

# Caratterizzazione idromorfologica ed ecologica delle aree umide golenali del fiume Ticino a Pavia (Lombardia, Italia) e ipotesi di gestione

Daniele Paganelli<sup>1\*</sup>, Renato Sconfietti<sup>1</sup>, Italo Venzaghi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dip. Scienze della Terra e dell'Ambiente, Università degli Studi, via Sant'Epifanio 14 – 27100 Pavia

<sup>2</sup> CREA, via Case Basse Torretta 11/13 – 27100 Pavia

\* Referente per la corrispondenza: [daniele.paganelli@unipv.it](mailto:daniele.paganelli@unipv.it)

Pervenuto il 4.6.2014; accettato il 25.6.2014

## Riassunto

Nel territorio di Pavia sono state studiate dieci lanche golenali del fiume Ticino per definire interventi atti a favorirne il potenziamento della funzionalità ecologica, il mantenimento nel tempo e la valorizzazione del ruolo paesaggistico.

L'Indice Morfo-Paesaggistico delle Lanche (IMPAL) ha identificato una lanca in CQ II, quattro in CQ III, quattro in CQ III-IV e una in CQ IV; l'aspetto maggiormente penalizzante è dovuto alla pressione agricola, che limita la fascia vegetata perispondale.

Le analisi fisico-chimiche (temperatura, trasparenza, pH, ossigeno disciolto, composti azotati, fosforo totale, BOD<sub>5</sub>, COD) e microbiologiche (*Escherichia coli*) hanno rilevato situazioni diversificate, che in generale identificano ambienti isolati dal fiume da molto tempo e, quindi, avviati verso fenomeni spontanei di eutrofia e saltuarie distrofie, ben dimostrate dai forti squilibri nella saturazione di ossigeno; solo in una lanca (San Lanfranco) è molto evidente l'impatto antropico, che porta a marcate ipossie, accumulo di azoto ammoniacale ed elevato carico di colibatteri.

Lo zooplankton, scelto come indicatore della biocenosi acquatica, è costituito da specie euriecie e qualitativamente abbastanza omogenee, ma risente di dinamiche stocastiche legate alla specificità di ciascun biotopo.

In generale sono auspicabili interventi di rimodellamento del fondale per prolungare la vita di queste lanche, potenziamento della fascia vegetata perispondale e della cintura anfibia, rimozione degli impatti puntiformi. Le scelte prioritarie riguardano la lanca di San Lanfranco, che riceve reflui fognari, e un sistema a due lanche una delle quali, ormai stabilmente asciutta (Baia del Re), verrà ricostruita e raccordata idraulicamente con l'altra (lanca del Topo).

PAROLE CHIAVE: aree umide / IMPAL / funzionalità ecologica / trofismo / riqualificazione ambientale

## Hydromorphological and ecological characterization of the Ticino River's wetlands near Pavia (Lombardy, Italy) and assessment hypothesis

Ten riverine wetlands were selected in the Pavia area near the Ticino River with the aim of identifying ways to potentially improve their ecological functionality, maintain them over time, and enhance their role in the landscape.

According to the morpho-landscape index (IMPAL), one of the wetlands was classified into quality class II, four into class III, four into classes III-IV and one into class IV. The most penalizing aspect is the presence of agricultural pressure around these wetlands, limiting the growth of vegetation around the water.

Analyses of both the physico-chemical and microbiological properties of the wetlands showed very different situations, typical of areas that are isolated from the main course of the river and thus characterized by spontaneous eutrophic and occasional dystrophic phenomena. This is clearly demonstrated by the strong imbalances in oxygen saturation. Only one wetland (San Lanfranco oxbow lake) shows obvious signs of anthropogenic impact: marked hypoxia, accumulation of ammonia nitrogen and a high presence of coliform bacteria. The zooplankton, chosen as an indicator of aquatic biocenosis, consists of a fairly homogeneous pool of species, but it is affected by stochastic dynamics related to the specificity of each biotope.

We suggested remodelling the bottom of these biotopes to extend their life, extending the vegetation around the water, removing the direct anthropogenic pressure. Priority was given to the "San Lanfranco" oxbow lake, which directly receives sewage, and another two wetlands: "Baia del Re", currently permanently dry, will be totally rebuilt and hydraulically connected to the "Topo" oxbow lake.

KEY WORDS: wetlands / IMPAL / ecological functionality / trophism / environmental restoration

## INTRODUZIONE

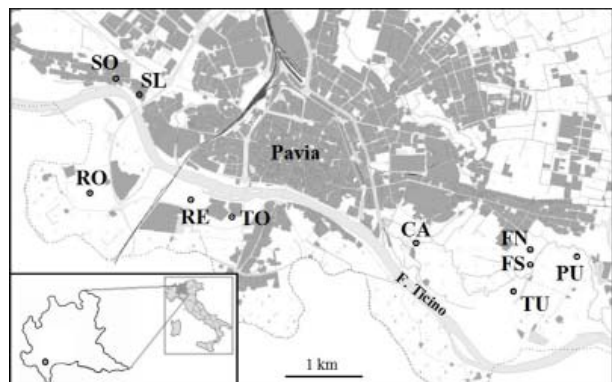
La convenzione di Ramsar (1971) definisce le aree umide sono ecosistemi in cui la presenza di acqua condiziona direttamente la struttura della comunità biotica. Inoltre, allo scopo di proteggere anche le aree limitrofe allo specchio d'acqua, l'Articolo 2.1 della stessa convenzione suggerisce di includere nella definizione di aree umide anche “*riparian and coastal zones adjacent to the wetlands, and islands or bodies of marine water deeper than six metres at low tide lying within the wetlands*”.

In un contesto generale di banalizzazione ecologica del territorio questi ambienti di transizione, spesso di piccola estensione, sono di fondamentale importanza per la biodiversità che ospitano, sia a livello animale sia vegetale; in essi, infatti, si concentrano numerose specie di uccelli, mammiferi, rettili, anfibi, pesci e invertebrati (Ramsar Convention Secretariat, 2013).

Oltre che per il loro valore intrinseco come ecosistemi, le zone umide perifluviali sono importanti in termini di funzionalità sia idrologica, in quanto svolgono il ruolo di cassa di espansione durante i fenomeni alluvionali, sia ecologica, in quanto costituiscono bacini di autodepurazione con funzione di fasce tampone protettive nei confronti del vicino corso d'acqua (Sconfietti e Paganelli, 2012). Inoltre, il ruolo funzionale di questi biotopi perifluviali è stato ampiamente riconosciuto nella revisione dell'Indice di Funzionalità Fluviale (Siligardi *et al.*, 2007).

