

La certificación del Parque Nacional del Circeo (Italia central): evaluación de la calidad de las aguas superficiales

José Giancarlo Morgana¹, Gianna Betta², Maria Rita Minciardi², Susanna Prato¹,
Silvia Rosa¹, Lucia Naviglio¹

¹Enea Casaccia. Via Anguillarese 301, Roma 00060. Italy. morgana@casaccia.enea.it

²Enea Saluggia. Strada per Crescentino, 13040 Saluggia (Vercelli), Italy

RESUMEN

Se ha evaluado la calidad biológica de las aguas corrientes del Parque Nacional del Circeo (Italia Central) en el ámbito de un proyecto de Certificación de esta Área Protegida según la Norma Internacional UNI EN ISO 14001. La calidad ambiental ha sido analizada en 25 estaciones de 13 cursos de agua (Fosso Bagnara, Fosso Fontana delle Rose, Fosso Arcigliani, Fosso Capogrosso, Rio Nocchia, Canale Cicerchia, Diversivo Nocchia, Canale Caterattino, Fiume Ninfa, Collettore Acque Medie, Rio Martino, Canale Papale, Rio Torto) a través de métodos de monitoreo biológico (tests toxicológicos del sedimento e índices biológicos) en el período comprendido entre el invierno del 2000 y la primavera del 2001. Los tests toxicológicos han comprendido el test de inhibición de la bioluminiscencia de la bacteria *Vibrio fischeri* y el test de germinación de semillas de 3 especies vegetales. Han sido calculados los índices bióticos I.B.E y B.M.W.P', basados en las comunidades de macroinvertebrados bentónicos (muestreadas con red de mano), y los índices G.I.S., basados sobre las comunidades de macrófitos acuáticos. Ha sido también calculado el índice de funcionalidad fluvial (I.F.F.) en base a las características bióticas y abióticas del sistema acuático y del sistema terrestre asociado. En general la baja calidad de las aguas corrientes examinadas puede relacionarse con las modificaciones artificiales del álveo y a la contaminación química de origen urbana, agrícola e industrial. Estos factores antrópicos han causado la simplificación de las estructuras de las comunidades bentónicas (dominadas por pocas especies resistentes) y la alteración de la funcionalidad de los cursos de agua.

Palabras clave: monitoreo biológico, ISO 14001, Parco Nazionale del Circeo, IBE

ABSTRACT

*An evaluation of the biological quality of running waters of the Circeo National Park (Central Italy) was performed according to the Certification Project of this Protected Area considering the International Standard UNI EN ISO 14001. The environmental quality was analysed in 25 sampling sites of 13 watercourses (Fosso Bagnara, Fosso Fontana delle Rose, Fosso Arcigliani, Fosso Capogrosso, Rio Nocchia, Canale Cicerchia, Diversivo Nocchia, Canale Caterattino, Fiume Ninfa, Collettore Acque Medie, Rio Martino, Canale Papale, Rio Torto) utilizing methods of biological monitoring (sediment toxicity tests and biological indexes) between winter 2000 and spring 2001. Toxicity tests included bio-luminescence inhibition of the bacterium *Vibrio fischeri*, and seed germination of 3 plant species. Biotic indexes (I.B.E and B.M.W.P') were calculated in relation to the macroinvertebrate communities (sampled with handheld net) and G.I.S. indexes were calculated in relation to aquatic macrophyte communities. The Fluvial Functionality Index was also calculated, taking into account the biotic and abiotic features of the aquatic system and its associated terrestrial system. Generally, the low quality of the studied watercourses can be related to artificial changes and chemical pollution coming from urban, agricultural and industrial areas. These anthropogenic factors have led to simplified benthic communities (dominated by a low number of tolerant species) and have altered the functionality of the watercourses.*

Keywords: biological monitoring, ISO 14001, Circeo National Park, IBE

INTRODUCCIÓN

Un Sistema de Gestión Ambiental (S.G.A.) del Parque Nacional del Circeo (Italia Central) ha sido realizado en el ámbito de un proyecto de Certificación de este Área Protegida, en conformidad con los requisitos de la Norma Internacional UNI EN ISO 14001. Los objetivos principales del proyecto son la definición de medios y acciones para favorecer el incremento de calidad de los hábitats, y la promoción de la mejora continua de las actividades relacionadas con el medio ambiente. Este trabajo es parte integrante

de un Análisis Ambiental Inicial del Parque Nacional del Circeo y, en particular, evidencia el aspecto cualitativo de las aguas corrientes.

