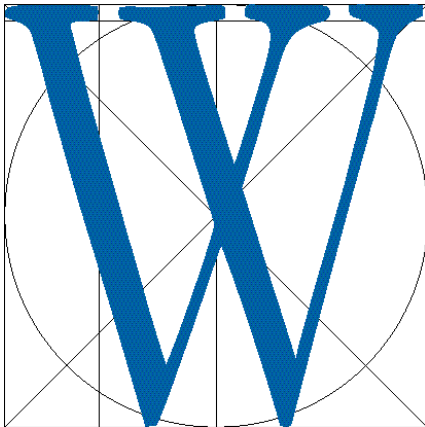




Fondazione Lombardia per l'Ambiente

# CHI RICERCA TROVA

*Le borse di formazione  
della Fondazione  
Lombardia per l'Ambiente*



Workshop 1999



# **Chi ricerca trova**

Le borse di formazione  
della Fondazione  
Lombardia per l'Ambiente

## **Workshop 1999**

Fondazione Lombardia per l'Ambiente

Foro Bonaparte 12 - 20121 Milano

tel. +39(2)809169

fax +39(2)72002398

flanet@flanet.org

www.flanet.org

**Consiglio di Amministrazione**

*Presidente:* Giovanni Bottari

*Vicepresidente:* Achille Cutrera

*Consiglieri:* Paolo Colombani, Adriano De Maio, Massimo Donati, Clemente Galbiati,  
Paolo Mantegazza, Roberto Schmid

**Comitato scientifico**

Silvio Garattini, Angelo Cavallin, Renzo Compiani, Emilio Gerelli, Giorgio Guariso,  
Giovanni Guerrieri, Alfredo Liberatori, Gianfranco Mascazzini, Paola Vita Finzi

*Coordinatore scientifico:* Antonio Ballarin Denti

*Settore Formazione:* Matteo Crovetto, Miriam Ramondetta

*Programma editoriale ideato e curato da:* Salvatore Giannella

*Coordinamento editoriale:* Rosa Maria Panattoni

*Redazione e impaginazione:* Samantha Gaiara

© 1999 Fondazione Lombardia per l'Ambiente

Proprietà letteraria riservata

Nessuna parte di questo volume può essere riprodotta o utilizzata sotto nessuna forma, senza permesso scritto, tranne che per brevi passaggi in sede di recensione e comunque citando la fonte.

# Indice

*Vengono elencati, in ordine alfabetico, tutti i nomi dei titolari delle borse di studio assegnate negli anni 1996 e 1997. Si riporta inoltre il nome del tutor e il titolo della ricerca.*

	<b>Pagina</b>
<b>Stefania Anghinelli</b> Tutor: Prof. Emilio Gerelli <i>Effetti economici e ambientali delle alluvioni</i> _____	12
<b>Daniela Bellavista</b> Tutor: Dr. Licia Guzzella <i>Rimozione di microinquinanti organici tossici da acque lacustri destinate a scopo potabile in Lombardia</i> _____	14
<b>Uta Biino</b> Tutor: Dr. Martin Lorenz <i>Valutazione degli effetti dell'inquinamento atmosferico sulle foreste in Europa</i> _____	16
<b>Gabriele Borsani</b> Tutor: Dr. Guido Premazzi <i>Evoluzione trofica dei maggiori laghi lombardi e modelli di previsione del loro comportamento in funzione degli obiettivi dei piani di risanamento</i> _____	18
<b>Cristina Colombo</b> Tutor: Prof. Vincenza Andreoni Prof. Marina Camatini <i>Analisi di processi degradativi di composti aromatici clorurati da parte di microrganismi del suolo</i> _____	20
<b>Silvia Crippa</b> Tutor: Dr. Patrizia Bonfanti <i>Valutazione degli effetti molecolari e cellulari di radicali liberi generati da PCB</i> _____	22

**Patrizia Di Gennaro**

Tutor: Prof. Giuseppina Bestetti

*Ottenimento di ceppi microbici per il biorisanamento di siti contaminati da idrocarburi aromatici* \_\_\_\_\_ 24**Laura Galli**

Tutor: Dr. Romano Pagnotta

*Tendenze evolutive della qualità degli ambienti lacustri lombardi* \_\_\_\_\_ 26**Lorenzo Gamba**

Tutor: Prof. Bruno Marcandalli

*Trattamento di reflui di tinto-stamperie: sviluppo di un processo fotochimico di ossidazione avanzata* \_\_\_\_\_ 28**Lucia Giancola**

Tutor: Prof. Alberto Majocchi

*Analisi economica del rischio idrogeologico* \_\_\_\_\_ 30**Cristina Giarei**

Tutor: Prof. Alfredo Provini

*Il ruolo delle deposizioni atmosferiche nella circolazione dei microinquinanti organici* \_\_\_\_\_ 32**Marco Grasso**

Tutor: Dr. Stefano Pareglio

*Analisi costi-benefici delle politiche di prevenzione dell'inquinamento* \_\_\_\_\_ 34**Silvia Illari**

Tutor: Prof. Giuseppe Franco Ferrari

*Il principio di prevenzione dei danni causati all'ambiente nella normativa comunitaria* \_\_\_\_\_ 36**Irene Murgia**

Tutor: Prof. Carlo Soave

*Lo stress ossidativo nelle piante: funzioni cellulari rilevanti* \_\_\_\_\_ 38**Laura Nironi**

Tutor: Prof. Giulio Ballio

*Proposta di caratterizzazione degli aggregati da riciclo come materie prime secondarie per l'edilizia. Tecnologie avanzate di trattamento degli scarti da costruzione e demolizione* \_\_\_\_\_ 40**Barbara Ottobrini**

Tutor: Dr. Emile De Saeger

*Andamento delle concentrazioni di ozono troposferico nelle Alpi e Prealpi lombarde* \_\_\_\_\_ 42

**Emilio Padoa Schioppa**

Tutor: Prof. Vittorio Ingegnoli

*Criteria metodologici e applicativi per la rinaturalizzazione  
di aree ad alta criticità ambientale,**con particolare riferimento al settore "Chiaravalle" nel Parco**Regionale Agricolo Sud Milano* \_\_\_\_\_

44

**Gianmarco Paris**

Tutor: Prof. Marino Gatto

*Valutazione con l'ausilio di Sistemi Informativi Territoriali  
dell'impatto antropico**sugli habitat e sulla demografia della fauna alpina lombarda* \_\_\_\_\_

46

**Fabio Pedrani**

Tutor: Prof. Domenico Giusto

*Individuazione e messa a punto di processi alternativi**con ridotta produzione di rifiuti* \_\_\_\_\_

48

**Paola Pierucci**

Tutor: Dr. Emilio Benfenati

*I rifiuti solidi urbani e il loro trattamento: messa a punto  
di metodiche per la caratterizzazione**chimico-tossicologica e loro utilizzo per una valutazione**comparativa del rifiuto* \_\_\_\_\_

50

**Marta Prina**

Tutor: Dr. Raffaella Balestrini

*Carichi critici da deposizioni atmosferiche totali**in un bacino idrografico della Valtellina* \_\_\_\_\_

52

**Stefano Quattrini**

Tutor: Prof. Giovanni Crosta

Dr. Massimo Ceriani

*Valutazione della pericolosità idrogeologica sulle conoidi* \_\_\_\_\_

54

**Alberto Rivetta**

Tutor: Prof. Maurizio Cocucci

*Parametri biochimici e fisiologici come bioindicatori di inquinamento* \_\_\_\_\_

56

**Cinzia Anna Maria Salvino**

Tutor: Dr. Anita Colombo

*Indicatori biologici per la valutazione di inquinanti**nei sedimenti del Lago Maggiore* \_\_\_\_\_

58

**Federica Soana**

Tutor: Prof. Angelo Albini

*Processi ossidativi avanzati per la purificazione delle acque* \_\_\_\_\_

60

**Davide Vignati**

Tutor: Dr. Marina Camusso

Dr. Cees van de Guchte

*Effetti ecotossicologici della contaminazione dei sedimenti  
in porti di Ketelhaven e Schookerhaven (Ketelmeer, Paesi Bassi)* \_\_\_\_\_ 62

**Luisa Maria Paola Zingarelli**

Tutor: Prof. Erasmo Marrè

*Effetti chimici e biologici dei radicali liberi generati  
dalle sostanze inquinanti* \_\_\_\_\_ 64



## Presentazione

*L*a Fondazione Lombardia per l'Ambiente ha assegnato, a partire dall'anno 1994, settanta borse di formazione destinate a giovani laureati presso Università ed Enti di ricerca lombardi. A partire dal 1998 sono state istituite anche borse per l'estero.

*Gli argomenti affrontati dalle ricerche oggetto delle borse spaziano su molteplici tematiche ambientali e tentano, laddove è possibile, di proporre soluzioni ai diversi problemi che tali tematiche pongono.*

*In particolare, le principali tematiche affrontate riguardano:*

- *aspetti economici, giuridici e gestionali dei problemi ambientali;*
- *valutazione, gestione e risanamento delle acque;*
- *valutazione di sistemi naturali;*
- *modelli e tecnologie nella prevenzione e nel trattamento dei rifiuti;*
- *effetti dell'inquinamento sulla salute degli esseri viventi;*
- *utilizzo di tecnologie alternative a minor impatto ambientale.*

*Le relazioni sono esposte in ordine alfabetico come indicato nell'indice.*

**Le borse di formazione  
della Fondazione  
Lombardia per l'Ambiente**



## Effetti economici e ambientali delle alluvioni

Stefania Anghinelli

*Tutor: Prof. Emilio Gerelli*

*Università degli Studi di Pavia  
Dipartimento di Economia Pubblica e Territoriale  
Corso Carlo Alberto 5  
27100 Pavia*

**Le richieste di indennizzo sono espressione della disponibilità ad accettare una compensazione per il danno subito dalle vittime di un'alluvione. Esiste, però, un incentivo a sovrastimare il danno per ottenere un maggiore risarcimento.**

L'attività svolta nel biennio di ricerca si è sviluppata su tre aspetti principali: metodologie di valutazione dei danni provocati da un'alluvione; definizione di rischio; stima della percezione che i diversi soggetti coinvolti hanno del grado di rischio a cui sono sottoposti.

Per quanto riguarda le diverse metodologie di valutazione dei danni, ci si è concentrati sulla possibilità di utilizzare le misure di disponibilità a pagare e disponibilità ad accettare una compensazione per la stima dei danni provocati da un'alluvione. La disponibilità a pagare si definisce come la somma massima che un individuo è disposto a pagare per godere di un beneficio, mentre la disponibilità ad accettare una compensazione è la somma minima che un individuo chiede per sopportare un costo o una perdita. L'ipotesi che si è avanzata consiste nel considerare le richieste di indennizzo presentate da coloro che sono stati danneggiati come una dichiarazione della disponibilità ad accettare una compensazione per il danno subito. Il principale aspetto da tenere in considerazione riguarda il comportamento strategico: esiste un incentivo nel compilare le autodichiarazioni a sovrastimare il danno per ottenere un maggiore risarcimento. L'applicazione di questa ipotesi alle richieste di indennizzo presentate in occasione dell'alluvione del novembre 1994 nel bacino del Tanaro ha permesso, alla fine del 1996, di trarre alcune conclusioni promettenti: solo il 2 per mille delle richieste di indennizzo presentate sono state dichiarate non veritiere, per un ammontare di circa 6 miliardi di lire contro 3500 miliardi circa di danni totali.

In Italia vengono spesi ogni anno fiumi di denaro per il risarcimento dei danni alle vittime di calamità naturali e per gli interventi di ripristino della normalità dopo l'evento (Santoianni nel 1996 stima in circa 140.000 miliardi di lire le erogazioni di denaro pubblico in conseguenza alle calamità naturali degli ultimi 15 anni). A fronte di un esborso così ingente, perché non impostare una forte campagna di prevenzione che permetta di superare l'approccio *ex post* che ha sempre contraddistinto la politica ambientale nel nostro Paese? Dall'analisi è emerso che esiste una serie di fattori limitanti rispetto alla prevenzione del rischio:

- La percezione del rischio. Molto più spesso di quanto si pensi la valutazione del rischio di scienziati ed esperti differisce sostanzialmente da quello che viene percepito dalla popolazione interessata. Potrebbe quindi manifestarsi un'indisponibilità a pagare per la prevenzione di un rischio la cui gravità è forte-

mente sottostimata, mentre potrebbe essere molto remunerativo in termini per esempio elettorali occuparsi di altre situazioni sopravvalutate nell'immaginario collettivo. Nell'analizzare il problema della percezione del rischio ci si è resi conto che c'è una sostanziale confusione nella stessa definizione di rischio; inoltre, anche dove il rischio è correttamente definito, molte delle componenti rilevanti nella sua stima sono trascurate. Il rischio idrogeologico, come definito nel decreto ministeriale 14 febbraio 1997, è una grandezza che mette in relazione la pericolosità intesa come caratteristica intrinseca di un territorio con la presenza di insediamenti umani, industriali, infrastrutture, beni storici, artistici e ambientali. Schematicamente è il prodotto tra la pericolosità del territorio (probabilità che un certo fenomeno si verifichi in un determinato intervallo di tempo in un territorio circoscritto) e il valore degli elementi a rischio. Calcolare la pericolosità significa, per esempio, stabilire quanto circoscritta deve essere l'area considerata (aree ampie consentono una maggiore rapidità di calcolo e un'ovvia minore significatività). Anche nel considerare il valore degli elementi a rischio i problemi sono enormi: prezzare beni storici artistici oppure dare un valore alla vita umana sono solo alcuni degli ostacoli che si incontrano.

- L'accettabilità sociale. Questo aspetto è strettamente collegato al precedente: la prevenzione costa e quindi in un'ottica di risorse scarse è necessario operare una scelta in termini di priorità di intervento. Un altro aspetto da tenere in considerazione è la conflittualità che potrebbe essere innescata dall'adozione di alcuni obiettivi di prevenzione. L'istituzione delle fasce fluviali lungo l'asta del Po, per esempio, comporta lo scardinamento di interessi preesistenti: il divieto di coltivazione a pioppeto nelle aree golenali, attività fortemente incentivata fino a pochi anni fa, è solo una delle fonti di conflitto;

- Il costo opportunità. Il risarcimento danni garantito dallo Stato agisce come forma di assicurazione gratuita a carico della collettività per coloro che risiedono in zone soggette a forti rischi alluvionali. La mancanza di incentivi a indurre comportamenti mitigativi del danno è evidente. L'ipotesi di introdurre un'assicurazione obbligatoria sugli immobili, tanto dibattuta in sede di approvazione della legge finanziaria per il 1999, è un passo nella direzione che si ritiene quella corretta di responsabilizzazione delle popolazioni interessate e di induzione di comportamenti preventivi e mitigativi del danno.

**Il risarcimento dei danni garantito dallo Stato ha agito come forma di assicurazione gratuita a carico della collettività, senza indurre in coloro che risiedono in zone soggette a forti rischi alluvionali comportamenti mitigativi.**

## Rimozione di microinquinanti organici tossici da acque lacustri destinate a scopo potabile in Lombardia

**Daniela Bellavista**

*Tutor: Dr. Licia Guzzella*

*Istituto di Ricerca sulle Acque  
Reperto Sperimentale di Idrobiologia Applicata  
Via della Mornera 25  
20047 Brugherio (MI)*

**In questo lavoro sono stati sperimentati trattamenti di rimozione dei microinquinanti organici genotossici dalle acque del lago di Como utilizzate a scopo potabile. I campioni sono stati prelevati in corrispondenza della foce del fiume Cosia, una delle più importanti fonti di immissione di sostanze mutagene nel lago.**

**L**a salvaguardia delle acque dei grandi laghi è un obiettivo primario da perseguire al fine di preservare le riserve idriche superficiali da destinare a futuri usi potabili.

Scopo di questo lavoro è sperimentare alcuni trattamenti di rimozione di microinquinanti organici responsabili di effetti mutageni evidenziati in passato da alcune ricerche condotte sui laghi del Nord Italia e in particolare nel lago di Como.

Durante il primo anno di attività, le acque del lago sono state analizzate in corrispondenza del vecchio e del nuovo punto di prelievo dell'acquedotto comunale. I test di mutagenesi, di tossicità e le analisi gascromatografiche effettuate sui campioni hanno evidenziato, rispetto al passato, una notevole diminuzione dell'attività mutagena per cui si è ritenuto opportuno, per poter sperimentare più efficacemente i trattamenti di rimozione dei microinquinanti, spostare il punto di campionamento in prossimità della foce del fiume Cosia, ritenuto una delle maggiori cause di apporto di sostanze mutagene nel lago.

Per i trattamenti di rimozione, sono state messe a confronto tecnologie classiche quali l'adsorbimento su carboni attivi e su resine a scambio ionico e innovative come le tecniche di ossidazione avanzata (AOP). Per i trattamenti con carbone è stato utilizzato un carbone attivo granulare (GAC) del tipo F100, fornito dalla ditta CECA Carbon; questo materiale è dello stesso tipo di quello utilizzato dall'impianto di potabilizzazione della città di Como, ma è dotato di granulometria più fine. Con la ditta Rohm and Haas sono stati studiati i migliori sistemi di rimozione dei microinquinanti organici mediante l'impiego di resine, scegliendo due tipi di prodotto: l'Amberlite XAD-4 altamente idrofobica e specifica per sostanze volatili e la Ambersorb 563, una resina a scambio ionico molto efficace per la rimozione di molecole organoclorurate. Per la sperimentazione delle tecniche AOP è stato utilizzato un impianto pilota fornito dalla ditta ISPA, in grado di effettuare la contemporanea ossidazione con perossido di idrogeno, ozono e raggi UV. Le acque opportunamente trattate sono state concentrate mediante tecniche di estrazione SPE con cartucce C18 trifunzionali (Waters). I campioni sono stati quindi sottoposti a test di mutagenesi (test di Ames), test di tossicità con batteri bioluminescenti e analisi gascromatografiche.

