

Biologia Ambientale, **19** (1): 87-93.

Atti del Seminario: *Classificazione ecologica delle acque interne. Applicabilità della Direttiva 2000/60/CE*. Trento, 12-13 febbraio 2004. G.N. Baldaccini e G. Sansoni (eds.). Ed. APAT, APPA Trento, CISBA. Trento, 2005.

Ruolo delle Diatomee nell'applicazione della Direttiva Europea Quadro sulle acque

Frédéric Rimet^{1*}, Francesca Ciutti², Cristina Cappelletti², Luc Ector³

1 Direction Régionale de l'Environnement, 19 avenue Foch, B.P. 60223, F-57005 Metz Cedex 1, Francia

2 Istituto Agrario di S. Michele all'Adige, Via E. Mach, 2, I-38010 S. Michele all'Adige (Trento).

3 Centre de Recherche Public - Gabriel Lippmann, 41, rue du Brill, L-4422 Belvaux, Lussemburgo

** Referente per la corrispondenza (Fax: +33-3 87 39 99 59; frederic.rimet@lorraine.ecologie.gouv.fr)*

Riassunto

Nell'ambito della Direttiva Europea Quadro 2000/60/CE, ai fini della valutazione della qualità dei corsi d'acqua, devono essere utilizzati gli elementi biologici che, oltre alla comunità dei macroinvertebrati e alla fauna ittica, comprendono la composizione e abbondanza della flora acquatica. Le Diatomee, in particolare, oltre a rappresentare la componente principale della biomassa bentonica dei corsi d'acqua, sono ormai riconosciute a livello mondiale come ottimi bioindicatori e possono pertanto rappresentare una comunità di riferimento per lo studio della componente vegetale acquatica.

In numerosi paesi europei sono già stati sviluppati metodi biologici di valutazione basati sulle Diatomee e, in alcuni di essi (es. Francia, Spagna), tali metodiche sono già state integrate nei sistemi di valutazione della qualità che prevedono campagne di campionamento annuali sul reticolo idrografico. La Direttiva in particolare, richiede di definire le condizioni di riferimento in ogni tipo di corpo idrico nelle differenti ecoregioni, al fine di poter valutare l'eventuale scostamento tra lo stato osservato ed il corrispondente stato atteso. A tutt'oggi nessuno degli indici diatomici esistenti è strutturato secondo tale principio: sarà pertanto necessario un lavoro di adattamento ai requisiti della Direttiva Quadro sulle acque.

PAROLE CHIAVE: biomonitoraggio / Diatomee / Direttiva Quadro sulle acque / fiumi / qualità biologica

Role of diatoms in the application of the Water Framework Directive

In the framework of the European Directive 2000/60/EC, biological indicators, among which diatoms, must be used to assess water quality. Benthic diatoms in particular represent the dominant component of benthic biomass and are known as good indicator of water quality, thus representing a community useful for the study of aquatic vegetation.

Different biological indices based on diatoms have been developed in several European countries and are already integrated in national water quality evaluation systems (e.g. France, Spain) where diatoms are collected each year in their sampling network. The Directive also requires defining reference conditions in each river type of each ecoregion, to evaluate the differences between the observed and the reference status. Nowadays diatom indices are not based on these principles, so that they must be adapted to follow the requirements of the Water Framework Directive.

KEY WORDS: biomonitoring / diatoms / Water Framework Directive / rivers / biological quality

INTRODUZIONE

La Direttiva Quadro 2000/60/CE (EUROPEAN PARLIAMENT, 2000) richiede di valutare la qualità dei corpi idrici sulla base delle componenti biologiche, fra le quali è compresa la composizione e abbondanza della flora acquatica. Le Diatomee epilitiche in particolare, oltre a rappresentare la componente principale della biomassa bentonica dei corsi d'acqua, sono ormai riconosciute per la loro valenza di bioindicatori e pos-

sono pertanto rappresentare una comunità di riferimento per lo studio della componente vegetale acquatica.

Le Diatomee (Bacillariophyceae) sono alghe unicellulari eucariotiche appartenenti alla divisione delle Bacillariophyta; esse comprendono specie le cui cellule sono riunite in colonie ed altre solitarie. Nei corsi d'acqua le Diatomee possono vivere adese a substrati

duri ed inerti (Diatomee epilittiche), su altri vegetali (Diatomee epifittiche) e sul sedimento (Diatomee epipeliche). L'ecologia delle Diatomee è stata oggetto di numerosi studi. LANGE-BERTALOT (1979) ha studiato l'ecologia di 50 specie di Diatomee comuni per i corsi d'acqua, definendo quattro classi di livello saprobico sulla base dei valori di BOD₅ e ossigeno disciolto. Più recentemente DENYS (1991a, b) ha definito la tolleranza delle specie per la salinità, il pH, il livello trofico e saprobico, l'ossigeno disciolto, la velocità della corrente. VAN DAM *et al.* (1994) hanno determinato per 948 specie di acqua dolce e leggermente salmastra la loro preferenza per il pH, l'azoto, l'ossigeno, la salinità, il livello saprobico e trofico e la tolleranza al disseccamento. ROTT *et al.* (2003) hanno costituito, sulla base di un dataset di 450 corsi d'acqua, un elenco di circa 1000 specie di alghe divise in nove classi di qualità. Sono state inoltre definite, per 650 specie di Diatomee, classi di livello saprobico e trofico (ROTT *et al.*, 1997, 1999).

