

Évaluation de la qualité des rivières des Apennins (Italie) au moyen des indices diatomiques : le fleuve Foglia¹

Mariacristina TORRISI^{a*}, Antonio DELL'UOMO^a & Luc ECTOR^b

^a*Department of Environmental Sciences, Section of Botany and Ecology,
University of Camerino, Via Pontoni 5, I-62032 Camerino (MC), Italy*

^b*Public Research Centre - Gabriel Lippmann,
Department of Environment and Agro-biotechnologies, 41, rue du Brill,
L-4422 Belvaux, Grand-Duchy of Luxembourg*

(Received 22 May 2007, accepted 10 October 2007)

Abstract – Assessment of quality of the Apennine rivers (Italy) using the diatom indices: the River Foglia. Within the framework of a monitoring program assessing the biological quality of the central Italian watercourses, the benthic diatoms of the river Foglia (Marches region) were studied for the first time. Nine sites were selected upstream and downstream of the principal anthropological activities, which occur along all the catchment's area. Two samplings were carried out: the first in October 2004 and the second in May 2005. In total, 145 taxa were observed, the large majority of which clearly indicate both organic and mineral pollution, especially evident in the lower reaches of the river and in particular during the period of low water conditions. The biological quality of the watercourse was assessed using the Diatom-based Eutrophication/Pollution Index or EPI-D, developed for Italian rivers. This index is based, above all, on the diatom sensitivity to nutrients, organic matter and salt concentration, in particular the chlorides. It showed the bad water quality of the river Foglia as well as an excellent correlation with other European diatom indices and the chemical parameters.

Bacillariophyta / EPI-D / eutrophication / diatom indices / water quality

Résumé – Dans le cadre du programme de suivi de la qualité biologique des cours d'eau de l'Italie centrale, pour la première fois les diatomées benthiques du fleuve Foglia (Région des Marches) ont été étudiées. Neuf stations ont été choisies en amont et en aval des principales activités industrielles qui se développent le long du bassin hydrographique. Deux échantillonnages ont été effectués, le premier en automne (octobre 2004) et le second au printemps (mai 2005). Au total 145 taxons ont été observés dont la plupart indiquent une pollution de double nature, organique et minérale, bien évidente dans la partie finale du fleuve, surtout en période d'étiage (automne). L'analyse de la qualité biologique du fleuve a été menée au moyen de l'Indice d'Eutrophisation/Pollution (EPI-D), mis au point particulièrement pour les cours d'eau de l'Italie et qui est basé sur la sensibilité des diatomées aux nutriments, à la matière organique et à la minéralisation de l'eau, en particulier aux chlorures. Cet indice a permis de mettre en évidence la mauvaise qualité des eaux du fleuve Foglia et il a démontré une excellente corrélation avec plusieurs autres indices diatomiques européens et les paramètres chimiques.

Bacillariophyta / EPI-D / eutrophication / indices diatomiques / qualité de l'eau

1. Communication présentée au 25^e Colloque de l'ADLaF, Caen, Septembre 2006.

* Correspondence and reprints: mariacristina.torrisi@unicam.it
Communicating editor: Pierre Compère

INTRODUCTION

L'étude des diatomées du fleuve Foglia et de leur signification écologique s'intègre dans le cadre du programme de suivi des cours d'eau de l'Italie centrale (Dell'Uomo, 1996, 1999; Dell'Uomo & Tantucci, 1996; Dell'Uomo & Grandoni, 1997; Dell'Uomo *et al.*, 1999; Scuri *et al.*, 2006; Torrisi & Dell'Uomo, 2001, 2003, 2006; Torrisi *et al.*, 2006), une étape préalable nécessaire avant l'application de la Directive Cadre européenne sur l'Eau (Council of the European Communities, 2000) qui requiert un classement de l'état écologique des masses d'eau de surface, basé prioritairement sur les indicateurs biologiques. Comme en témoignent plusieurs travaux en Europe (Whitton & Rott, 1996; Prygiel *et al.*, 1999; Ector *et al.*, 2004), les diatomées benthiques sont, sans aucun doute, des bioindicateurs très efficaces. L'emploi de ces algues pour l'évaluation de la qualité biologique des réseaux hydrographiques nationaux est actuellement rendu obligatoire par la législation dans la plupart des pays européens. Cependant, en Italie, les diatomées ont encore relativement peu été utilisées par les organismes chargés du contrôle de la qualité des écosystèmes aquatiques, qui, selon les besoins, commencent à appliquer en routine l'Indice d'Eutrophisation et Pollution ou EPI-D (Dell'Uomo, 2004). Cet indice EPI-D a été élaboré pour le territoire italien à la suite de plusieurs années d'expérimentation et d'observation des populations de diatomées, principalement dans les cours d'eau des Apennins.

Dans le cadre de cette étude pionnière, l'EPI-D a été appliqué aux communautés de diatomées du fleuve Foglia, observées pour la première fois dans ce cours d'eau de l'Apennin central septentrional. En étendant l'étude des diatomées à d'autres bassins hydrographiques tel que celui du Foglia, il est possible d'incrémenter la liste des taxons à prendre en compte pour le calcul de l'indice diatomique EPI-D et d'améliorer la connaissance de l'autécologie des espèces en Italie, surtout pour celles qui sont peu abondantes dans les cours d'eau des Apennins et sont donc actuellement moins connues. Les nouvelles informations obtenues sur les diatomées du bassin du Foglia permettront d'améliorer la réponse de l'EPI-D quant à l'évaluation de la qualité biologique des fleuves et rivières de l'Italie.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le fleuve Foglia : caractéristiques hydrologiques et chimiques

Le fleuve Foglia, dont la source se trouve en Toscane sur le versant Est du mont Sovara à 1 003 m d'altitude, traverse la région des Marches en direction Ouest-Est et se jette après un parcours de 75 km dans la Mer Adriatique (Fig. 1) à proximité de la ville de Pesaro. Ses affluents les plus importants sont le torrent Molino, qui descend du Mont Carpegna (1 415 m d'altitude) et se jette dans le fleuve Foglia en amont de la ville de Lunano, et les deux rivières dénommées Apsa, situées sur le cours moyen et inférieur et provenant des collines des alentours d'Urbino.

Le fleuve Foglia a un régime torrentiel fortement conditionné par les précipitations qui surviennent surtout dans la période automne-hiver-printemps.