Spesso tali zone hanno anche un'importanza socio-culturale molto alta per la popolazione delle zone limitrofe (Sacchi *et al.*, 1993), in quanto utilizzate per scopi ricreativi e turistico-didattici.

Il tratto del fiume Ticino compreso nel territorio comunale di Pavia conserva una notevole quantità



**Fig. 1.** Localizzazione dei biotopi umidi studiati. SO= lanca della Sora; SL=lanca di S. Lanfranco; CA=roggia Canobbio; Lanche di Montebolone (FN=lanca Francana Nord, FS=lanca Francana Sud); TU=lanca “Türbin”; CP=lanca “Canal di Pum”. RO=Rottone; RE=baia del Re; TO=lanca del Topo. Modificata da Sconfietti e Paganelli (2012).

di aree umide, molte delle quali di origine naturale.

La pressione antropica e i processi erosivi naturali, ancora in atto sull'alveo fluviale principale, hanno spesso portato all'isolamento funzionale di questi biotopi, che potenzialmente possono invece svolgere un ruolo importante nei processi autodepurativi. In alcuni casi l'abbandono e l'isolamento dei corpi idrici laterali ne ha comportato anche il degrado ambientale.

La vicinanza alla città di queste realtà, un tempo soggette ad un naturale turn-over, ha suggerito un progetto che tendesse a valorizzarne le potenzialità bio-ecologiche e la funzionalità ecosistemica.

Sul bando 2010 della Fondazione Cariplo “Tutelare la qualità delle acque” è stato cofinanziato il progetto –Riqualificazione idromorfologica ed ecologica del fiume Ticino e delle sue aree umide golenali nel tratto in comune di Pavia– che ha come obiettivo primario il ripristino della funzionalità ecologica negli ambienti umidi perifluviali pavesi, in modo da sfruttarne la naturale capacità autodepurativa per rafforzare il sistema tampone attorno all'asta fluviale e contribuire al miglioramento della qualità delle acque del fiume Ticino.

Attraverso il recupero del corteggio floristico-vegetazionale tipico, ormai in via di rarefazione lungo tutta l'asta fluviale, il progetto si è posto l'obiettivo di migliorare la sostenibilità ambientale, aumentare la fruibilità da parte della comunità e valorizzare la percezione paesaggistica delle aree umide perifluviali migliorandone sensibilmente le condizioni idrologiche ed ecologiche.

La realizzazione del progetto è iniziata nel febbraio 2011 con una fase di censimento e caratterizzazione morfo-ecologica delle aree umide peri-urbane, con l'intento di individuare le criticità e definire le priorità di intervento, in relazione anche alla concreta fattibilità. Sono poi seguite indagini morfo-batimetriche (estensione, morfologia, batimetria, connessioni con le acque superficiali o di falda) affiancate da un'indagine idrobiologica (bilancio idrico, descrittori essenziali di qualità chimica e biologica).

La scelta della componente biologica da utilizzare per la definizione della qualità delle acque è ricaduta sullo zooplancton, in quanto i cambiamenti di questa comunità –composizione specifica, incremento o diminuzione dell'abbondanza– sono considerati buoni indicatori dello stato trofico delle acque (Chen *et al.*, 2010; Jeppesen *et al.*, 2011; Kattel, 2012; Ren *et al.*, 2013).

Individuate le caratteristiche e le criticità presenti o potenziali è stato così possibile stabilire delle priorità di intervento, individuare le connessioni funzionali al rafforzamento della rete ecologica e fornire indicazioni utili anche al fine di acquisire aree private su cui insistono le aree umide di interesse. Questo articolo

riporta i risultati delle indagini di caratterizzazione e gli indirizzi operativi sulla tipologia degli interventi da eseguire finalizzati alla riqualificazione.

## MATERIALI E METODI

### Area di studio

La zona peri-urbana intorno alla città di Pavia presenta numerose aree umide di origine naturale e antropica (es. laghi di cava). Sono state studiate 3 aree umide in sponda destra del fiume Ticino e 7 in sponda sinistra (Fig. 1 e Tab. I).

### Valutazione della qualità morfo-paesaggistica

Per la valutazione morfo-paesaggistica delle aree umide è stato utilizzato un metodo appositamente messo a punto, denominato IMPaL (Indice MorfoPae-

saggistico delle Lanche) (Sconfietti e Paganelli, 2012). Al rilevamento dell'indice sono associate osservazioni sulle caratteristiche generali dell'ambiente (es. presenza di immissari/emissari, scarichi, rifiuti) che però non rientrano nel giudizio finale dell'indice. Il metodo si basa sull'assegnazione di un punteggio ad una serie di macroindicatori (territorio circostante, fascia perispondale, cintura anfibia, habitat ripario) i cui descrittori forniscono un quadro di sintesi riconducibile alle classiche cinque classi di qualità: il valore 0 indica una qualità morfo-paesaggistica pessima, il valore 10 indica una situazione eccellente. Alle classi sono stati associati i colori standard per la rappresentazione cartografica dei risultati dell'indice (Tab. II). Il giudizio complessivo è ottenuto dalla media aritmetica pesata sulla lunghezza dei singoli tratti omogenei rilevati.

**Tab. I.** Descrizione delle aree umide studiate (Fig. 1) situate in sponda sinistra (Sx) e sponda destra (Dx) del Ticino.