I risultati ottenuti hanno evidenziato, in seguito al trattamento con il GAC, un abbattimento della mutagenicità al di sotto del valore soglia e dello stesso ordine di grandezza di quello ottenuto con la Ambersorb 563. Questo tipo di resina si è rivelato inoltre più efficiente della XAD-4, con la quale non è stata evidenziata una diminuzione di attività mutagena significativa rispetto al campione non trattato. I trattamenti AOP sono stati effettuati sia in presenza sia in assenza di perossido di idrogeno, al fine di valutare il contributo di quest'ultimo al processo di ossidazione. Ogni esperimento è stato condotto a tre diversi tempi di trattamento (30, 60 e 120 minuti); inoltre si è ritenuto opportuno effettuare ulteriori prove ponendo in serie al trattamento AOP un passaggio su GAC. In assenza di perossido è stato evidenziato un progressivo aumento della mutagenicità all'aumentare del tempo di trattamento dovuto probabilmente alla formazione di sottoprodotti mutageni, mentre in presenza di perossido si osserva una maggiore efficacia del processo ossidativo, pur non ottenendo la scomparsa della mutagenicità osservata. L'abbattimento della mutagenicità si ottiene solo associando al trattamento AOP il passaggio su GAC.

Le analisi della tossicità hanno evidenziato che in assenza del perossido non c'è rimozione dei tossici presenti, mentre in presenza di quest'ultimo, si ottiene la formazione di sottoprodotti tossici nei primi sessanta minuti di trattamento, mentre dopo due ore si osserva una diminuzione della tossicità ai livelli iniziali. L'aggiunta di GAC ha determinato una progressiva diminuzione di tossicità all'aumentare del tempo di trattamento, indicando anche in questo caso l'effetto positivo del carbone sulla rimozione delle molecole tossiche degradate dall'ossidazione. L'Ambersorb 563 si è rivelata tuttavia più efficiente del GAC e della XAD-4 nella rimozione dei tossici.

Le analisi gascromatografiche in NPD hanno evidenziato nel campione non trattato la presenza di alcuni erbicidi appartenenti alla classe delle cloroacetanilidi (Alachlor e il suo metabolita dicloroanilina) e delle triazine (atrazina e terbutilazina). Le analisi in spettrometria di massa hanno consentito di identificare la formazione di sottoprodotti responsabili degli effetti tossici e mutageni e di valutarne la rimozione rispetto al campione non trattato.

**I risultati ottenuti hanno evidenziato che il GAC e la Ambersorb 536 consentono l'abbattimento della mutagenicità, mentre la resina XAD-4 è molto meno efficace. Le analisi gascromatografiche hanno rivelato la presenza di alcune classi di erbicidi, mentre mediante spettrometria di massa è stata valutata la formazione di sottoprodotti mutageni e tossici prodotti dal processo di ossidazione e la loro rimozione rispetto al campione non trattato.**

## Valutazione degli effetti dell'inquinamento atmosferico sulle foreste in Europa\*

Uta Biino

*Tutor: Dr. Martin Lorenz*

*PCC di ICP-Forests*

*Institute for World Forestry*

*Federal Research Centre for Forestry and Forest Products (BFH)*

*Leuschnerstr. 91*

*D-21031 Hamburg*

*Deutschland*

**La CLRTAP rappresenta il primo accordo internazionale che ha riconosciuto i problemi legati all'inquinamento transfrontaliero e rappresenta nell'ambito dell'UN/ECE la sede in cui vengono definite le strategie per realizzare l'abbattimento dei livelli di inquinanti atmosferici e per individuare soluzioni a livello regionale.**

In risposta alla crescente preoccupazione sui danni che l'inquinamento atmosferico causa alle foreste, la Commissione Economica per l'Europa delle Nazioni Unite (UN/ECE) ha istituito nel 1985 il Programma concertato internazionale di monitoraggio e valutazione degli effetti dell'inquinamento atmosferico sulle foreste (ICP-Forests), nell'ambito della Convenzione sull'Inquinamento Atmosferico Transfrontaliero a Grande Distanza (CLRTAP). Nel 1986 gli Stati membri dell'Unione Europea (UE) hanno convenuto un'azione comunitaria per la protezione delle foreste contro l'inquinamento atmosferico. Dal 1991 ICP-Forests e l'UE conducono in stretta collaborazione il monitoraggio transnazionale dello stato delle foreste, cui partecipano 31 Paesi europei, inclusi tutti i 15 Stati membri dell'UE, oltre al Canada e agli Stati Uniti.

I risultati delle attività di sorveglianza vengono registrati mediante un sistema comune di relazioni instaurato tra la Commissione Europea e l'ICP-Forests e costituito da relazioni tecniche e dal bilancio esecutivo annuale. Mentre le relazioni tecniche descrivono in maniera dettagliata i metodi e i risultati dei singoli studi, il bilancio esecutivo annuale riassume le relazioni tecniche pubblicate nel corso di un anno di indagini.

Il Programma prevede un monitoraggio estensivo a livello europeo (livello I) e un monitoraggio intensivo effettuato su aree di saggio permanenti (livello II). Il PCC di Amburgo è il centro di coordinamento operativo del programma ICP-Forests per il livello I, che prevede di realizzare annualmente la valutazione dello stato delle chiome arboree, mentre l'indagine della composizione del suolo e della nutrizione fogliare è stata per ora realizzata una sola volta.

L'oggetto dello stage presso il PCC di Amburgo è stato l'aggiornamento sulle metodologie di raccolta ed elaborazione dati sull'Inventario Forestale Europeo e la valutazione integrata dei dati sulle chiome, sul suolo e sul contenuto chimico fogliare stoccati nel database del Centro. Per quanto riguarda le metodologie armonizzate, esse sono state definite da un gruppo di esperti di

---

\* Stage presso il Centro di Coordinamento del programma internazionale "ICP-Forests" della Commissione Economica Europea delle Nazioni Unite (UN/ECE).



settore, che procede inoltre alla loro revisione periodica, e attualmente comprendono la valutazione visiva delle chiome e la raccolta e l'analisi del suolo e della soluzione circolante, di aghi/foglie, degli incrementi, della vegetazione a terra, delle deposizioni e dei dati meteorologici. Nello svolgimento del lavoro ci si è avvalsi delle conoscenze relative alla struttura e al contenuto dei tre database (chiome, suolo, foglie), alle tecniche di estrazione ed elaborazione dei dati mediante SAS (Statistical Analysis Software), all'*iter* compiuto dai dati dal momento della raccolta in campo da parte dei Paesi partecipanti al loro inserimento nel database del PCC, per attuarne l'aggiornamento annuale, inclusi i processi di *screening* per assicurare la correttezza formale dei dati inseriti.

Le valutazioni realizzate utilizzando il database hanno permesso da un lato l'indagine delle variazioni nello spazio e nel tempo dello stato delle foreste e la migliore comprensione delle relazioni esistenti tra lo stato delle chiome e il pH del suolo, dall'altro la definizione di aree pilota, contenenti un numero statisticamente significativo di *plot* selezionati con precisi criteri, situate lungo un transetto europeo ovest-est. Tali aree verranno utilizzate per realizzare uno studio integrato dei dati sulle chiome, sul suolo e sulle analisi fogliari con tecniche di analisi multivariata che permetta di fare luce sulle relazioni esistenti tra il deperimento forestale e le caratteristiche del sito in termini di composizione vegetale, tipologia di suolo, inquinamento atmosferico e parametri meteo-climatici.

La partecipazione a numerosi *meeting* ha permesso di entrare in contatto con gli altri gruppi di lavoro europei coinvolti nel Programma. La ricercatrice ha collaborato alla stesura della pubblicazione ICP-Forests *Forest Condition: Internal Report 1998*, che costituisce la base di partenza per la preparazione della relazione tecnica ICP-Forests dell'anno seguente.

**La valutazione integrata dei dati relativi al monitoraggio europeo di chiome, suolo e foglie è stata realizzata in aree a diverso grado di inquinamento atmosferico.**

## **Evoluzione trofica dei maggiori laghi lombardi e modelli di previsione del loro comportamento in funzione degli obiettivi dei piani di risanamento**

**Gabriele Borsani**

*Tutor: Dr. Guido Premazzi*

*Centro Comune di Ricerca  
Istituto per l'Ambiente  
Via E. Fermi 1  
21027 Ispra (VA)*

*Università degli Studi di Milano  
Dipartimento di Biologia  
Via Celoria 26  
20133 Milano*

**D**urante la prima fase del progetto di ricerca (1998) sono state eseguite due campagne di campionamento (una all'inizio della primavera e l'altra alla fine dell'estate) sui maggiori laghi lombardi (Maggiore, Como, Iseo e Garda) per la misura dei principali parametri indici di stato trofico. Contemporaneamente è iniziata l'acquisizione della documentazione rilevante relativa agli studi eseguiti nell'ultimo ventennio su questi laghi al fine di tracciarne l'evoluzione trofica. L'elaborazione dei dati storici è tuttora in corso e verrà presentata nella relazione conclusiva. Da un'analisi preliminare delle informazioni emerge quanto segue:

- Il Lago Maggiore presenta condizioni generali più che soddisfacenti. In tutta la colonna d'acqua si verificano buone condizioni di ossigenazione. In primavera si segnala una sostanziale omogeneità dei parametri chimici nello strato 0-100 m, interessato dal rimescolamento invernale. Alla fine dell'estate il lago si presenta nettamente stratificato. L'epilimnio si estende fino ad almeno 10 m di profondità e presenta lievi sovrassaturazioni di ossigeno disciolto, a causa dell'attività fotosintetica del fitoplancton che determina anche un innalzamento dei valori di pH. Non sono state rilevate concentrazioni elevate di azoto ammoniacale né di azoto nitroso, praticamente sempre assente. I valori medi di fosforo totale nel mixolimnio, 7 µg/l in primavera e 9 µg/l alla fine dell'estate, sono tipici di ambienti oligotrofi. Anche le concentrazioni massime di fosforo totale, 20 µg/l a Ghiffa in settembre in prossimità del fondo, testimoniano il basso grado di trofia del Lago Maggiore.

- Il lago d'Iseo segnala preoccupanti condizioni di deterioramento: nell'ipolimnio la concentrazione dell'ossigeno disciolto è molto bassa, prossima allo zero oltre i 200 m di profondità. Le acque profonde evidenziano inoltre elevate concentrazioni di ammoniaca e, in prossimità del fondo, è presente idrogeno solforato, a testimonianza dell'assenza di ossigeno che innesca fenomeni di decomposizione anaerobica. Le concentrazioni di fosforo totale nel

mixolimnio (strato rimescolato) in primavera sono comprese tra 12 e 23  $\mu\text{g}/\text{l}$ , con un valore medio di 18  $\mu\text{g}/\text{l}$ . Questi valori collocano il Sebino tra i laghi mesotrofi, tuttavia le elevate concentrazioni di fosfati presenti nell'ipolimnio potrebbero portare il lago, qualora si verificasse una completa circolazione delle acque, in una condizione di netta eutrofia.

- il lago di Como presenta sempre in tutte le stazioni esaminate discrete condizioni di ossigenazione anche in prossimità del fondo (4 mg  $\text{O}_2/\text{l}$  ad Argegno misurati sul fondo in settembre). Le concentrazioni di azoto nitrico sono risultate sempre inferiori a 1 mg/l. I valori di fosforo totale nel mixolimnio, compresi tra 20 e 25  $\mu\text{g}/\text{l}$ , indicano condizioni di mesotrofia. Sulla base dei valori medi di fosforo totale, ponderati sull'intera colonna d'acqua, risulta evidente il maggior grado di trofia del bacino occidentale (stazioni di Como e Argegno) che, con 47  $\mu\text{g}/\text{l}$ , risulterebbe eutrofo qualora si verificasse una circolazione completa delle acque. L'asse Dervio-Lecco (stazioni di Dervio, Abbadia e Lecco) evidenzia invece condizioni di sostanziale mesotrofia (23  $\mu\text{g}/\text{l}$ ).

- il lago di Garda presenta sempre buone concentrazioni di ossigeno disciolto, anche in prossimità del fondo (6 mg/l a 300 m a Malcesine in ottobre). In febbraio lo strato 0-50 m presenta condizioni sostanzialmente omogenee (valori di conducibilità compresi tra 242 e 243  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), indicando quindi che il rimescolamento invernale ha interessato uno strato d'acqua compreso tra la superficie e una profondità compresa tra 50 e 100 m. Le concentrazioni di azoto nitrico sono sempre inferiori a 0,5 mg/l. I valori medi di fosforo totale nel mixolimnio, 11  $\mu\text{g}/\text{l}$  in febbraio e 8  $\mu\text{g}/\text{l}$  in ottobre, collocano il lago di Garda al confine tra oligotrofia e mesotrofia. Il valore medio ponderato di P totale, calcolato su tutta la colonna d'acqua superficie-fondo, è risultato pari a circa 25  $\mu\text{g}/\text{l}$ . Questo valore, al confine tra mesotrofia ed eutrofia, potrebbe essere raggiunto solo qualora si verificasse un rimescolamento completo delle acque.

Per quanto riguarda i modelli di simulazione sono in fase di ultimazione le *sub-routine* per il calcolo previsionale.

## Analisi di processi degradativi di composti aromatici clorurati da parte di microrganismi del suolo

**Cristina Colombo**

*Tutor: Prof. Vincenza Andreoni  
Prof. Marina Camatini*

*Università degli Studi di Milano  
Dipartimento di Scienze e Tecnologie Alimentari  
Via Celoria 2  
20133 Milano*

*Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio  
Via Emanuelli 15  
20126 Milano*

La bioremediation rappresenta un'alternativa ai processi chimico-fisici che spesso non eliminano l'inquinante dall'ambiente, ma lo trasferiscono in altro sito. Il successo di processi di bioremediation si fonda sulla versatilità metabolica dei microrganismi e sulla biodiversità genetica.

I composti aromatici sono, secondo l'EPA (Environment Protection Agency), la classe di *priority pollutants* più importante per la loro diffusione nell'ambiente. Questi composti sono ampiamente utilizzati dall'industria e dall'agricoltura come solventi, agenti disinfettanti e antiparassitari. Il loro crescente impiego nel corso degli anni ha spesso determinato situazioni di accumulo nei sedimenti, nei suoli, negli acquiferi, spesso causando preoccupanti livelli di inquinamento con conseguente pericolo per la salute dell'uomo e, in generale, per l'equilibrio dell'intero ecosistema. Grande interesse è oggi rivolto allo sviluppo di biotecnologie per il disinquinamento di suoli contaminati (*bioremediation*) che si propongano come soluzioni alternative ai processi fisico-chimici. Questi ultimi infatti, oltre a essere costosi, spesso non eliminano l'inquinante dall'ambiente, ma si limitano a modificarne lo stato o a trasferirlo in altro sito. Il successo dei processi di *bioremediation* dei suoli si fonda sulla versatilità metabolica e sulla diversità genetica dei microrganismi presenti negli ambienti naturali che possono entrare in gioco per degradare gli inquinanti del suolo.

Obiettivi del presente progetto sono:

- selezionare colture microbiche capaci di degradare clorofenoli, al fine di disporre di sistemi microbici utilizzabili nei processi di biorisanamento dei suoli contaminati;
- valutare l'influenza esercitata dai metalli pesanti sulla distribuzione dei microrganismi nel suolo e sulla loro attività metabolica.

Analisi microbiologiche sono state condotte su tre suoli caratterizzati da un contenuto di metalli pesanti confrontabili:

- in prossimità di un'autostrada (A);
- nel Bosco delle Querce (B);
- in una zona agricola interessata dalla ricaduta di diossina a seguito dell'evento ICMESA (C).

È emerso che questi suoli, pur essendo caratterizzati da un contenuto in

batteri eterotrofi totali di  $10^7$ - $10^8$  UFC/g s (Unity For Concentration/grammi al secondo), si differenziano per il numero di microrganismi tolleranti il  $Pb^{2+}$ . I microrganismi dei suoli B e C risultano più tolleranti al  $Pb^{2+}$  rispetto al suolo A. Inoltre studi successivi intesi a indagare la metallo-tolleranza della microflora dei tre suoli verso altri metalli pesanti, hanno evidenziato una maggiore distribuzione di metallo-tolleranze nei suoli B e C, rispetto al suolo A, facendo presupporre che il suolo A sia caratterizzato da una minore ricchezza in specie microbiche rispetto ai suoli B e C.

Nel corso della ricerca, a partire da numerose colture di arricchimento allestite con suoli diversamente contaminati, è stato possibile selezionare microrganismi capaci di degradare clorofenoli; in particolare un ceppo di *Pseudomonas aeruginosa* è capace di utilizzare monoclorofenoli (CF) se si trova in presenza di fenolo.

Il fenolo veniva utilizzato come substrato primario della coltura per la crescita, per degradare il 3-CF e il 4-CF. La presenza dell'analogo clorurato rallentava l'ossidazione del fenolo stesso. La posizione dello ione  $Cl^-$  sull'anello influenzava la velocità di degradazione del clorofenolo. Il 4-CF veniva degradato in 48 h mentre il 3-CF in 72 h. La degradazione del fenolo procedeva via catecolo. Il ceppo non presentava capacità degradative verso altri monoclorofenoli. È stato inoltre isolato un ceppo di *Alcaligenes eutrophus* capace di degradare in 72 h il 4-CF, solo quando in presenza di fenolo, e capace di utilizzare come unica fonte di carbonio ed energia il 2,4,6-triclorofenolo (TCF) ma non di degradare altri DCF e TCF.

Il 2,4,6-TCF veniva completamente degradato in 48 h anche da una coltura microbica mista (C) selezionata dal suolo C. Sembra pertanto che il 2,4,6-TCF sia, tra i triclorofenoli, la molecola più facilmente degradabile.

È stata inoltre valutata l'influenza di metalli pesanti sulla biodegradazione del 2,4,6-TCF da parte di *A. eutrophus* e della coltura mista C. In entrambi i casi, la presenza di 3mM di  $Cd^{2+}$  non ha impedito la degradazione del triclorofenolo, ha solo ritardato il tempo necessario per degradare completamente il 2,4,6-TCF.

In definitiva gli inquinanti presenti nell'ambiente possono determinare la fattibilità di interventi di *bioremediation*; è quindi importante valutare non solo l'attività metabolica dei microrganismi selezionati, ma indagare le interazioni che possono stabilirsi tra gli inquinanti presenti e i microrganismi stessi.