È appurata a livello mondiale l'efficacia delle Diatomee come bioindicatori. Esse infatti si prestano molto bene a tale scopo, poiché sono presenti in grande abbondanza lungo tutta l'asta fluviale, ma compaiono con specie differenti nei vari habitat, in dipendenza delle condizioni ambientali e delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque. Hanno tassi di riproduzione piuttosto veloci e cicli vitali brevi, quindi sono buoni indicatori di impatto a breve termine.

Obiettivo di questo lavoro è fornire una panoramica delle tecniche di biomonitoraggio basate sulle Diatomee già utilizzate in Europa ed illustrare le modalità di utilizzo e di adeguamento delle stesse secondo i principi dettati dalla Direttiva Quadro.

BIOMONITORAGGIO CON DIATOMEE

Sebbene siano state rilevate difficoltà nel definire un unico metodo applicabile all'intero territorio europeo e numerosi siano stati sino ad oggi gli sforzi per giungere ad una standardizzazione o, quanto meno, ad un'armonizzazione delle differenti metodiche utilizzate, i protocolli relativi al campionamento e all'attività di laboratorio sono stati oggetto di studio nell'ambito di gruppi di lavoro scientifici, che hanno portato alla definizione di metodiche standardizzate, in gran parte ispirate dal lavoro di KELLY *et al.* (1998). Nella metodica dell'Indice Biologico Diatomee (IBD) ad esempio, sono definite le linee guida per il campionamento, il trattamento, l'identificazione e l'enumerazione dei campioni (AFNOR, 2000). Più recentemente sono state pubblicate norme standardizzate relative al "campionamento e pretrattamento dei campioni" ed alla "identificazione, conteggio ed interpretazione dei risultati" (EN 14407, 2004; EN 13946, 2003).

Per la valutazione della qualità dei corsi d'acqua basata sullo studio della comunità delle Diatomee, possono essere utilizzate semplici metriche, come ad esempio gli indici di diversità (SHANNON e WEAVER, 1948), o le curve "ordine/abbondanza" (PATRICK, 1949; PATRICK *et al.*, 1954), che possono fornire una prima indicazione dello stato di un ecosistema e valutare l'effetto di uno stress fisico o chimico.

Sulla base della sensibilità delle specie di Diatomee all'inquinamento sono stati sviluppati metodi biologici di valutazione della qualità basati, nella loro definizione, su criteri e modalità di calcolo differenti (Tab. I).

Uno dei primi indici, il "Differentiating Species System" (LANGE-BERTALOT, 1979), classifica 50 specie di Diatomee in tre classi di qualità (resistente, sensibile, ubiquitaria); la loro abbondanza relativa nel campione permette di valutare lo stato del sito. Con lo stesso criterio è stato sviluppato l'indice SHE (STEINBERG e SCHIEFELE, 1988; SCHIEFELE e SCHREINER, 1991), che assegna 386 specie a sette gruppi di livello trofico e di resistenza all'inquinamento.

L'indice CEE (DESCY e COSTE, 1991) viene calcolato con una griglia a doppia entrata, nella quale sono integrate 208 specie. In orizzontale figurano le euriecie, disposte in ordine crescente di sensibilità all'inquinamento, mentre in verticale sono presenti le specie stenoece, disposte anch'esse nello stesso ordine di sensibilità. L'indice diatamico risulta dall'intersezione della riga e della colonna.

ZELINKA e MARVAN (1961) hanno sviluppato un indice per la stima della qualità dell'acqua sulla base dell'analisi della comunità algale e dei macroinvertebrati, che viene calcolato utilizzando informazioni relative all'abbondanza, all'affidabilità ed alla sensibilità delle specie all'inquinamento. Alcuni indici diatomici utilizzati in Europa sono basati sulla stessa formula di calcolo: in particolare alcuni valutano il livello trofico (TDI), altri il livello saprobico (ILM, ROTT, SLA) e altri ancora l'inquinamento globale (DES, DI-CH, EPID, GDI, SPI).

Nella definizione dell'IBD (Indice Biologico Diatomee) utilizzato in Francia, per ogni specie sono stati definiti profili di probabilità di presenza secondo sette classi di qualità. Il calcolo dell'indice prende in considerazione la frequenza del taxon (deve essere superiore a 0,75% per essere integrato nel calcolo) e la probabilità di presenza per ciascuna classe di qualità (LENOIR e COSTE, 1996; PRYGIEL e COSTE, 1998, 2000).