El estudio fue realizado en el territorio denominado Agro Pontino (Región Lacio), caracterizado por un sistema de bonificación que conduce las aguas al Mar Tirreno. En el Parque Nacional del Circeo (Fig. 1) la mayor parte de las aguas corrientes constituyen redes de canales artificiales, que presentan forma rectilínea y cauce reforzado con concreto. En el área del Parque situada entre los Lagos de Caprolace y Fogliano ha sido observado un proceso de salinización

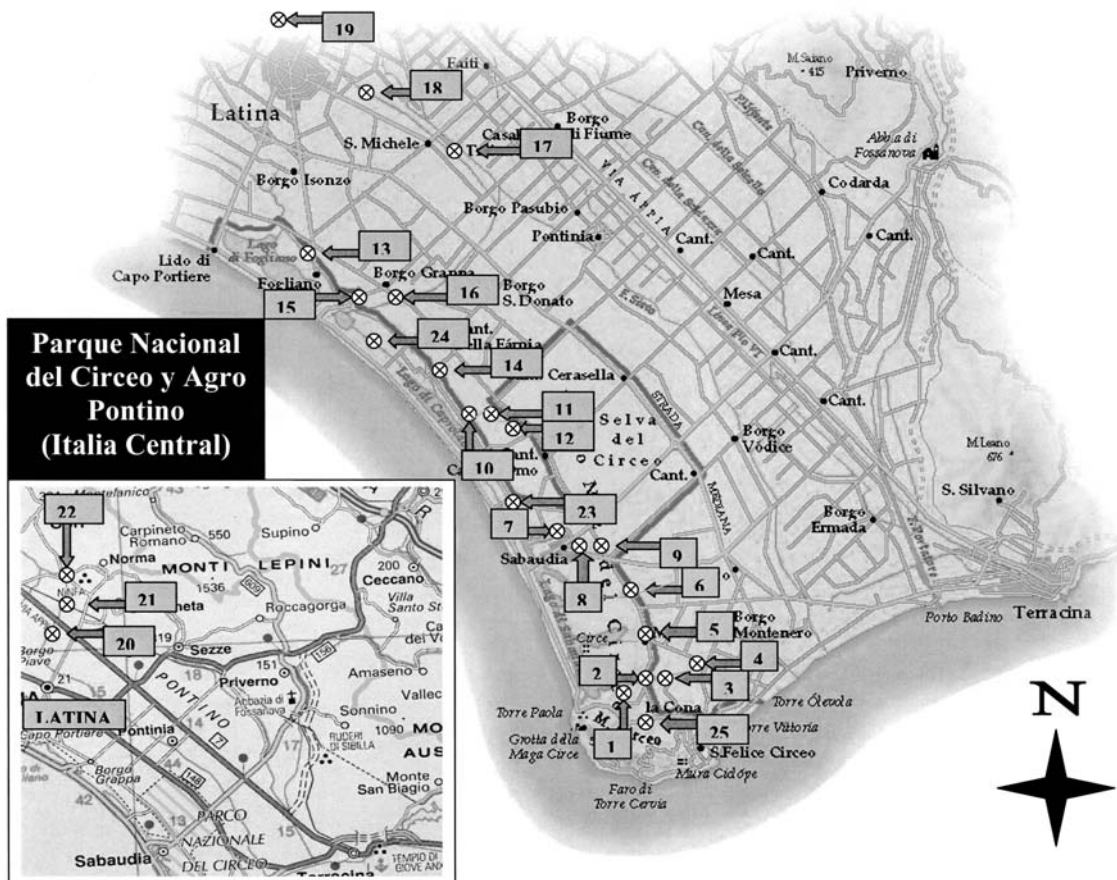


Figura 1. Área de estudio: Agro Pontino y Parque Nacional del Circeo. Puntos de control: Fosso Bagnara (1,2,3,4), Fosso Fontana delle Rose (5), Fosso Arcigliani (6), Fosso Capogrosso (7,8,9), Rio Nocchia (10,11,12), Canale Cicerchia (13), Diversivo Nocchia (14), Rio Martino (15,16), Collettore Acque Medie (17,18,19,20,21), Ninfa (22), Canale Caterattino (23), Canale Papale (24), Rio Torto (25). *Study area: Pontino Land and Circeo National Park. Sampling sites: Fosso Bagnara (1,2,3,4), Fosso Fontana delle Rose (5), Fosso Arcigliani (6), Fosso Capogrosso (7,8,9), Rio Nocchia (10,11,12), Canale Cicerchia (13), Diversivo Nocchia (14), Rio Martino (15,16), Collettore Acque Medie (17,18,19,20,21), Ninfa (22), Canale Caterattino (23), Canale Papale (24), Rio Torto (25).*

de las aguas de algunos canales por el ingreso de agua de origen marina, lo que ha causado un aumento de las concentraciones de cloruros, que resultan superiores a 200 mg/l (Grimaldi, 2001). En este estudio han sido analizados 13 cursos de agua mediante la utilización de métodos de monitoreo biológico, en particular tests toxicológicos del sedimento e índices biológicos. La aplicación de los índices biológicos no ha sido realizada en los puntos de control que presentan aguas salinizadas.

METODOLOGÍA

Varios métodos de biomonitorización han sido aplicados durante el invierno de 2000 y en la primavera de 2001 para evaluar la calidad de 13 cursos de agua: Fosso Bagnara, Fosso Fontana delle Rose, Fosso Arcigliani, Fosso Capogrosso, Rio Nocchia, Canale Cicerchia, Diversivo Nocchia, Canale Caterattino, Fiume Ninfa, Collettore Acque Medie, Rio Martino, Canale Papale, Rio Torto. El fiume Ninfa da origen al Collectore Acque Medie, que es un canal artificial que atraviesa la ciudad de Latina, y que a su vez presenta continuidad con el Rio Martino, que desemboca en el área costera del Parque Nacional del Circeo (Fig. 1). El sistema Collettore Acque Medie-Rio Martino (cuena de 170 km²) atraviesa áreas urbanas e industriales, mientras los demás cursos de aguas están situa-

dos principalmente en áreas agrícolas. En total han sido elegidos 25 puntos de control para la aplicación de los índices I.F.F. (ANPA, 2000), G.I.S. (Haury *et al.*, 1996), I.B.E. (Ghetti, 1997), B.M.W.P' (Alba-Tercedor & Sánchez Ortega, 1988) y de los tests de toxicidad del sedimento.