**Non è sufficiente investigare i processi degradativi espressi dai microrganismi ma tali analisi devono essere supportate da opportune indagini di campo volte a definire le condizioni ambientali di partenza.**

## Valutazione degli effetti molecolari e cellulari di radicali liberi generati da PCB

Silvia Crippa

Tutor: Dr. Patrizia Bonfanti

Università degli Studi di Milano  
Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio  
Via Emanueli 15  
20126 Milano

La formazione di specie reattive dell'ossigeno (ROS) e più in generale di radicali liberi è alla base di una serie di processi di grande importanza per la materia vivente: i radicali sono infatti in grado di interagire con costituenti cellulari direttamente o attraverso la produzione di radicali secondari e terziari derivati da lipidi, aminoacidi, glutazione e componenti degli acidi nucleici. Questi processi, raggruppati sotto il nome di "stress ossidativo" provocano alterazioni che portano a una riduzione dell'integrità funzionale della cellula.

Tra gli xenobiotici in grado di provocare la formazione di radicali liberi figurano i policlorobifenili (PCB), contaminanti ubiquitari rinvenuti in tutti i comparti ambientali, in grado di indurre la produzione di anioni superossido e di causare danni ossidativi al DNA.

Nella presente ricerca sono stati utilizzati come modelli sperimentali due sistemi biologici *in vitro*, proposti negli ultimi anni in alternativa a quelli *in vivo* nella valutazione del rischio connesso all'esposizione a xenobiotici. Embrioni dell'anfibio anuro *Xenopus laevis* e cellule di epatoblastoma umano della linea HepG2 sono stati utilizzati per la valutazione di alcuni indici di stress ossidativo e per l'identificazione di *biomarker* cellulari di esposizione allo xenobiotico in esame.

Dopo trattamento con Aroclor 1254, una miscela di PCB che ha avuto largo impiego, e con estratti di sedimenti del fiume Po, contenenti alte concentrazioni di PCB, sono stati valutati nei due modelli i seguenti parametri: perossidazione lipidica, livelli dei tioli proteici liberi e di glutazione, danni al citoscheletro, induzione del citocromo P450 e di *heat shock proteins* (HSP 70).

In HepG2 il trattamento con la miscela di PCB ha indotto un aumento dose dipendente della malondialdeide, principale prodotto di reazione misurabile in un sistema biologico sottoposto a perossidazione lipidica. L'aumento di malondialdeide è indice di un danno ossidativo agli acidi grassi poliinsaturi delle membrane cellulari, danno che causa la perdita dell'architettura molecolare delle membrane biologiche. È stata inoltre osservata una diminuzione dose dipendente del contenuto totale dei tioli proteici liberi che rappresentano i siti più nucleofili e reattivi di enzimi e proteine strutturali e sono quindi facili bersagli per gli xenobiotici. Il loro mantenimento nello stato ridotto è condizione essenziale per un corretto funzionamento di molti enzimi

Per la valutazione degli effetti di radicali liberi generati da Aroclor 1254 e da estratti dei sedimenti del fiume Po sono stati utilizzati come modelli sperimentali embrioni dell'anfibio anuro *Xenopus laevis* e cellule di epatoblastoma umano della linea HepG2, due sistemi biologici *in vitro*.

e proteine strutturali. In entrambi i modelli sono state inoltre analizzate le alterazioni di enzimi e cofattori enzimatici coinvolti nei processi metabolici di Aroclor 1254. In particolare sono stati presi in esame il sistema multienzimatico delle monoossigenasi a funzione mista dipendenti dal citocromo P450, maggior rappresentante degli enzimi di “fase I”, e i livelli di glutatione, sia in forma ridotta (GSH) che ossidata (GSSG).

In HepG2 si è potuta osservare un’induzione dell’isoforma 2E1 del citocromo P450, mentre in embrioni di *Xenopus laevis* trattati con estratti dei sedimenti del fiume Po, contenenti alte concentrazioni di PCB, è stata evidenziata un’induzione dell’isoforma 1A1. In entrambi i modelli si osserva quindi un coinvolgimento del sistema di monoossigenasi a funzione mista citocromo P450-dipendenti nella biotrasformazione di miscele di PCBs.

I risultati ottenuti analizzando i livelli di GSH e GSSG indicano un’alterazione del ciclo del glutatione in entrambi i sistemi utilizzati a conferma dell’avvenuta metabolizzazione della miscela presa in considerazione.

Dopo trattamento con Aroclor 1254 è stata infine valutata l’induzione e la ridistribuzione cellulare di *heat shock proteins* che rappresentano un importante meccanismo di difesa cellulare contro l’azione di una grande varietà di stress ambientali. Utilizzando la tecnica del *Western Blotting* si è osservata una notevole induzione di HSP70 che risultano comunque presenti, in misura minore, anche a livello costitutivo. Con la tecnica della immunolocalizzazione è stato poi possibile osservare l’accumulo e la riorganizzazione delle HSP70 a livello citoplasmatico, evidenziando *spot* fluorescenti localizzati principalmente nella regione perinucleare.

La stessa tecnica è stata utilizzata per la localizzazione citoscheletrica di microtubuli ma ai tempi e alle dosi utilizzate Aroclor 1254 non ha apparentemente determinato una disorganizzazione della tubulina.

In conclusione possiamo affermare che alterazioni di parametri morfologico-strutturali, biochimici e molecolari in organismi e in sistemi cellulari rappresentano ottimi bioindicatori per la valutazione dei danni causati da specie radicaliche.

**Miscele di PCB provocano perossidazione lipidica alle membrane cellulari, vengono metabolizzate dal sistema delle monoossigenasi a funzione mista P450-dipendente e causano induzione e riorganizzazione di heat shock proteins a livello citoplasmatico.**

## Ottenimento di ceppi microbici per il biorisanamento di siti contaminati da idrocarburi aromatici

**Patrizia Di Gennaro**

*Tutor: Prof. Giuseppina Bestetti*

*Università degli Studi di Milano  
Dipartimento di Biologia  
Via Celoria 26  
20133 Milano*

In questi ultimi anni sono sempre più numerosi i casi di contaminazione di suoli e falde acquifere causati da sversamento di sostanze organiche inquinanti. Il biorisanamento rappresenta una buona alternativa ai metodi tradizionali di rimozione di contaminanti ambientali che non risultano essere sempre efficaci oltre che particolarmente costosi. Tramite il biorisanamento è possibile ottenere la degradazione di composti organici inquinanti a costi ridotti, avvalendosi di microrganismi indigeni o di ceppi opportunamente selezionati e introdotti successivamente nell'ambiente. L'entità e la velocità della biodegradazione dipendono dall'interazione tra ambiente, numero e tipo di microrganismi presenti e struttura chimica dei contaminanti. Purtroppo sono poche le informazioni disponibili riguardo all'ecologia microbica del suolo e al modo in cui le diverse popolazioni di una comunità interagiscono tra loro durante la biodegradazione. Per ottenere il massimo beneficio dal biorisanamento è quindi necessario approfondire le conoscenze dei *pathway* metabolici e dei geni di operoni catabolici coinvolti nel catabolismo dei contaminanti più diffusi. In questo lavoro è stata presa in esame una popolazione microbica selezionata da un sito contaminato da solvente nafta, localizzato nel settore nord-ovest della città di Milano. A partire da campionamenti effettuati su tale suolo sono stati isolati 23 microrganismi in grado di crescere su tale solvente fornito come unica fonte di carbonio e di energia. L'identificazione ha permesso di classificare i microrganismi isolati per lo più come appartenenti al genere *Pseudomonas*, genere largamente diffuso in ambienti naturali interessati da inquinamento, grazie alla loro nota capacità di degradare un'ampia varietà di composti, tra i quali idrocarburi aromatici e loro derivati.

I microrganismi isolati sono stati saggiati per la loro capacità di degradare i singoli costituenti del solvente nafta e di altri substrati aromatici considerati i principali inquinanti. Tali prove hanno permesso di individuare due gruppi di microrganismi con capacità degradative: un primo gruppo in grado di metabolizzare composti metil sostituiti come toluene, xileni e 1,2,4-trimetilbenzene; un secondo gruppo capace di degradare toluene e benzene. Successivamente è stata condotta un'indagine molecolare, attraverso analisi Southern del DNA genomico e plasmidico mediante sonde rappresentate da geni di operoni catabolici codificanti per sistemi mono e diossigenasici responsabili dell'ossidazione dei sostituenti metilici e dell'ossidazione diretta



dell'anello aromatico. Sulla base di queste analisi è stato possibile individuare tre gruppi di microrganismi:

- un gruppo che include ceppi che presentano omologia con il gene *xylA,M* codificante per la xilene monoossigenasi di *Pseudomonas putida* PaW1;
- un secondo gruppo che comprende ceppi che ibridano con la sonda *todC1C2BA* codificante per la toluene diossigenasi di *P. putida* F1;
- infine un gruppo di ceppi che mostra omologia sia con la xilene monoossigenasi che con la toluene diossigenasi.

Quindi, in base agli esperimenti condotti, è stato evidenziato che i sistemi più diffusi tra i ceppi degradanti isolati dal sito contaminato in esame sono quelli che prevedono l'ossigenazione diretta dell'anello aromatico a opera di un sistema diossigenasico e un sistema monoossigenasico, in grado di ossidare il gruppo metilico. Tra i microrganismi studiati di particolare interesse sono risultati quelli che presentano sia geni omologhi a quelli codificanti per la xilene monoossigenasi sia per la toluene diossigenasi. Da ulteriori analisi condotte su questi ultimi è emerso che tali sistemi enzimatici sono indotti quando le cellule sono cresciute in presenza di toluene. Quindi la presenza in questi ceppi di due *pathway* degradativi indotti dallo stesso substrato sembra essere vantaggioso per la possibilità di degradare un ampio spettro di substrati. Lo studio condotto ha evidenziato nel suolo contaminato preso in esame la presenza di una popolazione microbica estremamente versatile da un punto di vista metabolico, potenzialmente in grado di rimuovere una vasta gamma di composti inquinanti.

## Tendenze evolutive della qualità degli ambienti lacustri lombardi

**Laura Galli**

*Tutor: Dr. Romano Pagnotta*

*CNR Istituto di Ricerca sulle Acque  
Reparto Sperimentale di Idrobiologia Applicata  
Via della Mornera 25  
20047 Brugherio (MI)*

**La ricerca si inserisce nell'ambito del progetto LIMNO (qualità dei Laghi Italiani: caratteristiche ambientali e antropiche), il cui obiettivo è la caratterizzazione di tutti gli ambienti lacustri in Italia, che porterà alla pubblicazione del primo Catasto Completo dei Laghi Italiani. Lo studio è stato avviato dall'Istituto di Ricerca sulle Acque di Brugherio e dall'Istituto Italiano di Idrobiologia di Pallanza in collaborazione con altri Enti (Università, PMIP, Musei ecc.) e utilizzando anche i repertori bibliografici di diverse Associazioni.**

**U**n'adeguata conoscenza scientifica è indispensabile per delineare un quadro generale ed esauriente della complessa situazione della qualità delle acque degli ambienti lacustri. Sulla base di queste conoscenze è possibile programmare interventi idonei ad arrestare eventuali fenomeni di degrado e definire le condizioni ottimali e più convenienti, anche sul piano degli investimenti, per un ripristino delle situazioni naturali. Nell'ultimo ventennio il problema dell'eutrofizzazione dei laghi ha assunto dimensioni rilevanti in diversi Paesi europei tra cui l'Italia. In ambito europeo le principali agenzie per l'ambiente, tra cui l'European Environment Agency (EPA), si stanno muovendo verso la creazione di banche dati che forniscano informazioni sulla qualità delle acque lacustri e fluviali. In Italia da un punto di vista legislativo la classificazione degli ambienti lacustri deriva dalla normativa riguardante i criteri generali per il controllo delle acque lacustri e da successive modifiche di adeguamento alle direttive dell'UE. È infatti compito istituzionale del Ministero dell'Ambiente, che si avvale di strutture periferiche esistenti, predisporre un catasto completo di qualità dei laghi italiani da aggiornarsi periodicamente. Sfortunatamente però ancora oggi la normativa vigente risulta disattesa e quindi non esiste ancora un quadro della qualità delle acque lacustri italiane completo, in termini di ambienti e di caratteristiche considerate, e sufficientemente aggiornato. Se i grandi ambienti lacustri ricevono molta attenzione, più trascurati e talvolta dimenticati sono invece gli ambienti di piccole e medie dimensioni. Questi ultimi sono però quelli più soggetti a rischio ambientale, in relazione alla particolare sensibilità ai cambiamenti meteorologici, idrologici e alle influenze antropiche. Le modeste dimensioni li rendono infatti facilmente deteriorabili, anche nel caso in cui siano sottoposti a un carico inquinante limitato.

Queste e altre valutazioni hanno spinto l'Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA) e l'Istituto Italiano di Idrobiologia (III) ad avviare un progetto riguardante l'intero territorio della Lombardia che raccolga informazioni sulla qualità degli ambienti lacustri con superficie superiore a 0,2 km<sup>2</sup>, includendo comunque anche alcuni laghi di particolare importanza con superficie minore. Il progetto si inserisce, anticipandone i contenuti, in un quadro più ampio di studio, il cui obiettivo è la caratterizzazione di tutti gli ambienti lacustri in Italia, che porterà alla pubblicazione del primo Catasto Completo dei Laghi

Italiani (Progetto LIMNO). Le motivazioni che stanno alla base di questo progetto sono quindi di tipo scientifico, protezionistico e legislativo. Obiettivo principale della ricerca è di fornire un quadro il più esauriente e aggiornato possibile sulle caratteristiche morfometriche e antropiche degli ambienti lacustri naturali e artificiali lombardi, di verificare lo stato attuale della qualità delle acque e di ricostruire in modo significativo l'evoluzione trofica degli ultimi 20-30 anni.

Nel primo anno di studio sono stati individuati 72 ambienti lacustri sul territorio lombardo, di cui 18 con dimensioni inferiori a 0,2 km<sup>2</sup> e 54 con dimensioni superiori a 0,2 km<sup>2</sup>, che rappresentano il 15% di tutti gli ambienti lacustri sul territorio nazionale con simili caratteristiche. Nei primi mesi dell'anno sono stati raccolti più di 1000 riferimenti bibliografici relativi ai laghi lombardi e per quei laghi che non presentavano sufficiente copertura bibliografica, sono in corso contatti con Università degli Studi, Istituti di Ricerca, Musei Civici e Presidi Multizonali di Prevenzione delle diverse province lombarde. Questi ultimi conducono infatti regolari controlli su diversi bacini lacustri ai fini di definirne la qualità delle acque per la balneazione, lo stato trofico e, in altri casi, valutare gli effetti dell'acidificazione delle deposizioni atmosferiche. Il reperimento delle informazioni dei PMIP permetterà di raccogliere una mole di informazioni destinate altrimenti a una rapida perdita di accessibilità, di favorire il confronto di qualità analitica tra sorgenti diverse e infine di spingere le diverse province a un'armonizzazione dei piani di monitoraggio.

Con questo progetto si intende offrire a tutti gli Enti pubblici e privati preposti alla ricerca e al controllo ambientale un documento che racchiuda dati completi indispensabili per definire le linee guida gestionali per la salvaguardia dei corpi lacustri. Il prodotto finale avrà una caratteristica di unicità nella valutazione evolutiva pluriennale degli ambienti lacustri e potrà costituire la base per un aggiornamento periodico, che potrà essere inserito nelle attività fin da oggi previste a regime dalla Agenzia Regionale per l'Ambiente.

**L'organigramma delle attività previste comprende la rappresentazione grafica e sintetica del lago e del bacino imbrifero, la raccolta dei dati di qualità e l'acquisizione dei dati socioeconomici legati all'antropizzazione del territorio.**

## Trattamento di reflui di tinto-stamperie: sviluppo di un processo fotochimico di ossidazione avanzata

Lorenzo Gamba

*Tutor: Prof. Bruno Marcandalli*

*Stazione Sperimentale per la Seta  
Via Valleggio 3  
22100 Como*

**Il progetto si propone di mettere a punto un metodo che consenta la completa mineralizzazione degli inquinanti organici presenti nei reflui di tinto-stamperie.**

L'affermazione e lo sviluppo dell'industria tessile sia in Italia sia in Europa sono state favorite dalla disponibilità di acqua. L'utilizzo dell'acqua per l'attività produttiva ha di conseguenza reso sempre più importanti tutti quei processi che contribuiscono a eliminare i reflui derivanti dall'attività produttiva stessa. I reflui provenienti dalle tinto-stamperie infatti contengono sostanze difficilmente biodegradabili e talvolta tossiche, quali coloranti e tensioattivi.

Tra i vari metodi di trattamento delle acque hanno dato buoni risultati i processi di ossidazione avanzata nei quali la reazione è indotta fotochimicamente. Nel processo ossidativo da noi scelto la reazione di ossidazione avviene per l'attivazione dell'acqua ossigenata da parte dei raggi ultravioletti emessi da una lampada a mercurio: si formano conseguentemente radicali liberi che, innescando una serie di reazioni a catena, portano alla degradazione della molecola trattata a intermedi più semplici, fino ad anidride carbonica e acqua.

I vantaggi di questo processo ossidativo sono diversi: la facile disponibilità, il costo contenuto, l'atossicità dell'acqua ossigenata (se usata a concentrazioni non eccessivamente elevate). Esiste inoltre la possibilità di riciclare il refluo depurato a uso industriale.

Il sistema di degradazione è costituito da un reattore cilindrico in vetro di pyrex in cui viene posta la miscela di reazione che viene mantenuta costantemente mescolata mediante un agitatore magnetico posto sotto il reattore. Al centro del reattore si trova una lampada al mercurio a media pressione, inserita in una camicia refrigerante in quarzo che ha la funzione di evitarne l'eccessivo surriscaldamento.

Durante il processo, a tempi prestabiliti, è stata prelevata, mediante una siringa, una certa quantità di campione successivamente utilizzata per ulteriori analisi. In particolare, la degradazione delle molecole in esame è stata monitorata con un analizzatore di carbonio organico totale (per misurare la diminuzione progressiva di carbonio organico e l'aumento di quello inorganico nel campione) e uno spettrofotometro UV-Vis per misurare le variazioni di assorbanza. L'uso di test specifici ha permesso di controllare anche l'andamento del consumo dell'acqua ossigenata nel tempo.