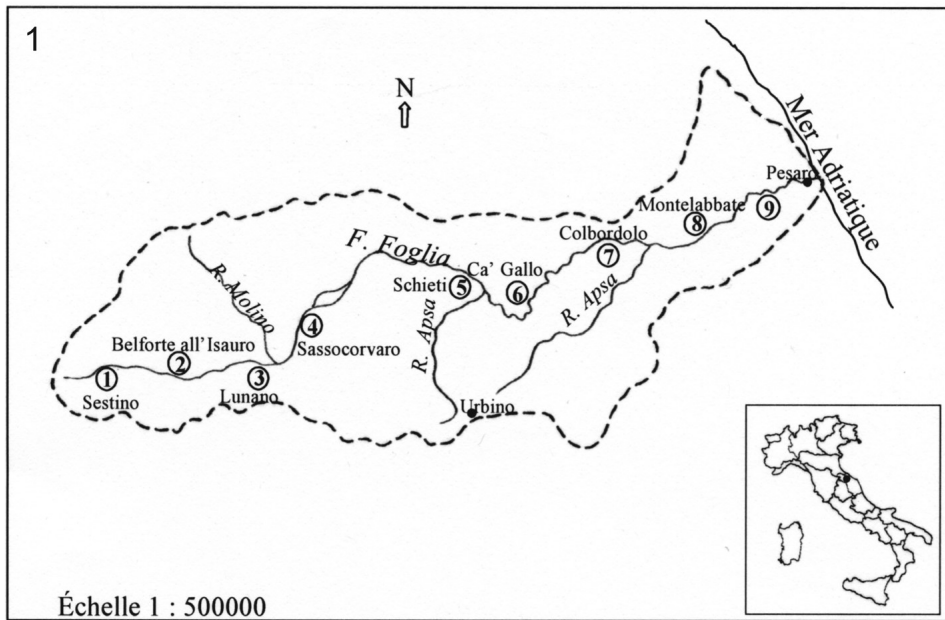


Fig. 1. Bassin hydrographique du fleuve Foglia avec indication des neuf stations choisies pour l'échantillonnage. En encadré : localisation du fleuve Foglia dans la région des Marches (Italie), repéré par un point noir.

À quinze kilomètres de l'embouchure, le débit annuel moyen dépasse $7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Le bassin hydrographique s'étend sur une surface de 705 km^2 et son profil géologique est principalement constitué, dans la partie supérieure, par des formations de marnes sableuses et calcaires, tandis que dans la partie terminale dominent des affleurements de la couche marine du Schlier (Elmi *et al.*, 1983).

Dans les sites d'échantillonnage, l'analyse des principales caractéristiques physico-chimiques de l'eau a été effectuée mensuellement : température, pH, conductivité, chlorures, nitrates, phosphore total, oxygène dissous et DBO₅ ; toutes les mesures ont été réalisées selon la méthodologie APHA (1998).

Récolte, préparation et observation microscopique des échantillons

Tout au long du cours d'eau, les diatomées benthiques de neuf stations ont été récoltées (Fig. 1). Les sites d'échantillonnage ont été choisis en amont et en aval des centres urbains et des principales activités agricoles et industrielles. Dans le tronçon amont, les cultures et les élevages de bétail sont les principales causes de pollution, tandis que dans les parties moyenne et terminale du fleuve dominent les industries métallurgiques et de meubles. Deux échantillonnages ont été effectués, le premier en automne (octobre 2004) et le second juste après les crues de printemps en mai 2005. Les diatomées épilithiques ont été récoltées selon les normes AFNOR (2000) et EN 13946 (CEN, 2003). Les échantillons ont été traités au peroxyde d'hydrogène à chaud, et les frustules, nettoyés et rincés, ont été montés au Naphrax[®]. Les déterminations des taxons ont été réalisées avec les

Tableau 1. Interprétation des notes indicielles de l'EPI-D sur une échelle de 1 à 20, avec cinq classes principales et quatre classes intermédiaires de qualité (Dell'Uomo, 2004).

<i>Notes EPI-D</i>	<i>Classes</i>	<i>Qualité</i>	<i>Couleur</i>
20,0 ≥ EPI-D > 15,5	I	excellente	bleu
15,5 ≥ EPI-D > 14,5	I-II	excellente-bonne	bleu-vert
14,5 ≥ EPI-D > 12,5	II	bonne	vert
12,5 ≥ EPI-D > 11,5	II-III	bonne-médiocre	vert-jaune
11,5 ≥ EPI-D > 9,5	III	médiocre	jaune
9,5 ≥ EPI-D > 8,5	III-IV	médiocre-mauvaise	jaune-orange
8,5 ≥ EPI-D > 6,5	IV	mauvaise	orange
6,5 ≥ EPI-D > 5,5	IV-V	mauvaise-très mauvaise	orange-rouge
5,5 ≥ EPI-D ≥ 1,0	V	très mauvaise	rouge

monographies de Germain (1981), Krammer & Lange-Bertalot (1986-1991b), Ricard (1987), et plusieurs volumes de *Diatoms of Europe* et *Iconographia Diatomologica*. Pour l'analyse et le comptage d'environ 400 valves par échantillon, la norme européenne EN 14407 (CEN 2004) a été suivie.

Dans les différentes stations d'échantillonnage, la qualité biologique a été évaluée au moyen de l'indice diatomique d'eutrophisation/pollution ou EPI-D (Dell'Uomo, 2004). Cet indice, intégré dans le logiciel OMNIDIA (Lecointe *et al.*, 1993, 1999 et mises à jour version 4.2, [http : //perso.club-internet.fr/clci/](http://perso.club-internet.fr/clci/)), se base sur la sensibilité des diatomées à la matière organique, aux éléments nutritifs (phosphore et azote) et à la minéralisation de l'eau (en particulier les chlorures). L'EPI-D exprime donc un jugement sur la qualité générale d'un cours d'eau qui intègre autant l'état trophique que les phénomènes de pollutions organique et minérale. L'interprétation des notes indicielles est montrée dans le Tableau 1.

À l'aide du logiciel OMNIDIA version 4.2 et en utilisant la matrice de corrélation de Pearson, les notes de l'indice italien EPI-D ont été comparées à celles obtenues par divers indices diatomiques mis au point dans d'autres pays européens : CEE (Descy & Coste, 1991), SHE (Schiefele & Schreiner, 1991), IPS (Coste *in* Cemagref, 1982), IBD (Lenoir & Coste, 1996; Prygiel & Coste, 2000), SLA (Sládeček, 1986), L&M (Leclercq & Maquet, 1987), ROT sap. (Rott *et al.*, 1997) et ROT troph. (Rott *et al.*, 1999).

L'EPI-D a aussi été comparé au moyen des coefficients de corrélation de Pearson aux paramètres chimiques suivants : conductivité, chlorures, nitrates, phosphore total, oxygène dissous, DBO₅.

RÉSULTATS

Dans le fleuve Foglia, au total 145 taxons de diatomées ont été observés (Tab. 2). Certaines espèces n'étaient pas encore incluses dans la liste des diatomées retenues par l'EPI-D pour les cours d'eau italiens : *Nitzschia*

angustatula, *N. filiformis*, *N. microcephala*, *N. thermaloides*, *Tryblionella littoralis* et *Stauroneis schimanskii*. Ce *Stauroneis* est rare en Italie et en Europe et, pour cette raison, ce taxon n'a pas pu être inclus et pris en compte dans le calcul de l'EPI-D. Les cinq autres espèces ont été prises en considération avec les paramètres écologiques « i » (optimum écologique) et « r » (fiabilité) suivants :

- <i>Nitzschia angustatula</i>	i = 2,0	r = 1
- <i>Nitzschia filiformis</i>	i = 3,0	r = 5
- <i>Nitzschia microcephala</i>	i = 2,7	r = 3
- <i>Nitzschia thermaloides</i>	i = 3,0	r = 1
- <i>Tryblionella littoralis</i>	i = 3,3	r = 3

Ces valeurs indicielles ont été définies selon la méthodologie de l'EPI-D (Dell'Uomo, 2004) après consultation bibliographique de l'autécologie des espèces, définie principalement par Hofmann (1994) et Van Dam *et al.* (1994).

