

Un approccio metodologico integrato per il monitoraggio della qualità ambientale di agroecosistemi in ambito fluviale mediterraneo

Patrizia Spada

Dip. di Scienze Agroambientali, Chimica e Difesa Vegetale - Facoltà di Agraria- Univ. di Foggia via Napoli, 25 - 71100 Foggia.
patriziaspada@yahoo.com

Pervenuto il 4.2.2009; accettato il 10.4.2009

Riassunto

Con l'impiego di un Sistema Informativo Geografico e di indicatori assemblati secondo algoritmi ampiamente validati per la realtà mediterranea, vengono analizzate le componenti vegetazionale e gestionale di due agroecosistemi localizzati lungo il tratto pugliese del fiume Ofanto e la qualità idrica del segmento fluviale in essi compreso. Le due componenti vengono valutate anche per il territorio relativo alla parte pugliese del bacino idrografico.

I risultati mostrano una situazione critica nel territorio esaminato, dato che sia la componente vegetazionale che quella gestionale sono caratterizzate prevalentemente da una qualità "bassa", con effetti che si ripercuotono variamente sull'integrità dell'ecosistema fluviale. Il metodo fornisce una valutazione sintetica della qualità delle diverse componenti ambientali di un ecosistema fluviale e degli aspetti paesaggistici e territoriali della matrice agroecosistemica con esso interagente, strettamente necessari ai fini di un intervento di rinaturalizzazione e di pianificazione ambientale.

PAROLE CHIAVE: agroecosistema / approccio metodologico integrato / ecosistema fluviale / Sistema Informativo Geografico

An integrated approach to monitoring the environmental quality of Agroecosystem Mediterranean river system

The vegetation component, the management and the water quality are evaluated in two agroecosystems in the Apulian trait of Ofanto river, by using a Geographic Information System and indicators rassembled with appropriate algorithms, largely validated for hydrographical basins in the Mediterranean area. The first two elements are evaluated also in the Apulian hydrographic basin.

The results show a critical situation in the analysed territory: all the evaluated components are characterized by a low quality, whose effects that variously affect on the integrity of the river ecosystem.

This approach provides a concise evaluation of the quality of all the environmental components in a river ecosystem. It gives also the territory and landscape features of the agroecosystem substrate in it, which are strictly necessary for the restoration and the environmental planning purposes.

KEY WORDS: agroecosystem / river ecosystem / integrated metodological approach / Geographic Information System

INTRODUZIONE

Con le ultime disposizioni legislative in materia di tutela delle acque vigenti in Italia (D.Lgs. 152/06) e in Europa (Water Framework Directive 2000/60/EC o WFD), viene definitivamente superato l'approccio tecnico amministrativo legato a valutazioni di "limiti" e di "conformità": si è passati infatti ad un sistema che analizza la qualità ambientale mediante la stima delle pressioni, dello stato, del trend evolutivo e degli impatti, in un'ottica di gestione delle informazioni ambientali finalizzata alla costruzione di un sistema informativo

integrato di estrazione ecosistemica (SPAGGIARI, 1997).

Il quadro concettuale che sta alla base della WFD si ricollega, da una parte, alla moderna ecologia fluviale, che interpreta il fiume come una successione di ecosistemi "aperti", in stretta connessione trofica ed energetica tra loro e col territorio circostante (*river continuum concept*) (VANNOTE *et al.*, 1980) e, dall'altra, ai principi propri dell'"approccio ecosistemico", strategia per la gestione integrata della terra, dell'acqua e delle risorse viventi che promuove la conservazione e

l'uso sostenibile in modo giusto ed equo (UNEP, 2000).

Altri concetti molto importanti dell'ecologia fluviale (BOON *et al.*, 1992; CUMMINS, 2002; NAIMAN *et al.*, 1988; NAIMAN e DECHAMPS, 1990; PINAY *et al.*, 2002; TOCKNER *et al.*, 2002; VANNOTE *et al.*, 1980; WARD, 1989) sono inoltre recepiti dalla WFD, che pone le comunità biologiche come elementi cardine di riferimento per la definizione dello stato ecologico dei corsi d'acqua e, in seconda battuta, estende le analisi anche ai relativi aspetti idromorfologici, fisici e fisico-chimici.

In tale ottica, l'attività di monitoraggio di un corso d'acqua, richiede, oltre all'uso delle analisi tradizionali e standardizzate come, ad esempio, gli indici biologico-ecologici I.B.E. (GHETTI, 1995) e I.F.F. (SILIGARDI *et al.*, 2007), lo sviluppo di modelli e di metodi, idonei a fornire valutazioni sintetiche ma, al contempo, disaggregabili, ad elevata sensibilità, specificità, complementarietà, per integrare, interpretare e trasferire i dati biologico-ecologici e paesaggistici nei procedimenti di pianificazione ambientale, finalizzati alla salvaguardia, alla rinaturazione, alla riqualificazione e alla fruizione del sistema stesso (BRAIONI *et al.*, 2005).

Un modello di monitoraggio ecologico integrato, finalizzato a fornire ai *manager* dei corsi d'acqua i concetti, le scale e le gerarchie che forniscono le basi della *catchment ecology*, è stato recentemente stabilito da VERDONSCHOT (2000): le componenti climatiche, geomorfologiche, organiche e biologiche di un bacino idrografico interagiscono mutualmente a differenti livelli gerarchici e con differenti intensità. Alle dinamiche naturali si aggiungono quelle legate al disturbo antropico: le une e le altre devono essere valutate, così come devono essere considerate e previste tutte le conseguenze derivabili da interventi di recupero e di ripristino naturalistico.

Alla luce di questi principi, i procedimenti di valutazione della qualità dei corsi d'acqua devono analizzare lo stato d'integrità delle differenti componenti ambientali non solo dell'ecosistema fluviale (habitat fluviale, fascia riparia, area golenale), ma anche della matrice ecologica, ad esso strettamente associata, con la quale interagisce mediante processi multipli di alterazioni ed interferenze che si innescano e si riverberano a scala di bacino. La valutazione delle diverse componenti ambientali di tale matrice, che in area mediterranea risulta essere prevalentemente di tipo agroecosistemico, rappresenta infatti un necessario presupposto per inquadrare le dinamiche di tipo naturale (caratteristiche climatiche, paesaggistiche, ecc.) e antropico (ordinamenti colturali, regimi irrigui) che interferiscono con gli equilibri dell'adiacente ecosistema fluviale, al fine di intraprendere una corretta gestione e politica di salvaguardia delle aree naturali connesse spazialmente o temporalmente.

In questo contesto, il ruolo svolto dai Sistemi Informativi Geografici (GIS) e dal telerilevamento risulta centrale, poiché essi permettono di rappresentare, leggere e interpretare la risorsa idrica in stretta associazione con l'analisi dell'eterogeneità spaziale e dell'assetto ecologico e paesaggistico delle aree di pertinenza fluviale e delle dinamiche evolutive delle varie componenti ambientali di un bacino idrografico.

Sulla base di queste premesse, la ricerca si è proposta l'analisi ambientale di due agroecosistemi, situati nella parte pugliese del bacino idrografico del fiume Ofanto, che si connotano e si distinguono dal resto della matrice agroecosistemica per il fatto di comprendere al loro interno un tratto del corso d'acqua; la ricerca vuole, al tempo stesso, definire una metodologia di analisi applicabile a questa complessa e articolata matrice ecologica, caratterizzata da una stretta relazione di contiguità spaziale e temporale tra un ecosistema fluviale ed un ecosistema agricolo.

A tal fine, la qualità ambientale dell'agroecosistema è stata valutata in stretta associazione con quella dell'ecosistema acquatico in esso compreso e interpretata come grado di conservazione del potenziale biologico, ecologico e paesaggistico di un unico sistema ecologico.