Índice de funcionalidad fluvial (I.F.F.)

El índice I.F.F. (ANPA, 2000) evidencia la situación funcional de los cursos de agua en relación al equilibrio basado sobre la integración de factores bióticos, fisico-químicos y morfológicos del sistema acuático y del sistema terrestre asociado. La metodología se basa sobre la recopilación de un conjunto de informaciones sobre las características ecológicas de los cursos de agua, en puntos de control localizados en tramos homogéneos. De hecho se analizan 14 factores: el estado del territorio circunstante, el tipo de vegetación de ribera, el espesor de vegetación perifluvial, la continuidad de la vegetación perifluvial, las condiciones hídricas del cauce, el tipo de ribera, las estructuras de retención de los aportes tróficos, la presencia de erosión y de modificaciones artificiales, la sección transversal, la composición del fondo del cauce, las características del flujo y la presencia de meandros, la comunidad de hidrófitos, el tipo de detrito dominante, las comunidades de macroinvertebrados. En cada punto de control se utiliza un listado que indica 4 posibles condiciones ambientales relativas a cada factor, y a las

Tabla 1. Índice de Funcionalidad Fluvial (I.F.F.): valores, niveles y clasificación de la funcionalidad de los sistemas fluviales. *River functionality index (I.F.F.): Values, levels and classification of functionality river systems.*

Valor de I.F.F.	Nivel de funcionalidad	Funcionalidad	Color
261-300	I	elevada	azul
251-260	I-II	elevada-buena	azul-verde
201-250	II	buena	verde
181-200	II-III	buena-mediocre	verde-amarillo
121-180	III	mediocre	amarillo
101-120	III-IV	mediocre-mala	amarillo-naranja
61-100	IV	mala	naranja
51-60	IV-V	mala-pésima	naranja-rojo
14-50	V	pésima	rojo

cuales resulta asociado un valor predeterminado que varía entre 1 (mínima funcionalidad) y 30 (máxima funcionalidad). El valor del índice I.F.F. se obtiene a través de la suma de los puntajes que corresponden a las condiciones ambientales observadas. Los resultados se clasifican en 5 niveles de funcionalidad (Tabla 1) que pueden ser identificados en un mapa con 5 colores diferentes. Los niveles pueden ser diferentes en cada ribera, por lo cual se utiliza una doble línea a lo largo de la trayectoria del curso de agua (1 línea en cada ribera). El índice I.F.F. puede ser utilizado en la previsión de las mejoras ambientales en los proyectos de restauración fluvial y en el análisis de los posibles impactos durante la construcción de obras hidráulicas.

Macrófitos- Índice G.I.S. de Presencia/Ausencia y Abundancia/Dominancia

El grupo de investigación francés “Groupement d’Intérêt Scientifique” ha introducido la metodología de los índices G.I.S. para la biomonitorización de los cursos de agua, basándose en el análisis de las comunidades de macrófitos. La aplicación de los índices G.I.S. se basa sobre la sensibilidad de 234 taxones de macrófitos bioindicadores: 18 géneros de algas y cianobacterias, 2 géneros de musgos, 18 especies de hepáticas, 29 especies de musgos, 4 especies de pteridofitas, 76 especies de Fanerógamas Dicotiledóneas y 87 especies de Fanerógamas Monocotiledóneas. A cada taxón de macrófito resulta asociado un puntaje o “score” (Cs_i) según una escala de sensibilidad creciente de 1 a 10. Los índices pueden clasificarse en G.I.S. de Presencia/Ausencia y G.I.S. de Abundancia/Dominancia. El índice $G.I.S. P/A = \sum Cs_i / n^\circ$ de taxones, y el índice $G.I.S. A/D = \sum (Cs_i \times \text{coeficientes de cobertura}) / \sum \text{coberturas de los taxones}$. Los resultados obtenidos en monitoreos realizados en diferentes tipologías fluviales de Francia han sido analizados estadísticamente, y se ha estimado que los valores de G.I.S. (relativos al estudio de bioindicadores vegetales) pueden ser asociados a las condiciones del agua, en particular con las concentraciones medias de nitrógeno amoniacal y

de fósforo de ortofosfato disuelto en agua (Haury *et al.*, 1996); de hecho han sido obtenidos valores de $G.I.S. > 7$ cuando las concentraciones resultan inferiores a $50 \mu\text{g/l}$, $7 > G.I.S. > 5$ en presencia de intervalos comprendidos entre 50 y $100 \mu\text{g/l}$, y $G.I.S. < 5$ cuando las concentraciones son superiores a $100 - 150 \mu\text{g/l}$.