Dans la liste des diatomées du fleuve Foglia (Tab. 2), relativement peu d'espèces indiquent des milieux de bonne qualité, notamment *Achnanthydium minutissimum*, *Caloneis bacillum*, *Cymbella helvetica*, *Meridion circulare* et *Planothydium lanceolatum* ; ces taxons ont été trouvés principalement dans la partie amont du fleuve. Par contre, plus en aval les diatomées caractéristiques des milieux dégradés sont abondantes, par exemple *Eolimna minima*, *E. subminuscula*, *Luticola goeppertiana*, *Navicula schroeteri*, *Nitzschia inconspicua* et *N. sociabilis* ; ces espèces sont caractéristiques à la fois des milieux eutrophes et des sites où la concentration en matière organique est élevée (stations 7-9). En outre, plusieurs espèces du fleuve Foglia montrent une prédilection pour des eaux fortement minéralisées : *Amphora veneta*, *Navicula gregaria*, *Nitzschia frustulum*, *N. lorenziana*, *N. vitrea* var. *salinarum* et *Surirella ovalis* ont été observées dans le cours principal, principalement dans les stations 7 à 9, à proximité de l'embouchure du fleuve.

La Figure 2 montre l'évolution des paramètres physico-chimiques dans les neuf stations. Pour chacun de ces paramètres, les moyennes des six mois antérieurs aux échantillonnages des diatomées ont été calculées.

Dans la partie la plus élevée du bassin, en amont de la station 3, les caractéristiques chimiques de l'eau sont bonnes à excellentes, mais un peu plus en aval on décèle une quantité non négligeable de matière organique, d'éléments combinés de l'azote, du phosphore et du chlore, comme l'avaient déjà signalé Cocchioni *et al.* (1991). La minéralisation de l'eau du fleuve augmente considérablement après la confluence des deux rivières Apsa (valeurs moyennes de conductivité dans la dernière station autour de $1300 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ et de chlorures supérieures à $100 \text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$). À proximité de l'embouchure, les niveaux d'eutrophisation et de pollution organique atteignent des valeurs tellement élevées que la qualité générale du cours d'eau devient critique. Les sources de pollution organique du fleuve sont dues, en proportions identiques, aux déchets ménagers, aux élevages de bétail et aux activités industrielles (Didero *et al.*, 1990).

En général, l'indice EPI-D (Tab. 3) a démontré, en étroite relation avec les paramètres chimiques, que le fleuve Foglia se trouve dans une situation écologique grave, surtout en étiage (octobre 2004) avec une qualité de l'eau oscillant entre les classes médiocre et mauvaise dans toutes les stations étudiées. Lors du deuxième échantillonnage réalisé en mai 2005, juste après les crues de printemps, une nette amélioration de la qualité a été observée dans les premières stations du fleuve, jugées d'excellente ou de bonne qualité par l'EPI-D. Par contre, à partir de la quatrième station, on constate, aussi bien en automne qu'en printemps, une aggravation progressive de la situation qui culmine dans les trois dernières stations du Foglia qui sont toutes qualifiées de mauvaise qualité biologique par l'EPI-D.

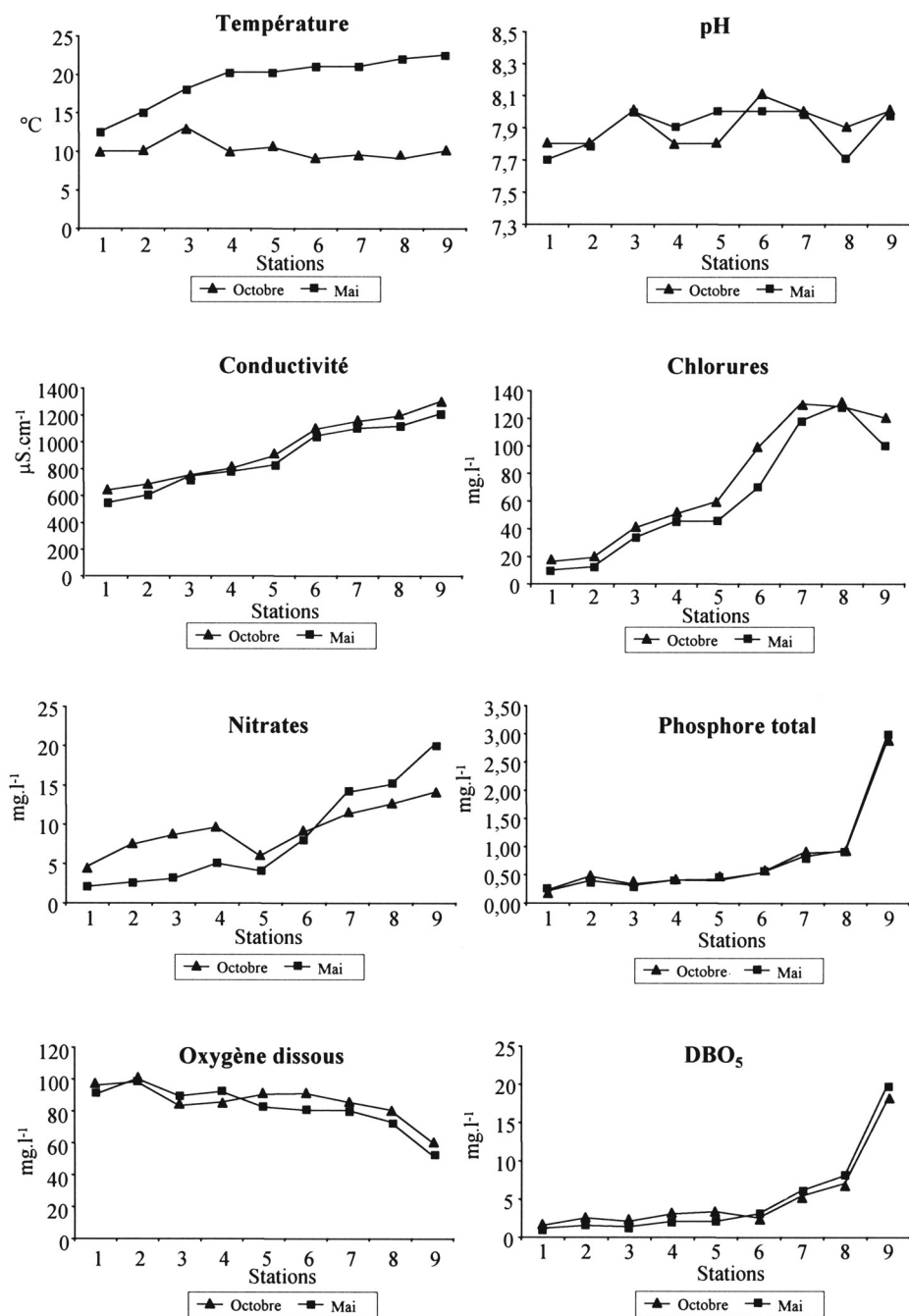


Fig. 2. Évolution des paramètres physico-chimiques considérés dans les neuf stations étudiées du fleuve Foglia pendant les deux périodes d'échantillonnage en octobre 2004 et mai 2005.

Tableau 2. Abondances relatives des diatomées (%) observées dans les neuf stations du bassin hydrographique du fleuve Foglia. En gras : taxons observés à plus de 5 % d'abondance relative dans au moins une des neuf stations étudiées en octobre 2004 (stations 1a-9a) et en mai 2005 (stations 1b-9b).