Area umida	Sigla	Sponda	Descrizione
Lanca della Sora	SO	Sx	Piccolo ambiente umido, lungo circa 100 metri, alla base del terrazzo secondario del Parco urbano della Sora, che va incontro ad asciutte stagionali e talvolta è alimentato da una piccola sorgiva.
Lanca di San Lanfranco	SL	Sx	Vecchio alveo fluviale lungo circa 300 m e largo 15, che riceve piccoli ma costanti apporti fognari diretti. Profondità media 66 cm, massima 240 cm e minima 22 cm.
Roggia Canobbio	CA	Sx	Vecchio percorso solo saltuariamente invaso dall'acqua da subalveo durante periodi prolungati di innalzamento del livello idrometrico del Ticino, ospita un vistoso canneto ed è lungo circa 500 metri. Deve la denominazione alla roggia un tempo attiva, alimentata dalla roggia Vernavola a costituire un sistema di alimentazione di prati marcitoli. Dopo il percorso tortuoso principale prosegue verso la roggia Scaricatore del Naviglio Pavese attraverso un canale sempre asciutto e a quota superiore, lungo altri 400 metri. Profondità media 40 cm, massima 74 cm e minima 12 cm.
Lanche di Montebolone	FN e FS	Sx	Sistema di due lanche vicine lunghe oltre 300 metri, antiche anse del Ticino ora attigue alla roggia Vernavola. Alimentate costantemente da emergenze di falda e vicine ad un terrazzo ricco di sorgenti da falda sospesa, hanno entrambe un emissario che sversa in Vernavola. Sono specchi d'acqua di media dimensione e relativamente profondi (FN media: 80 cm, max: 115 cm, min: 35; FS media: 48, max: 77 cm, min: 22 cm).
Lanca dei Turbin	TU	Sx	Si tratta di un paleoalveo isolato superficialmente dal fiume.
Canal di Pum	CP	Sx	Si tratta di una lunga ansa fluviale abbandonata per circa 400 metri, divisa in due da una barra di deposito. Anche questa presenta un emissario, fino a pochi decenni fa regolato da una chiusa ad uso irriguo. Profondità media 51 cm, massima 100 cm e minima 18 cm.
Lanca del Rottone	RO	Dx	Antico ed esteso meandro di Ticino dalla tipica forma a mezzaluna che racchiudeva una grande "isola", identificata nella toponomastica come Isola del Rottone, dal nome di una vicina cascina. Conserva uno specchio idrico ormai molto ridotto e un canale emissario da circa due decenni inattivo, che arriva sino al fiume. Attorno presenta diversi laghetti di cava. Nonostante la forte pressione antropica, conserva una buona potenzialità morfologica ed è meritevole di attenzione.
Baia del Re	RE	Dx	Alveo abbandonato di medie dimensioni, circa 250 metri di lunghezza e 30 di larghezza, con un esteso canneto e falda quasi affiorante. L'avanzamento della vegetazione arbustiva ed arborea dentro al canneto è un segnale inequivocabile di un progressivo prosciugamento, che gradualmente porterà alla scomparsa dei caratteri igrofilici.
Lanca del Topo	TO	Dx	Residuo di una lanca originatasi da un taglio di meandro artificiale, risalente intorno alla metà del XVIII secolo, un tempo ben più estesa soprattutto verso valle e poi più volte rimaneggiata a partire dalla costruzione del nuovo percorso della ex SS 35 sull'allora Ponte dell'Impero, poi Ponte della Libertà. Allo stato attuale è lunga circa 80-90 metri. Fino a un paio di decenni fa collegata con un'area umida retrostante, si è parzialmente colmata e ha ridotto la sua estensione. Profondità media 62 cm, massima 140 cm e minima 13 cm.

### Indagini idrobiologiche

Dall'estate 2011 all'estate 2012 in otto delle dieci aree umide –escluse la Baia del Re (RE) senza acqua libera e la lanca della Sora (SO) con specchi d'acqua molto ristretti e non sempre presenti– sono stati prelevati campioni di acqua con cadenza stagionale per la definizione dei principali parametri fisico-chimici: temperatura, trasparenza, pH, ossigeno disciolto, azoto nitrico (N-NO<sub>3</sub>), azoto nitroso (N-NO<sub>2</sub>), azoto ammoniacale (N-NH<sub>4</sub>), azoto totale (N<sub>tot</sub>), fosforo totale (P<sub>tot</sub>), Domanda Biochimica di Ossigeno (BOD<sub>5</sub>) e Domanda Chimica di Ossigeno (COD).

Per la determinazione dei parametri sono stati utilizzati i kit fotometrici Merck Spectroquant e fotometro Merck Nova 60. È stata inoltre valutata la quantità del batterio coliforme *Escherichia coli*, ottimo indicatore della presenza di scarichi fognari (Geldreich, 1966), utilizzando piastre cromogeniche International PBI "Compact-Dry".

Con la stessa cadenza temporale e negli stessi bacini sono stati raccolti campioni di zooplancton con un retino (Ø=40 cm; l=65 cm; maglia=100 µm) appositamente modificato per essere utilizzato in ambienti umidi di piccole dimensioni (Sconfietti e Cantonati, 1990). Il retino veniva trascinato per 5 metri, tenendo la barca più ferma possibile, in modo da filtrare circa 625 litri di acqua; i campioni sono stati fissati in alcol etilico e portati in laboratorio, dove si è proceduto all'identificazione delle specie ed alla stima dell'abbondanza.

Le diverse operazioni sono state eseguite sempre dallo stesso operatore, in modo da diminuire l'errore soggettivo. Le abbondanze sono state stimate seguendo la seguente classificazione: +/- (raro); + (scarso); ++ (presenza regolare); +++ (presenza abbondante). Per le successive analisi statistiche le stime di abbondanza sono state convertite in valori numerici (1-10-50-100).

Le analisi dei dati sono state effettuate utilizzando il software PRIMER 5.0 (Clarke e Warwick, 1994).

**Tab. II.** IMPaL: Classi di Qualità (C.Q.) e relativi punteggi, giudizi e scala cromatica.

C.Q.	Intervalli	Giudizio	Colore
I	8.8 - 10	Eccellente	Blu
I-II	8.4 - 8.7		Blu/Verde
II	6.9 - 8.3	Buono	Verde
II-III	6.3 - 6.8		Verde/Giallo
III	4.4 - 6.2	Mediocre	Giallo
III-IV	3.8 - 4.3		Giallo/Arancione
IV	2.3 - 3.7	Scadente	Arancione
IV-V	1.9 - 2.2		Arancione/Rosso
V	0 - 1.8	Pessimo	Rosso

## RISULTATI

### Indice Morfo-Paesaggistico delle Lanche

La lanca della Sora (SO) è risultata essere l'area umida con la valutazione complessiva migliore (IMPaL = II classe), risultante da 4 tratti omogenei: uno a destra e tre a sinistra (Tab. III). Questo biotopo è caratterizzato dalla presenza di un piccolo immissario sorgivo ed è circondato da una fitta vegetazione perispondale che lo scherma completamente dall'ambiente limitrofo; l'alveo è diversificato e non sono presenti captazioni e rifiuti intra ed extra alveo.