ESEMPI D'USO DELLE DIATOMEE PER IL MONITORAGGIO

In Lussemburgo il monitoraggio biologico dei corsi d'acqua basato sulla comunità diatamica viene effettuato dal 1994 e sono a tutt'oggi disponibili 417 analisi

Tab. I. Indici basati sulle diatomee utilizzati in Europa (A: Austria; AND: Andorra; B: Belgio; CH: Svizzera; D: Germania; E: Spagna; F: Francia; FIN: Finlandia; GB: Gran Bretagna; GR: Grecia; I: Italia; L: Lussemburgo; MK: Macedonia; P: Portogallo; PL: Polonia).

Modo di calcolo	Metodo	Paese
Calcolo con le abbondanze relative di ciascun gruppo d'inquinamento	Differentiating species system (LANGE-BERTALOT, 1979) Steinberg e Schiefele index, SHE (SCHIEFELE e SCHREINER, 1991)	CH, D D
Calcolo con una griglia a doppia entrata	CEE indice (DESCY e COSTE, 1991)	F, B, L, AND, E, P
Formula di Zelinka e Marvan (1961): calcolo con valori di abbondanza, sensibilità e affidabilità per ciascuna specie	Descy indice, DES (DESCY, 1979) Indice di Polluosensibilità Specifico, IPS (COSTE IN CEMAGREF, 1982) Sládeek index, SLA (SLÁDEEK, 1986) Indice Leclercq e Maquet, ILM (LECLERCQ e MAQUET, 1987) Indice Diatomico Generico, IDG (COSTE e AYPHASSORHO, 1991) Indice Diatomico Trofico, TDI (SCHIEFELE e KOHMANN, 1993) Indice di Eutrofizzazione/Polluzione, EPI-D (DELL'UOMO e TANTUCCI, 1996; DELL'UOMO, 2004) Indice Saprobico di Rott (ROTT <i>et al.</i> , 1997) Indice Trofico Diatomee, TDI (KELLY, 1998) Indice Trofico di Rott, (ROTT <i>et al.</i> , 1999) Indice DI-CH (HÜRLIMANN e NIEDERHAUSER, 2002)	B, L F, PL, L, FIN, GR, E, P P B, L, P F, PL, FIN D, FIN I, E CH, A GB A CH
Calcolo con l'abbondanza delle specie e loro probabilità di presenza in classi di qualità	Indice Biologico Diatomico, IBD (LENOIR e COSTE, 1996; PRYGIEL e COSTE, 2000)	F, L, P

eseguite sulle diverse tipologie fluviali (CREBS, 2003; RIMET *et al.*, 2004a). Il metodo di valutazione utilizzato è l'IPS, che, rispetto agli altri indici, ha evidenziato per tale paese le migliori correlazioni con i parametri caratteristici d'inquinamento.

In Francia le Diatomee sono utilizzate assieme ad altri strumenti di valutazione della qualità dei corsi d'acqua dal 1998. L'IBD è impiegato di routine su circa 1500 siti del Reticolo Nazionale di Bacino -RNB- (RNDE, 2000).

In Spagna alcuni lavori hanno definito una prima lista delle Diatomee di diversi fiumi della Catalonia (CAMBRA *et al.*, 1991), del Llobregat (TOMÀS e SABATER, 1985) e dell'intera penisola iberica (ABOAL *et al.*, 2003). L'utilizzo delle Diatomee nel monitoraggio è però recente (GOMÀ *et al.*, 2003, 2004). Il metodo di valutazione scelto è l'IPS, che ha mostrato anche in questo paese le migliori correlazioni con i diversi parametri caratteristici dell'inquinamento.

In Italia le Diatomee sono utilizzate nel biomonitoraggio da parecchi anni con esperienze puntiformi sul territorio, mediante l'impiego del metodo EPI-D (DELL'UOMO e TANTUCCI, 1996; DELL'UOMO *et al.*, 1999; DELL'UOMO, 2004), applicato prevalentemente in ambienti fluviali dell'Appennino Centrale (TORRISI e DELL'UOMO, 2001a, 2001b). Recentemente sono stati oggetto di studio alcuni corsi d'acqua del Trentino, al

fine di verificare l'applicabilità di tale indice a torrenti di tipologia alpina e fornire indicazioni utili alla standardizzazione del metodo (CIUTTI *et al.*, 2000; CAPPELLETTI *et al.*, 2003; CIUTTI, 2004; CIUTTI *et al.*, 2004). Esperienze di applicazione sono state condotte anche in Piemonte in differenti tipologie di corsi d'acqua (ARPA PIEMONTE, 2003; BATTEGAZZORE *et al.*, 2004a; GRISELLI *et al.*, 2005; BATTEGAZZORE *et al.*, 2005), in Sardegna (NUGHES *et al.*, 2005), in Calabria (BATTEGAZZORE *et al.*, 2004b) e nel Lazio (CAPPELLETTI *et al.*, 2005).