Nella scelta e impostazione del metodo di analisi ambientale un criterio preso in considerazione è stato la sua applicabilità sia ad aree naturali o seminaturali, sia ad aree con un livello elevato di vulnerabilità ambientale. Un altro obiettivo è stato quello di realizzare uno strumento utile alla raccolta e creazione di un *dataset*, periodicamente aggiornabile, per lo screening del corso d'acqua e dello spazio agricolo circostante e per l'individuazione rapida e sintetica delle carenze di carattere gestionale del territorio fluviale, da colmare o ridurre ai fini di una sua adeguata ed efficace protezione e tutela mediante interventi di ripristino e di riqualificazione.

AREA DI STUDIO

L'ambito territoriale di indagine è rappresentato dalla parte pugliese del bacino del fiume Ofanto, all'interno del quale sono stati definiti, usando come base cartografica delle foto aeree (scala 1:5000) e una foto satellitare Landsat TM (scala 1: 30.000) implementate in un Sistema Informativo geografico, due agroecosistemi, di estensione pari a 79 ettari, comprendenti al loro interno un tratto di asta fluviale di circa Km 2,9 (Fig. 1).

Gli agroecosistemi, denominati *Madonna di Ripalta* e *San Samuele di Cafiero*, dal nome delle rispettive località di appartenenza, sono siti rispettivamente in agro di Cerignola (Fg) e di Trinitapoli (Fg), e rientrano entrambi nel Sito d'Importanza Comunitaria (SIC)

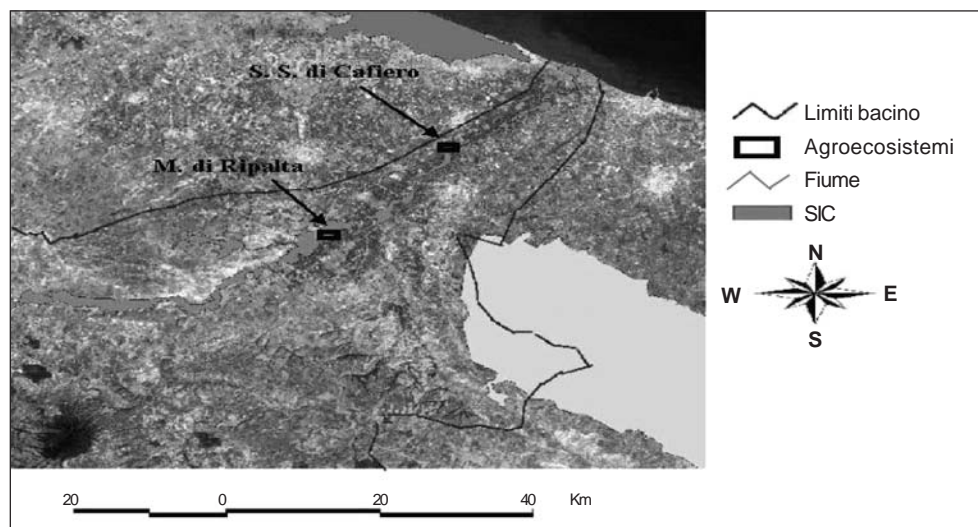


Fig. 1. Immagine da satellite (Landsat TM 5, agosto 2004) della parte pugliese del bacino dell'Ofanto. Le due frecce evidenziano le aree corrispondenti ai due agroecosistemi, all'interno del SIC.

“Valle Ofanto-Capaciotti”, che rappresenta il più importante ambiente fluviale della Puglia (superficie: 4535 ha) (Fig. 1).

MATERIALI E METODI

Il percorso metodologico ha previsto una fase preliminare di inquadramento territoriale morfologico-ambientale dell'area di studio, effettuata tramite una “base GIS”, realizzata con il programma ArcView 3.2 (ESRI) nel sistema di coordinate Gauss-Boaga fuso EST ED50. Sono stati utilizzati dati vettoriali e raster atti a descrivere le caratteristiche morfologiche, climatiche e ambientali dell'area, tra cui dati topografici (DEM), pedologici, geolitologici e meteorologici.

Quindi, secondo criteri di disponibilità dei dati, di rappresentatività, sensibilità e misurabilità, sono state selezionate le *Componenti Ambientali* e, per ciascuna di esse, gli *Indicatori* da utilizzare nel modello di valutazione integrata. Quest'ultimi sono stati quindi acquisiti nel GIS ed elaborati per calcolare gli *Indici di Qualità* relativi.

Componenti Ambientali e Indicatori

Si è scelto di valutare prioritariamente la componente vegetazionale e quella relativa alla gestione agricola, in quanto particolarmente significative per il contesto territoriale, caratterizzato da forti criticità (desertificazione, rischio idrogeologico, espansione dei coltivi nell'area golenale), e al contempo da un elevato valore naturalistico (presenza di habitat prioritari ai sensi della Direttiva 92/43/CEE); tali valutazioni sono state effettuate, oltre che a scala di bacino, anche a scala di agroecosistema; inoltre, per i due tratti fluviali compresi negli agroecosistemi selezionati, è stato valutato

il grado d'inquinamento della componente idrica, sia mediante la misura di parametri chimico-fisici e microbiologici (indicatori delle relative cause), sia attraverso lo studio biologico delle specie sensibili ad esso in diverso grado (indicatori degli effetti), ovvero utilizzando l'Indice Biotico Esteso.

Componente vegetazionale

Sono stati utilizzati, sotto forma di carte tematiche (*layers* vettoriali) contestualizzate nel GIS, gli indicatori *Copertura vegetale*, *Protezione dall'erosione*, e *Grado di naturalità*, ricavandoli, a scala di bacino, dalla cartografia dell'uso reale del suolo proposta da *Corine Land Cover (CLC) 2000* (scala 1:100.000) e, a scala di agroecosistema, da interpretazione di ortofoto a colori (scala 1:5.000) verificata da rilievi diretti. Le 44 classi di cui risulta composto *CLC* e quelle derivanti dalla fotointerpretazione dei biotopi presenti nei due agroecosistemi sono state riassemblate e, a ciascuna nuova ripartizione, è stato attribuito un indice in formato numerico (o coefficiente ponderale) compreso tra 1 e 2, in base al grado di incidenza sulla qualità della vegetazione; in particolare, per quanto concerne i primi due indicatori, per il riassetto e le ponderazioni ci si è basati sulla metodologia prevista dal modello *ESAs (Environmentally Sensitive Areas)* (KOSMAS *et al.*, 1999; BASSO *et al.*, 2000) che, per la stima della qualità della vegetazione, utilizza opportuni algoritmi ampiamente validati per bacini idrografici di aree sensibili alla desertificazione come quella mediterranea; l'indicatore *Grado di naturalità*, che prende in considerazione le varie tipologie vegetazionali riferendole al loro grado di stabilità e funzionalità ecosistemiche, è stato ottenuto invece seguen-

do la metodologia proposta dall'OCS (Osservatorio Città Sostenibili) (OCS, 2002): le classi CLC sono state riassemblate in 5 biotopi omogenei, ad ognuno dei quali è stato attribuito un valore di "naturalità", compreso tra 1 e 2, in base al relativo grado di vicinanza alla corrispondente vegetazione potenziale, ovvero a quella che si svilupperebbe qualora cessasse il disturbo antropico.

Quindi la qualità della componente vegetazionale è stata stimata come media geometrica tra i diversi pesi, compresi tra 1 (qualità elevata) e 2 (qualità bassa), attribuiti ai tre indicatori contestualizzati nel GIS sotto forma di layers vettoriali, secondo la relazione:

$$\text{Qualità della vegetazione} = (\text{Copertura vegetale} \times \text{Protezione dall'erosione} \times \text{Grado di naturalità})^{1/3}$$

Dall'incrocio risultante si è ottenuto un nuovo layer rappresentato dall'Indice di Qualità della Vegetazione, di cui sono state evidenziate tre classi: "elevata" (score < 1,31), "moderata" (score = 1,31-1,61) e "bassa" (score > 1,61).

