con <i>Vibrio fischeri</i>		
	EC 50 a 30'	EC 20 a 30'	Unità di tossicità (UT)
Cal1	16720 mg/l (da 14860 a 18810)		0,006
Cal2	Ormesi (% effetto più bassa: -9,871 %)		
Cal3	EC 50 non calcolabile (% effetto più alta: 17,43 %)		
Cal4	EC 50 non calcolabile (% effetto più alta: 5,995 %)		
Cal5	6280000 mg/l (da 352700 a 111800000)		0

Valutazione delle classi di qualità dei sedimenti

Facendo riferimento ad una classificazione elaborata appositamente per il "Solid Phase Test" dall'Azur Environmental, che ha valutato un numero elevato di risultati del saggio (Tab. 15), è possibile attribuire a ciascun punto analizzato, a seconda del valore di EC50, una classe di qualità.

Tab. 15:

Valori di EC in % ed in g/l che determinano la classe di qualità.

Solid phase test (EC50)		
Classi di qualità	Risultati EC in %	Risultati EC in g/l
5	< 0,01 %	<0,1
4	da 0,01 a 0,1 %	0,1-1
3	da 0,1 a 1 %	1-10
2	da 1 a 10 %	10-100
1	>10 %	>100

Le classi di qualità sono state numerate con fattori decrescenti da 5 (pessima qualità) a 1 (ottima qualità) sulla base di quanto già previsto per i metodi biologici che utilizzano i macroinvertebrati.

Per assegnare a ciascun lago una classe unica di qualità, è stata calcolata la media delle classi di qualità, ricavate mediante i valori di EC50 ottenuti dal test per la fase solida, di ogni singolo punto campionato; i risultati sono riportati nella tabella 16.

Tab. 16:

Classi di qualità in base ai risultati del "Solid Phase Test".

Solid phase test	
Classe di qualità	Lago
3	Monticolo Grande
2	Monticolo Piccolo
3-4	Costalovara
4	S. Valentino
1-2	S. Maria (Tret)
3	Valdurna
1	Caldaro

Mediante questa classificazione il lago di Caldaro è risultato qualitativamente il migliore, seguito dal lago di S. Maria (Tret); i “peggiori” sono risultati invece il lago di S. Valentino e quello di Costalovara. I risultati sono riassunti nella cartina di seguito riportata (Fig. 2).

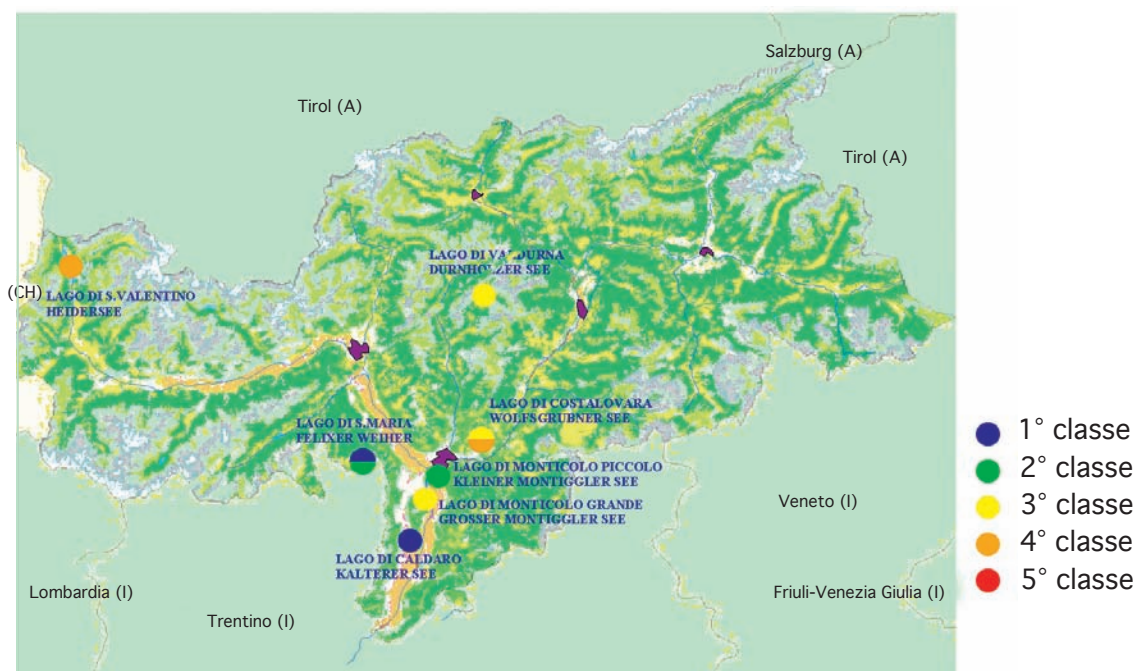


Fig. 2: Classi di qualità

4. Discussione

Dall'analisi dei dati si possono fare alcune considerazioni relative sia alla differente sensibilità dei saggi adottati, che alla matrice indagata.