WHITTON *et al.* (1991), WHITTON e ROTT (1996) e PRYGIEL *et al.* (1999), tra gli altri, riportano le esperienze di applicazione di tali metodiche in diversi paesi europei (Tab. I).

DIATOMEE E DIRETTIVA QUADRO

Nonostante siano numerosi i paesi europei che utilizzano metodi basati sulle Diatomee, poche sono le realtà in cui tali indici soddisfano i requisiti indicati dalla Direttiva Quadro ed, in particolare, il riferimento a "ecoregione" e "tipo di corso d'acqua", nonché la definizione di "condizione di riferimento". Oltre a ciò, bisogna sottolineare che, nonostante la maggior parte dei taxa di Diatomee sia considerata "subcosmopolita", le condizioni climatiche e idrochimiche in cui le Diatomee vivono sono estremamente varie e pertanto,

sarà difficile disporre di uno strumento di valutazione comune per l'Europa, poiché necessariamente devono essere tenute in considerazione le specificità ecoregionali e tipologiche dei siti (KELLY *et al.*, 1998; ROTT *et al.*, 2003). Pertanto la via da seguire pare essere quella dell'adattamento dei metodi regionali e nazionali ai principi dettati dalla Direttiva Quadro.

Nel dettaglio, la Direttiva 2000/60/CE indica nelle comunità con stato ecologico "elevato" (high ecological status) il riferimento per gli obiettivi di qualità dei corsi d'acqua. Pertanto risulta indispensabile individuare le condizioni di riferimento, che dovrebbero essere definite per ogni tipo di corso d'acqua in ogni ecoregione, per poter valutare l'eventuale scostamento dello stato osservato dall'atteso. Come per le altre componenti biologiche (fauna ittica e macroinvertebrati) ciò rappresenta un problema, già affrontato da diversi progetti europei (REFCOND: Development of a protocol for identification of reference conditions; AQEM: The development and testing of an integrated assessment system for the ecological quality of streams and rivers throughout Europe using benthic macroinvertebrates; STAR: Standardisation of River Classifications; PAEQANN: Predicting Aquatic Ecosystems Quality using Artificial Neural Networks: impact of environmental characteristics on the structure of aquatic communities, Algae, Benthic and Fish Fauna) e solo parzialmente risolto, in quanto in molte realtà la condizione di riferimento può essere definita ormai solo attraverso l'analisi dei dati storici, eventualmente disponibili. Individuare le condizioni di riferimento per certe tipologie di corso d'acqua può essere ormai un reale problema, specialmente alle basse quote, dove i fiumi sono frequentemente inquinati. Per ovviare a ciò la Direttiva propone l'utilizzo di modelli di predizione. Le comunità di Diatomee, come quelle dei macroinvertebrati e dei pesci possono essere definite ad esempio, attraverso l'utilizzo delle reti neurali, partendo da dati relativi a parametri chimici e fisici. Questo era uno degli obiettivi del progetto PAEQANN, che ha sviluppato uno strumento in grado di predire le comunità di Diatomee in diversi paesi europei (Austria, Belgio, Francia, Lussemburgo) (programma scaricabile da: <http://aquaeco.ups-tlse.fr/index2.htm>). A specifici valori dei parametri chimico-fisici corrispondono determinate comunità diatomiche, che possono essere localizzate anche su una mappa geografica.

Alcuni studi hanno invece affrontato il problema della corrispondenza tra le ecoregioni, i tipi di corpi d'acqua definiti secondo il sistema A della direttiva e le comunità di Diatomee. A tal riguardo, ad esempio, in Lussemburgo è stato condotto uno specifico studio su piccoli corsi d'acqua in cui si è osservato che le Diatomee seguono con molta affidabilità due distinte

regioni, caratterizzate da geologia differente (scisti nel nord, arenaria nel sud): queste differenze si ritrovano sia tra zone di riferimento, sia tra zone inquinate delle due regioni (RIMET *et al.*, 2004a).

I primi risultati di uno studio condotto su corsi d'acqua d'alta quota (oltre 800 m) di differenti paesi europei (Spagna, Francia, Svizzera, Italia) evidenziano che le Diatomee hanno una distribuzione che corrisponde alle ecoregioni definite nel sistema A della Direttiva (RIMET *et al.*, 2004b), anche se sarebbe necessario comunque, per migliorare tale corrispondenza, considerare almeno due fasce altitudinali (800-1800 m e superiore ai 1800 m), oltre ai parametri "distanza dalla sorgente" e geologia degli alvei fluviali.

Nel bacino dell'Ebro in Spagna è stata dimostrata una buona corrispondenza tra le comunità di Diatomee e talune ecoregioni, soprattutto ad alta quota, mentre nei tratti di bassa quota e di pianura tale corrispondenza non si è riscontrata (GOMÀ *et al.*, 2003).