Componente gestionale

Gli indicatori presi in esame sono stati l'*Intensità d'irrigazione*, calcolata come rapporto percentuale tra la Superficie agricola utilizzata (SAU) irrigata e la SAU totale, l'*Intensità di prati-pascoli*, definita dal rapporto percentuale tra la superficie a prati pascoli e la SAU totale e la *Pressione ovi-caprini*, che rapporta le Unità di Bestiame Adulto (UBA)¹ agli ettari di superficie a prato-pascolo. Anche in questo caso per le stime ponderali ci si è basati sulle tabelle di conversione previste dal modello ESAs.

A scala di bacino, tali indicatori sono stati ricavati elaborando i dati del V Censimento Generale dell'Agricoltura (ISTAT, 2002), in particolare quelli relativi all'estensione in ettari della SAU e delle singole colture censite e agli allevamenti zootecnici.

Tutti i dati hanno come massima risoluzione spaziale l'unità amministrativa comunale, e sono stati utilizzati dopo averli proporzionati alla percentuale di area comunale ricadente nella superficie del bacino.

A scala di agroecosistema, i dati relativi alla SAU totale e irrigata e alla superficie a prati pascoli sono stati ricavati mediante fotointerpretazione, confrontata con i dati di verità a terra e con le informazioni fornite dagli agricoltori del posto. A quest'ultimi inoltre è stato richiesto il numero di capi ovi-caprini allevati e portati al pascolo.

L'indice finale di qualità della gestione agricola è stato ottenuto dall'incrocio delle carte dei tre indicato-

ri, secondo la relazione:

$$\text{Qualità della gestione agricola} = (\text{Intensità di irrigazione} \times \text{Intensità di prati-pascoli} \times \text{Pressione ovi-caprina})^{1/3}$$

Per quest'Indice si sono ricavate le seguenti 5 classi di qualità: "ottima" (score = 1,0-1,09), "buona" (score = 1,09-1,3), "mediocre" (score = 1,3-1,44), "cattiva" (score = 1,44-1,59) e "pessima" (score = 1,59-1,89).

Componente idrica

La valutazione chimico-fisica e microbiologica della qualità dell'acqua e la misura dell'Indice Biotico Esteso (I.B.E.) sono state effettuate, relativamente alla località *Madonna di Ripalta*, mediante campionamento ed analisi diretta, mentre i dati relativi alle stesse tipologie di analisi, per la località di *S. Samuele di Cafiero*, sono stati ottenuti grazie alla disponibilità dell'Agenzia Regionale di Protezione Ambientale della Regione Puglia (ARPA-Puglia).

In particolare, la misura della Conducibilità, del pH, della Durezza totale, dell'Azoto ammoniacale, del Fosforo totale e del BOD₅, è stata effettuata utilizzando i metodi ufficiali IRSA-CNR (I.R.S.A., 1976); per la determinazione del C.O.D., dell'Azoto nitrico e dell'Azoto nitroso, sono stati impiegati gli Standard Methods APHA (1996).

Per i Coliformi totali e gli Streptococchi fecali, il metodo impiegato è stato quello della filtrazione su membrana (UNI EN ISO, 2002).

Per quanto riguarda la valutazione dell'I.B.E., è stato seguito, sia nel prelievo dei macroinvertebrati in campo, sia nel calcolo dell'indice, il relativo protocollo metodologico (GHETTI, 1997).

Calcolo dell'indice di qualità dell'acqua

I risultati analitici sono stati poi elaborati e aggregati in un indice di tipo misto, secondo una metodologia che integra un indicatore chimico-fisico, uno biologico e uno microbiologico in un indice sintetico, le cui fasce limite sono redatte considerando soprattutto gli effetti sulla vita acquatica e sulla naturalità dell'ambiente, e che viene rappresentato graficamente in un nomogramma di facile leggibilità. Ciascun indicatore risulta da una sommatoria di coefficienti opportunamente calibrati secondo fasce di valori dei singoli parametri, e pesati in modo da differenziare significativamente i diversi limiti tabulari (SILIGARDI, 1986; VITTORI *et al.*, 1983).

Tale metodologia è stata scelta per rendere confrontabile e integrabile l'indice di qualità dell'acqua con le valutazioni relative alle altre componenti ambientali, e per permettere un aggiornamento continuo dei dati e il loro confronto con quelli derivanti dai monitoraggi di

¹ Le UBA vengono calcolate moltiplicando il numero di capi per opportuni coefficienti. Sia per gli ovini che per i caprini il coefficiente è pari a 0,1.

anni precedenti e successivi o effettuati in contemporanea in diverse stazioni di campionamento.

RISULTATI

Qualità della vegetazione

Scala di bacino

Dall'elaborazione degli indicatori relativi alla componente vegetazionale della parte pugliese del bacino emergono alcuni aspetti, utili al fine di inquadrare meglio, secondo un approccio ecosistemico, la qualità fluviale dei due tratti del corso d'acqua esaminati: innanzitutto la scarsità della copertura vegetale, dovuta alla predominanza di seminativi in aree non irrigue (45%), a cui seguono vigneti (21%), sistemi colturali e particellari permanenti (frutteti e pascoli) (15%) e uliveti (11%). Le superfici boschive occupano una percentuale davvero insignificante, rappresentando, al pari delle colture annuali irrigue (mais, girasole) e dei prati stabili (2%), appena il 3% dell'intera superficie (Fig. 2).

La prevalenza di tali tipologie vegetazionali, che assicurano una percentuale di copertura compresa tra il 10% e il 40%, e l'assenza di significative superfici boschive, determina un elevato rischio di erosione per la maggior parte di quest'area, come è confermato dall'esame del relativo indice di protezione, che risulta essere molto basso ($score = 2,0$) per circa il 90% del territorio. È da tener presente, inoltre, che il 40% di copertura è considerato da numerosi studi (FRANCIS e THORNES, 1990) un valore soglia, al di sotto del quale, in zone acclivi, e nelle condizioni pedoclimatiche mediterranee, si verificano condizioni di accelerata erosione, con aumento del ruscellamento e del livello di inquinamento del reticolo idrografico superficiale e profondo per dilavamento e percolazione dei nutrienti.

A questa situazione si associa il degrado della "naturalità" del paesaggio, disturbato più o meno gravemente dall'impatto antropico, come dimostra la prevalenza di tipologie vegetazionali alquanto diverse da quelle strutturalmente più stabili alle stesse condizioni climatiche e geopedologiche locali: i "territori modellati artificialmente" (classe di naturalità: "molto scarsa", $score = 2,0$) sono infatti i biotopi dominanti, seguiti dai "prati stabili" e dalle "aree prevalentemente occupate da colture agrarie con spazi naturali importanti" (classe di naturalità: "scarsa", $score = 1,7$) (Fig. 3). In particolare, oltre a una spiccata esiguità delle aree naturali, presenti come lembi residui di vegetazione boschiva ed arbustiva, che si riscontrano anche lungo piccoli tratti del corso d'acqua principale, si evidenzia anche la loro frammentazione in "isole" di dimensione molto

ridotta, non collegate tra loro e immerse in una matrice fortemente artificializzata e quindi ostile allo spostamento delle specie.

Dall'analisi della mappa di qualità della vegetazione ottenuta, a scala di bacino, dall'incrocio dei tre indicatori, emerge una situazione critica: circa il 75% del territorio è caratterizzato da aree di "bassa qualità" ($score > 1,61$), mentre solo il 20% conserva una vegetazione con caratteristiche funzionali e di naturali-

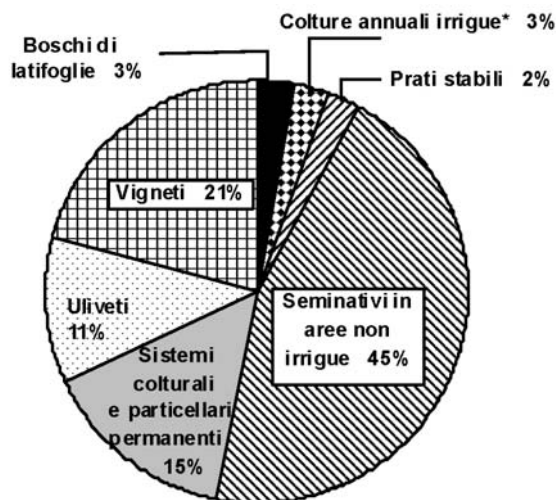


Fig. 2. Distribuzione % dell'uso del suolo nella parte pugliese del bacino del fiume Ofanto.