La lanca di San Lanfranco (SL) è stata suddivisa in 9 tratti omogenei: un tratto 0, situato in testa al bacino, quattro tratti in sponda sinistra e altrettanti in sponda destra. Sono presenti modeste immissioni di acqua sorgiva e un emissario, che convoglia le acque direttamente nel vicino Ticino. Il territorio circostante in sponda destra è prevalentemente adibito a coltivazioni di latifoglie a legname pregiato (Regolamento CEE 2080/92), mentre in sponda sinistra è presente un'area urbanizzata. L'alveo è diversificato grazie alla presenza di alberi caduti e radici sommerse. La presenza di scarichi civili, di captazioni e di rifiuti sia in alveo sia sulle sponde contribuisce all'assegnazione di un punteggio complessivo IMPaL di 5,5 (III classe).

La roggia Canobbio (CA) è stata classificata con un punteggio complessivo IMPaL di 5,1 (III classe). Sono stati individuati complessivamente dieci tratti: la sponda destra, con sei tratti omogenei, presenta una qualità complessiva migliore rispetto a quella sinistra. Non sono stati rilevati immissari, emissari o apporti sorgivi evidenti; quest'area è situata in zona di agricoltura intensiva ma è comunque circondata da una stretta fascia di canneto che la scherma dall'ambiente circostante.

FN è circondata da campi agricoli dai quali, però, è separata da una discreta fascia perispondale costituita da alberi e arbusti. Non ci sono evidenti immissari ma, circa a metà del bacino, è presente una sorgente; non ci sono scarichi e captazioni e nella parte terminale è presente un emissario. L'habitat in alveo è mediamente diversificato grazie alla presenza di radici e tronchi sommersi. Il perimetro dell'area umida è stato suddiviso in sei tratti: due per la sponda destra e quattro per la sinistra. FN ha ottenuto un punteggio IMPaL di 4,3 ed è stata quindi classificata in III-IV classe.

In prossimità dell'area umida FN, si trova l'area umida FS. Questi due ambienti non sono in collegamento diretto ma sono separati da un bosco di latifoglie a legname pregiato. In sponda sinistra FS è circondata da campi coltivati, non presenta immissari e scarichi. È presente invece un emissario che garantisce un minimo ricambio idrico con la vicina roggia Vernavola.

Questo biotopo è stato suddiviso in sei tratti: un

tratto 0, due tratti in sponda sinistra e tre in sponda destra ottenendo un punteggio IMPaL complessivo di 4,4 che lo colloca in III classe.

Non lontano da quest'ultima area umida si trovano le aree TU e CP. Entrambe sono caratterizzate dall'assenza di immissari, apporti sorgivi, scarichi e captazioni ma presentano invece piccoli emissari. Sono aree circondate da campi agricoli e che complessivamente ottengono un basso punteggio IMPaL: TU viene classificata in III-IV classe (IMPaL=4) mentre CP in IV classe (IMPaL=2,4).

RO è stata suddivisa in 13 tratti omogenei: un tratto 0, quattro tratti in sponda destra e sette in sponda sinistra; i tratti classificati con punteggio più alto (IMPaL=6,7) sono il terzo in sponda destra e il quarto in sponda sinistra.

In questa lanca è presente un emissario ma non un immissario o evidenti apporti sorgivi. In sponda destra, separati da una stretta fascia perisondale, ci sono campi coltivati mentre in sponda sinistra è presente una cava allagata. Non ci sono scarichi, captazioni e rifiuti sulle sponde ma ne sono stati rilevati diversi all'interno dell'alveo. Tutte queste caratteristiche hanno portato ad una valutazione complessiva pari a 5,1 alla quale corrisponde una III classe di qualità.

RE, al momento del rilievo, era completamente asciutta; non sono stati quindi riconosciuti evidenti immissari, emissari o apporti sorgivi. In sponda sinistra, l'area è separata dal Ticino da una stretta fascia vege-

tata e da una strada bianca; in sponda destra invece è costeggiata dall'argine principale del fiume su cui passa una strada e da campi coltivati.

La sponda sinistra è stata suddivisa in quattro tratti, invece in sponda destra è stato rilevato un solo unico tratto per l'intera estensione dell'area umida. RE, complessivamente, è stata valutata con un punteggio IMPaL di 4,3 (III-IV classe).

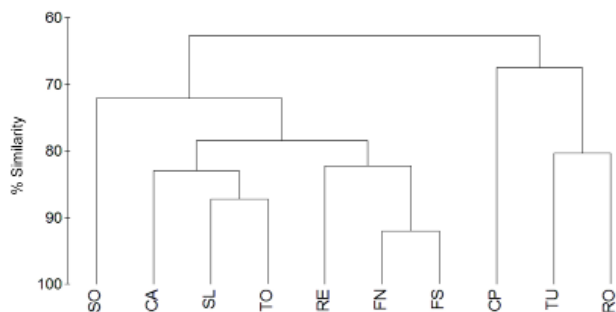
L'ultima area umida indagata, TO, è stata suddivisa in cinque tratti omogenei: due in sponda destra e tre in sponda sinistra. La sponda destra è separata dal territorio agricolo circostante dall'argine principale del Ticino e da una fascia vegetata formata da alberi che vengono ciclicamente tagliati e rimpiazzati. In sponda sinistra, invece, è presente una fitta fascia perisondale formata da un canneto, oltre il quale però è presente un'area urbanizzata. Non sono presenti immissari, emissari, apporti sorgivi o scarichi, captazioni e rifiuti in alveo. L'indice IMPaL classifica questa area umida in III-IV classe (IMPaL=4,1).

Per ciascuna area umida è stata ricavata un'unica scheda IMPaL calcolando i valori medi di ciascuno dei dieci indicatori pesati sulla lunghezza dei singoli tratti rilevati; sulla base di questa matrice di dati è stata poi applicata l'analisi a cluster (Fig. 2).

Sulla base di oltre il 60% di similarità l'analisi individua le lanche su cui incide maggiormente l'attività agricola (CP e TU, in sponda sinistra nella golena di Ticino-Vernavola, e RO, in sponda destra a monte

**Tab. III.** Applicazione di IMPaL nelle aree umide: punteggi e lunghezza (l) dei singoli tratti; valore medio pesato; Classe di Qualità (C.Q.); lunghezza totale del perimetro (L). Per le sigle si veda Tab. I.