Nel bacino del Rodano e nella regione mediterranea è stato condotto uno studio per valutare l'importanza dei principali parametri che controllano le comunità di Diatomee. Si è osservato che tali comunità si distribuiscono secondo l'altitudine e che anche il livello organico e la localizzazione geografica influiscono sulla loro composizione (RIMET *et al.*, 2003). In Francia è stata definita a livello nazionale una serie di idroecoregioni, sulla base della geologia, della climatologia e dell'altitudine e, in particolare, nel bacino Adour-Garonne (sud-ovest della Francia) è stata dimostrata una buona corrispondenza tra idroecoregioni e comunità presenti nei corsi d'acqua di riferimento (WASSON *et al.*, 2002, 2003; TISON *et al.*, 2003).

In Finlandia i parametri spaziali spiegano una parte importante della variabilità delle comunità di Diatomee e SOININEN *et al.* (2004) affermano la necessità di sviluppare sistemi di biomonitoraggio adattati per ciascuna regione finlandese.

CONCLUSIONI

Gli studi sulla corrispondenza tra Diatomee ed ecoregioni rilevano la necessità di avere metodi adattati per ciascun tipo di corso d'acqua. I diversi indici diatomici utilizzati, però, non sono stati sviluppati per questo obiettivo. Attualmente è in fase di sviluppo l'adattamento di indici esistenti (es. l'Indice Biologico Diatomee-IBD- o l'Indice Biologico Globale Normalizzato-IBGN- basato sull'ecologia dei macroinvertebrati) alle ecoregioni francesi. Per ciascuna ecoregione si ricercano i valori massimi dell'indice. Questi valori sono utilizzati per fissare i limiti di classe tra buono ed ottimo stato ecologico; quindi ecoregioni diverse possono avere differenti limiti tra i due livelli (WASSON *et al.*, 2003).

La Direttiva Quadro richiede di utilizzare gli elementi biologici per valutare lo stato ecologico dei corsi d'acqua. I macroinvertebrati, i pesci, le macrofite e le Diatomee possono essere utilizzati a tal fine. Questi differenti bioindicatori permettono di valutare stress di differente natura ed integrano la variabilità dell'ambiente su scala temporale diversa.

Questi concetti sono nuovi rispetto alle normative di

parecchi paesi (Italia, Francia, Spagna o Lussemburgo), che non avevano definito ecoregioni e condizioni di riferimento, o che non avevano integrato tutti gli elementi biologici richiesti dalla Direttiva. Essa propone un profondo rinnovamento del biomonitoraggio di routine, che dà la possibilità di perfezionare la nostra conoscenza degli ecosistemi acquatici con l'obiettivo chiaro di migliorare la qualità degli stessi.