*Mais, girasole

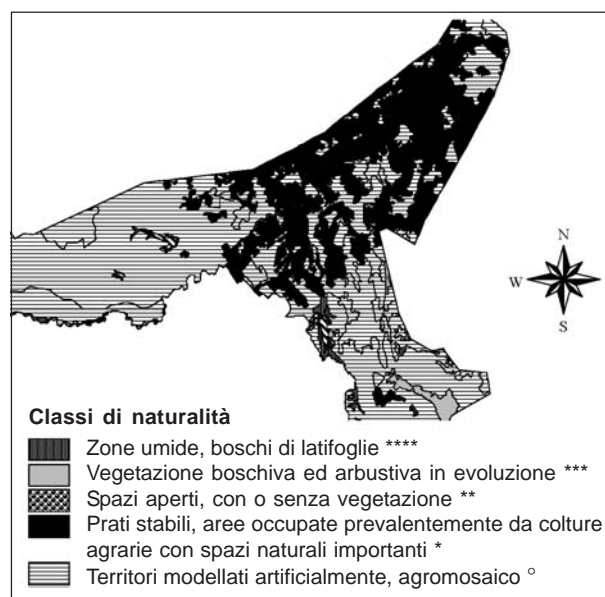


Fig. 3. Carta della naturalità della parte pugliese del bacino. Naturalità: ****: molto elevata ($score=1,0$); ***: elevata ($score=1,2$); **: moderata ($score=1,4$); *: scarsa ($score=1,7$); °: molto scarsa ($score=2,0$).

tà buona (*score* = 1,31-1,61) e appena il 5% è di qualità elevata (*score* < 1,31) (Tab. IV).

Scala di agroecosistema

Nelle tabelle Ia e Ib sono riportati gli attributi della carta dei biotopi dei due agroecosistemi, che ne indica la relativa estensione in ettari, lo *score* attribuito a ciascun indicatore e lo *score* complessivo (media geometrica), indicativo del corrispondente grado di qualità. Si può notare come le aree naturali (riportate come "bosco misto") si estendano nell'agroecosistema *M. di Ripalta* (Fig. 4) per un totale di 22,90 ettari, e solo per 5,50 ettari nell'agroecosistema *S. S. di Cafiero*.

L'incrocio, a scala di agroecosistema, dei tre indicatori esaminati, mostra, per quanto riguarda *M. di Ripalta*, un territorio caratterizzato, per circa il 30% della sua estensione, da vegetazione di "alta qualità" (*score* = 1,17) (Tab. Ia), rappresentata dalle foreste a galleria con predominanza di saliceti (*Salix sp.*) e pioppeti (*Populus alba*), localizzate lungo la fascia riparia, e, in alcuni tratti, anche nella zona golenale, e di erbacee acquatiche (*Typha sp.*, *Phragmites communis*, *Carex sp.*). Queste specie, anche se in condizioni di cattiva conservazione, formano una fascia estesa e ben strutturata conferendo elevata naturalità al paesaggio fluviale (*score* naturalità = 1,0).

Per circa il 24% del territorio invece è presente vegetazione di "media qualità" (*score* complessivo = 1,4) (Tab. Ia), costituita essenzialmente da aree a pascolo frammiste a piccole aree rade e frammentarie di vegetazione boschiva e arbustiva (peri e pruni selvatici, roverelle, olmi) e a spazi aperti senza vegetazione; l'originaria vegetazione pabulare risulta degradata per la presenza di un'attività di pascolo indiscriminata che, nel tempo, ha provocato una perdita dello strato erbo-

so, alterando il processo di rigenerazione spontanea. La parte restante del territorio dell'agroecosistema (circa il 46%) è costituita soprattutto da seminativi (vegetazione di "bassa qualità"), dove la copertura vegetale risulta inadeguata (*score* = 1,9), il rischio di erosione elevato (*score* = 2,0) e il disturbo antropico evidente (*score* = 2,0) (Tab. Ia).

Nell'agroecosistema *S. S. di Cafiero*, la vegetazione di "alta qualità" è ridotta ad appena un 7% dell'intera area (Tab. Ib), ovvero ad esigui lembi di fascia riparia, costituita sempre da foreste a galleria con predominanza di *Salix sp.* e *Populus alba*, a cui si associano significative superfici spondali coperte da vegetazione erbacea ruderale; la restante parte è occupata da coltivazioni intensive di alberi da frutto (82%), oliveti (3,3%) e seminativi (7%). Risultano pertanto quasi assenti gli spazi naturali, scarsa la copertura vegetale ed elevato il rischio di erosione (Tab. Ib).



Fig. 4. Veduta d'insieme di un tratto della fascia riparia all'interno dell'agroecosistema *M. di Ripalta*.

Tab. I. Tabella attributi della carta dei biotopi; a: agroecosistema *M. di Ripalta*; b: agroecosistema *S. S. di Cafiero*.

	Biotopo	Area (ha)	Perimetro (Km)	Naturalità (score)	Copertura (score)	Erosione (score)	Qualità (Media geometrica)
a	Seminativi	23,86	2797,62	2,0	1,8	2,0	1,92
	Bosco misto	22,90	2679,00	1,0	1,0	1,6	1,17
	Area a pascolo	6,27	1001,23	1,4	1,8	1,3	1,48
	Seminativi	8,53	1226,42	2,0	1,8	2,0	1,92
	Area a pascolo	8,52	1289,50	1,4	1,8	1,3	1,48
	Area a pascolo	3,60	883,32	1,4	1,8	1,3	1,48
	Spazi aperti	2,39	748,72	1,4	2,0	2,0	1,77
b	Oliveti	1,93	564,59	2,0	1,8	1,3	1,67
	Seminativi	5,82	1086,79	2,0	1,8	2,0	1,93
	Frutteti	38,22	3062,45	2,0	1,8	1,8	1,86
	Oliveti	0,62	383,22	2,0	1,8	1,3	1,86
	Frutteti	25,32	2245,70	2,0	1,8	1,8	1,86
	Bosco misto	5,50	2205,05	1,0	1,0	1,6	1,17

Qualità della gestione agricola

Scala di bacino

I risultati delle elaborazioni relative all'uso del suolo e alle pratiche di gestione mostrano, per le porzioni dei territori ricadenti nella parte pugliese del bacino dei comuni di Cerignola, Canosa e Candela, una gestione agricola "mediocre", "cattiva" per quelle dei comuni di S. Ferdinando e Barletta, "pessima" per Trinitapoli, "buona" per Ascoli Satriano ed Andria, ed "ottima" per Minervino Murge e Spinazzola (Fig. 5).

Questi risultati possono essere spiegati considerando singolarmente, per ciascun territorio comunale, gli indicatori di gestione: nel territorio di Cerignola, sebbene l'intensità di irrigazione non sia elevata (0-30%), la percentuale di superficie a prati-pascoli rispetto alla Superficie Agricola Utilizzata è molto bassa (0-5%) e la pressione degli allevamenti ovi-caprini risulta sostenuta (circa 0,5-1 UBA per ettaro di superficie a prato-pascolo). Per quanto riguarda la superficie comunale di Canosa, emerge una elevata intensità di irrigazione (60-80%) e una bassa intensità di prati-pascoli (5-

15%), bilanciate, tuttavia, da un basso carico di bestiame (0-0,5 UBA/ha). Nei territori di Minervino e Spinazzola, l'ottima qualità della gestione risulta dalla concomitanza favorevole degli aspetti relativi a tutti e tre gli indicatori, prevalendo infatti coltivazioni estensive come cereali e foraggere; Trinitapoli mostra una situazione esattamente opposta poiché prevalgono le colture intensive irrigue e a maggior reddito (vigneti e frutteti), e un'elevata concentrazione degli allevamenti ovi-caprini; gli altri territori comunali infine presentano situazioni intermedie.