En nuestro caso, se calcularon los índices G.I.S. P/A y A/D en 5 cursos de agua (Fosso Bagnara, Fosso Capogrosso, Diversivo Nocchia, Collettore Acque Medie, Rio Torto), considerando seis puntos de control (3, 7, 14, 17, 19, 25). Se examinaron las características morfológicas fluviales (profundidad, tipo de sustrato, anchura de cauce), se identificaron los macrófitos presentes en una sección longitudinal homogénea de 50 m, y se registraron los porcentajes de cobertura. Las especies de difícil identificación (Briofitas, Algas) se conservaron en formol 5% y se llevaron al laboratorio para la determinación al microscopio, utilizando colorantes y claves dicotómicas de clasificación.

Macroinvertebrados- Índices biológicos I.B.E. y B.M.W.P’.

Han sido calculados los índices I.B.E. (Ghetti, 1997) y B.M.W.P’ (Alba-Tecedor & Sánchez Ortega, 1988) en base al análisis de las comunidades zoobentónicas en 6 puntos de control (7, 10, 16, 17, 19, 21) de 4 cursos de agua (Rio Martino, Collettore Acque Medie, Fosso Capogrosso, Rio Nocchia). No han sido analizados los cursos de agua que presentan flujo intermitente (Fosso Bagnara, Fosso Fontana delle Rose, Fosso Arciglioni, Rio Torto) o que presentan aguas salinizadas (Diversivo Nocchia, Canale Papale, Canale Cicerchia). El proceso de salinización en algunos canales ha favorecido la colonización de invertebrados bentónicos tolerantes a las variaciones de salinidad (por ejemplo Isópodos *Sphaeroma* sp., observados en el punto de control 24 del Canale Papale). Los macroinvertebrados fueron capturados mediante batidas con redes de 21 mallas/cm^2 , tomando en consideración los microhábitats presentes en el cauce. Los organismos fueron extraídos e identificados en el

campo. La clasificación fue realizada a nivel taxonómico de familia para el cálculo del B.M.W.P., y a nivel de familia o de género (en el caso de Plecópteros, Efemerópteros, Odonatos, Hirudineos y Tricladidos) para el cálculo del I.B.E. Los macroinvertebrados, conservados en alcohol etílico (70%), fueron llevados al laboratorio y analizados al microscopio para la identificación de algunos grupos (principalmente Oligoquetos). El índice I.B.E, utilizado en Italia como método de referencia (Ley 152 del 11/5/99) indica 5 clases que corresponden a diferentes niveles de calidad ecológica, definidas Clase I = ambiente no contaminado o alterado, Clase II = ambiente con moderados signos de contaminación o alteración, Clase III = ambiente contaminado o alterado, clase IV = ambiente muy contaminado o muy alterado, Clase V = ambiente excepcionalmente contaminado o excepcionalmente alterado.

Tests toxicológicos del sedimento

Los sedimentos constituyen el mayor depósito de sustancias contaminantes que pueden ser tóxicas para los organismos bentónicos. En este estudio fueron realizados dos tests de toxicidad aguda utilizando los sedimentos: el test standard de inhibición de la bioluminiscencia de la bacteria *Vibrio fischeri* y el test de germinación y crecimiento de las raíces usando semillas de *Cucumis sativus*, *Lepidium sativum* y *Lycopersicon esculentum*. El test de inhibición de la bioluminiscencia (Microtox®) es un test estándar que se basa sobre las variaciones de intensidad de luz producida por la bacteria bioluminiscente *Vibrio fischeri*. De hecho la emisión de fotones por acción de la enzima luciferasi depende del estado del metabolismo, y una reducción de bioluminiscencia causada por sustancias tóxicas puede ser detectada mediante el fotómetro Microtox (M500 Toxicity Analyzer). El análisis de los sedimentos ha sido realizado según el método estándar "Large Sample Procedure" (Microbics Corp., 1995): una suspensión de 7 g de sedimento en 35 ml de solución diluyente (2 % NaCl) y 13 diluciones en serie (factor 1:2) han

sido incubados con 20 µl de suspensión de bacterias (circa 2×10^6 células) por 20 minutos a 15°C. Los sedimentos han sido separados por filtración, y la reducción de la bioluminiscencia ha sido analizada con las diferentes concentraciones. La relación entre concentración y respuesta luminosa es una curva sigmoide elaborada por el software del fotómetro Microtox (versión 7.82); la curva se lineariza para calcular el valor de EC₅₀, o sea el porcentaje de sedimento (peso seco/volumen) que causa una reducción del 50% de la intensidad luminosa (límites fiduciales = 95%) y la inclinación de la recta dosis-respuesta. Para indicar una relación directa entre la toxicidad y el valor de EC₅₀, los datos se indican en Unidades de Toxicidad (UT), definidas por la fórmula siguiente:

$$UT = (1/EC_{50}) \times 100$$

Los tests de inhibición de la germinación y del crecimiento de raíces han sido realizados según la metodología de Baudo *et al.* (1999) utilizando semillas no tratadas de pepino (*Cucumis sativus*), berro (*Lepidium sativum*) y tomate (*Lycopersicon esculentum*) (distribuidas por Flli. Ingegnoli, Milán). Se colocaron 10 g de sedimento homogeneizado (peso húmedo) en cápsulas de Petry de 10 cm de diámetro, se agregaron 5 ml de agua deionizada, y se cubrieron con papel filtro Whatman n°1. Sobre cada cápsula se colocaron diez semillas, y considerando cada especie, se prepararon 4 réplicas con sedimento y 4 réplicas de control sin sedimento (sólo agua deionizada), por un total de 8 cápsulas y 80 semillas. Después de 72 horas en condiciones de oscuridad y a la temperatura de 25 °C, se registró el número de semillas germinadas y se midió el crecimiento de las raíces. Los resultados se indican como porcentaje del Índice de Germinación, según la siguiente fórmula: IG (%) = 100 (Gs/Ls) . (Gc/Lc)⁻¹, donde Gs es el número de semillas germinadas en la muestra, Gc es el número de semillas germinadas en el control, Ls es la longitud de las raíces en la muestra, y Lc es la longitud de las raíces en el control.

Tabla 2. Taxones de macroinvertebrados, índices bióticos y clases de calidad. Datos de los muestreos de 2000 (A) y 2001 (B) en seis puntos de control. *Macroinvertebrate taxa, biotic indexes and quality classes. Data from samples collected in 2000 (A) and 2001 (B) in six sampling sites.*

ELENCO TAXONES	7-A	7-B	10-A	10-B	16-A	16-B	17-A	17-B	19-A	19-B	21-A	21-B
EFEMERÓPTEROS												
<i>Baetis</i>		x			x				x	x	x	x
<i>Caenis</i>	x	x									x	
<i>Centroptilum</i>												
<i>Ephemerella</i>										x		x
TRICÓPTEROS												
<i>Hydropsychidae</i>		x										
<i>Odontoceridae</i>											x	x
CRUSTÁCEOS												
<i>Gammaridae</i>	x	x					x			x	x	x
<i>Palemonidae</i>	x		x	x					x			
<i>Asellidae</i>	x	x						x		x	x	x
BIVALVOS												
<i>Pisidium</i>	x										x	
<i>Sphaerium</i>							x					
GASTERÓPODOS												
<i>Bithynia</i>	x	x								x		x
<i>Lymnea</i>												
<i>Planorbis</i>	x	x										
<i>Physa</i>					x	x	x	x	x			x
<i>Theodoxus</i>									x	x	x	x
COLEÓPTEROS												
<i>Elminthidae</i>		x				x				x	x	x
<i>Haliplidae</i>	x											
<i>Hydrophilidae</i>			x									
DIPTEROS												
<i>Chironomidae</i>	x	x			x	x	x	x	x	x		x
<i>Psychodidae</i>												
<i>Simuliidae</i>	x	x										x
<i>Stratiomyidae</i>												
HETERÓPTEROS												
<i>Corixidae</i>												x
HIRUDINEOS												
<i>Dina</i>						x		x	x			x
<i>Helobdella</i>	x						x	x				
ODONATOS												
<i>Calopteryx</i>	x											
<i>Cordulegaster</i>	x											
<i>Platycnemis</i>	x								x			
OLIGOQUETOS												
<i>Lumbricidae</i>								x				
<i>Tubificidae</i>	x		x		x	x	x	x	x	x	x	x
Nº TOTAL DE TAXONES	15	10	3	1	4	5	6	7	8	9	11	12
I.B.E.	6	6	4	0	4	2	5	4	6	6	7	7
B.M.W.P'	56	40	4	-	10	14	16	16	25	37	55	55
CLASE CALIDAD I.B.E.	III	III	IV	V	IV	V	IV	IV	III	III	III	III
CLASE CALIDAD B.M.W.P''	III	III	V	V	V	V	IV	IV	IV	III	III	III

Tabla 3. Elenco florístico y presencia (+) en seis puntos de control. *Floristic list and presence (+) in six sampling sites.*

ELENCO FLORÍSTICO	Estación 3	Estación 7	Estación 14	Estación 17	Estación 19	Estación 25
ALGAE						
<i>Chara</i> sp.						
<i>Cladophora</i> sp.				+	+	
<i>Melosira</i> sp.				+	+	
<i>Oedogonium</i> sp.	+					
<i>Oscillatoria</i> sp.						
<i>Rhizoclonium</i> sp.				+	+	
PTERIDOPHYTA						
Equisetaceae						
<i>Equisetum telmateja</i> Ehrh.						+
ANGIOSPERMA DICOTYLEDONES						
Urticaceae						
<i>Urtica dioica</i> L.		+				
Polygonaceae						
<i>Polygonum hydropiper</i> L.				+		+
<i>Polygonum salicifolium</i> Brouss.		+				+
<i>Rumex hydrolapathum</i> Hudson		+				+
Ceratophyllaceae						
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.					+	
<i>Ceratophyllum submersum</i> L.				+		
Cruciferae						
<i>Nasturtium officinale</i> s.l. R.Br.		+	+		+	
Lythraceae						
<i>Lythrum salicaria</i> L.						+
Haloragaceae						
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.					+	
Umbelliferae						
<i>Berula erecta</i> (Hudson) Coville		+				+
Primulaceae						
<i>Lysimachia nummularia</i> L.						
Rubiaceae						
<i>Galium</i> sp.			+		+	
Convolvulaceae						
<i>Calystegia sepium</i> (L.) R. Br.						+
Boraginaceae						
<i>Myosotis caespitosa</i> C.F. Schultz					+	
Callitrichaceae						
<i>Callitriche stagnalis</i> Scop.		+				+
Labiatae						
<i>Lycopus europaeus</i> L.		+	+	+		+
<i>Mentha aquatica</i> L.	+				+	
<i>Mentha suaveolens</i> Ehrh.					+	
Solanaceae						
<i>Solanum nigrum</i> L.						+
Scrophulariaceae						
<i>Veronica anagallis-aquatica</i> L.	+	+				
<i>Veronica beccabunga</i> L.	+	+			+	
Plantaginaceae						
<i>Plantago major</i> L.	+					