BIBLIOGRAFIA

- ABOAL M., ÁLVAREZ-COBELAS M., CAMBRA J., ECTOR L., 2003. Floristic list of the non marine diatoms (Bacillariophyceae) of Iberian Peninsula, Balearic Islands and Canary Islands. Updated taxonomy and bibliography. *Diatom Monograph* 4: 1-639.
- AFNOR, 2000. *Qualité de l'eau - Détermination de l'Indice Biologique Diatomées (IBD)*. Norme française NFT 90-354. AFNOR éditions, 63 pp.
- ARPA PIEMONTE, 2003. *Biomonitoraggio delle acque correnti mediante l'impiego di indicatori algali, studio pilota sul Malone e suoi affluenti*. ARPA Piemonte, Dipartimento di Ivrea, Tematica Conservazione della Natura.
- BATTEGAZZORE M., FENOGLIO S., GALLO L., LUCADAMO L., MORISI A., 2005. Esperienze di studio della qualità biologica di corsi d'acqua italiani mediante l'uso delle diatomee. In: Atti del Seminario *Classificazione ecologica delle acque interne. Applicabilità della Direttiva 200/60/UE*. 12-13 febbraio 2004, Trento. *Biologia Ambientale* 19 (1) (in questo volume).
- BATTEGAZZORE M., MORISI A., GALLINO B., FENOGLIO S., 2004a. Environmental quality evaluation of alpine springs in NW Italy using benthic diatoms. *Diatom Research* (in stampa).
- BATTEGAZZORE M., GALLO L., LUCADAMO L., MORISI A., 2004b. Quality of the main watercourses in the Pollino National Park (Apennine Mts., S Italy) on the basis of the Diatom benthic communities. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.* (in stampa).
- CAMBRA J., SABATER S., TOMAS X., 1991. Diatom check-list from Catalan countries (Eastern Spain). *Bull. Inst. Cat. Hist. Nat.* 8: 5-39.
- CAPPELLETTI C., CIUTTI F., CRIPPA A., MANCINI L., BELTRAMI M.E., PIERDOMINICI E., DELL'UOMO A., 2005. Diatomee come indicatori della qualità biologica dei corsi d'acqua: EPI-D ed altri metodi europei a confronto. Il caso del Fiume TEVERE. In: Atti del Seminario *Classificazione ecologica delle acque interne. Applicabilità della Direttiva 200/60/UE*. 12-13 febbraio 2004, Trento. *Biologia Ambientale* 19 (1) (in questo volume).
- CAPPELLETTI C., CIUTTI F., TORRISI M., 2003. Diatomee epilithiche e qualità biologica del torrente Noce (Trentino). In: Baldaccini G.N. e Sansoni G. (ed). Atti del seminario *I nuovi orizzonti dell'ecologia*. Trento, 18-19 aprile 2002. Ed. CISBA, Reggio Emilia.
- CEMAGREF, 1982. *Etude des méthodes biologiques quantitative d'appréciation de la qualité des eaux*. Rapport Q.E. Lyon-A.F. Bassin Rhône-Méditerranée-Corse, Lyon, France.
- CIUTTI F., 2004. Monitoraggio dei corsi d'acqua con indicatori algali (Diatomee). In: Le acque superficiali e i sedimenti. *Ann. Ist. Super. Sanità* (in stampa).
- CIUTTI F., CAPPELLETTI C., CORRADINI F., 2004. Applicazione dell'indice EPI-D a un corso d'acqua delle Alpi (Torrente Fersina): osservazioni sulla metodica di determinazione delle abbondanze relative. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.* (in stampa).
- CIUTTI F., CAPPELLETTI C., MONAUNI C., SILIGARDI M., DELL'UOMO A., 2000. Qualità biologica e funzionalità del Torrente Fersina (Trentino). *Dendronatura*, 2: 12-22.
- COSTE M., AYPHASSORHO H., 1991. *Etude de la qualité des eaux du bassin Artois-Picardie à l'aide des communautés de diatomées benthiques. Application des indices diatomiques au réseau*. Cemagref Bordeaux - Agence de l'Eau Artois-Picardie., Rapport Convention d'étude n. 90 X 3300 du 19 Juin 1990, 227 pp.
- CREBS, 2003. *Qualité biologique des cours d'eau luxembourgeois*. Centre de Recherche Public - Gabriel Lippmann, 6 pp.
- DELL'UOMO A., 2004. *L'indice diatomico di eutrofizzazione/polluzione (EPI-D) nel monitoraggio delle acque correnti. Linee guida*. APAT Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici, Roma, 101 pp.
- DELL'UOMO A., PENSIERI A., CORRADETTI D., 1999. Diatomées epilithiques du fleuve Esino (Italie centrale) et leur utilisation pour l'évaluation de la qualité biologique de l'eau. *Cryptogamie Algologie*, 20: 253-269.
- DELL'UOMO A., TANTUCCI C., 1996. Impiego delle diatomee nel monitoraggio biologico del fiume Musone (Marche). *S. It. E. Atti.*, 17: 499-502.
- DENYS L., 1991a. *A check-list of the diatoms in the holocene deposits of the Western Belgian coastal plain with a survey of their apparent ecological requirements. I. Introduction, ecological code and complete list*. Ministère des Affaires Economiques - Service Géologique de Belgique.
- DENYS L., 1991b. *A check-list of the diatoms in the holocene*