Scala di agroecosistema

Con l'esame delle foto aeree, le perlustrazioni dirette e le interviste agli agricoltori, le differenze nella qualità della gestione agricola tra i due agroecosistemi, già evidenziabili con i dati elaborati a scala comunale (Fig. 5), sono emerse con maggiore risalto (Tab. II): l'intensità di irrigazione è elevata sia per *M. di Ripalta* (circa 64%), sia, e soprattutto, per *S. S. di Cafiero* (100%), dove l'intera superficie agricola è irrigata (Fig. 6). Nel primo agroecosistema esiste una elevata

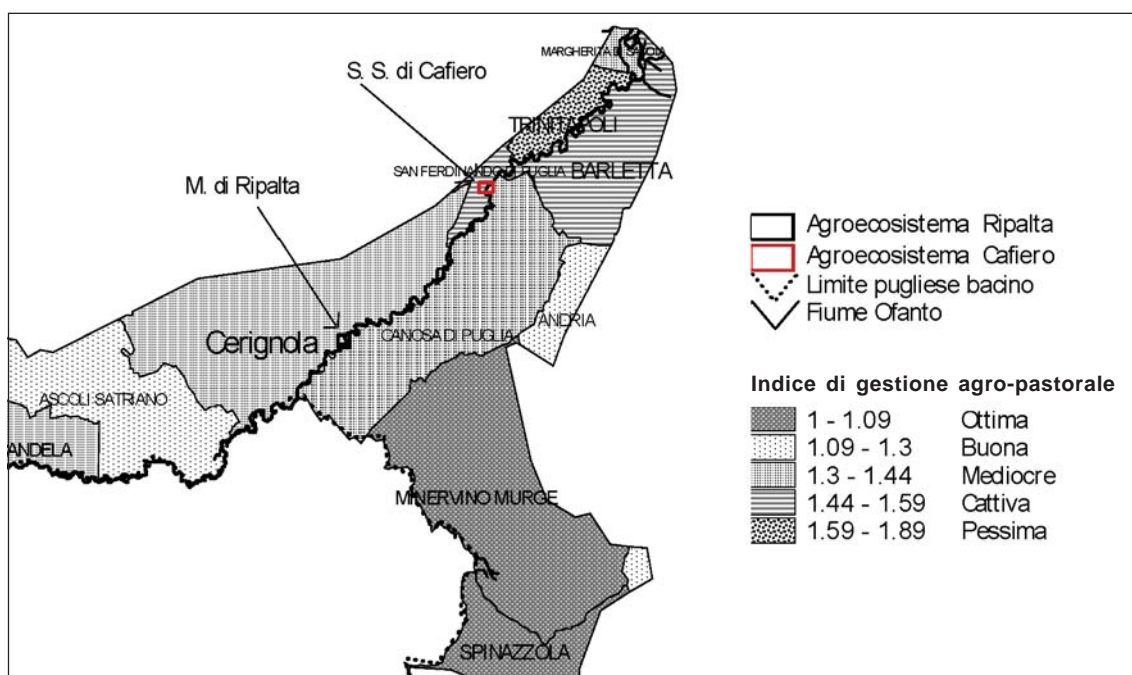


Fig. 5. Indice di qualità della gestione agricola della parte pugliese del bacino dell'Ofanto.

Tab. II. Qualità delle componenti della gestione agropastorale nei due agroecosistemi

	Intensità di irrigazione	Intensità di prati pascoli	Pressione ovi-caprini	Qualità gestione agro-pastorale
<i>M. di Ripalta</i>	64 %	36,21 %	5,5 UBA/ha	Cattiva
<i>S. S. di Cafiero</i>	100 %	/	/	Pessima

pressione ovi-caprina (5-6 UBA per ettaro di prato pascolo), tuttavia, grazie all'elevata intensità di prati-pascoli (36,21%), il livello complessivo della gestione pastorale risulta "cattivo", ma qualitativamente migliore del secondo agroecosistema; in quest'ultimo, infatti, pur se il carico di bestiame è assente perché mancano allevamenti, la conduzione intensiva delle coltivazioni, che risulta dalla mancanza di prati-pascoli, oltre che dall'elevata intensità d'irrigazione, determina un livello di gestione complessivamente "pessimo", altamente ostile alla vocazionalità pedo-climatica e naturalistica dell'area.

Qualità dell'acqua

L'analisi relativa alla qualità dell'acqua mostra come questa sia scadente per entrambi i tratti fluviali esaminati (Fig. 7a e 7b) : in particolare, come indicato dalla prima semiretta del nomogramma, i valori medi delle

analisi hanno evidenziato, in ambedue i casi, una forte alterazione dei parametri chimico fisici (BOD₅, COD, NH₄⁺, PO₄³⁻, conducibilità) (classi di qualità chimica: V per *M. di Ripalta* e IV per *S. S. di Cafiero*).

Considerando i limiti con cui sono state impostate le classi di ponderazione di ciascun parametro da cui è costituito l'indicatore chimico, si può desumere che essa non è conforme ai criteri di qualità previsti dal D.Lgs. 152/06, concernenti la classificazione delle acque dolci superficiali per l'idoneità alla vita per pesci salmonicoli e ciprinicoli. Ciò emerge anche dal confronto diretto dei valori medi delle concentrazioni di alcuni parametri chimico fisici esaminati (azoto ammoniacale, fosforo totale e Domanda biochimica di Ossigeno), con i rispettivi valori guida e imperativo imposti dal decreto, che mostrano, soprattutto per *M. di Ripalta*, situazioni al limite della compatibilità con la vita acquatica delle suddette specie (Tab. III).

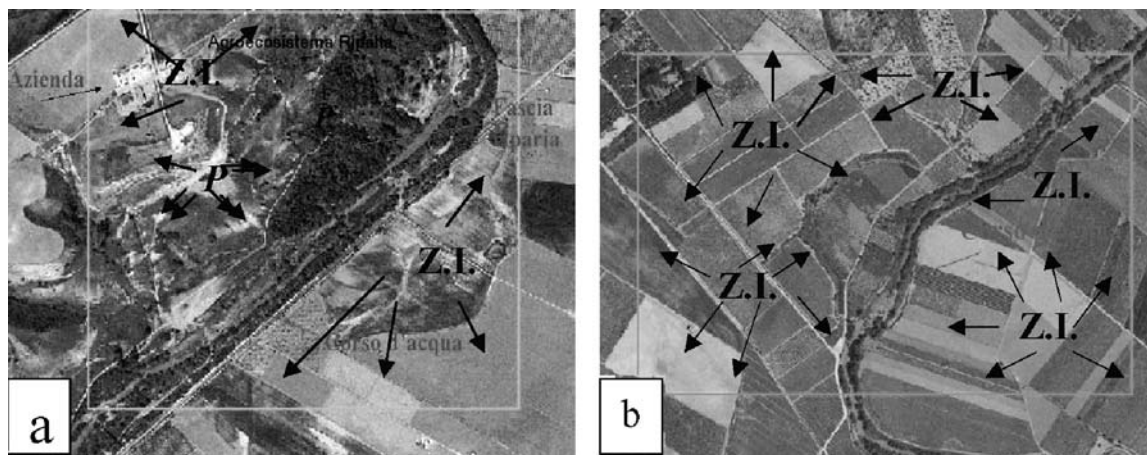


Fig. 6. Uso del suolo nei due agroecosistemi. **a:** agroecosistema *M. di Ripalta*. **b:** agroecosistema *S. S. di Cafiero*. **P** = area a pascolo; **Z.I.** = zona irrigata.