	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	9a	1b	2b	3b	4b	5b	6b	7b	8b	9b
<i>Achnanthydium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	21,25	13,59	7,32	4,16	0,23	4,64	0	0,98	0,50	37,41	41,06	11,71	21,43	5,19	3,18	0,65	0,74	0,97
<i>Actinopterychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,43	0	0
<i>Amphora copulata</i> (Kützing) Schoeman et Archibald	0	0	0	0	0	0,49	0	0,25	0,25	0	0	0	0	0	0,43	0,50	0,49	0
<i>Amphora inariensis</i> Krammer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,48	0,24	0	0	0	0	0	0
<i>Amphora montana</i> Krasske	0,23	0,22	0	0	0	0,23	0	0,49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,49
<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing	0	0	0	0,24	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow	0,69	1,11	5,26	2,20	20,36	0,46	41,56	6,39	2,48	0	0,97	2,68	0,92	3,30	1,82	0,87	0,25	2,43
<i>Amphora veneta</i> Kützing	0	0	0	0	0,46	0,73	0,25	0	0	0	0	0	0	0,24	0,23	0,87	0,50	0,24
<i>Bacillaria paxillifera</i> (O.F. Müller) Hendeley	0	0	0	0	0,23	0	0	0,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Brachysira vitrea</i> (Grunow) Ross	0	0	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0,46	0	0	0	0	0
<i>Caloneis amphibaena</i> (Bory) Cleve	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0,22	0,46	0	0
<i>Caloneis bacillum</i> (Grunow) Cleve	0,69	1,34	0	0,73	0	0,23	0	0,25	0	0	0,48	0,24	0,23	0,24	0	0,43	0,25	0
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg	0,23	0	2,52	0,24	0	2,78	0,49	0,49	0,25	0	4,11	0,49	0,23	0,71	1,36	0	0	0
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	0	0	0	0	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> (Ehrenberg) Grunow	0	0,22	0,23	0,24	4,52	4,64	1,47	1,47	0	0	0,24	0	0,46	14,15	4,10	1,95	0	3,65
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i> (Ehrenberg) Van Heurck	0	0	0	0	0,68	0,46	0,24	0,25	2,72	0	0	0	0,23	1,42	0	0,43	0,74	1,46
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>pseudolineata</i> Geitler	0	0	0	0	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Craticula cuspidata</i> (Kützing) Mann	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,50	0
<i>Cyclotophanos invisitatus</i> (Hohn et Hellerman) Thériot, Stoermer et Håkansson	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cyclotella distinguenda</i> Hustedt	0	0	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	0	0	1,37	0	0	1,16	2,44	0,49	3,50	0	0,48	0	0	1,42	1,82	36,88	17,9	36,50
<i>Cymatopleura elliptica</i> (Brébisson) W. Smith	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,25	0	0	0	0	0,23	0	0,25	0	0
<i>Cymatopleura solea</i> (Brébisson) W. Smith	0	0	0	0,24	0	0	0	0,50	0,50	0,25	0	0	0	0	0	0,22	2,73	0
<i>Cymbella affinis</i> Kützing	6,47	1,11	5,03	0,24	0	0,70	0	0,25	1,24	17,96	8,45	2,68	8,76	0,94	0,23	0	0	0
<i>Cymbella helvetica</i> Kützing	0,46	0	0,23	0	0	0	0	0	0	0,50	2,90	2,44	0,46	0	0	0	0	0
<i>Cymbella lanceolata</i> (Ehrenberg) Kirchner	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cymbella tumida</i> (Brébisson) Van Heurck	0	0	0	0,24	0	0,23	0	0,25	0,25	0	0	0	0	0	0	0,43	0	0
<i>Cymbella tumidula</i> Grunow	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,50	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cymbopleura amphicephala</i> Krammer	0,46	0,22	0	0	0	0	0	0	0	0,75	0,24	0	0,23	0	0	0	0	0

Tableau 2. (suite) Abondances relatives des diatomées (%) observées dans les neuf stations du bassin hydrographique du fleuve Foglia. En gras : taxons observés à plus de 5 % d'abondance relative dans au moins une des neuf stations étudiées en octobre 2004 (stations 1a-9a) et en mai 2005 (stations 1b-9b).

	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	9a	1b	2b	3b	4b	5b	6b	7b	8b	9b
<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Brébisson	9,24	1,34	1,37	0,49	0,23	0,23	0,49	0,25	1,24	1,25	0,97	2,20	1,15	0,94	2,05	0	0,50	0
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing	0	0,45	0,23	0,73	0	0,46	0,73	0,74	0	0	0,48	0	5,99	2,36	0,68	0,65	0	0,97
<i>Gomphonema tergestinum</i> (Grunow) Fricke	0,92	1,34	34,10	4,89	0,23	0,23	0	0,74	0,25	17,96	10,14	8,29	1,38	0	0	0,22	0	0
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg	0	0	0	0,49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0	0	0	0
<i>Grammatophora</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst	0	0	0	0,24	0,23	0	2,44	0	0,25	0	0,48	0	0,23	0	0,46	0,22	1,49	0,24
<i>Gyrosigma attenuatum</i> (Kützing) Rabenhorst	0	0	0	0	0	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gyrosigma nodiferum</i> (Grunow) Reimer	0	0,22	0	0,24	7,24	0,23	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0,23	0	0	0
<i>Gyrosigma scalproides</i> (Rabenhorst) Cleve	0	0	0	0,24	0	0	0,49	0	0,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,50	0	0	0	0,23	0	0	0	0,25	0,24
<i>Kolbesia ploenensis</i> (Hustedt) Kingston	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,25	0	0	0	0	0	0	0,65	0	0,49
<i>Luticola goeppertiana</i> (Bleisch) D.G. Mann	0	0	0	0	0	0,23	0,24	10,07	0,70	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24
<i>Luticola rivalis</i> (Ehrenberg) D.G. Mann	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Luticola ventricosa</i> (Kützing) D.G. Mann	0	0	0	0	0	0	0	0,25	1,49	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mayamaea atomus</i> (Kützing) Lange-Bertalot	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,38	0	1,14	4,34	0	0,49
<i>Mayamaea atomus</i> var. <i>permitis</i> (Hustedt) Lange-Bertalot	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0,94	0,23	0,87	0
<i>Melosira varians</i> Agardh	0	0	0	0	0	0	0,49	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,49
<i>Meridion circulare</i> (Greville) Agardh	0,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula capitatoradiata</i> Germain ex Gasse	0	0	0,46	0,49	1,36	2,55	0,73	3,19	1,49	0,25	0,48	0,24	0,69	1,18	2,05	0,22	1,49	0
<i>Navicula cari</i> Ehrenberg	0,23	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0,24	0,23	0,47	0	0	0	0
<i>Navicula cincta</i> (Ehrenberg) Ralfs	0	0	0	0,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0
<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot	1,15	4,23	1,83	2,44	0,45	1,39	0,73	2,21	0,10	0,50	12,80	43,41	11,29	17,69	21,14	1,74	1,24	3,41
<i>Navicula gregaria</i> Donkin	0	0	0	0,24	1,36	2,32	71,71	0,98	0,25	0	0,72	0	0,69	0,94	3,41	3,04	5,46	1,46
<i>Navicula lanceolata</i> (Agardh) Ehrenberg	0	0	1,14	0,49	0	3,71	5,13	2,46	9,90	0	0	1,22	0,46	2,83	4,55	0,43	1,34	3,89
<i>Navicula leptostriata</i> Jørgensen	0	0,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula menisculus</i> Schumann	0	0	0	0	0	0	0	0,98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula phyllepta</i> Kützing	0	1,34	0,46	2,69	0	0	0	0,74	0,25	0	0,24	0	1,61	0,94	9,77	1,09	0	0
<i>Navicula radiosa</i> Kützing	0,69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula recens</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	0	0	0	0	0	0	0	2,95	3,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula reichardtiana</i> Lange-Bertalot	0,46	0	0,46	0,24	0,90	0	0	0	3,20	0	0	0	0,69	0,71	0,23	1,74	0	0,24

Tableau 2. (suite) Abondances relatives des diatomées (%) observées dans les neuf stations du bassin hydrographique du fleuve Foglia. En gras : taxons observés à plus de 5 % d'abondance relative dans au moins une des neuf stations étudiées en octobre 2004 (stations 1a-9a) et en mai 2005 (stations 1b-9b).