Con questo metodo abbiamo degradato due tensioattivi anionici, il sodio

dodecilsolfato e il sodio dodecilbenzensolfonato, e il colorante Acid red 1.

Nelle prove sono state usate lampade con diversa potenza (500 W e 1000 W) e per ogni sostanza sono state impiegate soluzioni aventi rapporti concentrazione / acqua ossigenata differenti. Per tutte le sostanze abbiamo ottenuto una degradazione in cui la decomposizione del carbonio organico è stata del 90% in tempi relativamente brevi. La degradazione del sodio dodecilsolfato è avvenuta dopo un tempo variabile da un minimo di 20 minuti a un massimo di 4 ore, mentre per il sodio dodecilbenzensolfonato i tempi di degradazione sono stati da un minimo di 30 minuti a un massimo di 2 ore. Buoni risultati sono stati ottenuti anche nella degradazione del colorante: dalle prove è emerso che la soluzione diventa completamente incolore in 50 minuti.

In questo lavoro abbiamo degradato soluzioni costituite da tensioattivo e colorante per verificare se la coesistenza delle 2 sostanze potesse influenzare l'andamento della degradazione. Dai dati emersi non si sono verificate differenze nei tempi della degradazione.

Da ultimo sono state compiute delle prove di degradazione dei tensioattivi in esame mantenendo un apporto continuo di acqua ossigenata; ciò è stato realizzato con una pompa peristaltica esterna posta vicino al reattore. Dai dati emersi abbiamo osservato che la presenza di un apporto continuo di acqua ossigenata non ha procurato sostanziali aumenti di velocità nelle degradazioni a breve durata (1 ora circa), mentre ha accelerato le degradazioni di durata superiore.

**Con questo lavoro è stata dimostrata l'efficacia del trattamento di tensioattivi e coloranti con reazioni di ossidazione attivate da UV e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.**

## Analisi economica del rischio idrogeologico

Lucia Giancola

*Tutor: Prof. Alberto Majocchi*

*Università degli Studi di Pavia  
Dipartimento di Economia Pubblica e Territoriale  
Corso Carlo Alberto 5  
27100 Pavia*

**O**biiettivo del primo anno di lavoro è stato la realizzazione di una banca dati dei danni causati dalle principali alluvioni del bacino del Po nelle regioni Piemonte e Lombardia negli anni dal 1957 a oggi.

La banca dati, quantificando i danni causati da eventi calamitosi, quali le alluvioni, permette di confrontare politiche alternative di gestione del rischio in territori fortemente antropizzati. In particolare consente di confrontare la politica dell'indennizzo finanziato dal bilancio dello Stato con l'utilizzo delle assicurazioni obbligatorie. Fino a oggi, infatti, ogniqualvolta si è verificata un'alluvione lo Stato ha finanziato la ricostruzione attraverso contributi versati a favore dei privati e delle imprese e stanziamenti di fondi a favore delle Regioni per il ripristino delle opere pubbliche danneggiate.

L'ultima catastrofica alluvione (1994), pur essendo stata meno grave di altre per intensità delle precipitazioni, altezze idrometriche e portate raggiunte dai corsi d'acqua interessati e per estensione del territorio coinvolto, ha causato danni molto più ingenti. Questo dimostra da una parte che nel corso degli anni l'antropizzazione del territorio non ha tenuto conto della sua vulnerabilità, dall'altra che la politica dell'indennizzo finanziato dal bilancio dello Stato è inefficiente perché non stimola gli operatori a tener conto, nei loro processi decisionali di localizzazione, del rischio connesso al verificarsi di eventi calamitosi.

La banca dati dei danni è stata costruita per le regioni Lombardia e Piemonte con riferimento all'asta del Po; le province prese in esame sono rispettivamente Bergamo, Brescia, Como, Cremona, Mantova, Milano, Pavia, Sondrio e Varese per la prima, Alessandria, Asti, Cuneo e Torino, per la seconda.

In questo primo anno di lavoro si sono quantificati i danni dell'alluvione del 1994 e parte dei danni provocati dalle alluvioni storiche. Il punto qualificante è legato al fatto che la banca dati contiene quantificazioni e stime del valore economico e monetario degli eventi alluvionali esaminati, differenziandosi così dalle quantificazioni dei danni esistenti, che sono effettuate soltanto in termini fisici e territoriali. A tale riguardo risulta completo il quadro della regione Piemonte, mentre stiamo raccogliendo i dati relativi alle province lombarde.

Le alluvioni più importanti sono state individuate sulle Memorie descritti-

**Nel primo anno di ricerca abbiamo iniziato a elaborare una banca dati dei danni provocati dalle principali alluvioni del bacino del Po in Lombardia e Piemonte negli anni dal 1957 al 1998.**

ve della Carta Geologica d'Italia di Vincenzo Catenacci e sull'Atlante dei Rischi Idrogeologici per il bacino idrografico del Po redatto dall'Autorità di Bacino del fiume Po.

La raccolta dei dati ha richiesto un lavoro di ricerca presso le Prefetture, le Camere di Commercio e gli uffici delle Regioni interessate.

L'elaborazione delle informazioni è stata particolarmente laboriosa. Per ogni alluvione sono state individuate quattro categorie di danno: agli edifici privati; alla produzione; alle opere pubbliche; alle opere idrauliche.

Per tutte le categorie di danno elencate si monetizzano i danni relativi all'intera provincia e a ogni singolo comune.

La quantità e la qualità dei dati a disposizione ha reso possibile individuare le province e i comuni più colpiti in ogni alluvione; la suddivisione per settori ha permesso di individuare volta per volta il settore che ha subito più danni.

L'aspetto interessante della realizzazione di una banca dati è la quantificazione dei danni di tutto un periodo storico. Questo permette di fare confronti e analisi che consentono di esprimere un giudizio sull'efficienza e sull'efficacia delle politiche adottate degli Enti pubblici ai quali è affidata la gestione del territorio.

Dati parziali derivanti dalle elaborazioni effettuate finora ci consentono di illustrare alcuni risultati per la Lombardia. Limitatamente alle province di Cremona, Mantova e Pavia l'alluvione del 1994 ha provocato danni per 349,8 miliardi di lire costanti. La provincia più colpita risulterebbe Pavia con il 62,3% dei danni (circa 217,8 miliardi di lire costanti) seguita da Cremona con il 20,1% (circa 73,2 miliardi di lire costanti) e Mantova con il 16,8% (circa 58,8 miliardi di lire costanti). A livello regionale il settore più colpito è stato quello delle opere idrauliche (circa 229 miliardi di danni di lire costanti), seguito da quello delle imprese (circa 64,2 miliardi di lire costanti), dai privati (circa 43,2 miliardi di lire costanti) e dalle opere pubbliche (circa 13,5 miliardi di lire costanti).

L'obiettivo per il secondo anno di lavoro è il completamento della banca dati dei danni per la regione Lombardia.

**La banca dati permette di esprimere un giudizio sull'efficienza e sull'efficacia delle politiche di gestione del rischio in territori fortemente antropizzati.**

## Il ruolo delle deposizioni atmosferiche nella circolazione dei microinquinanti organici

**Cristina Giarei**

*Tutor: Prof. Alfredo Provini*

*Università degli Studi di Milano  
Dipartimento di Biologia  
Via Celoria 26  
20133 Milano*

**N**egli ultimi anni i microinquinanti organici hanno suscitato sempre maggiore interesse anche a causa della loro mobilità e quindi della loro capacità di essere trasportati in luoghi lontano dalle aree di produzione e d'uso.

Il ruolo delle deposizioni atmosferiche nel trasporto di taluni composti organici dal comparto aereo a quello acquatico e terrestre è importante tanto che, in alcuni ecosistemi lacustri, è stato dimostrato che l'apporto atmosferico ha raggiunto un'entità tale da costituire una fonte di inquinamento maggiore rispetto a quella dei tributari (Einsereich, 1979, 1981). Si ritiene che i due principali meccanismi coinvolti nel dilavamento degli inquinanti dall'atmosfera e cioè le deposizioni umide (*wet*) e secche (*dry*) riportino al suolo dal 75 all'80% dei composti presenti nell'aria (Beattie e Whelpdale, 1989).

Questa quantità è ovviamente influenzata dalle sorgenti locali, dalla frequenza degli eventi piovosi e dalle proprietà degli inquinanti.

La ricerca dei microinquinanti organici nelle deposizioni è relativamente recente ed è soprattutto limitata a determinazioni episodiche o perché condotta per un breve arco di tempo o perché riguardante solo pochi composti. La difficoltà a reperire maggiori informazioni è legata, oltre che alla variabilità delle condizioni meteorologiche (che influenzano notevolmente il trasporto e la deposizione di tali sostanze) anche alla mancanza, ancora oggi, di un metodo ufficiale di campionamento e di un sistema multiresiduo di estrazione e di analisi per tutte le classi di composti che sono significativamente differenti per caratteristiche chimico-fisiche.

Questo studio si articola principalmente in due parti.

Inizialmente, è stato messo a punto un sistema per la raccolta di deposizioni umide efficiente per i composti organici, utilizzando un raccogliore automatico già sperimentato per gli inorganici.

Oltre alla scelta dei materiali da utilizzare, si è valutata la possibilità di raccogliere i campioni su base settimanale, minimizzando le perdite, dal campionatore all'atmosfera, per evaporazione dei composti più volatili.

Studi preliminari hanno però evidenziato che molti composti non sono stabili nel tempo e che è necessario prelevare i campioni entro le dodici ore dalla fine dell'evento piovoso e inoltre eseguire l'estrazione al più tardi entro sette giorni, conservando il campione in frigorifero a 4°C.



Per quanto riguarda le deposizioni secche si sta cercando una metodologia idonea di campionamento, raccogliendo le polveri e gli aerosol sia su un supporto di vetro sia su un film d'acqua mantenuto costante.

Successivamente, dopo aver identificato le aree di studio che corrispondevano ai criteri da noi prefissati, e cioè un'area fortemente industrializzata (Milano) e una scarsamente inquinata (Longone al Segrino, CO), si è proceduto all'applicazione del protocollo sperimentale, messo a punto in laboratorio, per l'estrazione e le analisi dei composti considerati. La stazione di Pavia, inizialmente prevista nell'ambito delle nostre ricerche, non è stata ancora attivata per gli impegni degli operatori della ASL deputati al prelievo dei campioni.

Il campionamento è iniziato nell'aprile 1998 e la scelta dei composti è ricaduta su quelli già ritrovati nelle piogge in studi precedenti in Lombardia o che avevano un'elevata probabilità di ritrovamento in questa matrice, sia in base al loro uso nel territorio sia in base alle proprietà dei composti e alla loro affinità per il comparto acqua. Sono state individuate le seguenti classi di microinquinanti organici: erbicidi triazinici e loro metaboliti, ammidi, pesticidi clorurati, PCB (policlorobifenili), PAH (idrocarburi policiclici aromatici).

Finora sono stati raccolti, per la stazione di Milano, 40 campioni corrispondenti a un volume complessivo pari a 43,7 l di pioggia. I campioni con volume inferiore a 500 ml, corrispondenti a 13 dei 40 eventi totali per un volume di 1,8 l, non sono stati considerati per la difficoltà analitica legata a campioni di piccolo volume; in ogni caso è stato analizzato il 95,9% delle precipitazioni verificatesi nel periodo preso in esame. Per la stazione di Longone è stato finora analizzato il 98,2% degli eventi piovosi, avendo raccolto un volume pari a 29,9 litri e avendone eliminati 530 ml (2 eventi piovosi).

Nei campioni prelevati nella stazione di Milano, i composti identificati in gascromatografia con rivelatore NP (sensibile ai composti azotati e fosforati), sono stati la simazina, l'atrazina, la terbutilazina e i loro principali metaboliti con picchi di concentrazioni massime in aprile-maggio. Lo stesso andamento è stato riscontrato per Alachlor e Metolachlor. Per la stazione di Longone, si sono persi i picchi di massima concentrazione degli stessi composti ritrovati a Milano, avendo iniziato il campionamento agli inizi di luglio.

Per i composti clorurati analizzati con rivelatore a cattura di elettroni le concentrazioni risultano basse e più o meno costanti lungo tutto il periodo di campionamento in entrambe le stazioni.

Le altre categorie di composti (PAH, PCB), a causa della loro bassa concentrazione nelle piogge, verranno analizzati successivamente, raggruppando i campioni mensilmente.

Lo studio è stato condotto presso il Dipartimento di Biologia (Sezione di Ecologia) dell'Università degli Studi di Milano, in collaborazione con l'Istituto di Ricerche sulle Acque di Brugherio (MI) e la ASL della provincia di Como, sede territoriale di Erba.

## Analisi costi-benefici delle politiche di prevenzione dell'inquinamento

**Marco Grasso**

*Tutor: Dr. Stefano Pareglio*

*Università degli Studi di Milano  
Dipartimento di Economia e Politica Agraria, Agro-Alimentare e Ambientale  
Via Celoria 2  
20133 Milano*

**La prevenzione dell'inquinamento richiede che l'autorità pubblica intervenga con opportune politiche ambientali strutturate su un calibrato mix di strumenti regolamentativi, economici e volontaristici, per raggiungere un livello economicamente e socialmente ottimale di emissioni.**

**U**n rilevante fallimento del mercato quale l'inquinamento richiede, nell'accezione corrente, l'intervento dell'autorità pubblica per correggere le distorsioni che esso provoca sul benessere sociale.

Il raggiungimento di un livello socialmente ottimale di emissioni viene perseguito attraverso opportune politiche di prevenzione, ossia attraverso l'impiego di strumenti regolamentativi, economici, nonché di approcci di tipo volontaristico.

Scopo della ricerca è la definizione di un paradigma di riferimento per la valutazione degli impatti economici e sociali di una politica di prevenzione dell'inquinamento. Tale valutazione viene condotta secondo la logica propria dell'Analisi costi-benefici (AcB) che, confrontando i flussi monetari attualizzati dei costi e dei benefici, consente di definire "valori oggettivi" sulla cui base l'autorità pubblica orienta la decisione circa la desiderabilità/preferibilità economico-sociale delle politiche di prevenzione dell'inquinamento.

Il progetto di ricerca si articola in una prima parte generale, che tratta i contenuti dell'AcB quale strumento di supporto alla scelta pubblica, e in una seconda parte applicativa che si focalizza sui lavori prodotti da istituzioni pubbliche specificatamente preposte, da Centri di Ricerca e Università che abbiano condotto analisi non esclusivamente metodologiche sugli aspetti economici della qualità dell'aria, i cui risultati siano stati, o possano essere, in qualche modo "utilizzati" dal decisore pubblico.

L'approccio seguito nella parte generale è quindi eminentemente teorico, in quanto il lavoro approfondisce i fondamenti economici dell'AcB con la finalità di fornire al decisore pubblico un "metodo" per determinare l'impatto economico di proposte alternative di politica ambientale, definendone le conseguenze sul benessere individuale e sociale (inteso come aggregazione delle variazioni di benessere individuali).

Dell'AcB, principale strumento che l'economia del benessere utilizza per stabilire quale opzione (progetto o politica) sia preferibile per l'intera società, vengono evidenziati i fondamenti etici, la struttura metodologica (con particolare enfasi per le tecniche di valutazione dei beni che non hanno valore di mercato come i beni ambientali), nonché gli aspetti sui quali maggiormente si appuntano le dispute dottrinali, quali l'utilizzo dei "prezzi ombra", il corretto dimensionamento del saggio di sconto "sociale", l'integrazione dell'approccio

efficientistico tradizionale con aspetti equitativi e il trattamento del rischio e dell'incertezza.

La lettura in questione è orientata all'evidenziazione delle potenzialità e dei limiti dello strumento rispetto alle problematiche ambientali.

La parte applicativa muove dall'individuazione degli aspetti salienti del legame fra la variazione dell'emissione in atmosfera e le ripercussioni ambientali che, in qualsiasi modo, interessano gli individui in termini di salute, produttività agricola, danni ai materiali e visibilità. Quindi, si fornisce una sintesi dell'evoluzione e dello stato dell'arte della valutazione economica delle risorse naturali e si procede a un'individuazione dei suoi possibili impieghi (valutazione dei progetti pubblici, delle politiche e dei danni alle risorse naturali; identificazione dei costi ambientali; contabilità ambientale), soprattutto con riferimento alla realtà europea e statunitense.

Sono quindi stati considerati undici studi relativi all'esperienza statunitense e cinque a quella europea di valutazione economica della qualità dell'aria, selezionati secondo il criterio del possibile utilizzo da parte del decisore pubblico.

L'analisi condotta, pertanto, evidenzia le potenzialità dell'Acb quale strumento per la valutazione della desiderabilità economica e sociale di una politica di prevenzione dell'inquinamento. Essa, pur con tutte le limitazioni derivanti dalla matrice utilitarista nel cui alveo si è sviluppata, sembra essere l'approccio più convincente per valutare l'impatto degli interventi pubblici finalizzati al contenimento dell'inquinamento.

Tuttavia, a nostro avviso, essa non va applicata meccanicamente. La sua portata infatti non si risolve certo in una serie di regole dogmatiche da seguire acriticamente. Così operando si potrà, forse, pervenire all'attribuzione di un prezzo a ogni evento, ma certo non alla determinazione di un valore economico socialmente accettabile

Le convinzioni maturate nel corso del lavoro ci portano quindi a sostenere l'adeguatezza dello strumento in questione rispetto alla finalità di valutazione degli interventi pubblici per la protezione dell'ambiente, con un *caveat*: l'Acb, a differenza di quanto sostengono alcuni studiosi, è uno strumento di supporto alla decisione, "non è" la decisione.