Per quanto riguarda il test di tossicità effettuato con *Daphnia magna*, i campioni d'acqua superficiale, quelli d'acqua profonda e gli elutriati non hanno evidenziato alcuna tossicità (0% organismi morti) in nessuno dei laghi di indagine. Anche mediante il test acuto con i batteri bioluminescenti della specie *Vibrio fischeri* non è stata riscontrata la presenza di sostanze tossiche in nessuno dei punti di campionamento né per l'acqua superficiale, né per quella profonda. Si conferma così quanto già noto relativamente alle acque superficiali che, se non in casi particolari e con scarichi tossici in atto, non viene evidenziata tossicità acuta.

Nel caso delle acque qui saggiate, infatti, si assiste nella maggior parte dei casi (soprattutto per i campionamenti effettuati nei laghi di Monticolo Grande e Caldaro), a fenomeni di biostimolazione a carico dei batteri bioluminescenti. Questo fenomeno, detto ormesi, è molto probabilmente da attribuirsi alla presenza di sostanza organica. L'organismo cerca in pratica di diluire l'eccesso di nutrienti attraverso processi metabolici che portano ad un aumento della biomassa o, come nel caso dei batteri bioluminescenti all'aumento dell'emissione luminosa. La stimolazione che si registra in certi campioni è ascrivibile presumibilmente alla combinazione di una bassa biodisponibilità dei tossici ed aumentata disponibilità di cibo. Questo risulta in accordo con quanto osservato da Viganò (VIGANÒ 2000), nelle situazioni in cui l'apporto di carbonio organico è generalmente di origine naturale. È altresì noto come deboli attività di uno stressore possano determinare un incremento del livello metabolico (CALABRESE 1994). Questo fenomeno, di per sé innocuo, è considerato da alcuni autori (CAIRNS & NIEDERLEHNER 1995) un segnale d'incipiente tossicità.

Un riscontro più diversificato ed interessante scaturisce dall'analisi tossicologica dei sedimenti, concentrati naturali delle sostanze organiche ed inorganiche disciolte nell'acqua.

Il "Basic Solid Phase Test" con i batteri bioluminescenti della specie *Vibrio fischeri* condotto sul sedimento tal quale ha, infatti, evidenziato effetti d'inibizione tali da permettere il calcolo dell'EC50, anche se una valutazione della tossicità effettiva del campione solido risulta più difficile rispetto ai test in fase liquida a causa del problema del campione da usare come riferimento. Infatti, indipendentemente dal tossico presente, le caratteristiche chimico-fisiche della matrice solida spesso influenzano il risultato in modo sostanziale. Il riferimento ideale dovrebbe essere rappresentato da un sedimento privo di tossici e con caratteristiche chimico-fisiche identiche a quelle dei campioni, che in pratica non è possibile ottenere.

Per quanto riguarda il test con i batteri bioluminescenti, è bene precisare che questo test, oltre all'evidente vantaggio dovuto all'elevata standardizzazione del metodo e alla rapidità di esecuzione, fornisce una risposta mediata di un'intera popolazione di microrganismi (viene misurata l'inibizione della luminescenza indotta su 10^6 individui per ogni cuvetta) e ciò ne garantisce la precisione e la riproducibilità.

A conclusione di questo lavoro si può quindi confermare e sottolineare l'importanza dell'impiego di una batteria di test comprendente almeno due organismi test, determinante per una valutazione più completa dell'impatto tossicologico su più livelli trofici. In particolare, l'impiego di *Vibrio fischeri* accanto all'organismo *Daphnia magna*, si rivela pratico e veloce e, consentendo di valutare l'andamento di una funzione metabolica e

non solo un effetto “tutto o nulla” come nel saggio con *Daphnia magna*, si dimostra più sensibile alle variazioni di tossicità del campione (BALDASSARRE & TOMMASI 2003).