Aree umide	Punteggi sponda destra							Punteggi sponda sinistra							IMPaL	C.Q.	L (m)		
	Tr0	Tr1	Tr2	Tr3	Tr4	Tr5	Tr6	Tr1	Tr2	Tr3	Tr4	Tr5	Tr6	Tr7					
SO		7,8						7,8	8,5	4,0							7,8	II	1135
l(m)		560						280	255	40									
SL	2,8	7,6	6,8	6,2	7,6			6,6	6,0	4,0	2,5						5,5	III	701
l(m)	31	95	120	59	49			63	53	131	100								
CA		6,0	6,0	4,3	3,4	6,3	3,8	6,0	4,6	6,1	3,2						5,1	III	1047
l(m)		83	111	77	58	111	82	100	181	128	116								
FN	5,3	4,4						3,9	4,9	3,2	4,4						4,3	III-IV	715
l(m)	20	350						46	61	82	156								
FS	4,6	2,8	4,7					2,5	4,5	4,0							4,4	III	737
l(m)	35	140	160					20	131	108									
TU	4,9	5,7	5,5	4,2				2,1	3,9								4,0	III-IV	720
l(m)	28	83	209	68				260	72										
CP	4,1	4,0	0,5					0,5	1,4								2,4	IV	743
l(m)	27	336	21					196	163										
RO	5,4	5,6	6,6	6,7	5,3			5,5	5,1	1,9	6,7	5,5	5,2	2,5			5,1	III	1394
l(m)	22	160	140	236	164			34	34	182	109	74	99	140					
RE	3,8	4,0	5,4	5,8	2,3			4,0									4,3	III-IV	715
l(m)	55	115	112	115	88			230											
TO		2,7	4,8					4,0	6,3	6,3							4,1	III-IV	270
l(m)		128	36					31	52	23									



**Fig. 2.** Cluster analysis dei dati medi pesati per ciascuna area umida. Per le sigle si veda Tab. I.

dell'abitato) dalle rimanenti; fra queste si isola SO, l'unica in classe II, e risultano molto simili le due lanche vicine FN e FS, a ridosso della Vernavola.

### Analisi chimico-microbiologiche

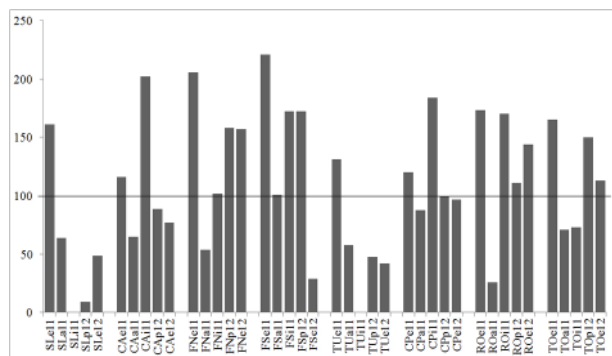
Le analisi svolte nelle aree umide hanno rivelato una discreta eterogeneità (Tab. IV).

Nella lanca SL i risultati delle analisi hanno messo in evidenza una bassa saturazione dell'ossigeno nella primavera 2012 ed una soprassaturazione nell'estate 2011 (Fig. 3).

Concentrazioni elevate di  $N-NH_4$  sono state registrate nell'estate 2011 e soprattutto nell'estate 2012, in cui i valori di  $N-NH_4$ ,  $N-NO_2$  e  $P_{tot}$  sono i più alti tra tutti quelli rilevati nelle aree umide e i valori di COD e di *E. coli* sono particolarmente elevati.

L'area umida CA presenta sempre valori bassi di  $N-NH_4$ , ad eccezione della primavera 2012 cui è associata una discreta quantità di *E. coli* (Fig. 4). Anche negli altri campioni prelevati la quantità di coliformi è piuttosto alta.

Nella lanca FS sono evidenti condizioni di forte soprassaturazione dell'ossigeno in estate 2011, superiore a 200%, inverno 2011 e primavera 2012, mentre nell'estate 2012 si è registrata una decisa sottosatura-



**Fig. 3.** Percentuale di saturazione di ossigeno registrata durante le cinque stagioni di campionamento. Per le sigle si veda Tab. I.

zione (Fig. 3).

Anche per FN è stata registrata una condizione di soprassaturazione nell'estate 2011 seguita da un abbassamento in autunno, per poi risalire a livelli di soprassaturazione in primavera ed estate 2012.

La lanca CP mostra valori di soprassaturazione dell'ossigeno nell'inverno 2011 mentre, nelle altre stagioni, sono stati registrati valori decisamente più bassi (Fig. 3); valori elevati di COD sono stati rilevati in tutte le campagne di campionamento.

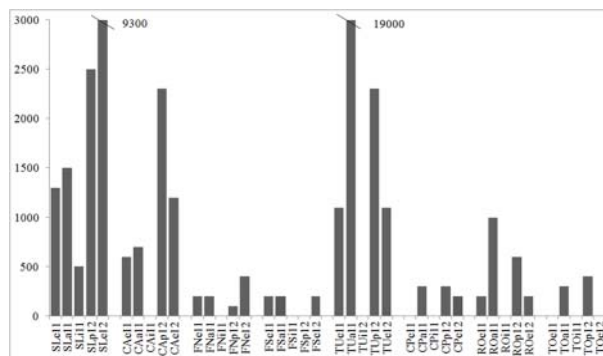
Per quanto riguarda la lanca TU, nell'autunno 2011 sono stati registrati il valore di *E. coli* più alto tra quelli rilevati in tutte le aree umide (Fig. 4) ed un alto valore di  $N-NH_4$ ; particolarmente elevato il valore di  $N-NH_4$  anche nella primavera 2012. La concentrazione di  $N-NO_2$ , di per sé non particolarmente elevata, è risultata decisamente maggiore dei valori rilevati nelle altre zone umide, con l'unica eccezione di SL.

Nella lanca RO si è osservato il passaggio da condizioni di soprassaturazione dell'ossigeno nell'estate 2011 a valori decisamente bassi in autunno. Il fenomeno è stato seguito poi da una nuova soprassaturazione nell'inverno successivo (Fig. 3).  $N-NH_4$  è risultato elevato in autunno 2011 e primavera 2012, con corrispondenti valori non trascurabili di *E. coli*.