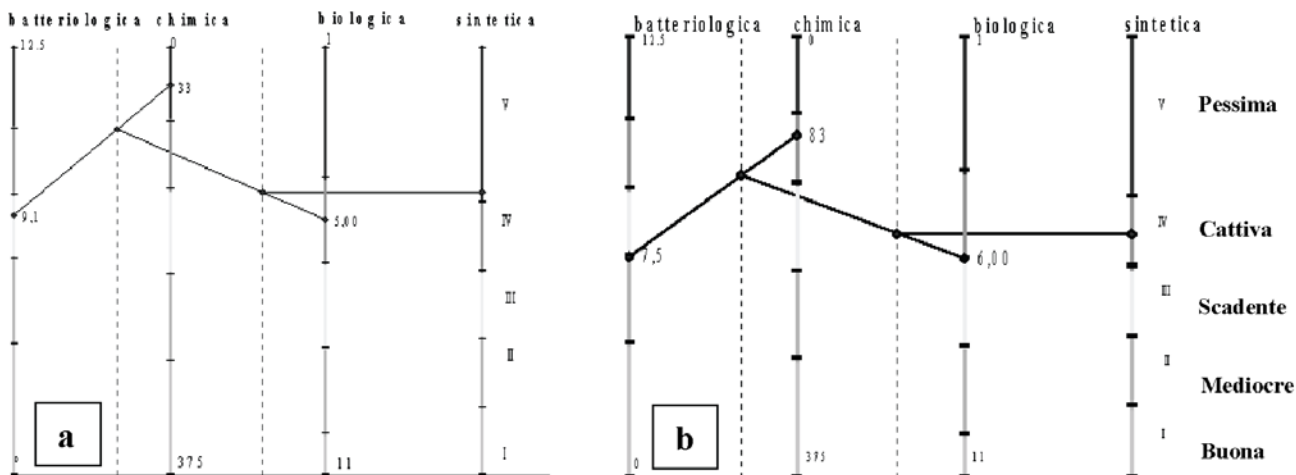


Fig. 7. Nomogramma rappresentativo della qualità dell'acqua. **a:** *M. di Ripalta*; **b:** *S. S. di Cafiero*.

Tab. III. Confronto di alcuni parametri con i valori guida e imperativo imposti dal D.Lgs n. 152/06

PARAMETRO	UdM	M. di Ripalta	S. S. di Cafiero	Gsalm ¹	Isalm ¹	Gcip ²	Icip ²
Azoto ammoniacale	mg/L NH ₄	0,96	1,5	0,04	1	0,2	1
Fosforo Totale	mg/L P	1,37	0,1	0,07	/	0,14	/
BOD ₅	mg/L O ₂	14,87	7,1	3	5	6	9

¹ Gsalm e Isalm: valori guida e imperativo per l' idoneità alla vita per Salmonidi

² Gcip e Icip: valori guida e imperativo per l' idoneità alla vita per Ciprinidi

Dal punto di vista della qualità microbiologica, la prima semiretta del nomogramma mostra che la contaminazione da batteri fecali è particolarmente elevata per il tratto fluviale relativo a *M. di Ripalta* (In della concentrazione media di Coliformi fecali = 9,1) e minore per quello relativo a *S. S. di Cafiero* (7,5), situazione che confermerebbe la massiccia presenza nelle acque di materiale organico, evidenziata, soprattutto per il primo tratto, dalle analisi chimiche.

Per quanto riguarda la qualità biologica, il calcolo dell' I.B.E. mostra una scarsa presenza di unità sistematiche nella comunità dei macroinvertebrati bentonici per entrambi i tratti fluviali (terza semiretta); in particolare, per *M. di Ripalta* è stato riscontrato un valore dell' indice più basso (I.B.E. = 5), corrispondente a una IV classe, ovvero ad un ambiente "molto inquinato", rispetto a quello riscontrato a *S. S. di Cafiero* (I.B.E. = 6), corrispondente in questo caso ad una III classe, ovvero ad un "ambiente inquinato".

Ricavando mediante il nomogramma l' indice sintetico, l' acqua risulta in definitiva di qualità "pessima" (classe sintetica: V) per il tratto di asta fluviale relativo all' agroecosistema *M. di Ripalta*, e "cattiva" (classe sintetica: IV) per quello relativo all' agroecosistema *S. S. di Cafiero* (Fig. 7a e 7b).

Questi dati confermerebbero il notevole carico organico rilevato nel primo tratto, imputabile a diversi fattori, tra cui probabilmente l' eccessivo carico di bestiame che insiste sullo spazio agricolo circostante, che determinerebbe l' alterazione dell' habitat fluviale e il notevole impoverimento della comunità dei macroinvertebrati bentonici, con sopravvivenza dei soli taxa più tolleranti; le condizioni migliorerebbero leggermente per il tratto fluviale relativo all' agroecosistema *S. S. di Cafiero*, situato a circa una ventina di chilometri più avanti, grazie probabilmente al potere autodepurante del fiume, alla maggiore diluizione delle acque dovuta all' immissione del torrente Locone e all' assenza di pascolo; il fatto che la qualità biologica di questo secondo tratto rimanga comunque scadente può essere imputabile a vari fattori, tra i quali l' immissione di scarichi fognari nei tratti fluviali a monte dell' agroecosistema e l' uso prevalente del suolo perfluviale a fruttiferi, non compatibile con elevati standard di qualità di vita acquatica.

DISCUSSIONE

Principali criticità ambientali degli agroecosistemi

I risultati esposti, sintetizzati nella tabella IV, indicano che, nel territorio relativo ai due agroecosistemi esaminati, l' adozione di pratiche, sia agricole sia zootecniche, antitetiche rispetto alla tutela ambientale, ha determinato, nel tempo, la destrutturazione della vegetazione naturale e la trasformazione della superficie del suolo, con effetti che si ripercuotono variamente sulla qualità della componente idrica e sull' integrità dell' ecosistema fluviale.

In particolare, le pratiche irrigue intensive, presenti soprattutto nell' agroecosistema *S. S. di Cafiero* (qualità della gestione: 100% pessima), oltre a contaminare l' acqua attraverso l' uso massiccio di antiparassitari e di fertilizzanti di sintesi, ne modificano il ciclo naturale, concentrando questa risorsa sull' area coltivata e sottraendola ad altri componenti dell' ecosistema fluviale, di cui riducono in maniera cospicua la biodiversità (classe biologica: III). Ma anche l' allevamento intensivo, caratterizzato da un elevato rapporto UBA/ha, presente nell' agroecosistema *M. di Ripalta* (qualità della gestione: 100% cattiva), comporta compattazione del suolo e danneggiamento del cotico erboso, con conseguente aumento della quota di deflusso, incremento dell' inquinamento delle acque superficiali e drastica riduzione della biodiversità (classe biologica: IV).

Alla luce di questi risultati, emerge come il miglioramento della qualità ambientale dei due agroecosistemi, nonché della componente fluviale in essi compresa, non possa prescindere dalla scelta di un' agricoltura gestita con criteri ecocompatibili, in modo che essa stessa rappresenti una risorsa per la conservazione degli equilibri ecosistemici, anziché esercitare su essi un' azione impattante.

Inoltre, occorre un' oculata pianificazione ambientale a scala di bacino che, come mostra l' indice di qualità della vegetazione (Tab. IVa), risulta caratterizzato da un territorio estesamente degradato dal punto di vista naturalistico (qualità della vegetazione: "bassa" per il 75%); in particolare, il livello e la

Tab. IV. Classi di qualità delle componenti ambientali.

a: Scala di bacino;

b: Scala di agroecosistema.

*Ripartizione percentuale.