Tabla 3. Continuación. *Continuation.*

ELENCO FLORÍSTICO	Estación 3	Estación 7	Estación 14	Estación 17	Estación 19	Estación 25
ANGIOSPERMA						
MONOCOTYLEDONEAE						
Alismataceae						
<i>Alisma plantago-aquatica</i> L.	+	+				+
Hydrocharitaceae						
<i>Vallisneria spiralis</i> L.	+				+	
<i>Elodea canadensis</i> Michx.					+	
Potamogetonaceae						
<i>Potamogeton crispus</i> L.				+		
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	+			+	+	
Iridaceae						
<i>Iris pseudacorus</i> L.		+			+	+
Juncaceae						
<i>Juncus</i> sp.	+					
Graminaceae						
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin.	+	+	+			+
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv.		+		+		+
Lemnaceae						
<i>Lemna minor</i> L.	+		+			
Sparganiaceae						
<i>Sparganium erectum</i> L.	+					+
Typhaceae						
<i>Typha</i> sp.		+				

RESULTADOS

Los resultados obtenidos con los diferentes métodos evidencian una situación general de baja calidad y bajos niveles de funcionalidad fluvial.

Las comunidades de macroinvertebrados resultan constituidas principalmente por taxones tolerantes a las condiciones de contaminación (Tabla 2). En efecto resultaron ausentes los grupos más sensibles (por ej. Plecópteros) mientras que los grupos resistentes (Quironómidos y Oligoquetos Tubificidos) presentaron mayor frecuencia y amplia distribución. Los índices bióticos muestran valores correspondientes a las clases de calidad III, IV, V relativas a condiciones de aguas con signos de contaminación, parcialmente contaminadas y muy contaminadas (Tabla 2). Las clases de calidad obtenidas con los índices I.B.E. y B.M.W.P' fueron iguales en el 75% de los casos (9 muestreos; 5 puntos de control), y fue observada una mayor severidad de la clase relativa al índice B.M.W.P' en el restante 25% (3 muestreos; puntos de control: 10, 15, y 19).

El análisis de la flora acuática evidenció 6 géneros de algas macroscópicas, 1 especie de Pteridofita y 34 especies de Fanerógamas (16 familias de Dicotiledóneas y 9 familias de Monocotiledóneas). El elenco florístico y las presencias de los taxones de macrófitos en las estaciones se ilustran en la Tabla 3. En el espectro biológico los grupos más destacados son los hemicriptófitos y los hidrófitos, y en el espectro corológico dominan las especies subcosmopolitas y cosmopolitas. En general las comunidades de macrofitos se caracterizaron por la presencia de especies tolerantes a altas concentraciones de sustancia orgánica. Los valores de índices G.I.S. <5 obtenidos en los puntos de muestreo (Tabla 4) sugieren que la vegetación acuática resulta asociada a aguas que presentan altas concentraciones crónicas de nitrógeno amoniacal y de fósforo ortofosfato. Tales concentraciones elevadas de nutrientes han sido precedentemente registradas mediante monitorización química (Arpa, 1997, 1998, 1999).

Los valores del índice I.F.F. corresponden a bajos niveles de funcionalidad (III y IV) en la

Tabla 4. Niveles de funcionalidad, coberturas de macrofitos, índices G.I.S. P/A y G.I.S. A/D. *Functionality levels, macrophyte coverage and G.I.S. P/A and G.I.S. A/D indexes.*

Punto de control	Curso de agua	Nivel de funcionalidad	Cobertura macrofitos	G.I.S. P/A	G.I.S. A/D
1	Fosso Bagnara	IV			
2	Fosso Bagnara	III-IV			
3	Fosso Bagnara	IV			
4	Fosso Bagnara	IV	40%	4.11	4.41
5	Fontana delle Rose	III-IV			
6	Fosso Arciglioni	III			
7	Fosso Capogrosso	III	60%	4.75	4.64
8	Fosso Capogrosso	III			
9	Fosso Capogrosso	III			
10	Rio Nocchia	III			
11	Rio Nocchia	III			
12	Rio Nocchia	III			
13	Canale Cicerchia	III			
14	Diversivo Nocchia	III	25%	4.33	4.10
15	Rio Martino	IV			
16	Rio Martino	IV			
17	Collettore Acque Medie	IV	90%	3.14	2.76
18	Collettore Acque Medie	IV			
19	Collettore Acque Medie	III	40%	3.85	3.71
20	Collettore Acque Medie	III			
21	Collettore Acque Medie	III			
22	Fiume Ninfa	II			
23	Canale Caterattino	III			
24	Canale Papale	-			
25	Rio Torto	IV	100%	4.86	4.76