Lo scopo di tale lavoro è stato dimostrare come l’impiego dei test ecotossicologici su matrici diverse (acqua e sedimento) sia utile per la valutazione della qualità degli ambienti lacustri e riconoscere i sedimenti come uno dei comparti più efficaci per il monitoraggio ambientale. I saggi biologici possono infatti incrementare la conoscenza e la valutazione di conseguenze indesiderabili dovute a rilasci di sostanze chimiche tossiche, poiché consentono di individuare effetti additivi, sinergici e antagonisti, che non potrebbero essere rilevati in alcun modo e perciò assicurano una copertura dal punto di vista ambientale anche nei riguardi di contaminanti non considerati nella legislazione e/o di difficile determinazione chimica (PANTANI 1999).

Riassunto

Nel corso del 2003 è stato condotto uno studio di ecotossicologia su sette laghi altoatesini: Monticolo Piccolo, Costalovara, S. Valentino, S. Maria (Tret), Valdurna, Monticolo Grande e Caldaro. Le analisi sono state condotte sia sul sedimento, che sull’acqua superficiale e profonda, poiché i sedimenti e la colonna d’acqua sovrastante sono strettamente correlati e si stabilisce un equilibrio solido/liquido, che generalmente comporta un arricchimento in elementi e composti tossici nell’acqua interstiziale.

Per valutare la tossicità dei campioni in esame sono stati utilizzati due test previsti dal DECRETO LEGISLATIVO 152/1999: il test di tossicità acuta con il crostaceo cladocero *Daphnia magna* ed il test di tossicità acuta con i batteri bioluminescenti della specie *Vibrio fischeri*.

Lo scopo di tale lavoro è evidenziare come l’impiego dei test ecotossicologici su matrici diverse (acqua e sedimento) risulta utile per la valutazione della qualità degli ambienti lacustri ed anche riconoscere i sedimenti come uno dei comparti più efficaci per il monitoraggio ambientale.