- deposits of the Western Belgian coastal plain with a survey of their apparent ecological requirements. II. Centrales. Ministère des Affaires Economiques - Service Géologique de Belgique.
- DESCY J.P., 1979. A new approach to water quality estimation using diatoms. *Nova Hedwigia*, **64**: 305-323.
- DESCY J.P., COSTE M., 1991. A test of methods for assessing water quality based on diatoms. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung Für Theoretische und Angewandte Limnologie*, **24**: 2112-2116.
- EN 13946, 2003. *Water quality – Guidance Standard for the routine sampling and pre-treatment of benthic diatom samples from rivers*. Committee of European Normalization, 14 pp.
- EN 14407, 2004. *Water quality – Guidance Standard for the identification, enumeration and interpretation of benthic diatom samples from running waters*. Committee of European Normalization, 12 pp.
- EUROPEAN PARLIAMENT, 2000. *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy*. O. J. L 327.
- GOMÀ J., CAMBRA J., ECTOR L., TUDESQUE L., DURÁN C., 2003. Application des indices diatomiques de qualité de l'eau dans un des plus grand bassins méditerranéens: le fleuve Ebre. In: *Atti del 22ème Colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française*, 8-12 septembre, Livre des résumés: p 19.
- GOMÀ J., ORTIZ R., CAMBRA J., ECTOR L., 2004. Water quality evaluation in Catalanian Mediterranean rivers using epilithic diatoms as bioindicators. *Vie et Milieu*, **53**: 81-90.
- GRISELLI B., FOGLIATI P., GHIGNE M., 2005. Applicazione dell'indice diatomico EPI (Eutrophication and Pollution Index) nella valutazione della qualità di corpi idrici piemontesi. In: *Atti del Seminario Classificazione ecologica delle acque interne. Applicabilità della Direttiva 200/60/UE*. 12-13 febbraio 2004, Trento. *Biologia Ambientale* **19** (1) (in questo volume).
- HÜRLIMANN J., NIEDERHAUSER P., 2002. *Méthodes d'étude et d'appréciation de l'état de santé des cours d'eau : Diatomées – niveau R (région)*. Office Fédéral de l'Environnement des Forêts et du Paysage, 111 pp.
- KELLY M.G., 1998. Use of the trophic diatom index to monitor eutrophication in rivers. *Water Research*, **36**: 236-242.
- KELLY M.G., CAZAUBON A., CORING E., DELL'UOMO A., ECTOR L., GOLDSMITH B., GUASCH H., HÜRLIMANN J., JARLMAN A., KAWECKA B., KWANDRANS J., LAUGASTE R., LINDSTROM E.A., LEITAO M., MARVAN P., PADISÁK J., PIPP E., PRYGIEL J., ROTT E., SABATER S., VAN DAM H., VIZINET J., 1998. Recommendations for the routine sampling of diatoms for water quality assessments in Europe. *J. Appl. Phycol.*, **10**: 215-224.
- LANGE-BERTALOT H., 1979. Toleranzgrenzen und Populationsdynamik benthischer Diatomeen bei unterschiedlich starker Abwasserbelastung. *Archive für Hydrobiologie Supplement*, **56**: 184-219.
- LECLERCQ L., MAQUET B., 1987. *Deux nouveaux indices chimique et diatomique de qualité d'eau courante. Application au Samson et à ses affluents (Bassin de la Meuse Belge). Comparaison avec d'autres indices chimiques, biocénétiques et diatomiques*. Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Document de Travail, **38**, 113 pp.
- LENOIR A., COSTE M., 1996. Development of a practical diatom index of overall water quality applicable to the French national water Board network. In: Prygiel J., Whitton B.A., Bukowska J. (eds), *Use of algae for monitoring rivers III*. Agence de l'Eau Artois-Picardie, Douai: 29-43.
- NUGHES M.L., ALVAU M., CAPPELLETTI C., CIUTTI F., FLORIS B., MADEDDU G., MONNI V., TROGU S., ROSSELLI P., SAU M., 2005. Prima applicazione degli indici diatomici EPI-D ed IBD nel monitoraggio del rio Picocca in provincia di Cagliari, e confronto con l'IBE. In: *Atti del Seminario Classificazione ecologica delle acque interne. Applicabilità della Direttiva 200/60/UE*. 12-13 febbraio 2004, Trento. *Biologia Ambientale* **19** (1) (in questo volume).
- PATRICK R., 1949. A proposed biological measure of stream condition based on a survey of the Cenestoga basin, Lancaster country, Pennsylvania. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, **101**: 277-341.
- PATRICK R., MATTHEW H.H., WALLACE J.H., 1954. A new method for determining the pattern of diatom flora. *Notulae Naturae*, **252**: 1-12.
- PRYGIEL J., COSTE M., 1998. Mise au point de l'Indice Biologique Diatomée, un indice diatomique pratique applicable au réseau hydrographique français. *L'Eau, l'Industrie, les Nuisances*, **211**: 40-45.
- PRYGIEL J., COSTE M., 2000. *Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomées*. NF T 90-354. Agences de l'eau – Cemagref, Douai.
- PRYGIEL J., WHITTON B.A., BUKOWSKA J. (Ed.), 1999. *Proceedings of International Symposium: Use of algae for monitoring rivers III*. Douai, France, 29 september-1 October 1997. Agence de l'Eau Artois-Picardie, Douai, France, 271 pp.
- RIMET F., HOFFMANN L., CAUCHIE H.M., ECTOR L., 2004a. Regional distribution of diatom assemblages in the headwater streams of Luxembourg. *Hydrobiologia*, **520**: 105-117.
- RIMET F., BERTUZZI E., CANTONATI M., CAPPELLETTI C., CIUTTI F., CORDONIER A., COSTE M., GOMA J., TISON J., TUDESQUE L., VIDAL H., ECTOR L., 2004b. Ripartizione delle comunità di diatomee dei corsi d'acqua di altitudine elevata nell'Europa occidentale: implicazioni per il sistema tipologico A della Direttiva Europea Quadro. *Seminario Classificazione ecologica delle acque interne. Applicabilità della direttiva 2000/60/UE*, 12-13 febbraio 2004, Trento, Italy. Abstract book, 21.
- RIMET F., TUDESQUE L., PETEERS V., VIDAL H., ECTOR L., 2003. Assemblages-types de diatomées benthiques des rivières non-polluées du bassin Rhône-Méditerranée-Corse. *2ème supplément hors série, Société des Sciences Naturelles de l'Ouest de la France*: 272-285.
- RNDE, 2000. *Qualité biologique des cours d'eau en France*. Agences de l'Eau, 15 pp.
- ROTT E., HOFMANN G., PALL K., PFISTER P., PIPP E., 1997. *Indikationslisten für Aufwuchsalgen in österreichischen Fließgewässern. Teil 1: Saprobielle Indikation (Indicator species lists for periphyton in Austrian rivers. Part 1: Saprobic indication)*, *Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaft, Wien*, 73 pp.
- ROTT E., PIPP E., PFISTER P., VAN DAM H., ORTLER K., BINDER N., PALL K., 1999. *Indikationslisten für Aufwuchsalgen in österreichischen Fließgewässern. Teil 2: Trophieindikation (sowie geochemische Präferenzen, taxonomische und toxikologische*