mayor parte de los puntos de control (Tabla 4) indicando una alteración en la integridad de los procesos funcionales. Las principales causas de desequilibrio observadas son factores antrópi-

cos que ejercen efectos negativos sobre los ecosistemas fluviales, como las canalizaciones artificiales y las modificaciones físicas de los álveos y la contaminación de origen agrícola, industrial y urbana presente en el territorio (Arpa, 1997, 1998, 1999).

Tabla 5. Test de inhibición de la bioluminiscencia de la bacteria *Vibrio fischeri*. Clasificación en clases de calidad en base a las unidades de toxicidad. *Bioluminescence inhibition test of the bacterium Vibrio fischeri. Classification in quality classes according to toxicity units.*

Unidades de Toxicidad	Clases de calidad	Clasificación
>10000	5	pésimo
10000-1000	4	malo
1000-100	3	mediocre
100-10	2	bueno
<10	1	óptimo

Los resultados de los tests toxicológicos han sido clasificados según una escala de toxicidad (Tabla 5) que indica 5 clases de calidad (Guzzella, 2000) con valores decrecientes de 5 (pésima calidad) a 1 (óptima calidad). En la tabla 6 se indican las clases de calidad de los sedimentos relativas a las unidades de toxicidad obtenidas mediante el test de inhibición de la bioluminiscencia de la bacteria *Vibrio fischeri*. Los resultados obtenidos con el test de inhibición de la germinación y del crecimiento radical se presentan en la tabla 7. Los datos se

Tabla 6. Calidad de los sedimentos según el test de inhibición de la bioluminiscencia de la bacteria *Vibrio fischeri*. *Sediment quality according to the bioluminescence inhibition test using the bacterium Vibrio fischeri.*

Nº	Curso de agua	Clase de calidad	Clasificación
7	Fosso Capogrosso	II	bueno
13	Canale Cicerchia	II	bueno
14	Diversivo Nocchia	III	mediocre
15	Rio Martino	III	mediocre
17	Collettore Acque Medie	III	mediocre
19	Collettore Acque Medie	III	mediocre
21	Collettore Acque Medie	II	bueno
23	Canale Caterattino	III	mediocre
24	Canale Papale	IV	malo

refieren a cada especie, como porcentaje del Índice de Germinación (IG%), y teniendo en cuenta que la variabilidad de los controles es generalmente del 20%, la interpretación de los datos se basa sobre la siguiente clasificación de valores de IG%: estimulación (>120), ningún efecto (80-120), inhibición (40-80), alta inhibición (<40). Los sedimentos del Canale Papale fueron incompatibles con la germinación de las semillas por los altos valores de salinidad. Los resultados evidencian que los sedimentos analizados no inducen efectos relevantes de inhibición sobre el crecimiento radical o la germinación de las semillas. Sólo los sedimentos de las estaciones 21 y 17 (Le Pastine y San Michele) causan una limitada inhibición sobre la germinación de semillas de pepino, y los sedimentos de la estación 14 (Diversivo Nocchia) producen una limitada inhibición de germinación de semillas de tomate. Las semillas de berro muestran un efecto de bioestimulación, como lo indican los valores de IG > 120%. Los efectos de bioestimulación son frecuentes durante la realización de tests de toxicidad, y en el caso de evaluación de un efecto fito-tóxico, probablemente indica que las semillas reaccionan a la exposición de elementos tóxicos a través de una actividad acelerada, necesaria para diluir las sustancias tóxicas en una cantidad de masa superior (Oddo, 1998).

Tabla 7. Test de fitotoxicidad. Índice de Germinación (%) de tres especies vegetales utilizando sedimentos de 8 cursos de agua. *Phytotoxicity test. Germination Index (%) of three vegetal species using sediments of 8 watercourses.*

Nº	Curso di acqua	IG (%)berro	IG (%)pepino	IG (%)tomate
7	Fosso Capogrosso	160	104	95
13	Canale Cicerchia	186	90	84
14	Diversivo Nocchia	198	106	74
15	Rio Martino	126	86	81
17	Collettore Acque Medie	131	76	89
19	Collettore Acque Medie	196	95	93
21	Collettore Acque Medie	165	74	80
23	Canale Caterattino	174	98	88