**Scopo della ricerca è la valutazione economica di tali politiche secondo la logica propria dell'Analisi costi-benefici, ossia mediante il confronto dei flussi attualizzati di costi e di benefici, per definire "valori oggettivi" sulla cui base l'autorità politica possa determinare la desiderabilità economica e sociale dell'intervento progettato a favore della qualità dell'aria.**

## Il principio di prevenzione dei danni causati all'ambiente nella normativa comunitaria

**Silvia Illari**

*Tutor: Prof. Giuseppe Franco Ferrari*

*Università degli Studi di Pavia  
Istituto di Diritto Pubblico "Rodolfo De Nova"  
Strada Nuova 65  
27100 Pavia*

**L**e ricerche svolte nel 1998 hanno riguardato l'applicazione del principio di prevenzione nel settore degli imballaggi e dei rifiuti di imballaggio, sul quale negli ultimi anni si è focalizzata l'attenzione del legislatore europeo e quindi anche di quello italiano. In Italia, come nel resto d'Europa, la situazione è preoccupante: ogni anno circa 13 milioni di tonnellate di imballaggi si trasformano in 9 milioni di tonnellate di rifiuti, equivalenti a circa il 35% in peso e il 50% in volume della totalità dei rifiuti urbani prodotti nel nostro Paese.

La direttiva CE 94/62 ha l'obiettivo di armonizzare i provvedimenti nazionali relativi alla gestione degli imballaggi e dei relativi rifiuti per garantire un alto livello di tutela dell'ambiente nonché il funzionamento del mercato interno. Essa si applica a tutti gli imballaggi immessi sul mercato nella Comunità e a tutti i rifiuti di imballaggio, utilizzati o scartati da industrie, esercizi commerciali, uffici, laboratori, servizi, nuclei domestici e a qualsiasi altro livello, qualunque siano i materiali che li compongono.

La direttiva prevede che gli Stati membri mettano a punto misure atte a prevenire la formazione dei rifiuti di imballaggio (in particolare programmi nazionali), e che i medesimi siano incoraggiati a sviluppare sistemi di riutilizzo degli imballaggi.

Gli Stati membri devono instaurare sistemi di recupero, raccolta e riciclaggio dei rifiuti di imballaggio per raggiungere i seguenti obiettivi quantitativi: recupero tra il 50 e il 65%; riciclaggio fra il 25 e il 45%, con un minimo del 15% per ogni materiale d'imballaggio.

Per disporre di dati comunitari sugli imballaggi e rifiuti di imballaggio, gli Stati membri devono anche mettere a punto sistemi armonizzati d'informazione (basi di dati) che permettano di controllare l'attuazione degli obiettivi stabiliti dalla direttiva. La decisione CE 97/138 ha istituito le tabelle per il sistema di basi di dati per armonizzare le caratteristiche e la presentazione dei dati forniti sugli imballaggi e sui relativi rifiuti e per rendere compatibili i dati raccolti dai vari Stati membri. La fornitura dei dati è obbligatoria esclusivamente per i seguenti materiali di imballaggio: vetro, plastica, carta, cartone e metalli.

Infine, gli Stati membri devono informare in modo adeguato gli utenti degli imballaggi sul trattamento degli stessi e dei loro rifiuti.

La direttiva trova applicazione in Italia con il decreto Ronchi (D.lgs 22/1997 modificato dal D.lgs 389/97), il quale riserva al *packaging* e al *packaging*

*waste* una parte dedicata (articoli dal 34 al 43), entrata in vigore solo dal 1° maggio 1997, proprio per consentire alla Commissione Europea di valutare adeguatamente l'impostazione della normativa. Due, in questo ambito, sono i criteri ispiratori ripresi dalla normativa comunitaria: "chi inquina paga" e la "responsabilità condivisa". Il che significa coinvolgere, con gli stessi vincoli, tutti gli attori del sistema: i produttori (i fornitori di materiali di imballaggio; i fabbricanti; i trasformatori e gli importatori di imballaggi vuoti e di materiali di imballaggio), gli utilizzatori (in particolare le industrie e i distributori) e i consumatori.

La nuova normativa, in base al principio della responsabilità condivisa, assegna il compito della corretta gestione degli imballaggi e dei relativi rifiuti alle imprese, prevedendo la loro partecipazione obbligatoria a un sistema basato sul CONAI (CONsorzio NAzionale Imballaggi) e sui Consorzi per singolo materiale, costituiti e gestiti dalle imprese stesse allo scopo di assicurare il raggiungimento degli obiettivi globali di recupero e riciclaggio dei materiali per imballaggi e di garantire il necessario raccordo con l'attività di raccolta differenziata effettuata dalla Pubblica Amministrazione. Il CONAI è un organismo costituito nel 1997 da Confindustria insieme con le altre organizzazioni rappresentative della produzione, del commercio, dell'artigianato e della cooperazione.

Il "contributo ambientale CONAI", stabilito per ciascuna tipologia di materiale di imballaggio, rappresenta la forma di finanziamento attraverso cui il Consorzio ripartisce tra produttori e utilizzatori i costi della raccolta differenziata, del riciclaggio e del recupero dei rifiuti di imballaggi primari, secondari, terziari, determinati, sulla base del Programma Generale per la Prevenzione e la Gestione, in proporzione alla quantità totale, al peso e alla tipologia del materiale di imballaggio, immessi sul mercato nazionale, al netto della quantità di imballaggi riutilizzati.

Il contributo CONAI viene applicato dal produttore dell'imballaggio ed espresso in fattura per le vendite effettuate al proprio cliente utilizzatore di imballaggio, oppure dal produttore di materiali di imballaggio a un utilizzatore che produca da sé l'imballaggio per confezionare i propri prodotti (Regolamento CONAI, art.7 co. 2).

## Lo stress ossidativo nelle piante: funzioni cellulari rilevanti

Irene Murgia

Tutor: Prof. Carlo Soave

Università degli Studi di Milano

Dipartimento di Biologia

Via Celoria 26

20133 Milano

**M**olti stress ambientali causano nelle piante un danno di natura ossidativa, in quanto a livello cellulare viene prodotto un eccesso di specie reattive dell'ossigeno (ROS) che danneggiano importanti funzioni cellulari.

L'inattivazione dei fotosistemi PSI e PSII, che si verifica in condizioni fotoinibitorie, è causata dallo stato di sovrariduzione dei trasportatori fotosintetici di elettroni che diventano, attraverso varie reazioni, donatori di elettroni all' $O_2$  (prodottosi nella fase luminosa della fotosintesi) con formazione di diverse ROS.

Sono presenti a livello cellulare diversi meccanismi implicati nella eliminazione delle ROS; tali meccanismi sono inoltre finemente regolati.

Obiettivo della ricerca è lo studio delle funzioni geniche rilevanti nella capacità della pianta di rispondere allo stress ossidativo indotto da ozono o da condizioni fotoinibitorie. Abbiamo scelto di studiare le seguenti funzioni:

- tAPX, sAPX, cAPX (ascorbato perossidasi tilacoidale, stromatica e citosolica); tale enzima si occupa dello *scavenging* di  $H_2O_2$ ;
- At fer1 (ferritina); tale proteina è capace di sequestrare ioni ferro; riducendo quindi la disponibilità di ferro libero, può rallentare la reazione di Haber-Weiss con la quale si ha produzione di radicali ossidrilici.

Abbiamo iniziato la ricerca dei corrispondenti mutanti *knock-out* in una collezione di linee di *Arabidopsis thaliana* ottenute per mutagenesi inserzionale con l'elemento trasponibile di mais *Spm*: abbiamo individuato dei putativi positivi per Atfer1 e per cAPX: è tuttora in corso la validazione di tali positivi.

Per caratterizzare fisiologicamente tali mutanti, abbiamo messo a punto un metodo selettivo che permette di misurare la fotoinibizione utilizzando lo strumento PEA (Plant Efficiency Analyser). Con tale strumento sono misurati i parametri  $F_0$ ,  $F_m$ ,  $F_v/F_m$  (dove  $F_v = F_m - F_0$ ) in piante esposte a condizioni di stress ossidativo (alto irraggiamento e bassa temperatura). Tali parametri sono importanti indici dell'efficienza fotochimica di un sistema; infatti più  $F_v/F_m$  è basso, minore è l'efficienza fotochimica.

La misura della fotoinibizione con il PEA permette una valutazione quantitativa del danno ossidativo nelle linee di *A. thaliana* ed è inoltre non distruttivo per la pianta, in quanto si esegue su singola foglia.

Abbiamo quindi valutato il danno fotoinibitorio in piante di *Nicotiana tabacum* transgeniche che sovraesprimono il gene per la ferritina a seguito di

La condizione di troppa luce induce stress ossidativo nella pianta; quando infatti la luce è in eccesso rispetto alla capacità della pianta di utilizzare i prodotti del trasporto fotosintetico di elettroni (NADPH e ATP), si osserva un declino dell'assimilazione netta di  $CO_2$  e dell'evoluzione di  $O_2$ , fenomeno noto con il nome di fotoinibizione.

esposizione a bassa temperatura e alto irraggiamento; tali linee non sono più resistenti delle corrispondenti linee wt a tale tipo di stress.

Infine, tramite analisi con Northern blots, abbiamo visto che condizioni fotoinibitorie che dimezzano l'efficienza fotochimica in *A. thaliana* non inducono né la trascrizione del gene per la ferritina né quello della cAPX.

## Proposta di caratterizzazione degli aggregati da riciclo come materie prime secondarie per l'edilizia. Tecnologie avanzate di trattamento degli scarti da costruzione e demolizione

**Laura Nironi**

*Tutor: Prof. Giulio Ballio*

*ICITE-CNR Istituto Centrale per l'Industrializzazione e la Tecnologia Edilizia  
Via Lombardia 49  
Frazione Sesto Ulteriano  
20098 San Giuliano Milanese (MI)*

**Gli aggregati da riciclo vengono prodotti in grande quantità ogni anno in Italia, anche per la consistente disponibilità di rifiuti di C&D (34,3 milioni di t/anno) che possono essere trattati in impianti fissi; il loro utilizzo è però limitato alla realizzazione di sottofondi stradali, sia per una certa diffidenza degli operatori verso una loro più completa valorizzazione in edilizia, sia per l'esistenza di specifici vincoli normativi.**

L'impiego in edilizia degli aggregati riciclati ottenuti dal trattamento in impianti fissi dei rifiuti di costruzione e demolizione (C&D) richiede necessariamente una fase preliminare di caratterizzazione e verifica prestazionale che, almeno inizialmente, può essere impostata secondo le stesse procedure adottate per gli inerti di cava. Sulla base di tale premessa, è stata indagata la rispondenza degli aggregati riciclati provenienti da un impianto del territorio milanese ai requisiti minimi previsti in normativa per il confezionamento di calcestruzzi di media resistenza ed è stata verificata la loro idoneità all'uso mediante l'analisi prestazionale di blocchi con essi realizzati.

Una prima fase della ricerca è consistita nella caratterizzazione dal punto di vista chimico, fisico e meccanico di aggregati da frantumazione di solo calcestruzzo prelevati all'impianto Ecoter di Corbetta nell'aprile 1997 e novembre 1997 e disponibili nelle due frazioni granulometriche di 0/7 e 0/16 mm, effettuata secondo le procedure delle norme UNI 8520.

Successivamente, sono stati confezionati diversi conglomerati che ottimizzassero l'impiego degli aggregati riciclati in funzione delle loro proprietà, focalizzandosi su quegli aspetti riconosciuti, anche in base alla letteratura sull'argomento, come i più influenti rispetto alla qualità del prodotto finale. A tale scopo si è intervenuti soprattutto sulla curva granulometrica per sostituire la frazione fine, che risulta essere la più problematica, con percentuali crescenti di aggregati naturali, ma anche sul rapporto acqua/cemento e sulle procedure d'impasto, in relazione alle anomale caratteristiche di assorbimento di acqua degli aggregati riciclati. Il contenuto di aggregati riciclati utilizzati era compreso tra il 60 e il 100%.

Infine, due tipologie di blocchi forati sono stati prodotte sperimentalmente e sono state sottoposte alle prove prestazionali previste da un progetto di norma UNI attualmente in fase di definizione. Nella formulazione, la sabbia naturale di frazione 0/8 mm è stata sostituita con sabbia riciclata con il medesimo assortimento granulometrico, per un contenuto di aggregati riciclati pari al 69% nei blocchi faccia a vista e al 34% nei blocchi da intonaco.

I risultati della caratterizzazione degli aggregati hanno mostrato che entrambe le frazioni si collocano ampiamente entro i limiti di accettabilità tranne che nel caso degli aggregati fini per quanto riguarda i solfati solubili. Si



ipotizza che all'origine della maggiore concentrazione di inquinanti nelle frazioni fini vi sia la presenza proporzionalmente più rilevante di vecchia malta aderente ai granuli, arginabile in sede normativa mediante l'imposizione di limiti più elevati per la massa volumica così da ridurre la presenza di materiali più leggeri dannosi, quali la malta stessa. La verifica prestazionale dei calcestruzzi ha fornito valori di resistenza a compressione ampiamente superiori al minimo di legge per le strutture in cemento armato (DM LL.PP. 19/96), e i migliori risultati si sono avuti laddove la frazione fine riciclata più problematica (<2 mm) è stata sostituita con sabbia naturale. In più, la campagna di prove sui blocchi ha confermato i buoni risultati raggiunti, sia dal punto di vista del confronto prestazionale con i blocchi tradizionali sia dal punto di vista della conformità ai valori limite presenti in normativa e riferiti ai blocchi con aggregati naturali.

Emerge quindi come l'impiego in edilizia dei rifiuti di C&D si configuri non solo come doverosa alternativa allo sfruttamento di risorse naturali limitate e contributo essenziale alla riduzione del problema dei rifiuti da smaltire in discarica, ma anche come soluzione più che soddisfacente dal punto di vista tecnico. I dati positivi emersi da questa e da altre ricerche non sono però attualmente sufficienti a creare un mercato di prodotti edilizi contenenti materiale riciclato che stenta a decollare non solo per la mancanza di una rete capillare di impianti fissi di frantumazione, che provoca difficoltà di approvvigionamento di materie prime seconde e conseguenti prezzi non competitivi rispetto alle materie prime naturali, ma anche per la presenza di forti vincoli normativi. Un segnale positivo si rileva al momento nella prevista emanazione di nuovi standard europei di tipo prestazionale (prEN 12620) che consentiranno di utilizzare anche aggregati riciclati le cui prestazioni siano adeguate all'impiego previsto.

**La conformità degli aggregati riciclati ai requisiti di legge per l'utilizzo in nuovo calcestruzzo dovrà essere suffragata da ulteriori ricerche tese soprattutto a verificare la costanza nel tempo dei buoni risultati ottenuti, a fronte di una possibile continua disomogeneità dei rifiuti di C&D conferiti all'impianto di trattamento.**

## Andamento delle concentrazioni di ozono troposferico nelle Alpi e Prealpi lombarde

**Barbara Ottobrini**

*Tutor: Dr. Emile De Saeger*

*Centro Comune di Ricerca  
Istituto per l'Ambiente  
Via E. Fermi 1  
21027 Ispra (VA)*

L'ozono è uno dei più importanti gas traccia non solo della stratosfera, ma anche della troposfera. L'interesse per questo parametro a livello troposferico è dovuto al ruolo chiave che ricopre nella chimica dell'atmosfera, al suo elevato potere antiossidante (nocivo per la salute umana e dannoso per l'ecosistema) e al suo contributo nella variazione del clima in qualità di gas "serra".

L'ozono troposferico ha origine sia naturale che antropogenica; la sua concentrazione è il risultato di processi di formazione, distruzione e trasporto.

L'ozono naturale aumenta con la quota, ecco perché le regioni di montagna sono aree particolarmente a rischio.

La regione prealpina, un territorio caratterizzato da un'orografia complessa, con grandi e piccoli laghi e valli a orientamento irregolare ripartite tra Svizzera (Canton Ticino e Vallese) e Italia, è stata oggetto nel corso degli ultimi anni di ripetuti episodi di elevate concentrazioni di ozono.

La massiccia barriera alpina funge da ostacolo naturale alle perturbazioni di origine atlantica: sono frequenti fenomeni di ciclogenesi a ridosso delle Alpi, come pure lunghi periodi anticiclonici con venti deboli a circolazione locale (brezze) e nella stagione fredda inversioni termiche di subsidenza.

I fattori potenzialmente responsabili di elevati livelli di ozono in queste regioni sono:

- l'incremento delle emissioni dei precursori, a causa dell'aumento del traffico turistico stagionale, lungo le principali autostrade N-S, nelle zone dei laghi e nelle vallate;
- la persistenza di condizioni anticicloniche associata a un'elevata insolazione e a venti deboli negli strati più bassi dell'atmosfera.

Nel corso degli anni l'aumento del numero delle stazioni di monitoraggio, installate a diverse altitudini nel Nord Italia e nella Svizzera meridionale, ha permesso di raccogliere una quantità notevole di informazioni dei livelli di ozono e di alcuni parametri chimici a esso correlati.

La scelta delle stazioni, i cui dati sono inseriti nel database, è stata fatta in modo tale da coprire il più possibile il territorio contemplato nel progetto.

Purtroppo una buona parte dell'area risulta difficilmente accessibile e rende impossibile l'installazione di stazioni automatiche per il rilevamento degli inquinanti. Inoltre, per interpretare l'andamento delle concentrazioni super-

ficiali di ozono è opportuno considerare le caratteristiche dei diversi punti di rilevamento che presentano differenti meccanismi fotochimici di formazione e distruzione di ozono a causa della diversa composizione chimica dell'atmosfera.

Misure continue di ozono a livello di superficie, campionate ad altitudini diverse e in siti diversi dell'area alpina sud-occidentale, durante il periodo 1994-98 sono confrontate al fine di stabilire una relazione tra il percorso della massa d'aria, le emissioni dei precursori e la distribuzione spaziale di ozono. Sono stati inoltre selezionati alcuni episodi analizzati in funzione del tipo e dell'altitudine del punto di rilevamento e interpretati sulla base dell'andamento nazionale ed europeo del fenomeno e delle condizioni meteorologiche dominanti l'Europa.

La rappresentazione cartografica della distribuzione delle concentrazioni di ozono è stata realizzata mediante l'utilizzo del programma SURFER usando il metodo Kriging (linear variogram model, smooth contour high). Per i siti scelti come riferimento, sono stati verificati i corrispondenti valori nelle isocurve calcolate dal computer. È da precisare che le curve di isoconcentrazione lontane dai siti di campionamento sono da ritenersi approssimate a causa dell'algoritmo di calcolo utilizzato.