**Tipologia classi e giudizio.

a	Qualità Vegetazione*			Qualità gestione agricola*				
	Alta	Media	Bassa	Ottima	Buona	Mediocre	Cattiva	Pessima
	5%	20%	75%	28%	16,5%	41,8%	10,8%	2,7%

b	Q. Vegetazione*			Q. gestione agricola*		Qualità acqua**			
	Alta	Media	Bassa	Cattiva	Pessima	Q. chim.	Q. microb	Q. biolog.	Giudizio
M. di Ripalta	30%	24%	46%	100%		V	III	IV	Pessima
S. S. di Cafiero	7%	2,5%	90%		100%	IV	II	III	Cattiva

tipologia della copertura vegetale risultano alquanto inadeguati a garantire l'equilibrio idrogeologico del territorio e buone condizioni qualitative dei corsi d'acqua che lo attraversano.

Prospettive di gestione sostenibile

Una gestione sostenibile della vegetazione a scala di bacino, oltre a ridurre l'inquinamento diffuso, migliorare la qualità delle acque, aumentare i tempi di corrivazione, abbassare i picchi di piena e ridurre il trasporto solido, deve porsi inoltre l'obiettivo di realizzare reti ecologiche che garantiscano la libera circolazione delle specie. A questo riguardo, dovrebbero essere impiantati nuovi boschi autoctoni nelle zone di pianura, che entrino a far parte sia del territorio agricolo (come ecosistemi filtro e/o produzione legnosa o di biomassa), sia di quello urbano (aree vicine alle città e ai paesi, parchi urbani ecc.). Tra queste aree boschive dovrebbero essere interposte delle siepi, per realizzare un sistema di aree naturali fortemente interconnesse che permetterebbe alle popolazioni animali e vegetali di migrare e colonizzare nuovi siti, garantendone la sopravvivenza anche quando la loro presenza nelle aree di origine viene messa in pericolo. Inoltre tali siepi dovrebbero essere sistemate anche lungo il reticolo drenante naturale e artificiale, poiché esse, come dimostrato da numerosi studi (LOWRANCE *et al.*, 1985; SANSONI, 1998; BORIN e BIGON, 2001), nelle aree a forte vocazione agricola fungono da filtro meccanico e biochimico nei confronti di diverse classi di inquinanti, e assumono un ruolo positivo anche nei confronti della tutela del territorio dai diversi fenomeni di dissesto.

Accanto a tale tipo di gestione integrata, pianificata a scala di bacino, si dovranno prevedere interventi specificatamente orientati al miglioramento dell'integrità dell'ecosistema fluviale, che incrementino la di-

versità dell'habitat fluviale e ripristinino la vegetazione perfluviale nelle aree in cui essa risulta degradata o assente, contribuendo nel contempo a preservare la componente pedologica e a migliorare quella paesaggistica.

Oltre alla tutela dell'ecosistema fluviale, è importante la gestione eco-compatibile dei territori confinanti con esso: a tal fine è indispensabile che gli agricoltori gestori delle aziende appartenenti agli agroecosistemi osservino il rispetto degli "Atti" e delle "Norme" sulla "Condizionalità" (*cross-compliance*), introdotte a seguito della riforma della Politica Agricola Comunitaria (PAC) approvata nel 2003.

In particolare, poiché gli agroecosistemi ricadono in area sensibile per la tutela degli habitat, della fauna e della flora di interesse comunitario (Rete Natura 2000), dovranno essere rispettati i seguenti Atti obbligatori:

- Atto 1: Direttiva 79/49/CEE, concernente la conservazione degli uccelli selvatici;
- Atto A5: Direttiva 92/43/CEE, relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche.

Inoltre, essendo presenti superfici a seminativo in produzione e a pascolo permanente, dovranno essere rispettate le seguenti Norme obbligatorie:

- "Norma 4.1: protezione del pascolo permanente"; la pratica del pascolamento condotta in maniera corretta (rispettando il minimo e/o massimo carico di bestiame sulla superficie pascolata) favorisce l'infiltrazione ed il corretto sgrondo delle acque superficiali, riduce il rischio di erosione e contribuisce al mantenimento della struttura del suolo e di un buon livello di sostanza organica nel terreno. Esso, inoltre, rappresenta un importante habitat per numerose specie selvatiche e per molti animali utili che vivono nel suolo.

- Norma 4.4: mantenimento degli elementi caratteristici del paesaggio; tra questi, rientrano gli habitat di particolare pregio naturalistico della Direttiva 92/43/CEE e cioè i “fiumi mediterranei a flusso permanente e filari ripari di Salice (*Salix sp.*) e Pioppo bianco (*Populus alba*)”, la cui integrità è minacciata da pratiche agricole e/o zootecniche intensive.

Infine, sarà opportuno incentivare misure atte ad informare e a coinvolgere le popolazioni locali, in modo che ogni ipotesi di gestione sia avanzata in maniera esplicita e verificata alla luce delle conoscenze disponibili e del punto di vista dei portatori di interessi.

Partendo dall’informazione sulle effettive condizioni del fiume, si potrebbe passare all’illustrazione dei risultati dell’attività di monitoraggio e dei progetti e delle strategie di risanamento e incoraggiare la gente a prendere parte ai relativi processi decisionali.

CONCLUSIONI

In area mediterranea, l’analisi e il monitoraggio di un bacino idrografico, che può essere considerato un mosaico di ecosistemi naturali e antropici strettamente interdipendenti in base alle leggi del flusso di energia, deve permettere, secondo un approccio ecosistemico, di integrare differenti scale parziali e di stimare non solo la qualità dell’ambiente fluviale, ma anche quella delle aree antropizzate e agricole con esso interagenti.

In base all’interpretazione ecosistemica ciascuna risorsa, reale e potenziale, di un territorio, deve essere opportunamente valutata, approfondendo le conoscenze relative al suo “*status*”, e quindi valorizzata e gestita in modo da preservare la complessità delle sue relazioni ecologiche.

In ecologia fluviale si dispone ormai di un’ampia gamma di modelli e indici di valutazione della qualità ambientale degli ecosistemi fluviali, che però estendono il loro raggio d’azione fino al limite della zona perfluviale, non prendendo in considerazione, se non a scala circoscritta, quei fattori (*Driving Forces*), che si originano all’interno del bacino idrografico, poco controllabili e difficilmente quantificabili, che hanno un’incidenza rilevante, ma indiretta, nel determinare le condizioni ambientali degli habitat acquatici.

Occorrono pertanto indicatori a scala ampia basati su parametri territoriali paesaggistici che tengano conto non solo del monitoraggio dell’ecosistema acquatico, di quello ripario e delle zone umide perfluviali, ma anche della porzione di bacino con la quale le interrelazioni spazio-temporali sono più immediate e dirette.

Inspirandosi a quest’ottica “ecosistemica” e pluridisciplinare, l’approccio valutativo proposto in questo studio permette di monitorare diverse componenti am-

bientali della parte pugliese dell’ambito fluviale ofantino e di mettere in relazione la qualità della gestione di due agroecosistemi con la qualità dell’ecosistema fluviale in essi compreso.

Analisi effettuate in precedenza per lo stesso ambito territoriale (SCATIGNA *et al.*, 2007), basate sull’utilizzo dell’Indice di Funzionalità Fluviale e dell’Indice Biotico Esteso, hanno messo in rilievo come il tratto pugliese del fiume Ofanto sia fortemente degradato ed abbia ridotto al minimo il prioritario ruolo di connettore ecologico di biotopi. Tuttavia, anche se questo tipo di monitoraggio fornisce un quadro d’insieme sulle relazioni ecologiche che legano tra loro le varie componenti ecosistemiche, esso implica una certa soggettività dell’operatore nell’attribuzione del giudizio di “qualità” delle diverse componenti ambientali di un ecosistema fluviale, e una scala d’indagine limitata alla zona perfluviale.