Bibliografia

- ADRIAANSE M., NIEDERLÄNDER H.A.G. & STORTELDER P.B.M., 1995: Monitoring water quality in the future. Vol. 1. Chemical monitoring. Min. Housing, The Netherlands, 100 pp.
- BALDASSARRE L. & TOMMASI M., 2003: Test ecotossicologici su reflui di depurazione. *Biologi Italiani* 9/2003: 42-47.
- BAUDO R., 2001: Acque dolci e sedimenti afferenti. Introduzione. Seminario UNICHIM: Ecotossicologia: Acque dolci e marine 11/2001.
- BURGESS R.M. & SCOTT K.J., 1992: The Significance of In-Place Contaminated Marine Sediments on the Water Column: Processes and Effects. In: BURTON G.A. (ed.): *Sediment Toxicity Assessment*. Lewis Publ.: 129-165.
- BURTON G.A., 1991: Assessing Toxicity of Freshwater Sediments *Environ. Toxicol. Chem.*, 10: 1585-1627.
- BURTON G.A., INGERSOLL C.G., BURNETT L.C., HENRY M., HINMAN M.L., KLAIN S.J., LANDRUM P.F., ROSS P. & TUCHMAN M., 1996: A Comparison of Sediment Toxicity Test Methods at Three Great Lake Areas of Concern. *J. Great Lakes Res.* 22(3): 495-511.
- CAIRNS J.Jr., NEBECKER A.V., GAKSTATTER J.H. & GRIFFIS W., 1984: Toxicity of copper-spiked sediments to freshwater invertebrates. *Environ. Toxicol. Chem.*, 3: 435-446.
- CAIRNS J. & NIEDERLEHNER B.R., 1995: Predictive ecotoxicology. In: CASARETT L. & DOULL'S J. (eds.): *Toxicology*. Mc-Graw-Hill, New York, USA: 13-33.
- CALABRESE E.J., 1994: Biological effects of low level exposures. Lewis Publishers, Boca Raton, USA: 302.
- CHAPMAN P.M., 1987: Marine sediments toxicity tests. In: *Symposium on Chemical and Biological Characterization of Sludges, Sediments, Dredge Spoils and Drilling Muds*. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA. ASTM STP 976: 391-402.
- CIBOROWSKI J.J.H. & CORKUM L.D., 1988: Organic contaminants in adult aquatic insects of the St. Clair and Detroit rivers, Ontario, Canada. *J. Great Lakes Res.*, 14: 148-156.
- DECRETO LEGISLATIVO N. 152/99: Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole.
- DI FERRO D., MERCURIO P., VIGANÒ A., SQUILLONI I., SOLDANO M., FILORAMO G. & COLLORÀ M., 2002: Criteri innovativi per la valutazione della qualità delle acque: applicazione dei test ecotossicologici.
- GIESY J.P., GRANEY R.L., NEWSTED J.L., ROSIU C.J., BENDA A., KREIS R.G.JR. & HORVATH F.J., 1988: Comparison of three sediment bioassay methods using Detroit River sediments. *Environ. Toxicol. Chem.*, 7: 483-498.
- GIESY J.P. & HOKE R.A., 1989: Freshwater sediment toxicity bioassessment: rationale for species selection and test design. *J. Great Lakes Res.*, 15: 539-569.
- GIESY J.P. & HOKE R.A., 1990: Freshwater Sediment Quality Criteria: Toxicity Bioassessment. In: BAUDO R., GIESY J. & MUNTAU H. (eds.): *Sediments: Chemistry and Toxicity of In-Place Pollutants*. Lewis Publ.: 265-348.
- GUZZELLA L. & GRONDA A., 1995: La contaminazione di microcontaminanti organici nelle acque nel nodo Lambro-Po: risultati delle analisi chimiche e dei test di tossicità. Parte 1 e 2. *Acqua*, 6/1995 e *Acqua-Aria*, 7/1995.
- KNIGHT A.W., 1984: The evaluation of contaminated sediments employing selected benthic freshwater invertebrates. Final Report of the USEPA Cooperative Agreement No. CR-808424. University of California, Davis, CA. USEPA, Environmental Research Laboratory, Corvallis, OR.
- LIß W. & AHLF W., 1996: Evidence from hole sediment, pore water and elutriate in toxicity assessment of contaminated sediment. *Ecotoxicol. Environ. Safety*, 36: 140-147.
- NEBECKER A.V., MCCRADY J.K., SHAR R.M. & MCAULIFFE C.K., 1983: Relative sensitivity of *Daphnia magna*, rainbow trout and fathead minnows to endosulfan. *Environ. Toxicol. Chem.*, 2: 69-72.
- ODDO N. & TRILLI A., 1998: Riflessioni tossicologiche. *Acqua e Aria*, 3/98.

- PANTANI C., 1999: Sulle procedure di controllo tecnico degli scarichi e dei corpi idrici nel decreto 152/99. *Ambiente*, 10/1999.
- PERSOONE G., GOYVAERTS M., JANSSEN C., DE COEN W. & VANGHELUWE M., 1993: Cost-effective acute hazard monitoring of polluted waters and waste dumps with the aid of toxkits. Final report. Commission of the European Communities. Contract ACE 89/BE 2/D3.
- SALOMONS W., DE ROOIJ N.M., KERDIJK H. & BRIL J., 1987: Sediments as a source for contaminants. *Hydrobiologia*, 149: 13-30.
- SCHLÖSSER D.W., 1988: Zonation of myfly nymphs and caddisfly larvae in the St. Marys River. *J. Great Lakes Res.*, 14: 227-233.
- TESSIER A. & CAMPBELL P.G.C., 1987: Partitioning of trace metals in sediments: relationships with bioavailability. *Hydrobiologia*, 149: 43-52.
- VIGANÓ L., 2000: Assessment of the toxicity of River Po sediments with *Ceriodaphnia dubia*. *Aquatic Toxicology*, 47: 191-202.
- VOLTERRA L., 1996: L'ecotossicologia come strumento di salvaguardia ambientale. Normativa straniera ed italiana. *Acqua e Aria*, 4/96.

Indirizzo degli autori:

Dott.ssa Francesca Lazzeri
Laboratorio Biologico dell'Agenzia provinciale per l'ambiente Rip. 29.9
Via Sottomonte, 2
I-39055 Laives
francesca.lazzeri@provinz.bz.it

Dott.ssa Paola Blasior
Laboratorio Biologico dell'Agenzia provinciale per l'ambiente Rip. 29.9
Via Sottomonte, 2
I-39055 Laives
paola.blasior@provinz.bz.it

presentato: 02.03.2005
accettato: 08.09.2005