- Anmerkungen). (*Indicator species lists for periphyton from Austrian rivers. Part 2: Trophic indication with additional references to geochemical reaction, taxonomy and ecotoxicology*) - Wasserwirtschaftskataster herausgegeben vom Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaftskataster herausgegeben vom Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaft, Wien, 248 pp.
- ROTT E., PIPP E., PFISTER P., 2003. Diatom methods developed for river quality assessment in Austria and a cross-check against numerical trophic indication methods used in Europe. *Algological Studies*, **110**: 91-115.
- SCHIEFELE S., KOHMANN F., 1993. *Bioindikation der Trophie in Fließgewässern*. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Forschungsbericht Nr. 102 01 504.
- SCHIEFELE S., SCHREINER C., 1991. Use of diatoms for monitoring nutrient enrichment, acidification and impact of salt in rivers in Germany and Austria. In: Whitton B.A., Rott E., Friedrich G. (eds), *Use of algae for monitoring rivers*. Düsseldorf, Germany. Institut für Botanik Universität Innsbruck, Studia Student. G.m.b.H., Innsbruck: 103-110.
- SHANNON C.E., WEAVER W., 1948. *The mathematical theory of communication*. Univ. Illinois Press Urbana III.
- SLÁDEČEK V., 1986. Diatoms as indicators of organic pollution. *Acta Hydrochimica Hydrobiologica*, **14**: 555-566.
- SOININEN J., PAAVOLA R., MUOTKA T., 2004. Benthic diatom communities in boreal streams: community structure in relation to environmental and spatial gradients. *Ecography*, **27**: 330-342.
- STEINBERG C., SCHIEFELE S., 1988. Biological indication of trophic and pollution of running waters. *Zeitschrift für Wasser und Abwasser Forschung*, **21**: 227-234.
- TISON J., COSTE M., DELMAS F., GIRAUDEL J.L., LEK S., 2003. Typologie des assemblages diatomiques du bassin Adour-Garonne (France) par l'utilisation combinée d'un réseau artificiel de neurones (Algorithme de Kohonen) et de l'indice de structuration. *2ème supplément hors série, Société des Sciences Naturelles de l'Ouest de la France*, 216-229.
- TOMÁS X., SABATER S., 1985. The diatom flora of the Llobregat river and its relation to water quality. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* **22** : 2348-2352.
- TORRISI M., DELL'UOMO A., 2001a. Les diatomées benthiques des parties rhithrales et potamales des cours d'eau de l'Apennin central (Italie) et leurs significations écologiques. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* **138**, *Algological Studies*, **102**: 35-47.
- TORRISI M., DELL'UOMO A., 2001b. Contributo alle diatomee di Abruzzo e Molise (fiumi Sangro, Trigno e Volturno) e valutazione comparativa di alcuni indici diatomici europei. *Riv. Idrobiol.*, **40**: 1-18.
- VAN DAM H., MERTENS A., SINKELDAM J., 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, **28**: 117-133.
- WASSON J.G., CHANDESRIAS A., PELLA H., BLANC L., 2002. *Les hydro-écorégions de France métropolitaine, approche régionale de la typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés*. Rapport Cemagref 2001-06-9-084-U, 190 pp.
- WASSON J.G., CHANDESRIAS A., PELLA H., VILLENEUVE B., MENGUIN N., 2003. Directive Cadre et invertébrés: valeurs de référence de l'IBGN et réponses aux pressions anthropiques. In: *46ème congrès de l'Association Française de Limnologie*, 15-18 décembre 2003, Metz: p. 108.
- WHITTON B.A., ROTT E. (Ed.), 1996. Proceedings of International Symposium. *Use of algae for monitoring rivers II*. Innsbruck, Austria 17-19 September 1995, E. Rott, Institut für Botanik, Univ Innsbruck.
- WHITTON B.A., ROTT E., FRIEDRICH G. (Ed.), 1991. Proceedings of International Symposium. *Use of algae for monitoring rivers*, Dusseldorf, Germany 26-28 May 1991, E. Rott, Institut für Botanik, Univ Innsbruck.
- ZELINKA M., MARVAN P., 1961. Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. *Arch. Hydrobiol.*, **57**: 389-407.