Ai dati raccolti nel database è stata affiancata una campagna di misura effettuata nell'estate 1998 in Valtellina, in cui è stato utilizzato un LIDAR differenziale (LIght Detection And Ranging). Durante la campagna sono state effettuate misure della distribuzione verticale di ozono con condizioni meteorologiche favorevoli al verificarsi di episodi fotochimici.

## **Criteria metodologici e applicativi per la rinaturalizzazione di aree ad alta criticità ambientale, con particolare riferimento al settore “Chiaravalle” nel Parco Regionale Agricolo Sud Milano**

**Emilio Padoa Schioppa**

*Tutor: Prof. Vittorio Ingegnoli*

*Università degli Studi di Milano  
Dipartimento di Biologia  
Via Celoria 26  
20133 Milano*

**L**e aree ad alta criticità ambientale rappresentano spesso i settori nei quali sono prioritari interventi di ripristino ecologico, al fine di garantire una rinaturalizzazione completa o parziale. L'ecologia del ripristino ambientale ha ben illustrato come proprio in questi settori dell'ambiente, qualora si intervenga con opportuni progetti, si possano ottenere risultati significativi anche dal punto di vista della conservazione biologica.

L'ecologia del paesaggio è la disciplina che permette di collocare nel corretto contesto spaziale e temporale i progetti che intervengono a questo livello dello spettro biologico.

Le aree ai margini delle grandi metropoli quasi sempre possono essere considerate come siti ad alta criticità ambientale. Nel settore “Chiaravalle” del Parco Regionale Agricolo Sud Milano si assiste a un diffuso degrado ambientale, generato in buona parte dall'abbandono di pratiche agricole (risaie e marcite, con una complessa rete di filari attorno ai campi) che permettevano la coesistenza di popolazioni antropiche e popolazioni animali, a favore di un'agricoltura intensiva e di insediamenti industriali. A livello ecologico si notano conseguenze tanto alla scala paesistica (rottura delle reti ecologiche, destrutturazione del paesaggio, isolamento dei pochi nuclei di naturalità), quanto alla scala ecosistemica (scomparsa quasi totale della vegetazione autoctona, inquinamento delle acque e dei suoli, declino delle popolazioni naturali).

La ricerca, incominciata nel 1998, si propone i seguenti obiettivi:

- aggiornamento al 1997 degli indici di ecologia del paesaggio relativi alla regione Lombardia;
- stesura di un protocollo metodologico di pianificazione ecologica in aree ad alta criticità ambientale;
- individuazione degli ecotopi da rinaturalizzare prioritariamente nel settore di Chiaravalle;
- approfondimento di alcune tematiche naturalistiche nell'ambito della pianificazione ecologica proposta nel settore in esame, necessarie agli interventi applicativi a scala esecutiva;
- progetto di rinaturalizzazione dei più importanti ecotopi del Parco Sud, settore “Chiaravalle”, a scale adatte a interventi esecutivi.

Nel corso di quest'anno si è proceduto focalizzando l'attenzione sul primo punto, in quanto ottenere dei valori di riferimento per gli indici di ecologia del paesaggio (in particolare: Biopotenzialità territoriale – Btc – espressa in Mcal/m<sup>2</sup>/anno; Habitat Standard – HS – espresso in m<sup>2</sup>/abitante; e gli indici di connettività) permette poi di individuare gli obiettivi e misurare la portata dei progetti di rinaturalizzazione. È stata quindi proposta una revisione di alcuni dei valori di riferimento per Btc e HS, a seguito delle ultime trasformazioni territoriali della regione, ed è stato valutato un metodo per la misurazione della connettività, secondo la teoria dei grafi.

È stato inoltre identificato il mosaico ecologico, al fine di individuare gli ecotopi su cui intervenire per effettuare un intervento di ripristino ambientale. L'identificazione dell'ecomosaico è avvenuta a tre differenti scale temporali, per individuare la dinamica del sistema e per comprendere meglio l'attuale situazione ambientale.

Contemporaneamente sono stati avviati gli studi di approfondimento delle tematiche naturalistiche, individuando nelle popolazioni di Odonati e nella strutturazione dei filari, dei buoni indicatori ambientali a livello paesistico. Per quanto riguarda gli Odonati sono state eseguite delle analisi mirate a ottenere una valutazione qualitativa sul popolamento esistente in alcune zone umide del Parco Sud; i risultati hanno mostrato che la diversità specifica ha dei valori piuttosto soddisfacenti rispetto ai valori massimi teoricamente riscontrabili in un'area come questa (15 specie su una trentina potenziali). Sui filari è stata messa a punto una tabella di valutazione, mutuata da esperimenti fatti in altri Paesi, che racchiude tutti i principali caratteri di un filare.

Questi risultati, integrati dalle analisi ancora da svolgere nel 1999, permetteranno di redigere un progetto applicativo per la rinaturalizzazione di alcuni ecotopi e di preparare un protocollo metodologico per la pianificazione ambientale in aree ad alta criticità ambientale.

## **Valutazione con l'ausilio di Sistemi Informativi Territoriali dell'impatto antropico sugli habitat e sulla demografia della fauna alpina lombarda**

**Gianmarco Paris**

*Tutor: Prof. Marino Gatto*

*Politecnico di Milano  
Dipartimento di Elettronica e Informazione  
Via Ponzio 34/5  
20133 Milano*

**L'impatto antropico in Lombardia ha profondamente alterato i cicli biologici di molte specie animali, un tempo influenzate unicamente dalle variazioni dei fattori biotici e abiotici.**

**I**l notevole sviluppo delle attività commerciali e turistiche che si è verificato negli ultimi cinquant'anni ha profondamente modificato il territorio lombardo e, di conseguenza, la sua fauna. L'attività antropica, oltre al disturbo diretto causato dalla presenza dell'uomo, produce infatti una forma di disturbo indiretto dovuto dalla realizzazione delle infrastrutture necessarie a garantire sia le attività turistiche e ricreative che quelle legate al commercio. Questo, inevitabilmente, determina la frammentazione degli habitat di molte specie faunistiche: le popolazioni originarie, un tempo numerose e distribuite in vasti areali, vengono così suddivise in sottopopolazioni più piccole e in scarso contatto tra loro, divenendo più vulnerabili alle normali fluttuazioni delle condizioni ambientali quali estati particolarmente siccitose o inverni molto rigidi. Ciò contribuisce a rallentare, o in certi casi a impedire, la ricolonizzazione di areali da cui una popolazione si sia estinta, generando una nuova serie di problemi da affrontare per una gestione sostenibile della fauna alpina.

La gestione della fauna in Lombardia è un tipico esempio di problema in cui si devono considerare obiettivi diversi e tra loro contrastanti. Se da un lato si deve poter ottenere un prelievo venatorio costante e soddisfacente e si deve permettere la fruizione turistica del territorio, dall'altro si deve garantire la capacità riproduttiva delle specie e quindi la sopravvivenza delle popolazioni che svolgono un ruolo importante per l'equilibrio degli ecosistemi. Emerge pertanto la necessità di sviluppare strumenti quantitativi, basati su considerazioni scientifiche, che i responsabili della gestione territoriale possano efficacemente utilizzare come strumento di supporto decisionale.

In questo lavoro sono state applicate alla realtà del territorio lombardo due differenti metodologie quantitative: modelli di valutazione faunistica e analisi di sopravvivenza delle popolazioni. HSI (Habitat Suitability Indices) e PVA (Population Viability Analysis) sono tra i metodi più utilizzati nella gestione della fauna selvatica. Gli HSI sono procedure statistiche che mirano alla determinazione delle relazioni tra una specie e l'habitat in cui normalmente vive e possono essere utilizzati per analizzare la vocazione di nuove aree, dove la specie non è presente, per un'eventuale reintroduzione. La PVA, a differenza degli HSI che sono procedure fondamentalmente statiche, considera invece l'andamento demografico di una popolazione soggetta sia a fluttuazioni natu-

rali sia al disturbo antropico e valuta la probabilità di estinzione della popolazione in un arco di tempo prefissato. Inoltre questa ricerca si propone di integrare le operazioni necessarie alla costruzione dei modelli di valutazione faunistica con le funzioni di analisi spaziale di un sistema informativo geografico all'interno di un software di facile uso (VVF – Valutazione della Vocazionalità Faunistica) per automatizzare alcune operazioni tipiche degli HSI e visualizzare su una mappa digitale i risultati delle analisi di vocazionalità.

La ricerca si articola in due diverse sezioni. Nella prima sezione, sono state allestite e implementate nel software VVF una banca dati di modelli di valutazione ambientale per alcune specie di ungulati e una banca dati cartografica relativa alla provincia di Sondrio. Per il camoscio in particolare, sono state prodotte e confrontate due diverse mappe di vocazionalità generate applicando due differenti modelli al territorio del comprensorio alpino di Chiavenna. È stata inoltre simulata su base cartografica la costruzione di un nuovo impianto sciistico per valutare e quantificare i potenziali cambiamenti di vocazionalità dell'area interessata. Le analisi hanno messo in luce le potenzialità di questi modelli come strumento di supporto decisionale per la gestione della fauna e del territorio.

Nella seconda sezione, è stato sviluppato un modello di tipo PVA per un popolamento di camoscio dell'Azienda Faunistica Val Belviso-Barbellino. Il modello è stato sviluppato per individuare i fattori che determinano la dinamica della popolazione per poter in seguito elaborare previsioni demografiche in funzione di diverse politiche di gestione della caccia. Il modello ha evidenziato che la sopravvivenza della popolazione varia in funzione sia dell'età che della densità totale. È emerso inoltre che l'effetto della densità è più accentuato sulle femmine e che la vita attesa delle femmine è maggiore di quella dei maschi, in accordo con quanto osservato sul campo. Il modello demografico è stato infine applicato ad altre popolazioni di camoscio insediate nella provincia di Sondrio.

**La gestione di popolazioni frammentate e l'individuazione di zone adatte alla reintroduzione di specie a rischio di estinzione saranno due punti di estrema importanza nella futura gestione della fauna.**

**L'integrazione in un software di facile utilizzo dei modelli di valutazione faunistica con le potenzialità di un SIT fornisce uno strumento gestionale che può trovare impiego presso le autorità preposte alla tutela del territorio e della fauna.**

## Individuazione e messa a punto di processi alternativi con ridotta produzione di rifiuti

**Fabio Pedrani**

*Tutor: Prof. Domenico Giusto*

*Università degli Studi di Milano  
Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio  
Via Emanuelli 15  
20126 Milano*

**L**e tecnologie a basso spreco sono interventi sui processi produttivi che consentono di ridurre l'impatto ambientale attraverso il risparmio di risorse e la diminuzione della quantità di reflui liquidi e gassosi e dei rifiuti solidi generati.

In questa ottica sono da considerarsi tecnologie a basso spreco:

- le modificazioni ai processi produttivi che consentono di usare meno energia, meno acqua e meno materie prime per unità di prodotto finito, migliorando i rendimenti di processo;
- le manutenzioni programmate che riducono le perdite di materie prime e prodotti e migliorano l'efficienza degli impianti e le rese dei processi;
- la separazione dei flussi di scarico per consentire maggiore facilità di recupero e di riciclo delle sostanze contenute nei reflui stessi;
- il cambiamento di materie prime per ottenere sottoprodotti recuperabili.

In quest'ottica è stato studiato il recupero di tre diversi tipi di reflui industriali:

- bagni di decapaggio esausti contenenti ferro oppure ferro e zinco dall'industria meccanica e metallurgica;
- catalizzatori esausti contenenti vanadio e molibdeno da processi di ossidazione chimica e residui di lavorazione di catalizzatori contenenti vanadio;
- paste da stampa esauste dall'industria tessile e tintoria.

Per ogni reflu sono stati sperimentati diversi schemi di processo finalizzati al recupero di prodotti chimici da inserire nello stesso o in altri processi produttivi, oppure all'utilizzo di un reflu come materia prima alternativa.

I bagni di decapaggio cloridrici contenenti ferro sono stati miscelati con acido cloridrico di recupero proveniente dalla sbazzatura del cotone e trattati con polvere di carbonato di calcio, proveniente dal processo di lavorazione del marmo, o con idrossido di calcio, per ottenere soluzioni di cloruro di calcio esenti da ferro e con una concentrazione di almeno 380 g/l, e un precipitato di idrossido di ferro.

Per i bagni di decapaggio contenenti ferro e zinco è stata sperimentata la separazione dei due metalli: si è separato il ferro ancora come idrossido, mentre sono state ottenute soluzioni contenenti zinco sotto forma di cloruro, oppure come ammonio o idrossido complesso.

Si è ottenuta una resa per il processo di recupero dello zinco con valori compresi tra il 60 e il 63%.



Per i catalizzatori contenenti vanadio e molibdeno sono stati messi a punto due differenti processi. Un processo prevede un iniziale trattamento alcalino del catalizzatore in modo da ottenere una soluzione contenente vanadio sotto forma di ione vanadato, che viene precipitato come vanadato d'ammonio per aggiunta di cloruro d'ammonio solido con una resa del 65% circa, e un residuo contenente la maggior parte del molibdeno. L'altro processo invece prevede un iniziale trattamento acido e un successivo stadio di ossidazione con ipoclorito di sodio in modo da poter neutralizzare la soluzione e ottenere di nuovo la precipitazione del vanadio come vanadato d'ammonio, con una resa del 73% circa.

In entrambi i processi si ottengono soluzioni e residui arricchiti in molibdeno.

Per il residuo di lavorazione del catalizzatore contenente vanadio sono stati messi a punto due schemi di processo simili ai precedenti nei quali si è verificata l'importanza dello stadio di ossidazione con ipoclorito anche nel processo alcalino. Le rese di recupero del vanadio salgono, per questo residuo, a valori vicini al 95% per entrambi i processi.

Per le paste da stampa è stata verificata la possibilità di utilizzarle nell'industria del cuoio e del pellame come riducente alternativo allo sciroppo di glucosio nella preparazione di soluzioni di solfato di cromo (III) a partire da bicromato di sodio e acido solforico.

È stato inoltre studiato un metodo di smaltimento alternativo che consiste in un'ossidazione chimica con acido nitrico in presenza di acido solforico a caldo. Lo schema di processo sperimentato consente di degradare completamente la parte organica della pasta da stampa recuperando l'acido nitrico e riciclandolo all'interno del sistema.

## I rifiuti solidi urbani e il loro trattamento: messa a punto di metodiche per la caratterizzazione chimico-tossicologica e loro utilizzo per una valutazione comparativa del rifiuto

**Paola Pierucci**

*Tutor: Dr. Emilio Benfenati*

*Istituto di Ricerche Farmacologiche "Mario Negri"*

*Dipartimento di Ambiente e Salute*

*Via Eritrea 62*

*20157 Milano*

**G**li RSU (rifiuti solidi urbani) possono contenere dal 25 al 30% di cartacei, il 10% circa di vetro, fino al 9% di metalli e il 16% fra gomma e plastiche. Un buon 25% è poi costituito da sostanze organiche, una vasta gamma di composti di cui solo alcuni sono noti. Nella ricerca si è studiata proprio questa frazione che in gran parte è costituita da sostanze presenti fin dall'origine, mentre i composti derivanti dalle successive trasformazioni dipendono essenzialmente dalle condizioni di trattamento. Un ampio *screening* qualitativo è stato necessario per un'indagine la più completa possibile del tipo di sostanze presenti nel materiale da noi analizzato: campioni di RSU provenienti da raccolta non differenziata.

L'applicazione di varie tecniche estrattive, sia classiche (estrazione con solventi a diversa polarità), sia innovative (microestrazione in fase solida della frazione volatile e semivolatile), in combinazione con l'analisi in GC-MS (gascromatografia-spettrometria di massa), ha permesso il riconoscimento di un notevole numero di composti organici presenti nel materiale. L'analisi di diversi campioni ha evidenziato una certa uniformità di composizione.

In collaborazione con una società leader nello smaltimento/trattamento degli RSU (ECODECO) e con l'Università di Milano (Facoltà di Agraria) è stato affrontato un interessante studio su un processo di fermentazione aerobica di RSU in un fermentatore pilota dotato di un biofiltro per l'abbattimento degli odori.

In particolare sono stati messi a punto metodi di analisi qualitativa delle emissioni gassose e di determinazioni quantitative di alcune delle sostanze presenti nei gas di scarico del fermentatore, selezionate in base alla loro abbondanza, impatto ambientale e limite di rilevabilità odorimetrico. In questo modo viene considerato anche il problema degli odori, uno dei punti di maggiore dibattito a livello di opinione pubblica.

L'analisi della parte aeriforme è servita sia per determinare l'entità delle emissioni in aria di questo materiale durante la sua inertizzazione in condizioni aerobiche, sia per la valutazione dell'efficacia del biofiltro. La maggior parte delle sostanze nell'emissione aeriforme è costituita da sostanze a struttura idrocarburica, molte delle quali di natura terpenica, odorose, ma non tossiche.

**La frazione volatile e quella semivolatile sono state analizzate con la tecnica dello spazio di testa perché permette una maggiore percentuale di identificazione dei composti di interesse.**

**Durante lo studio su un impianto pilota di un processo di trattamento aerobico degli RSU, vengono determinate qualitativamente le sostanze più odorose rilasciate dalla biomassa.**

Altri composti aventi nuclei aromatici possono dare problemi di tossicità come il diclorobenzene e lo stirene. Evidente è stata la diminuzione dell'emissione totale dal primo giorno alla fine del processo.

Sono state effettuate alcune prove odorimetriche da persone aventi una speciale certificazione per questo tipo di prove e i risultati, in termine di diluizione del campione rapportato alla rilevazione o meno dell'odore, appaiono concordanti con i risultati cromatografici.

Il biofiltro applicato ha dato risultati differenti a seconda del tipo di sostanza, ma andrà diminuita la pezzatura media del materiale.

Sono state anche analizzate le acque di condensa formatesi durante il processo, che hanno mostrato contenere sostanze a struttura diversa rispetto a quelle identificate nella parte gassosa.