Nell'ultima area umida indagata, TO, non sono da segnalare situazioni particolarmente critiche, ad eccezione di valori di COD abbastanza elevati in estate 2011 e in estate 2012.

Questo quadro eterogeneo, però, si articola all'interno di una similarità di fondo fra tutti i bacini di oltre il 70%, ben evidenziata dalla cluster analysis calcolata sui valori medi di ciascun parametro (Fig. 5).

L'elevata similarità di base non impedisce, tuttavia, di riconoscere due gruppi ben distinti: il primo formato da TU e SL, con similarità 85%, il secondo ancora più compatto, con similarità 90%, con le rimanenti; all'interno di questo secondo gruppo spicca la sostanziale sovrapposizione di due lanche, FN e FS.



**Fig. 4.** Quantità di *E. coli* (UFC/100 ml) registrate durante le cinque stagioni di campionamento. Per le sigle si veda Tab. I.

### Comunità zooplanctonica

Nelle aree umide oggetto di campionamenti la comunità zooplanctonica è risultata essere piuttosto omogenea, soprattutto per quanto riguarda il pool di specie: il gruppo maggiormente numeroso è quello dei rotiferi con 7 specie, seguito dai cladoceri con 3 e dai copepodi con 1 sola.

Le specie più importanti sono *Bosmina longirostris* (Müller, 1776), *Thermocyclops dybowskii* (Lande, 1890) (comprese le sue forme larvali e giovanili), *Asplanchna*

*priodonta* Gosse, 1850 e diverse specie appartenenti al genere *Brachionus* (Tab. V).

Valutando i dati medi di abbondanza attraverso la cluster analysis, a partire da una similarità di fondo di quasi 40% è stato possibile evidenziare due distinti gruppi: il primo formato dai biotopi SL, FS, CP e TO e un secondo formato da TU, CA, FN e RO. In particolare, la comunità risulta essere molto simile soprattutto tra TU e CA (80% di similarità) e tra FN e RO (circa il 70%) (Fig. 6).

**Tab. IV.** Parametri chimico-fisici stagionali (e: estate; a: autunno; i: inverno; p: primavera) rilevati nelle aree umide indagate. I valori preceduti dal segno < indicano che il valore rilevato è inferiore al limite di quantificazione del metodo. Per le sigle si veda Tab. I.

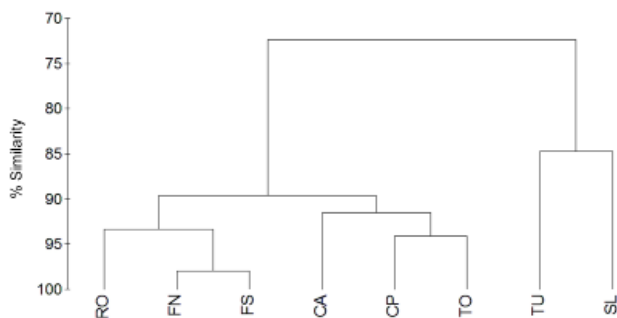
Area umida	t °C	O <sub>2</sub> (mg/L)	sat. O <sub>2</sub> %	pH	trasp. (cm)	Ntot (mg/L)	N-NH <sub>4</sub> (mg/L)	N-NO <sub>3</sub> (mg/L)	N-NO <sub>2</sub> (mg/L)	Ptot (mg/L)	COD (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)
SLe11	21,0	14,0	161	8,1	40	2,90	0,71	< 0,50	< 0,010	0,13	28,0	9,4
SLa11	11,0	6,8	64	7,0	40	0,70	0,02	< 0,50	0,020	0,03	24,3	13,0
SLi11	6,0	-	-	6,9	40	1,50	0,11	< 0,50	0,010	0,07	40,6	2,7
SLp12	17,8	0,8	9	6,7	40	1,90	0,06	< 0,50	0,013	0,12	18,4	7,3
SLe12	21,6	4,2	49	6,8	60	< 0,50	2,00	0,10	0,287	0,43	54,2	1,1
CAe11	23,1	9,7	116	7,4	85	0,50	< 0,01	< 0,50	< 0,010	0,06	10,4	4,4
CAa11	11,4	6,9	65	7,5	50	1,00	0,09	0,60	0,020	0,05	11,8	8,0
CAi11	6,4	24,0	202	9,0	50	3,40	0,04	2,60	0,043	< 0,05	18,9	3,3
CAp12	18,6	8,1	89	7,5	40	11,70	0,21	0,90	0,025	0,15	13,4	4,2
CAe12	24,6	6,3	77	7,6	60	< 0,50	0,06	< 0,50	0,049	0,11	22,8	6,2
FNe11	21,6	18,0	206	7,6	78	3,60	0,03	< 0,50	< 0,010	< 0,05	14,9	11,1
FNa11	12,4	5,6	54	7,1	80	4,20	0,10	3,40	0,050	0,05	7,5	2,2
FNi11	8,3	12,0	102	7,3	60	4,20	< 0,01	2,80	0,030	0,05	7,7	3,9
FNp12	18,3	14,0	158	7,2	60	4,50	0,02	2,00	0,037	0,05	9,5	5,6
FNe12	19,3	14,0	157	7,0	60	< 0,50	0,05	0,60	0,044	0,09	43,1	22,4
FSe11	22,5	19,0	221	7,8	50	1,80	< 0,01	< 0,50	< 0,010	< 0,05	10,0	8,6
FSa11	12,8	10,0	101	7,7	40	2,90	< 0,01	2,10	0,030	< 0,05	10,7	6,1
FSi11	5,5	21,0	172	7,4	60	4,20	0,01	3,10	0,019	< 0,05	7,3	3,2
FSp12	21,5	15,0	172	7,3	40	4,40	< 0,01	0,90	0,039	0,06	18,1	3,2
FSe12	21,2	2,5	29	7,0	40	< 0,50	0,04	< 0,50	0,034	0,16	25,5	24,5
TUe11	22,4	11,0	131	7,2	65	1,80	0,2	< 0,50	< 0,010	0,23	15,3	2,3
TUa11	12,2	6,0	58	7,5	40	4,20	1,2	1,70	0,150	< 0,05	20,1	8,0
TUi11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TUp12	17,0	4,5	48	7,4	-	5,30	0,49	0,70	0,100	0,22	16,1	4,4
TUe12	21,2	3,6	42	7,1	-	< 0,50	0,17	< 0,50	-	0,11	22,6	3,4
CPe11	25,3	9,7	120	7,8	40	1,40	0,00	< 0,50	-	0,06	40,0	8,5
CPa11	11,2	9,3	88	8,3	40	0,70	< 0,01	< 0,50	< 0,010	< 0,05	28,1	10,5
CPi11	6,8	22,0	184	8,3	40	1,10	0,04	< 0,50	0,010	0,05	37,6	4,1
CPp12	19,4	8,9	100	7,6	40	4,60	0,03	0,50	0,012	0,11	31,3	7,6
CPe12	24,5	7,9	97	6,9	40	< 0,50	0,03	< 0,5	0,017	0,13	44,4	9,8
ROe11	27,5	14,0	173	8,1	40	1,20	< 0,01	< 0,50	< 0,010	< 0,05	29,4	3,8
ROa11	9,7	2,9	26	7,3	30	1,30	0,79	< 0,50	0,010	< 0,05	21,5	8,2
ROi11	11,4	18,0	170	6,9	0	2,20	0,06	1,10	0,027	< 0,05	15,0	2,6
ROp12	21,4	9,6	111	7,3	0	11,10	0,64	0,70	0,029	0,12	20,8	5,4
ROe12	27,6	11,0	144	6,8	0	< 0,50	< 0,01	< 0,50	0,013	0,07	19,0	11,2
TOe11	27,0	13,0	165	7,6	140	1,30	< 0,01	< 0,50	< 0,010	< 0,05	28,4	2,0
TOa11	10,9	7,6	71	7,1	140	0,50	< 0,01	< 0,50	< 0,010	-	12,6	2,5
TOi11	4,2	9,2	73	6,7	100	0,60	0,04	< 0,50	< 0,010	< 0,05	14,1	3,5
TOp12	19,5	13,0	150	7,1	150	2,00	< 0,01	< 0,50	< 0,010	< 0,05	14,5	5,5
TOe12	22,0	9,6	113	7,0	150	0,50	0,07	< 0,50	0,080	< 0,05	55,5	10,5