Con la metodologia prescelta, in cui il ruolo svolto dai Sistemi Informativi Geografici e dal telerilevamento è risultato centrale, è stato possibile analizzare un ampio ambito territoriale, ovvero buona parte (parte pugliese) del bacino idrografico in cui gli agroecosistemi sono inseriti ed evidenziare, inoltre, in maniera sintetica, le più importanti carenze di carattere gestionale riguardanti il territorio esaminato.

Ulteriori approfondimenti dell’analisi potrebbero essere possibili, grazie all’utilizzo del Sistema Informativo Geografico, aggiornando periodicamente il *dataset* raccolto e mediante l’ausilio di altri indicatori agroecologici; inoltre, estendendo l’analisi anche alla restante parte del bacino idrografico, si potrebbero localizzare le aree maggiormente vocate a fungere da nodi di connettività ecologica, sia lungo l’asse fluviale, sia nell’ambito della matrice agroecosistemica, insieme a quelle invece che rappresentano elementi di discontinuità e di frammentazione ambientale.

Ciò rappresenta il necessario presupposto per una corretta pianificazione dell’area studiata, anche ai fini dell’istituzione di aree protette o di siti di interesse storico-culturale, in un territorio come quello ofantino dove la presenza del fiume può rappresentare un volano per raccogliere le numerose istanze di tutela di un ambito con forti valenze naturalistiche e portatore di valori che rispecchiano la storia di un territorio.

Ringraziamenti

Si ringrazia l’Istituto di Elaborazioni Segnali ed Immagini I.S.S.I.A.- C.N.R. di Bari per la concessione dell’immagine satellitare e il supporto tecnico fornito. Si ringrazia inoltre il prof. Massimo Monteleone del DISACD della Facoltà di Agraria dell’Università di Foggia che ha guidato l’attività di ricerca nell’ambito del dottorato in “Ecosistemi agricoli sostenibili”.

Bibliografia

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1996. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington D.C.
- BASSO F., BOVE E., DUMONTET S., FERRARA A., PISANTE M., QUARANTA G., TABERNER M., 2000. Evaluating environmental sensitivity at the basin scale through the use of geographic information systems and remotely sensed data: an example covering the Agri basin (Southern Italy). *Catena*, **40**: 19-35.
- BOON P.J., CALOW P., PETTS G.E. (Eds.), 1992. *River conservation and management*. Wiley and Sons, New York, USA
- BORIN M., BIGON E., 2001. Abbattimento dell'inquinamento di origine agricola ad opera di fasce tampone ripariali. *L'Informatore Agrario*, **11**: 87-91.
- BRAIONI M.G., BRAIONI A., GHETTI P.F., SALMOIRAGHI G., SILIGARDI M., 2005. Prime esperienze di applicazione della WFD 60/2000: limiti e prospettive. *Biologia Ambientale*, **19** (1): 17-24.
- CUMMINS K.W. 2002. Riparian - Stream Linkage paradigm. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, **28**: 49-58.
- DECRETO LEGISLATIVO N. 152/2006 DEL 3 APRILE 2006. Norme in materia ambientale, G.U. 14/04/2006, n. 88.
- EUROPEAN COMMISSION, 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. Bruxelles.
- FRANCIS C.F., THORNES J.B. 1990. Runhoff Hydrographs from three Mediterranean vegetation cover types. In: *Vegetation and erosion, processes and environments*. John Wiley & Sons, Chichester, 333-352 pp.
- GHETTI P.F., 1995. Indice Biotico Esteso (I.B.E.). *Notiziario dei metodi Analitici*, IRSA (CNR), 1-24.
- GHETTI P.F., 1997. *I macroinvertebrati nel controllo della qualità degli ambienti di acque correnti. Manuale di applicazione*. Prov. Aut. Di Trento.
- I.R.S.A., 1976. *Metodi analitici per le acque*. Volume I, II, III. Quad. Ist. Ric. Acque, 11, Roma.
- ISTAT, 2002. *V Censimento dell'Agricoltura*.
- KOSMAS C., KIRKBY M., GEESON N., 1999. *Manual on key indicators of Desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification*. European Commission, Brussels. Energy, Environment and Sustainable Development, 87 pp.
- LOWRANCE R., LEONARD R., SHERIDAN J., 1985. Managing riparian ecosystems to control non point pollution. *Journal of soil and water conservation*, **40**: 87-91.
- NAIMAN R.J., DECAMPS H., PASTOR J., JOHNSTON C.A., 1988. The potential importance of boundaries to fluvial ecosystems. *J. N.Am. Benthol. Soc.*, **7**: 289-306.
- NAIMAN R.J., DECAMPS H. (eds), 1990. *The ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones*. Man and the biosphere series, 4. The Parthenon Publishing Group, Carnforth.
- OSSERVATORIO CITTÀ SOSTENIBILI, 2002. *Indice del grado di naturalità del territorio*. OCS Doc. 2/2002, Dipartimento Interateneo Territorio del Politecnico e dell'Università di Torino, 31 gennaio 2002.
- PINAY G., CLEMENT J.C., NAIMAN R.J., 2002. Basic principles and ecological consequences of changing water regimes on nitrogen cycling in fluvial systems. *Environmental Management*, **30** (4): 481-491.
- SANSONI G., 1998. Elementi di progettazione ambientale dei lavori fluviali. *Biologia ambientale*, **XII** (2), 64 pp.
- SCATIGNA A.M.E., GENTILE F., TARASCO E., 2007. Applicazione dell'Indice Biotico Esteso e dell'Indice di Funzionalità Fluviale al bacino idrografico del fiume Ofanto. *Idronomia montana*, **25**: 401-417.
- SILIGARDI M., 1986. Uso di un nomogramma per la costruzione delle Carte Ittiche - *Quaderni Ente Tutela Pesca*, Udine **14**: 163, 169.
- SILIGARDI M., AVOLIO F., BALDACCINI G., BERNABEI S., BUCCI M.S., CAPPELLETTI C., CHIERICI E., CIUTTI F., FRANCESCHINI A., MANCINI L., MINCIARDI M. R., MONAUNI C., NEGRI P., PINESCHI G., POZZI S., ROSSI G., SANSONI G., SPAGGIARI R., TAMBURRO C., ZANETTI M., 2007. *I.F.F. 2007. Indice di funzionalità fluviale*. ANPA Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, 340 pp.
- SPAGGIARI R., 1997. Indicatori in ambito fluviale: concetti generali, metodologie ed ambiti di applicazione. Atti del workshop *La qualità ambientale dei corsi d'acqua: l'RCE-2 Riparian Channel ed Environmental Inventory*. Regione Piemonte, Centro Ricerche ENEA. Saluggia.
- TOCKNER K., WARD J.V., EDWARDS P.J., KOLLMANN J., 2002. Riverine landscape: an introduction. *Freshwater Biology*, **47**: 497-500.
- UNEP, 2000. "Decision adopted by the Conference o the Parties to the Convention on Biological Divesity at its fifth Meeting", Nairobi UNEP/CBD/COP/5/23, 103-109.
- UNI EN ISO 9308-1:2002. Qualità dell'acqua - Ricerca ed enumerazione di *Escherichia coli* e batteri coliformi - Metodo di filtrazione su membrana.
- VANNOTE R.L., MINSHALL G.Q., CUMMINS K.W., SEDELL J.R., CUSHING C.E., 1980. The River Continuum Concept. *Can. J. Fish. Aquatic Sci.*, **37**: 130-137.
- WARD J.V., 1989. The four-dimensional nature of lotic ecosystem. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, **8**: 2-8.
- VERDONSCHOT P.F.M., 2000. Integrated ecological assessment methods as a basis for sustainable catchment management. *Hydrobiologia*, **422/423**: 389-412.
- VITTORI A., SILIGARDI M., LEONARDI G., PINAMONTI V., 1983. Proposta di un abaco come strumento di valutazione della qualità di un'acqua corrente esperienze e ricerche. *Staz. Sper. Agr. For.* - **XII**: 155-163.