**Il monitoraggio della temperatura della biomassa, del consumo di ossigeno e della relativa produzione di anidride carbonica hanno permesso di seguire il processo nella sua durata (7 giorni).**

## Carichi critici da deposizioni atmosferiche totali in un bacino idrografico della Valtellina

Marta Prina

Tutor: Dr. Raffaella Balestrini

CNR Istituto di Ricerca sulle Acque  
 Reparto Sperimentale di Idrobiologia Applicata  
 Via della Mornera 25  
 20047 Brugherio (MI)

Lo studio condotto in Val Masino, collocata sul versante retico della Valtellina e caratterizzata da suoli acidi con boschi costituiti in prevalenza da conifere, ha portato alla definizione del carico critico di azoto come nutriente a livello locale, per un bacino di circa 25 km<sup>2</sup>.

L'accumulo di azoto nei suoli è dovuto principalmente alla deposizione atmosferica e alla fissazione di azoto gassoso da parte dei microrganismi del suolo.

In tempi recenti, la necessità di controllare le emissioni di inquinanti atmosferici al fine di prevenire effetti dannosi all'ambiente ha condotto alla definizione del concetto di carico critico, inteso come il più alto valore di deposizione di specie chimiche che, sulla base delle attuali conoscenze scientifiche, non determina effetti negativi sugli elementi più sensibili dell'ecosistema naturale. Lo studio dei carichi critici delle specie azotate si è sviluppato considerando non solo l'effetto di acidificazione, ma anche di eutrofizzazione che un surplus di deposizione può provocare a livello dell'ecosistema.

Scopi di questa ricerca sono lo studio del carico critico di azoto come nutriente e la valutazione del ruolo svolto da questa specie chimica nei processi di acidificazione, in una valle trasversale della Valtellina, la Val Masino, che risulta essere tra le aree italiane più sensibili all'acidificazione. A tale proposito quest'area è stata ampiamente studiata negli ultimi anni per valutare le interazioni tra inquinamento atmosferico ed ecosistemi forestali.

Per valutare il ruolo dell'azoto come nutriente, si è indagata la capacità di trattenimento-rilascio di questa specie nell'ecosistema studiato applicando il metodo del bilancio di massa. In tale modello si considera come *input* il flusso di deposizione atmosferica che, per il periodo 1994-98, ha presentato un valore medio annuale di 13 kg ha<sup>-1</sup>, mentre la quantità di azoto in uscita è rappresentato dal carico del torrente Masino, calcolato alla sezione di chiusura idrografica.

Per caratterizzare l'area, l'intero bacino è stato suddiviso in aree omogenee per copertura vegetale e uso del suolo. Alle aree boscate è stato attribuito il carico misurato sottochioma, mentre alle aree non boscate è stato esteso il carico misurato in campo aperto. Inoltre, alle aree a un'altitudine superiore ai 2400 m sono stati attribuiti i valori misurati in campioni nevosi prelevati a una quota di circa 2600 m.

Una delle verifiche più significative delle assunzioni implicite nel metodo da noi utilizzato è stata la valutazione del bilancio di massa dei cloruri, specie chimica conservativa per eccellenza e, come atteso, gli *input* e gli *output* sono risultati bilanciati, con un'incertezza di  $\pm 10\%$ .

Per le altre specie considerate nel bilancio, gli *output* eccedono gli *input* per solfati, calcio e magnesio, mentre per l'azoto totale il 60% degli *input* viene trattenuto dall'ecosistema e il 40% fuoriesce dal bacino.

Il flusso atmosferico di azoto nell'area di studio è eccedente per circa 1000 eq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> rispetto al carico critico di azoto come nutriente (411 eq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) ottenuto dalle mappe EMEP (Cooperative Programme for Monitoring and Evaluation of long-range Transmission of Air Pollutants in Europe) con una risoluzione di 50x50 km<sup>2</sup>. Questa eccedenza evidenzia un forte surplus di deposizione atmosferica.

Il ruolo dell'azoto come acidificante è legato al dilavamento dal suolo dell'azoto nitrico, che libera protoni e cationi basici, in modo analogo al solfato, acidificando e impoverendo il terreno. Questo aspetto è stato studiato applicando un metodo proposto recentemente per bacini che mantengono spiccate caratteristiche naturali. Esso è basato sui valori della concentrazione di azoto nitrico nel *run-off* che riflette la capacità di assorbimento di azoto della vegetazione e della popolazione microbica associata all'ecosistema.

I valori di azoto nitrico misurati nel periodo maggio 1997-novembre 1998 sono risultati compresi tra 14 e 32 µeq l<sup>-1</sup>, con minimi estivi e massimi invernali e primaverili. Questo comportamento è legato al differente utilizzo dell'azoto da parte della componente biologica dell'ecosistema. Nei mesi estivi lo sviluppo vegetativo e l'attività microbica hanno infatti come risultato l'immobilizzazione di grandi quantità di azoto, con conseguente riduzione del dilavamento. Anche fattori fisici, quali lo scioglimento della neve, influenzano la concentrazione del nitrato nel *run-off*, determinando picchi primaverili. Sulla base dei risultati ottenuti è stato quindi possibile collocare l'area di saggio in uno stadio di saturazione intermedio che caratterizza ecosistemi in cui la domanda biologica di azoto non influisce sulle concentrazioni invernali e primaverili di nitrati e il periodo di limitazione da azoto, durante la stagione vegetativa, è molto ridotto.

## Valutazione della pericolosità idrogeologica sulle conoidi

**Stefano Quattrini**

*Tutor: Prof. Giovanni Crosta  
Dr. Massimo Ceriani*

*Università degli Studi di Milano  
Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio  
Via Emanueli 15  
20126 Milano*

*Regione Lombardia  
Servizio Geologico e Riassetto del Territorio  
Via Fabio Filzi 22  
20124 Milano*

**Lo studio sta sviluppando una metodologia di analisi delle conoidi alpine al fine della perimetrazione della pericolosità su questi ambienti delle vallate alpine. Questa metodologia viene applicata sul terreno per determinare, su alcune conoidi della Valcamonica, i settori a maggiore pericolosità al fine di fornire indicazioni per una più corretta pianificazione urbanistica.**

**L**o studio delle conoidi detritico-alluvionali riveste un'importanza fondamentale per la necessità di predisporre strumenti conoscitivi circa la loro pericolosità idrogeologica a fini di pianificazione territoriale e di protezione civile. Le conoidi detritico-alluvionali sono soggette a riattivazioni controllate dalle caratteristiche dei bacini idrografici retrostanti e in particolare dai fenomeni di dissesto che vi si verificano (frane, erosioni, trasporti di massa ecc.). La riattivazione può essere a carattere prevalentemente alluvionale o di trasporto di massa. Il Servizio Geologico e Riassetto del Territorio della Regione Lombardia, in collaborazione con il Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio, II Università di Milano-Bicocca Milano, sta sviluppando un progetto di ricerca sui dissesti idrogeologici.

Si perseguono i seguenti obiettivi per l'individuazione delle conoidi a elevata pericolosità:

- definizione di una metodologia di studio per le conoidi alpine;
- caratterizzazione geologica, geomorfologica e idraulica;
- valutazione della pericolosità e del rischio idrogeologico;
- creazione di un supporto informatico relazionale per l'archiviazione dei dati e per la loro rappresentazione grafica ed elaborazione;
- pubblicazione di una monografia specifica (Atlante delle conoidi) in cui siano presentati i risultati dell'intera ricerca sul territorio regionale.

Numerose metodologie per la valutazione della pericolosità sulle conoidi sono state presentate in letteratura. Alcune metodologie (D'agostino, 1996; Marchi & Tecca, 1996; Kostaschuk *et al.*, 1986) permettono di identificare la tipologia e/o il volume del trasporto che può interessare la conoide. Queste consentono di avere indicazioni sulla pericolosità in base ad alcuni parametri morfometrici (area della conoide, area del bacino, pendenza della conoide, indice di Melton ecc.). Altri autori (Aulitzky, 1982; Kellerhals & Church, 1990; Schumm *et al.* 1996, Nakamura, 1980) propongono delle metodologie qualitative per la zonazione della pericolosità sulle conoidi.

La metodologia di studio proposta prevede la raccolta e l'analisi dei dati da rilievi in sito, dalle pubblicazioni tecnico-scientifiche disponibili e da documenti storici (archivi, mappe, fotografie, riprese aeree ecc.). Questo metodo consente di ottenere la zonazione della pericolosità geologica sulle conoide e può essere condotto in tempi relativamente brevi, consentendo di programmare eventuali interventi di difesa e le conseguenti scelte pianificatorie. L'analisi sul campo, ai fini della valutazione e zonazione della pericolosità, deve riconoscere lungo l'alveo sulla conoide:

- i settori con diversa influenza sul deflusso delle portate solido-liquide (restringimenti, diminuzione della pendenza, curve);
- le zone che possono modificare, catturare e deviare il deflusso (paleoalvei, viabilità e attraversamenti di fondo alveo, bacini naturali di espansione ecc.);
- le opere presenti sulla conoide (opere idrauliche come briglie, soglie, argini, pennelli, vasche di laminazione, tombinature; ponti) e la loro azione e influenza sul deflusso. I ponti in particolare giocano un ruolo fondamentale nel modificare le possibili direttrici di deflusso soprattutto in caso di trasporto in massa.

L'approfondita analisi della documentazione e dei dati raccolti durante i sopralluoghi permette di individuare le aree della conoide interessate in passato da fenomeni di dissesto. Il quadro di riferimento storico (frequenza piene, portate solide e liquide, danni causati, aree di esondazione e accumulo ecc.) viene poi inserito nella situazione attuale del torrente, tenendo conto delle modificazioni intervenute sulle opere e sull'urbanizzato, cercando di valutare l'efficacia delle opere esistenti in occasione di eventi estremi. Il risultato finale di questa fase è la costruzione della Carta di pericolosità, strumento fondamentale per la corretta pianificazione e l'eventuale realizzazione di interventi di mitigazione. Con le procedure sopra elencate sono state prodotte le Carte di pericolosità di circa 10 conoide mentre sono stati avviati gli studi per circa 40 conoide in Valcamonica, Valchiavenna e Valtellina.

**La creazione di una scheda di raccolta e di archiviazione dei dati consente di sintetizzare le osservazioni e di gestire le stesse entro un Sistema Informativo Geografico. In particolare, le schede informatizzate per questo progetto (tramite impiego del database Microsoft ACCESS®) saranno compatibili con quelle del SIT della Regione Lombardia (ARC/INFO®-ARCVIEW®).**

## Parametri biochimici e fisiologici come bioindicatori di inquinamento

Alberto Rivetta

Tutor: Prof. Maurizio Cocucci

Università degli Studi di Milano  
Dipartimento di Fisiologia delle Piante Coltivate e Chimica Agraria  
Via Celoria 2  
20133 Milano

**N**egli ultimi anni l'immissione di inquinanti inorganici e organici nell'ambiente è aumentata consistentemente soprattutto a causa delle attività antropiche, e tale fenomeno costituisce a tutt'oggi un serio problema per la salute dell'uomo.

Oltre al controllo della diffusione di inquinanti nell'ambiente, gli sforzi indirizzati a risolvere questo problema hanno considerato soprattutto la messa a punto di tecniche per la decontaminazione di siti a elevato inquinamento e lo sviluppo di metodologie per il monitoraggio dell'introduzione di sostanze inquinanti nei suoli, nell'aria e nelle acque. È da sottolineare che i metodi tradizionali utilizzati sia per la decontaminazione sia per il monitoraggio risultano molto costosi e spesso non particolarmente adatti allo scopo. Come possibili metodi alternativi, recentemente si sta valutando la possibilità di utilizzare organismi viventi, per esempio le piante, per assorbire dal suolo o dall'acqua inquinanti, per esempio metalli pesanti, che possono essere asportati con il prelievo della pianta (*phytoremediation*). Tra i possibili metodi di biomonitoraggio, molto interessante è quello che utilizza come bioindicatori le risposte delle piante alla presenza di sostanze tossiche, e in particolare le modificazioni dei processi biochimici e fisiologici provocate dall'azione diretta o indiretta della sostanza tossica su attività biochimiche e funzioni fisiologiche. È ragionevole ipotizzare che in organismi capaci di vivere in presenza di sostanze tossiche inquinanti i meccanismi biochimici e fisiologici legati alla tolleranza agli inquinanti possano essere molto efficienti.

Il presente studio è stato rivolto all'individuazione di parametri biochimici e fisiologici indicatori della presenza di metalli pesanti, utilizzati come modello di inquinanti. La ricerca è stata condotta utilizzando il giacinto d'acqua (*Eichhornia crassipes*) come pianta modello poiché è in grado di vivere in acque inquinate da diverse sostanze tossiche sia inorganiche che organiche e può assorbire notevoli quantità di diversi metalli pesanti.

Piante di giacinto di 5-15 g di peso fresco erano incubate per 1, 2 e 3 giorni in presenza di concentrazioni di  $\text{CdCl}_2$  0,05, 0,5 e 5  $\mu\text{M}$  somministrato in flusso continuo (600 ml  $\text{h}^{-1}$ ); la crescita delle piante, misurata come incremento sia di peso fresco sia di peso secco dei vari organi della pianta, non era significativamente influenzata dal  $\text{Cd}^{2+}$  nelle prime 24 ore di incubazione. Alla concentrazione più elevata (5  $\mu\text{M}$ ), le piante assorbivano fino al 30% del  $\text{Cd}^{2+}$

**La ricerca si propone di individuare nelle piante parametri biochimici e fisiologici bioindicatori di metalli pesanti. È stato utilizzato il giacinto d'acqua, specie già in uso per tecniche di phytoremediation.**



somministrato (360  $\mu\text{mol}/60$  g di peso fresco alla concentrazione esterna di 5  $\mu\text{M}$ ). La misura del contenuto di  $\text{Cd}^{2+}$  negli organi della pianta indicava che circa il 10% del  $\text{Cd}^{2+}$  totale assorbito era traslocato nella parte aerea: il contenuto di metallo diminuiva progressivamente dal fusto al picciolo alla lamina fogliare. La maggior parte del  $\text{Cd}^{2+}$  assorbito dalla pianta era presente nelle radici. La scarsa traslocazione può essere dovuta alla presenza di molecole a elevata affinità per il  $\text{Cd}^{2+}$  (fitochelatine), spesso indicate come sensibili parametri bioindicatori di  $\text{Cd}^{2+}$ , o all'accumulo del metallo nei compartimenti delle cellule radicali. Lo studio della distribuzione del  $\text{Cd}^{2+}$  e delle proteine della frazione solubile di radici di piante incubate per tre giorni in presenza di  $\text{Cd}^{2+}$  50  $\mu\text{M}$  su una colonna di Sephadex G-50 indicava che la totalità del  $\text{Cd}^{2+}$  era eluito nella zona corrispondente al volume totale della colonna, suggerendo che non erano presenti peptidi in grado di legare il  $\text{Cd}^{2+}$  con alta affinità. L'assorbimento di  $\text{Cd}^{2+}$  nelle radici di giacinto era caratterizzato utilizzando segmenti subapicali. Questi erano incubati per 1, 2 e 3 ore in presenza di  $\text{Cd}^{2+}$  0,5 e 5  $\mu\text{M}$ : l'assorbimento aumentava velocemente fino a 1 ora di incubazione e nelle due ore successive aumentava lentamente. La differenza di potenziale elettrico transmembrana delle cellule corticali delle radici era circa  $-170$  mV nel controllo e non variava significativamente nella prima ora di incubazione in presenza di  $\text{Cd}^{2+}$  5  $\mu\text{M}$ . Il calcolo del potenziale di Nernst indicava che il  $\text{Cd}^{2+}$  era lontano dal valore dell'equilibrio elettrochimico. Segmenti di radici erano incubati in presenza di  $\text{Cd}^{2+}$  esterno nell'intervallo 1-500  $\mu\text{M}$ . La cinetica di influsso era saturata oltre 100  $\mu\text{M}$ : le costanti cinetiche apparenti  $K_m = 52,2 \pm 7,5$   $\mu\text{M}$  e  $V_{\text{max}} = 3,0 \pm 0,3$   $\mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$  peso fresco erano simili a quelle dell'influsso di  $\text{Cd}^{2+}$  pesante in segmenti subapicali di radici di mais. Questi risultati suggeriscono che il giacinto d'acqua non mostra una particolare efficienza del meccanismo di assorbimento di  $\text{Cd}^{2+}$  a livello di membrana e che parametri biochimici e fisiologici bioindicatori della sua presenza possono essere individuati analizzando i meccanismi di tolleranza legati all'accumulo del metallo.

## Indicatori biologici per la valutazione di inquinanti nei sedimenti del Lago Maggiore

Cinzia Anna Maria Salvino

Tutor: Dr. Anita Colombo

Università degli Studi di Milano  
Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio  
Via Emanueli 15  
20126 Milano

Storicamente lo studio degli effetti dei contaminanti è stato rivolto principalmente alle acque superficiali e non ai sedimenti. La valutazione della qualità delle acque focalizza l'attenzione sulle sostanze solubili e il sedimento è considerato come deposito definitivo dei contaminanti assorbiti. I sedimenti acquatici possono essere contaminati da xenobiotici organici e inorganici che sono assorbiti da materiale particolato o si trovano in soluzione nell'acqua interstiziale. Tali contaminanti possono essere bioaccumulati e avere effetti diretti sulla fauna bentonica o indiretti sugli altri organismi acquatici qualora si rendano biodisponibili per risospensione o lisciviazione.

In tempi recenti, la gestione delle risorse acquatiche ha preso maggiormente in considerazione l'aumento demografico e i cambiamenti economici. I bacini naturali o artificiali stanno infatti divenendo sempre più importanti per il loro ruolo nell'approvvigionamento di acque potabili e per i loro usi agricoli, industriali e ricreativi. In questo contesto il Lago Maggiore è particolarmente importante per la sua locazione geografica in quanto parte del più ampio bacino idrografico italiano situato in una zona densamente popolata, industrializzata e agricola. Gli usi multipli delle risorse acquatiche e specialmente la loro funzione di recettori finali degli effluenti industriali e civili stanno provocando un inevitabile deterioramento della qualità delle acque, con ulteriori effetti sulla qualità dell'intero ambiente lacustre.