Le uniche differenze sono emerse con l'analisi MDS, che ha evidenziato due gruppi di campioni ben distinti: il primo formato dai campioni invernali ed estivi, il secondo formato dai campioni autunnali e primaverili (Fig. 7).

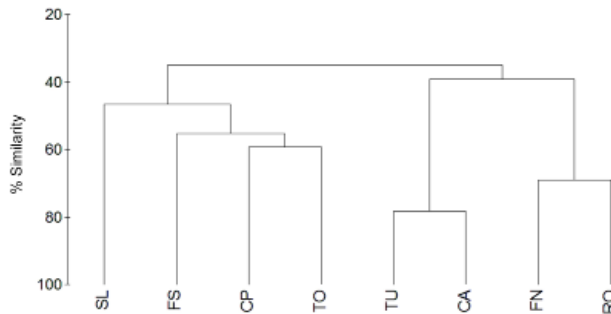
**DISCUSSIONE**

Sulla base dell'IMPAL le aree umide con estensione perimetrale complessiva superiore a 1000 m sono classificate in II (SO) o in III classe (RO e CA); delle rimanenti ben 4 sono in classe III-IV e una in IV.

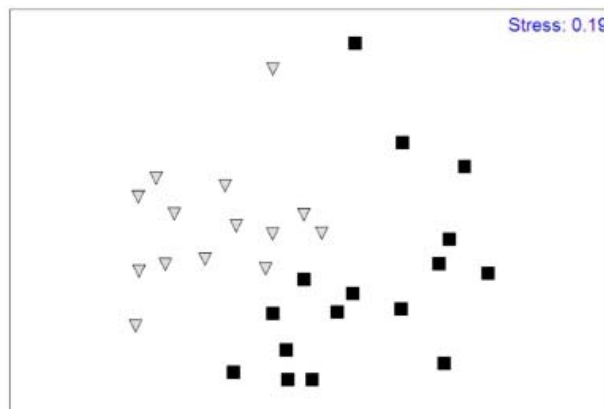
L'aspetto maggiormente penalizzante riguarda la vegetazione spondale, talvolta relegata in una fascia eccessivamente esigua; l'ampiezza più frequente rilevata è compresa tra 2-10 m, che corrisponde al punteggio



**Fig. 5.** Cluster analysis dei dati chimici medi (non trasformati) di ciascuna area umida. In questa analisi non sono stati considerati i seguenti parametri: temperatura dell'acqua, trasparenza e quantità di E. coli. Per le sigle si veda Tab. I.



**Fig. 6.** Cluster analysis dei dati medi di abbondanza (non trasformati) della comunità zooplanctonica. Per le sigle si veda Tab. I.



**Fig. 7.** MDS della comunità zooplanctonica. I triangoli grigi rappresentano i campioni dei mesi invernali ed estivi mentre i quadrati neri rappresentano i campioni dei mesi primaverili ed autunnali.

**Tab. V.** Elenco delle specie zooplanctoniche campionate e indici di abbondanza. Per le sigle si veda Tab. I.

	CP	FN	FS	TU	CA	SL	TO	RO
<b>Rotifera</b>								
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse, 1850	+++	++	+	+		+	+++	++
<i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas	+/-	+	+	+/-	+/-	+		+
<i>B. falcatus</i> Zacharias								+
<i>B. cluniorbicularis</i> (Skorikov)		+						+/-
<i>B. angularis</i> Gosse, 1851	+++		+/-		+	+++	+	
<i>Keratella quadrata</i> (Müller)	+				+	+/-	++	
<i>Platyias quadricornis</i> (Ehrenberg)								+/-
<b>Copepoda</b>								
Copepoditiformi	+++	++	++	++	+++	++	++	++
Naupli	++	+	++	+	+	+++	++	++
<i>Thermocyclops dybowskii</i> (Lande, 1890)	++	+	+	++	++	+		+/-
<b>Cladocera</b>								
<i>Bosmina longirostris</i> (Müller, 1776)	+	+++	++	+	++	+	+++	++
<i>Daphnia longispina</i> (Müller, 1785)	+/-	++	+/-	+	+/-			++
<i>Pleuroxus aduncus</i> Baird, 1843							+/-	+/-
<b>N totale di specie</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>9</b>



centrale della scala di giudizio.