	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	9a	1b	2b	3b	4b	5b	6b	7b	8b	9b	
<i>Navicula rostellata</i> Kützing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,99	0
<i>Navicula schroeteri</i> Meister	0	3,56	0	0,98	2,71	2,32	0,49	0	2,48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,49
<i>Navicula tripunctata</i> (O.F. Müller) Bory	0,92	0,67	2,52	0,49	2,26	0,23	0,73	0,74	0,25	0,25	0,72	0,49	0,46	0,71	0,23	0,43	0,99	0,24	
<i>Navicula trivialis</i> Lange-Bertalot	0	0	0	0	0	0	0,49	0	0	0	0,24	0	0	0	0	0,22	0	0	
<i>Navicula veneta</i> Kützing	0	0,89	1,37	2,44	0,45	4,87	1,22	2,46	4,00	0	0,48	0	0	0	0	2,17	0	1,46	
<i>Navicula viridula</i> (Kützing) Ehrenberg	0	0,22	0,23	0,24	0	0,46	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W. Smith	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0	0	16,27	0	2,92	
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow	0	0	0,69	0	0,45	0,23	0,98	1,23	1,24	0	0	0	0	0	0	0,65	0	0	
<i>Nitzschia angustata</i> Grunow	0	0	0	0	0	0	0	0	0,70	0	0	0	0,23	0	0	0	0,50	0	
<i>Nitzschia angustanula</i> Lange-Bertalot	0,23	0	0	0,24	0,23	0	0,49	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Nitzschia capitellata</i> Hustedt	0	0	0	0	0	0,23	0,49	0	0	0	0	0	0	0	0	2,05	0,87	5,46	6,33
<i>Nitzschia clausii</i> Hantzsch	0	0	0	0	0	0,23	0,24	0,98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,49
<i>Nitzschia debilis</i> (Arnott) Grunow	0,23	0	0	0	0	0	0	0	2,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Grunow	5,54	9,35	0,69	8,56	7,47	1,16	0,49	6,63	2,72	0	2,66	5,61	1,61	2,83	2,05	0,87	0,50	0,24	
<i>Nitzschia dubia</i> W. Smith	0	0	0	0	0	0	0,24	0	0	0	0	0,24	0	0	0,23	0,22	2,48	2,68	
<i>Nitzschia filiformis</i> (W. Smith) Van Heurek	0	0	0	0	1,13	0,70	0	1,97	0,70	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	
<i>Nitzschia fonticola</i> Grunow	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,75	0	0	0	0	0	1,74	0	0	
<i>Nitzschia frustulum</i> (Kützing) Grunow	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0,46	0,87	2,48	1,22	
<i>Nitzschia gessneri</i> Hustedt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,75	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Nitzschia heufferiana</i> Grunow	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,46	0	0	0	
<i>Nitzschia inconspicua</i> Grunow	1,15	33,63	22,88	49,39	29,41	42,46	18,83	32,92	27,0	0	0	5,61	4,38	30,66	19,77	24,73	1,49	5,84	
<i>Nitzschia linearis</i> (Agardh) W. Smith	0,23	0	0,23	0	0,23	0,23	0,24	0	0	0	0,48	0,49	0,69	0	0,23	0,43	0	0,97	
<i>Nitzschia lorentziana</i> Grunow	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,46	0,22	0	0,24	
<i>Nitzschia microcephala</i> Grunow	0	2,45	0	5,38	0,23	0	0,49	5,90	1,73	0	0	0,24	0,92	0	0	2,60	0	0	
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith	0	0	0,69	0	0	0	0,49	2,21	1,73	0,50	1,45	0	3,92	0	0	3,47	0	1,22	
<i>Nitzschia paleacea</i> (Grunow) Grunow	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,15	0	0	4,77	0	0,24	
<i>Nitzschia pusilla</i> (Kützing) Grunow	10,16	10,69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Nitzschia recta</i> Hantzsch	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0	0,50	0	
<i>Nitzschia reversa</i> W. Smith	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0,22	0,25	0	
<i>Nitzschia sigma</i> (Kützing) W. Smith	0	0,22	0	0	0	0	0,24	0,74	1,24	0	0	0	0	0	0,46	0,43	0,99	0,73	

Tableau 2. (suite) Abondances relatives des diatomées (%) observées dans les neuf stations du bassin hydrographique du fleuve Foglia. En gras : taxons observés à plus de 5 % d'abondance relative dans au moins une des neuf stations étudiées en octobre 2004 (stations 1a-9a) et en mai 2005 (stations 1b-9b).

	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	9a	1b	2b	3b	4b	5b	6b	7b	8b	9b
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W. Smith	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0	0	0	0	0	0,74	0
<i>Nitzschia sociabilis</i> Hustedt	0	5,35	0	2,69	6,79	0	0	0,49	0	0	0	1,95	0,23	0	1,14	0,87	0	0,24
<i>Nitzschia thermaloides</i> Hantzsch	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,50	0
<i>Nitzschia vitrea</i> var. <i>salinarum</i> Grunow	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,22	0,50	0
<i>Pinnularia microstauron</i> (Ehrenberg) Cleve	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,50	0,49
<i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg	0	0	0	0	0	0	0,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0
<i>Planolthidium lanceolatum</i> (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot	0	0	0	0	0	0	1,47	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0,87	0	0
<i>Reimeria sinuata</i> (Gregory) Kociolek et Stoermer	0	0	0	0,24	7,24	0,46	0	0,49	0,25	0	0	0	0	0,24	0,23	0,43	0,50	0
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (Agardh) Lange-Bertalot	0	0,22	0,23	0	0,68	0,46	1,22	1,47	0,25	0	0	4,39	3,23	2,83	7,50	0,43	0,50	2,92
<i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehrenberg) O. Muller	0	0	0	0	0	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stauroneis schimanskii</i> Krammer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,43	0	0
<i>Stauroneis smithii</i> Grunow	0	0	0	0	0	0	0,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0
<i>Stauroneis venter</i> (Ehrenberg) Cleve et Moller	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow	0	0	0	0	0	3,71	0	0	2,48	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> f. <i>tenuis</i> (Hustedt) Håkansson et Stoermer	0	0	0	0	0,45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Surirella angusta</i> Kützing	0	0	0	0	0	0	0,24	0,25	0	0	0	0,24	0,23	0	0	0	0	0
<i>Surirella brebissonii</i> Krammer et Lange-Bertalot	0,23	0,45	0	0,24	0	0,23	2,44	0,98	0,50	0	0,72	0,24	0,92	1,89	0,68	0,87	1,50	1,95
<i>Surirella brebissonii</i> var. <i>kuetzingii</i> Krammer et Lange-Bertalot	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0,50	0
<i>Surirella minuta</i> Brébisson	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24
<i>Surirella ovalis</i> Brébisson	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,22	0,74	0
<i>Thalassiosira baltica</i> (Grunow) Ostenfölst	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,22	0	0
<i>Thalassiosira pseudonana</i> Hasle et Heimdal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,43	0	0
<i>Tryblionella apiculata</i> Gregory	0,23	1,56	0,69	2,44	0,68	2,55	1,47	0	4,50	0,50	0,72	0,49	0,46	0,71	1,82	1,30	23,82	8,03
<i>Tryblionella calida</i> (Grunow) D.G. Mann	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,97
<i>Tryblionella hungarica</i> (Grunow) D.G. Mann	0	0	0	0	0	0	0,24	0	0,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tryblionella levidensis</i> var. <i>salinarum</i> Grunow	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,43	1,49
<i>Tryblionella littoralis</i> (Grunow) D.G. Mann	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0	0
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	0,69	0	0,23	0	0	0,23	1,22	0	0	0,25	0,24	0,73	0,23	0,24	0,10	0,22	0,50	0,49