In questo contesto, lo scopo della presente ricerca è la valutazione dei potenziali effetti tossici dei sedimenti estratti da tre stazioni: Baveno, Ispra e Locarno.

Per la difficoltà di ottenere diluizioni dell'intero sedimento, sono stati utilizzati estratti di acqua interstiziale ed elutriati. I primi rappresentano l'acqua che occupa gli spazi vuoti tra le particelle di sedimento, mentre l'elutriato rappresenta la soluzione ottenuta dal vigoroso miscelamento di una parte di sedimento e quattro parti di acqua di colonna. I saggi con l'elutriato sono stati sviluppati per la valutazione dei potenziali effetti del rimaneggiamento dei fondali dei corpi idrici.

L'uso dell'acqua interstiziale e degli elutriati come soluzioni da testare ha facilitato la valutazione attraverso l'utilizzo di bioindicatori standard non bentonici, come quelli utilizzati per questa ricerca: *Raphidocelis subcapitata*, *Daphnia magna* e *Xenopus laevis*.

I processi naturali e le attività umane che influenzano il corpo idrico modificano le caratteristiche chimico-fisiche delle acque e dei sedimenti. I depositi di fondo, infatti, possono essere considerati la "memoria" di tutti i fenomeni che influenzano il lago o il suo bacino di drenaggio.

Le caratteristiche del ciclo vitale delle alghe, il loro ruolo ecologico e l'elevata sensibilità hanno promosso il loro uso nei saggi di tossicità sui sedimenti. Per stimare gli effetti tossici su *Raphidocelis subcapitata* degli estratti sopraddetti, sei diluizioni seriali sono state testate in triplice replica: per le acque interstiziali 0,1%, 0,3%, 1%, 3%, 10% e 30%, per gli elutriati 1%, 3%, 10%, 30%, 50% e 100%. Tutti gli elutriati hanno mostrato sovracrescita per tutte le diluizioni testate a eccezione del campione *in toto*, il quale ha, al contrario, mostrato inibizione della crescita; tutte le diluizioni di *pore water* testate hanno prodotto inibizione crescente con l'aumentare della concentrazione. Gli estratti della stazione di Ispra hanno mostrato l'inibizione più elevata.

Sono state condotte valutazioni tossicologiche con *Daphnia magna*. I test di tossicità acuta a 24 ore non ha permesso di stimare la  $EC_{50}$ ; il sito più tossico risulta essere Ispra. Lo studio dei tassi di riproduzione e sopravvivenza durante il periodo testato (21 giorni) ha permesso di identificare differenze statisticamente significative nella sopravvivenza e nella produzione media di neonati fra l'elutriato di Ispra e gli altri elutriati.

I test di teratogenesi che utilizzano gli embrioni di *Xenopus laevis* danno risposte alla tossicità in termini di mortalità, malformazioni e crescita.

I risultati di questo studio indicano che le acque interstiziali (10%, 30% e 50%) e gli elutriati (50%, 75% e 100%) mostrano un aumento dose dipendente della mortalità e del ritardo nello sviluppo.

Inoltre la trasparenza degli embrioni ha reso possibile osservare le malformazioni interne; le più frequenti sono risultate a carico dell'intestino e dell'apparato boccale.

L'uso di una batteria di test ha permesso di ottenere risposte differenti dipendenti dalla sensibilità relativa degli organismi testati; per tutti i bioindicatori i campioni di elutriato sono risultati essere meno tossici dei campioni di acqua interstiziale e Ispra sembra essere la stazione più tossica tra quelle investigate.

**L'uso di una batteria di test ha permesso di ottenere risposte differenti dipendenti dalla sensibilità relativa degli organismi testati; per tutti i bioindicatori i campioni di elutriato sono risultati essere meno tossici dei campioni di acqua interstiziale e Ispra sembra essere la stazione più tossica tra quelle investigate.**

## Processi ossidativi avanzati per la purificazione delle acque

Federica Soana

*Tutor: Prof. Angelo Albini*

*Università degli Studi di Pavia  
Dipartimento di Chimica Organica  
Via Taramelli 10  
27100 Pavia*

**I**l trattamento chimico delle acque di superficie contaminate e delle acque di falda così come delle acque di rifiuto contenenti composti non biodegradabili fa parte di una strategia a lungo termine per migliorare la qualità delle risorse d'acqua potabile eliminando materiali tossici di origine antropogenica prima di rilasciare nei cicli naturali le acque usate.

Gli sviluppi recenti nel campo del trattamento chimico delle acque hanno portato a un miglioramento nelle procedure di degradazione ossidativa per composti organici disciolti o dispersi nelle acque, applicando metodi catalitici e fotochimici. Questo campo si è particolarmente orientato verso l'applicazione e ha già avuto un forte impatto sulla progettazione e costruzione di nuove risorse di luce, reattori fotochimici e sulla preparazione di nuovi fotocatalizzatori.

Nella presente ricerca la degradazione di alcuni composti organici in acqua è stata effettuata con diverse tecniche aventi in comune l'utilizzo della luce.

Due idrocarburi aromatici sono stati mineralizzati molto velocemente utilizzando un semiconduttore o un semplice fotocatalizzatore come il perossido d'idrogeno con ioni Fe oppure semplicemente con perossido d'idrogeno. In questo caso si è voluto dimostrare quanto fosse efficiente la tecnica che utilizza il biossido di titanio rispetto a tecniche già molto note e già utilizzate su larga scala. Successivamente abbiamo lavorato su tre pesticidi contenuti in acque di risaie sempre utilizzando il semiconduttore come fotocatalizzatore comparandolo con irraggiamento semplice. Anche in questo caso i risultati sono molto buoni.

L'utilizzo di un semiconduttore è una tecnica che presenta i seguenti vantaggi: una grande quantità di composti organici può essere completamente mineralizzata, la velocità di reazione è alta se viene usata una grande superficie del fotocatalizzatore, il biossido di titanio è disponibile a un prezzo relativamente modesto e può essere riciclato.

Infine il nostro studio si è spostato su altri tipi di composti quali quelli aromatici fluorurati per vedere se, sempre con la tecnica che utilizza il biossido di titanio, fosse possibile arrivare a una degradazione completa con formazione di intermedi defluorurati non pericolosi.

In conclusione il processo di fotocatalisi tramite un semiconduttore è risultato estremamente efficace verso composti molto stabili quali il CN-naftalene, verso pesticidi usati in risaie e verso composti fluorurati rompendo addirittura il legame C-F.

**Con questo lavoro  
abbiamo  
dimostrato  
che è possibile  
degradare  
completamente  
idrocarburi  
aromatici  
polinucleari,  
pesticidi,  
idrocarburi  
fluorurati tramite  
l'uso di un  
semiconduttore  
senza ottenere  
intermedi dannosi.**

Seguendo inoltre l'invito della Fondazione Lombardia per l'Ambiente abbiamo cercato di valorizzare il lavoro svolto in questi due anni; abbiamo eseguito delle prove su campioni reali presi direttamente sul posto per verificare l'efficacia del nostro metodo, abbiamo condotto in una scuola media inferiore un esperimento di fotocatalisi utilizzando la fotocatalisi con biossido di titanio per degradare dei coloranti sciolti in acqua e infine parte del nostro lavoro è stato portato a un congresso internazionale riguardante processi di ossidazione avanzata per il trattamento di acque reflue.

## Effetti ecotossicologici della contaminazione dei sedimenti nei porti di Ketelhaven e Schokkerhaven (Ketelmeer, Paesi Bassi)

**Davide Vignati**

*Tutor: Dr. Cees van de Guchte  
Dr. Marina Camusso*

RIZA  
P.O. Box 17  
8200 AA Leystad  
Nederland

CNR Istituto di Ricerca sulle Acque  
Reperto Sperimentale di Idrobiologia Applicata  
Via della Mornera 25  
20047 Brugherio (MI)

**Il presente studio illustra l'applicazione pratica della metodologia impiegata dalle autorità olandesi per la valutazione della qualità ecologica dei sedimenti in un piccolo bacino lacustre nel delta del Reno.**

I sedimenti di laghi e fiumi costituiscono il sito di accumulo preferenziale per gran parte delle sostanze inquinanti immesse nell'ambiente dall'uomo. Una valutazione della loro qualità dal punto di vista ecologico risulta quindi indispensabile per la corretta gestione di qualsiasi risorsa idrica. Il Lago Ketel (Ketelmeer), situato nei Paesi Bassi nella parte settentrionale del delta del Reno, può essere considerato un caso emblematico, in quanto si tratta di una delle principali aree di sedimentazione per il materiale sospeso trasportato dal suddetto fiume. Originatosi nel 1932, in seguito a una serie di interventi antropici, il Ketelmeer sembra risentire tuttora dell'elevato grado di inquinamento che ha caratterizzato il Reno negli anni Sessanta e Settanta, dal momento che il 70-75% del materiale depositatosi nel bacino dal 1932 al 1988 (circa 15.000.000 m<sup>3</sup>) risulta classificabile come fortemente inquinato in base alla normativa olandese. Tuttavia, prima di procedere con interventi di bonifica, le stesse autorità olandesi hanno deciso di svolgere ulteriori accertamenti, poiché la qualità del materiale sedimentato nel Ketelmeer dal 1988 a oggi è sensibilmente migliorata in seguito all'attuazione del RAP (Rhine Action Program). Tra le 22 località incluse nello studio, i porti di Ketelhaven e Schokkerhaven rappresentano le aree ritenute maggiormente a rischio. Le intense attività di navigazione e la presenza di barriere antropiche costituiscono infatti un potenziale ostacolo alla deposizione del nuovo materiale meno contaminato.

Le indagini sulla qualità dei sedimenti sono state condotte utilizzando un approccio integrato (TRIAD) comprendente analisi chimiche, test di tossicità cronica in laboratorio con il crostaceo *Daphnia magna*, il dittero *Chironomus riparius* e il batterio *Photobacterium phosphoreum* e osservazioni sulla fauna macrobentonica nelle due località. Indicazioni supplementari sugli effetti subletali dell'inquinamento sono state ottenute misurando l'incidenza percentuale delle malformazioni dell'apparato boccale di *C. riparius*. Si sono inoltre

considerati alcuni parametri addizionali, quali la tipologia e il grado di stabilità dei sedimenti, in grado di influenzare la struttura delle comunità macrobentoniche stesse. Il giudizio finale sulla qualità dei sedimenti è stato formulato in base ai criteri utilizzati nei Paesi Bassi.

Le analisi chimiche, effettuate in studi precedenti svolti all'inizio degli anni Novanta, hanno evidenziato la presenza di metalli pesanti e PCB (policlorobifenili) a livelli tali da poter esercitare effetti negativi sugli organismi acquatici in entrambe le località. Tuttavia, in laboratorio, l'esposizione di *D. magna* all'elutriato, estratto dal sedimento per centrifugazione, non ha provocato effetti né sulla mortalità né sul tasso di accrescimento della popolazione al termine dei 21 giorni del test. La riduzione della luminescenza di *P. phosphoreum* è risultata significativa solo per Schokkerhaven; mentre un'accresciuta incidenza delle malformazioni rispetto al sedimento di controllo è stata osservata solo per Ketelhaven. Al contrario, lo sviluppo delle larve di *C. riparius*, espresso come peso secco medio degli individui dopo 28 giorni, è risultato significativamente ridotto in entrambi i casi. In base alle osservazioni condotte in laboratorio, il materiale proveniente dalle due località è stato classificato come tossico per gli organismi acquatici. L'approccio impiegato prevede infatti che la valutazione finale della qualità dei sedimenti venga effettuata secondo il parametro più sensibile: in questo caso la riduzione del peso secco di *C. riparius*. Anche la struttura delle comunità macrobentoniche, valutata sulla base della densità (individui per m<sup>2</sup>) dei principali gruppi tassonomici presenti nelle acque superficiali olandesi (Chironomidi, Oligocheti e Bivalvi), è risultata piuttosto compromessa. Le densità osservate si sono infatti collocate ben al di sotto di quelle attese per siti non danneggiati dal punto di vista ecologico.

Nel complesso, i dati raccolti sembrano indicare la presenza di una relazione causa effetto tra contaminazione dei sedimenti e alterazioni della struttura delle comunità bentoniche. È tuttavia possibile che una parte degli effetti *in situ* possa essere provocata dall'intensa attività di navigazione che si svolge nei due porti. Nonostante l'evidente necessità di intervento per entrambe le località, è stato quindi suggerito alle autorità competenti di procedere all'esecuzione di analisi chimiche sul materiale depositatosi più di recente, in modo da valutare il contributo relativo delle due componenti alla compromissione degli ecosistemi studiati.

**La conoscenza dei criteri scientifici alla base di tale approccio può costituire un utile supporto all'attività di tutte quelle istituzioni attualmente impegnate nella revisione delle leggi italiane sulla tutela e gestione delle risorse idriche.**

## Effetti chimici e biologici dei radicali liberi generati dalle sostanze inquinanti

Luisa Maria Paola Zingarelli

Tutor: Prof. Erasmo Marrè

Università degli Studi di Milano  
Dipartimento di Biologia  
Via Celoria 26  
20133 Milano

I primi sintomi della reazione ipersensibile in piante e in animali comprendono: depolarizzazione del potenziale transmembrana, ondata ossidativa e rilascio di elettroliti.

Sostanze inquinanti come alcuni metalli pesanti ( $\text{Ag}^+$ ) e molecole di sintesi (NEM) inducono in foglie di *Elodea densa* effetti analoghi a quelli osservati nelle fasi iniziali della reazione ipersensibile.

Recenti ricerche svolte presso il Dipartimento di Biologia dell'Università di Milano hanno dimostrato che reagenti dei gruppi sulfidrilici, come  $\text{Ag}^+$  e NEM, inducono in foglie di piante acquatiche (*Elodea densa* e *Potamogeton crispus*) un'ondata ossidativa e un rilascio di elettroliti nel mezzo. Entrambi gli effetti risultano insensibili a cianuro ( $\text{CN}^-$ ) e SHAM, inibitori rispettivamente della respirazione mitocondriale citocromica e alternativa, e inibiti da difenileniodonio (DPI) e quinacrina (QC), due noti inibitori di NADPH-ossidasi di membrane plasmatiche. Queste modulazioni suggeriscono il coinvolgimento in tale fenomeno di un'ossidasi di membrana NADPH dipendente.

Gli effetti osservati in presenza di veleni dei gruppi  $-\text{SH}$  in foglie di *E. densa* mostrano una certa analogia con le risposte evidenziate durante le fasi iniziali di attacchi patogeni in animali e piante nella ben nota "reazione ipersensibile". Proprio in quest'ottica è sembrato importante approfondire la conoscenza del meccanismo fisiologico coinvolto nella risposta alla presenza di sostanze inquinanti come i metalli pesanti ( $\text{Ag}^+$ ) o molecole di sintesi (NEM).

Nel primo anno di ricerca si era dimostrato che il meccanismo coinvolto nella risposta a NEM o  $\text{Ag}^+$  è organo- e tessuto-specifico essendo presente, o comunque attivo, solo in foglie completamente distese: infatti, in fusti, in radici e in foglie giovani di *E. densa* queste sostanze non inducono l'ondata ossidativa e il rilascio di elettroliti.

Nel secondo anno di ricerca si è approfondita la caratterizzazione di questo meccanismo con lo scopo di identificare modulatori degli effetti osservati in seguito alla somministrazione dei reagenti dei sulfidrilici in foglie completamente distese di *E. densa*.

I risultati ottenuti nel secondo anno di ricerca possono essere così riassunti:

- l'ondata ossidativa è sempre accompagnata da una consistente produzione di  $\text{H}_2\text{O}_2$ . La produzione di  $\text{H}_2\text{O}_2$  è sincrona all'ondata ossidativa;
- l'ondata ossidativa, la produzione di  $\text{H}_2\text{O}_2$  e il rilascio di elettroliti sono dipendenti dalla presenza di  $\text{Ca}^{2+}$  nel mezzo. L'intensità dell'ondata ossidativa è proporzionale alla concentrazione di  $\text{Ca}^{2+}$ ;
- la presenza di  $\text{La}^{3+}$  nel mezzo, così come l'assenza di  $\text{Ca}^{2+}$ , sopprime gli effetti indotti dai reagenti dei sulfidrilici;
- la presenza di  $\text{H}_2\text{O}_2$  esogena induce il rilascio di elettroliti; l'entità del



rilascio è funzione della concentrazione dell' $H_2O_2$ . La presenza di  $La^{3+}$  sopprime tale rilascio;

- la presenza di digitonina o nistatina, entrambi agenti che con meccanismi diversi aumentano la permeabilità delle membrane biologiche riducendo la selettività, induce ondata ossidativa, produzione di  $H_2O_2$  e rilascio di elettroliti. Le cinetiche osservate per l'ondata ossidativa e il rilascio di elettroliti indotti da questi permeabilizzanti sono diverse da quelle osservate in presenza di NEM e  $Ag^+$ ;

- l'ondata ossidativa in presenza di digitonina è: a) parzialmente inibita da  $CN^-$  e SHAM e b) non inibita da DPI. La produzione di  $H_2O_2$  indotta dalla presenza di digitonina è parzialmente inibita da DPI.

I dati finora ottenuti, qui brevemente riassunti, ci hanno permesso di ipotizzare un modello del meccanismo fisiologico attivato dalla presenza di metalli pesanti o da sostanze inquinanti di sintesi in grado di bloccare i gruppi -SH. Il meccanismo di risposta è paragonabile a quello noto come reazione ipersensibile nelle piante e negli animali. In particolare, il calcio è risultato di primaria importanza sia nel modulare l'alterazione dei trasporti di membrana osservati (rilascio di elettroliti), sia nell'attivazione dell'ossidasi coinvolta (ondata ossidativa), probabilmente NADPH dipendente e simile a quelle coinvolte nella reazione ipersensibile.

**I risultati finora ottenuti consentono di ipotizzare che  $Ag^+$  e NEM inducano un meccanismo di azione paragonabile a quello attivato da patogeni nella reazione ipersensibile e che il  $Ca^{2+}$  svolga un ruolo di primaria importanza nella modulazione di tale meccanismo.**