DISCUSIÓN

El monitoreo biológico realizado a través de los tests toxicológicos del sedimento y de los índices biológicos evidenció la calidad ecológica de las aguas corrientes del Parque Nacional del Circeo y de las áreas limítrofes. Los resultados obtenidos muestran generalmente baja calidad y mediocre funcionalidad de los cursos de agua que resultan relacionadas a varios factores de alteración presentes en el territorio, como el drenaje de extensas áreas agrícolas y la contaminación de aguas causada por la descarga de vertidos orgánicos e industriales. Efectivamente los cursos de agua analizados están situados en territorios comunales que presentan superficies agrícolas utilizadas (S.A.U.) de 132.10 km² (Latina), 102.21 km² (Sabaudia) y 8.65 km² (San Felice Circeo) que equivalen a un total de 242.96 km² (ISTAT, 2000), representando el 19.20 % de la S.A.U. de toda la Provincia (1265.66 km²). El sistema Collettore Acque Medie-Rio Martino recibe directamente o indirectamente los vertidos orgánicos de depuradoras de pequeñas dimensiones (Borgo San Michele, Borgo Grappa, Borgo Piave, Cicerchia) y de la depuradora de Latina Est, donde se realiza el tratamiento de las aguas residuales urbanas de la ciudad de Latina (potencialidad máxima de 154 700 habitantes equivalentes). El Collettore Acque Medie recibe también los vertidos produ-

cidos en el núcleo industrial de Latina. En el territorio comunal hay 2072 empresas (ISTAT, 2001) representadas por industrias de construcción edilicia, manufactureras y actividades productivas.

La peor condición ambiental ha sido identificada en el punto de control n°17 (Collettore Acque Medie, Borgo San Michele) que es el punto de control más cercano a la depuradora y a la zona industrial de Latina. En este punto se observan lo más bajos valores de los índices G.I.S., clases de calidad IV de los índices I.B.E. y B.M.W.P., un nivel de funcionalidad IV del I.F.F., y la clase de calidad III relativa a las Unidades de Toxicidad (U.T.) obtenidas con el test de inhibición de la bioluminiscencia de la bacteria *Vibrio fischeri*.

En algunas estaciones las clases de calidad relativas a los índices bióticos y a los tests toxicológicos no coinciden, como en los puntos de control 7 y 21 donde los valores de los índices I.B.E. y B.M.W.P. identifican la Clase III, y los valores del test de inhibición de la bioluminiscencia indican la Clase II. Estas diferencias se pueden explicar considerando que los métodos utilizados evidencian efectos diferentes a nivel temporal. De hecho los índices bióticos (I.B.E., B.M.W.P.) muestran los efectos crónicos sobre la biota, mientras que los tests de toxicidad evidencian los efectos agudos, indicando solamente la toxicidad instantánea de las substancias acumuladas en el sedimento.

Los resultados obtenidos en este trabajo han sido utilizados paralelamente a los de análisis de lagunas, aguas subterráneas, vegetación, fauna, y uso del suelo, para una evaluación ecológica del territorio del Parque Nacional del Circeo. En relación a la calidad ambiental es necesario reducir y depurar lo vertidos que se introducen en las aguas y programar soluciones que tengan en cuenta la funcionalidad fluvial. Todos los datos permitirán a la Organización que se ocupa de la gestión del Parque Nacional del Circeo de aplicar el Sistema de Gestión Ambiental, y en particular, a los Detalles de la Política Ambiental, al Programa Ambiental con

Objetivos y Metas y a establecer el Sistema de Monitoreo y Vigilancia.

BIBLIOGRAFÍA

- ANPA, 2000. *I.F.F. Indice di funzionalità fluviale*. Manuale ANPA- Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente.
- ARPA, L. *Monitoraggio dell'asta Collettore Acque Medie-Rio Martino*. Dati degli anni 1996, 1997, 1998, 1999. Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente. Latina.
- ALBA-TERCEDOR, J. y A. SÁNCHEZ ORTEGA. 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnetica*, 4: 51-56.
- BAUDO R., M. BELTRAMI, M. BARBERO & D. ROSSI. 1999. Test di germinazione e allungamento radicale. *Acqua e Aria*, 2: 69-85.
- GHETTI, P.F. 1997 - *Manuale di applicazione Indice Biotico Esteso - I macroinvertebrati nel controllo di qualità degli ambienti di acque correnti* - Provincia Autonoma di Trento. Servizio Protezione Ambiente.
- GRIMALDI, P. 2001. *Sistema di Gestione Ambientale del Parco Nazionale del Circeo. Monitoraggio dei processi di salinizzazione dell'acquifero costiero*. Tesi di Laurea. Università degli studi "La Sapienza" di Roma.
- GUZZELLA, L. 2000. Tecniche di valutazione della tossicità dei sedimenti con batteri bioluminescenti: esempi di applicazione e di classificazione dei corpi idrici. *Atti del Convegno Nazionale di Ecotossicologia*, Torino.
- HAURY J., M. C. PELTRE, S. MULLER, M. TREMOLIERES, J. BARBE, A. DUTARTRE & M. GUERLESQUIN. 1996. Des indices macrophytiques pour estimer la qualité des cours d'eau français: premières propositions. *Ecologie*, 27 (4): 233-244.
- ISTAT. 2000. *5° Censimento Generale dell'Agricoltura*. Istituto Nazionale di Statistica.
- ISTAT. 2001. *8° Censimento Generale dell'Industria e dei Servizi*. Istituto Nazionale di Statistica.
- MICROBICS CORPORATION. 1995. *Microtox® Acute Toxicity Solid-Phase Test*, Carlsbad, C.A.
- ODDO, N. 1998. Una scala di tossicità. *Acqua e aria*, 4: 85-88.