Tableau 3. Qualité biologique des neuf stations du fleuve Foglia ; interprétation des notes indicielles selon Dell'Uomo (2004).

N°	Stations	EPI-D octobre 2004	Qualité biologique	EPI-D mai 2005	Qualité biologique
1	Sestino	13,9	bonne	15,8	excellente
2	Belforte all'Isauro	10,4	médiocre	15,6	excellente
3	Lunano	12,3	bonne-médiocre	14,2	bonne
4	Sassocorvaro	9,3	médiocre-mauvaise	12,0	bonne-médiocre
5	Schieti	8,8	médiocre-mauvaise	10,4	médiocre
6	Ca' Gallo	9,8	médiocre	9,2	médiocre-mauvaise
7	Colbordolo	8,2	mauvaise	7,0	mauvaise
8	Montelabbate	8,8	médiocre-mauvaise	7,2	mauvaise
9	Amont de Pesaro	8,3	mauvaise	6,9	mauvaise

DISCUSSION

Les communautés de diatomées épilithiques ont révélé dans le fleuve Foglia une pollution de double nature, à la fois organique et minérale, cette dernière étant principalement due aux chlorures. Le taux élevé de minéralisation (Fig. 2) de la partie terminale du fleuve Foglia, causé par la nature géologique du bassin mais aussi par le déversement des rejets industriels dans les rivières, permet le développement de quelques algues typiquement marines, qui ont été observées lors du deuxième échantillonnage en mai 2005 dans les stations 7 et 8 à plus d'une quinzaine de kilomètres de l'embouchure : la Dictyochophycée *Dictyocha fibula* Ehrenberg et les diatomées *Thalassiosira baltica*, *Actinoptychus senarius*, *Grammatophora* sp. Ces trois diatomées, typiques des eaux salées, ne sont pas considérées pour le calcul des indices diatomiques italien (EPI-D) et européens.

Les notes indicielles de l'EPI-D montrent une corrélation excellente à bonne avec la plupart des autres indices diatomiques européens considérés (Tab. 4), cette constatation est également valable pour d'autres cours d'eau des Apennins étudiés par Torrisi & Dell'Uomo (2006) et Torrisi *et al.* (2006).

Afin de mettre en évidence les différences de comportement des indices diatomiques dans les neuf stations examinées pendant les deux périodes d'échantillonnage, nous avons comparé les résultats des six indices européens les mieux corrélés avec l'EPI-D. Les indices diatomiques globaux, c'est-à-dire sensibles à la matière organique, aux nutriments et à la minéralisation de l'eau (EPI-D, IPS, IBD et CEE), ont été comparés ensemble (Fig. 3). L'IPS est l'indice le plus optimiste, surtout pendant la première période d'échantillonnage en automne ; des résultats comparables avaient été obtenus pour les cours d'eau de Catalogne par Gomà *et al.* (2004). Dans la Figure 4, l'EPI-D a été comparé avec les indices qui évaluent soit le degré de saprobie (ROTSap et SHE), soit le degré de trophie (ROTTroph). L'indice ROTTroph s'est avéré être le plus pessimiste, tandis que les deux autres indices ROTsap et SHE donnent des notes supérieures à l'EPI-D. La position intermédiaire de l'EPI-D, entre des indices qui évaluent la saprobie ou la trophie, est justifiée puisqu'il s'agit d'un indice d'eutrophisation/

Tableau 4. Matrice de corrélation entre les neuf indices diatomiques européens considérés, calculée au moyen des coefficients de Pearson sur 18 observations. *** = corrélation excellente (1 à 0,750), ** = corrélation bonne (0,750 à 0,550), * = corrélation acceptable (0,550 à 0,350).

	<i>IPS</i>	<i>IBD</i>	<i>ROT sap.</i>	<i>ROT troph.</i>	<i>SHE</i>	<i>CEE</i>	<i>GEN</i>	<i>SLA</i>	<i>L&M</i>
<i>EPI-D</i>	0,944 ***	0,905 ***	0,946 ***	0,959 ***	0,951 ***	0,946 ***	0,904 ***	0,689 **	0,877 ***
<i>IPS</i>	1	0,870 ***	0,939 ***	0,875 ***	0,943 ***	0,965 ***	0,802 ***	0,744 **	0,889 ***
<i>IBD</i>		1	0,819 ***	0,907 ***	0,809 ***	0,861 ***	0,921 ***	0,610 **	0,756 ***
<i>ROT sap.</i>			1	0,904 ***	0,969 ***	0,945 ***	0,796 ***	0,723 **	0,904 ***
<i>ROT troph.</i>				1	0,917 ***	0,880 ***	0,928 ***	0,615 **	0,782 ***
<i>SHE</i>					1	0,927 ***	0,814 ***	0,670 **	0,873 ***
<i>CEE</i>						1	0,814 ***	0,670 **	0,873 ***
<i>GEN</i>							1	0,409 *	0,679 **
<i>SLA</i>								1	0,864 ***

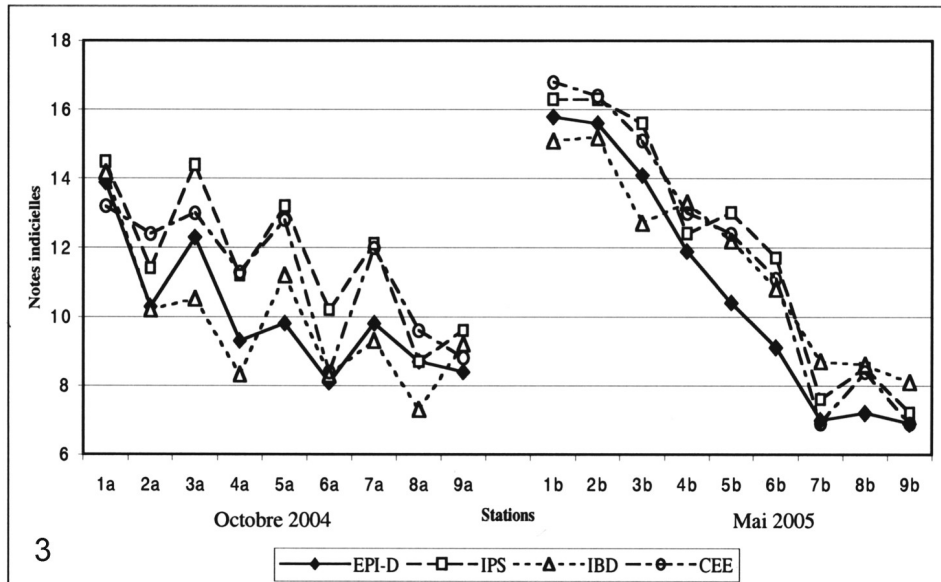


Fig. 3. Comparaison de quatre indices diatomiques de la qualité de l'eau sensibles à la matière organique, aux nutriments et à la minéralisation ; 1a-9a échantillonnage en étiage (octobre 2004), 1b-9b échantillonnage après les crues de printemps (mai 2005).

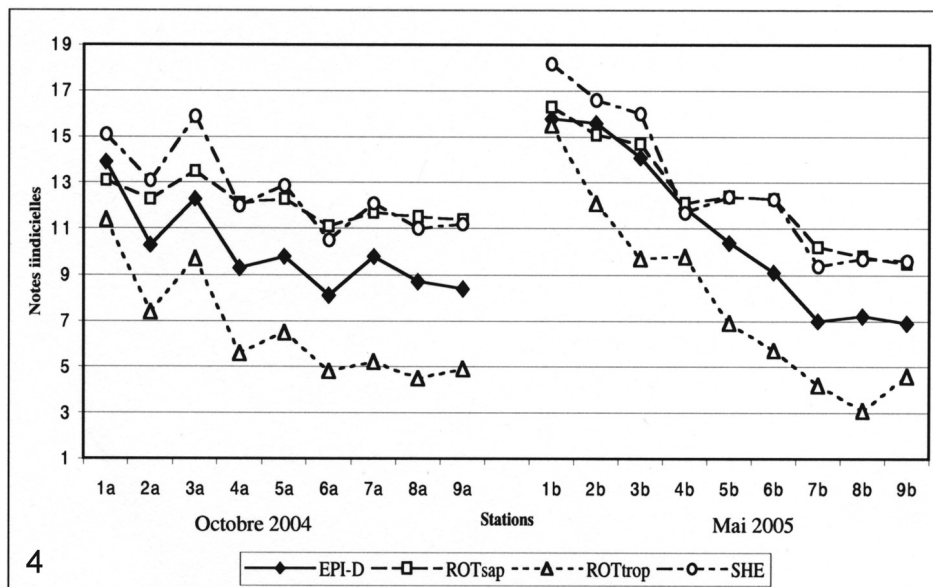


Fig. 4. Comparaison entre l'EPI-D et trois indices diatomiques qui évaluent le niveau de saprobie (ROTsap et SHE) ou de trophie (ROTtroph) des cours d'eau ; 1a-9a échantillonnage en étiage (octobre 2004), 1b-9b échantillonnage après les crues de printemps (mai 2005).

Tableau 5. Matrice de corrélation entre l'EPI-D et quelques paramètres chimiques, calculée au moyen des coefficients de Pearson sur 18 observations. *** = corrélation excellente (1 à 0,750), ** = corrélation bonne (0,750 à 0,550), * = corrélation acceptable (0,550 à 0,350).

	Oxygène dissous	Conductivité	Chlorures	Nitrates	Phosphore total	DBO ₅
EPI-D	0,646 **	-0,860 ***	-0,824 ***	0,847 ***	-0,540 *	-0,598 **

pollution qui intègre donc ces deux phénomènes. Une recherche sur la majorité des cours d'eau du Grand-Duché de Luxembourg (Rimet *et al.* 2005) a permis de démontrer que l'indice EPI-D pouvait être appliqué en dehors de l'Italie et qu'il avait une très bonne sensibilité, permettant de bien mettre en évidence les variations des conditions environnementales.

Le Tableau 5 montre une corrélation (positive) bonne de l'EPI-D avec l'oxygène dissous et une corrélation (négative) bonne à excellente avec la conductivité, les chlorures et la DBO₅, et acceptable avec le phosphore total. En effet, les valeurs de l'EPI-D sont inversement proportionnelles aux paramètres chimiques qui caractérisent la charge organique et la minéralisation de l'eau. La corrélation n'a pas été effectuée avec la température et le pH parce que ces paramètres n'ont pas d'influence sur l'EPI-D.

Contrairement à la plupart des autres cours d'eau déjà investigués au moyen des diatomées dans l'Apennin central oriental, le fleuve Foglia peut être considéré comme un cours d'eau assez dégradé, surtout dans ses parties moyenne et terminale, où la qualité biologique de la plupart des stations échantillonnées oscille entre médiocre et mauvaise. Ce résultat préoccupant s'avère confirmé par une étude antérieure effectuée au moyen des macroinvertébrés par Cocchioni *et al.* (1991). Les résultats similaires, obtenus par deux groupes d'organismes végétaux et animaux, intégrés dans la Directive Cadre sur l'Eau, conduisent à la nécessité de la mise en place de systèmes d'épuration efficaces pour cet important bassin hydrographique des Apennins, dont les déchets se rejettent actuellement directement dans la Mer Adriatique, une mer d'extension limitée et presque fermée. En outre, les déchets véhiculés par plusieurs fleuves de l'Italie contribuent de manière notable à augmenter le degré d'eutrophisation et de pollution organique de cette mer intérieure, où ils provoquent parfois à proximité des côtes la formation de masses mucilagineuses et au large des phénomènes nuisibles de roussissement de l'eau.

Le fleuve Foglia, qui jusqu'à présent, avait été étudié uniquement au moyen d'analyses physico-chimiques et des macroinvertébrés, fait maintenant partie du réseau de suivi des cours d'eau de l'Italie centrale évalués au moyen du phytobenthos (diatomées benthiques). La prise en compte des diatomées est en accord avec les recommandations de la Directive Cadre européenne sur l'Eau (WFD 60/2000 EC), mais l'application des indices diatomiques nécessite encore des ajustements par rapport aux exigences de la Directive.

RÉFÉRENCES

- AFNOR, 2000 — *Qualité de l'eau - Détermination de l'Indice Biologique Diatomées (IBD). Norme française NF T 90-354*. Saint-Denis La Plaine, Association Française de Normalisation, 63 p.
- APHA, 1998 — *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, AWWA, WEF, 20th Ed. New York, American Public Health Association.
- CEMAGREF, 1982 — *Étude des méthodes biologiques quantitatives d'appréciation de la qualité des eaux. Rapport Division Qualité des Eaux Lyon*. Lyon, Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, 218 p.
- CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2003 — *Water quality - Guidance standard for the routine sampling and pretreatment of benthic diatoms from rivers. European Standard EN 13946*. Brussels, European Committee for Standardization, 14 p.
- CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2004 — *Water quality - Guidance standard for the identification, enumeration and interpretation of benthic diatom samples from running waters. European Standard EN 14407*. Brussels, European Committee for Standardization, 12 p.
- COCCHIONI M., PELLEGRINI M.G., GRAPPASONNI I., BERNACCHIA G., PETRELLI F. & ZANETTI A.R., 1991 — Qualità delle acque dei fiumi marchigiani: situazione del fiume Foglia. *Annali di Igiene* 3: 377-386.
- COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 2000 — *Establishing a Framework for Community Action in the field of Water Policy*. WFD 2000/60/EC.
- DELL'UOMO A., 1996 — Assessment of water quality of an Apennine river as a pilot study for diatom-based monitoring of Italian watercourses. In: Whitton B.A. & Rott E. (eds), *Use of algae for monitoring rivers*. II. Innsbruck, E. Rott, Institut für Botanik, Universität Innsbruck, pp. 65-72.
- DELL'UOMO A. & TANTUCCI C., 1996 — Impiego delle Diatomee nel monitoraggio biologico del Fiume Musone (Marche). *Società Italiana di Ecologia, Atti* 17: 499-502.
- DELL'UOMO A. & GRANDONI P., 1997 — Diatomee e qualità dell'acqua: biomonitoraggio del Fiume Sentino (bacino del Fiume Esino, Marche). *Società Italiana di Ecologia, Atti* 18: 445-448.

- DELL'UOMO A., 1999 — Use of algae for monitoring rivers in Italy: current situation and perspectives. In: Prygiel J., Whitton B.A. & Bukowska J. (eds), *Use of algae for monitoring rivers*. III. Douai, Agence de l'Eau Artois-Picardie, pp. 17-25.
- DELL'UOMO A., PENSIERI A. & CORRADETTI D., 1999 — Diatomées épilithiques 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., 2004 — *L'indice diatomico di eutrofizzazione/polluzione (EPI-D) nel monitoraggio delle acque correnti. Linee guida*. Roma, Firenze, APAT, ARPAT, CTN_AIM, 101 p.
- 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.
- DIDERO M., FRANCA E., CALCAGNINI E. & FARINA G., 1990 — *Studio delle risorse idriche sotterranee presenti nel territorio provinciale in relazione al loro stato di compromissione*. Pesaro, Provincia di Pesaro-Urbino, Assessorato al Territorio.
- ECTOR L., KINGSTON J.C., CHARLES D.F., DENYS L., DOUGLAS M.S.V., MANOYLOV K., MICHELUTTI N., RIMET F., SMOL J.P., STEVENSON R.J. & WINTER J.G., 2004. Workshop report freshwater diatoms and their role as ecological indicators. In: Poulin M. (ed.), *Proceedings of the 17th International Diatom Symposium 2002, Ottawa, Canada*. Bristol, Biopress Limited, pp. 469-480.
- ELMI C., DIDERO M., FRANCAVILLA F., GORI U. & ORAZI U., 1983 — Geologia e idrogeologia della bassa valle del Fiume Foglia (Marche settentrionali). *Acta Naturalia de l'Ateneo Parmense* 19: 117-136.
- GERMAIN H., 1981 — *Flore des Diatomées. Diatomophycées des eaux douces et saumâtres du Massif Armoricaïn et des contrées voisines d'Europe occidentale*. Paris, Société Nouvelle des Éditions Boubée, 444 p.
- GOMÀ J., ORTIZ R., CAMBRA J. & ECTOR L., 2004 — Water quality evaluation in catalonian mediterranean rivers using epilithic diatoms as bioindicators. *Vie et Milieu* 54: 81-90.
- HOFMANN G., 1994 — Aufwuchs-Diatomeen in Seen und ihre Eignung als Indikatoren der Trophie. *Bibliotheca Diatomologica* 30: 1-241.
- KRAMMER K. & LANGE-BERTALOT H., 1986, 1988, 1991a, 1991b — *Bacillariophyceae – Süßwasserflora von Mitteleuropa*. 2 (1-4). Stuttgart, Fischer G., 876+596+576+437 p.
- LECOINTE C., COSTE M. & PRYGIEL J., 1993 — OMNIDIA: software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. *Hydrobiologia* 269/270: 509-513.
- LECOINTE C., COSTE M., PRYGIEL J. & ECTOR L., 1999 — Le logiciel OMNIDIA version 2, une puissante base de données pour les inventaires de diatomées et pour le calcul des indices diatomiques européens. *Cryptogamie, Algologie* 20: 132-134.
- 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 biocénologiques et diatomiques*. Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, document de travail 28: 113 p.
- LENOIR A. & COSTE M., 1996 — Development of a practical diatom index of overall water quality applicable to the French national water board network. In: Whitton B.A. & Rott E. (eds.), *Use of algae for monitoring rivers*. II. Innsbruck, E. Rott, Institut für Botanik, Universität Innsbruck, pp. 29-43.
- PRYGIEL J. & COSTE M., 2000 — *Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomées*. N FT 90-354. Agences de l'Eau – Cemagref – Groupement de Bordeaux. Agences de l'eau, mars 2000, 134 p.
- PRYGIEL J., WHITTON B.A. & BUKOWSKA J., 1999 — *Use of algae for monitoring rivers*. III. Douai, Agence de l'Eau Artois-Picardie, 271 p.
- RICARD M., 1987 — *Atlas du phytoplancton marin. Volume II: Diatomophycées*. Paris, Centre National de la Recherche Scientifique, 297 p.
- RIMET F., CAUCHIE H.M., HOFFMANN L. & ECTOR L., 2005 — Response of diatom indices to simulated water quality improvements in a river. *Journal of applied phycology* 17: 119-128.
- ROTT E., HOFMANN G., PALL K., PFISTER P. & PIPP E., 1997 — *Projekt BMLF: Indikationslisten für Aufwuchsalgen Fließgewässern in Österreich. Teil 1: Saprobielle Indikation*. Wien, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wasserwirtschaftskataster, 73 p.
- 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 Präferenz, taxonomische und toxikologische Anmerkungen*. Wien, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wasserwirtschaftskataster, 248 p.
- 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*. I. Innsbruck, E. Rott, Institut für Botanik Universität Innsbruck, pp. 103-110.

- SCURI S., TORRISI M., COCCHIONI M. & DELL'UOMO A., 2006 — The European Water Framework Directive 2000/60/EC in the evaluation of the ecological status of watercourses. Case study: the river Chienti (central Apennines, Italy). *Acta hydrochimica et hydrobiologica* 34: 498-505.
- SLÁDEČEK V., 1986 — Diatoms as indicators of organic pollution. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica* 14: 555-566.
- TORRISI M. & DELL'UOMO A., 2001 — Les diatomées benthiques des parties rhithrales et potamales des cours d'eau de l'Apennin central (Italie) et leurs significations écologiques. *Algological studies* 102: 35-47.
- TORRISI M. & DELL'UOMO A., 2003 — Diatomées benthiques et qualité biologique d'un cours d'eau de l'Apennin central (Italie): le fleuve Chienti. *Bulletin de la société des sciences naturelles de l'Ouest de la France*, 2^e supplément hors série : 230-241.
- TORRISI M. & DELL'UOMO A., 2006 — Biological monitoring of some Apennine rivers (central Italy) using the diatom-based eutrophication/pollution index (EPI-D) compared to other European diatom indices. *Diatom research* 21: 159-174.
- TORRISI M., DELL'UOMO A., CHIETERA D. & ECTOR L., 2006 — Évaluation de la qualité biologique de deux rivières en Italie centrale au moyen des indices diatomiques. *Symbioses* 14: 43-49.
- VAN DAM H., MERTENS A. & SINKELDAM J., 1994 — A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from Netherlands. *Netherlands journal of aquatic ecology* 28: 117-133.
- WHITTON B.A. & ROTT E., 1996 — *Use of algae for monitoring rivers*. II. Innsbruck, E. Rott, Institut für Botanik, Universität Innsbruck, 196 p.