Pur trattandosi di aree umide peri-urbane, l'esiguità della fascia vegetazionale non dipende tanto dal contesto urbano in senso stretto, quanto piuttosto dalle attività connesse con le pratiche agricole, come la costruzione di argini artificiali per proteggere i campi dalle inondazioni e, soprattutto, i coltivi stagionali e pluriannuali, che talvolta arrivano a raggiungere lo specchio d'acqua con pulizia delle sponde, come nel caso della lanca "Canal di Pum" (CP): su una lunghezza perimetrale complessiva di 743 metri ben 217 sono senza fascia vegetata (punteggio 0) e per altri 163 la fascia è comunque minima (punteggio 1,1).

La lanca della Sora (SO) rientra nella II classe di qualità proprio grazie all'estensione della fascia vegetata perisondale: sulla sponda sinistra la presenza del vicino terrazzo, sulla sponda destra il bosco igrofilo. La classe I non viene raggiunta essenzialmente per la quasi assenza di cintura anfibia lungo i margini, dovuta però non a fattori d'impatto antropico, ma alla presenza di limiti strutturali, in particolare, la sponda verticale senza gradiente batimetrico; seppure la presenza di un canneto o di analoghe formazioni in fascia riparia sia auspicabile dal punto di vista paesaggistico e funzionale, comunque questa lanca ha un discreto livello di naturalità.

Naturalmente l'IMPAL esprime una classificazione che è dichiaratamente indipendente dalla qualità del corpo idrico in sé: la lanca del Topo (TO), per esempio, ha un valore di IMPAL di 4,1 che la pone in classe III-IV nonostante le sue acque siano di buona qualità, mentre la lanca di San Lanfranco (SL) arriva a 5,5 (classe III) nonostante riceva le acque di uno scaricatore di piena del collettore fognario, che dovrebbe attivarsi in occasione di eventi piovosi, ma che in realtà spesso sversa reflui fognari diretti anche in periodi asciutti.

Queste due lanche sono accorpate, però, con quasi 90% di affinità nel dendrogramma (Fig. 2), che avvicina biotopi simili non tanto per classe di qualità (che comunque resta una buona discriminante) ma per punteggi complessivi raggiunti assegnando risposte simili agli stessi indicatori. A questo proposito è particolarmente significativo il cluster CP, TU e RO, tre lanche che hanno classi IMPAL tutte diverse ma sono accomunate da una serie di indicatori fortemente influenzati dall'intensa attività agricola circostante.

Anche le lanche FN e FS, seppure con IMPAL differenti, sono solidamente accorpate in quanto, trovandosi affiancate, hanno di fatto una sponda in comune e sono inserite in un contesto ambientale abbastanza omogeneo. È interessante l'inclusione della Baia del Re nello stesso gruppo con FN e FS, nonostante la mancanza di acqua libera superficiale.

L'isolamento della lanca della Sora (SO) è dovuto al fatto che non ci sono altri biotopi con punteggi così elevati per quasi tutti gli indicatori.

Per la lanca di San Lanfranco (SL) gli effetti dello scaricatore sono ben evidenti dai risultati della caratterizzazione chimica e microbiologica delle aree umide indagate: SL ha un elevato carico di colibatteri e di nutrienti, sono alti anche i valori di COD e il tenore di ossigeno è molto basso. L'ambiente riducente spiega in buona parte l'importanza relativa dell'azoto ammoniacale rispetto alle altre forme azotate e la sua persistenza.

Il livello di saturazione dell'ossigeno disciolto è un indicatore sintetico molto efficace per la valutazione del bilancio metabolico complessivo degli ecosistemi acquatici, soprattutto nei piccoli bacini. Le misure stagionali nelle aree umide hanno rilevato per lo stesso biotopo situazioni diverse, sia sopra- che sottosature. In acque planiziali ferme e poco profonde queste oscillazioni rientrano nella logica del bilancio fotosintesi/respirazione, considerando che il fitoplancton risponde rapidamente a fattori ecologici favorevoli con esplosioni demografiche molto intense, che portano l'ambiente a forti soprassaturazioni diurne, accompagnate da altrettanto forti deficit notturni di ossigeno, in presenza di sola respirazione non sufficientemente bilanciata dalla diffusione dall'atmosfera. Le condizioni tendenzialmente eutrofiche possono talvolta portare a crisi distrofiche anche transitorie, come quelle osservate con decise sottosaturazioni diurne in FS (estate 2012) e RO (autunno 2011).

Nel bacino SL si hanno, invece, sottosaturazioni inferiori al 50% in diverse occasioni; tenuto conto che le misure venivano eseguite circa a metà mattina, risulta evidente che in questo biotopo la fotosintesi non è in grado di bilanciare l'intensa respirazione; è da attendersi, quindi, che nel corso della notte il livello di ossigenazione diventi prossimo a zero.

La sottosaturazione accomuna SL con TU e probabilmente, insieme alla quantità di nutrienti, è discriminante nella separazione di questi due bacini dagli altri nel dendrogramma; le cause, però, sono differenti. Nella lanca TU, infatti, in primavera ed in estate si osserva una totale copertura di lenticchia d'acqua (*Lemna* sp.), che inibisce radicalmente la penetrazione della luce e, di conseguenza, la produzione fotosintetica; inoltre l'ossigeno prodotto dalla stessa lenticchia si libera quasi totalmente in atmosfera. Di conseguenza all'interno del bacino idrico prevalgono decisamente fenomeni di respirazione, legati anche all'elevato carico organico dovuto alla vicinanza di suoli agricoli.

Fatta eccezione per questi due bacini, che comunque hanno una similarità di fondo di oltre il 70% con i rimanenti, tutti gli altri hanno una similarità di circa il

90%, che diventa prossima a 100% per le due lanche gemelle di Montebolone, FN e FS, per le quali è evidente l'alimentazione comune dalla falda nonostante la loro separazione fisica.

La frequenza di segnalazione di *E. coli* in quasi tutti i bacini ad eccezione di TO è indubbiamente legata alla presenza di animali a sangue caldo, uccelli e mammiferi, di cui è simbionte intestinale; tuttavia valori elevati sono da imputare ad animali di grande mole, quindi si tratta di reflui fognari, anche di scarsa portata, o di liquami provenienti da allevamenti e pascolo di bovini, come nel caso della lanca TU.

La caratterizzazione ecologica tramite la comunità zooplanctonica è risultata, invece, poco discriminante (Fig. 6). Lo scarno pool di specie è sostanzialmente replicato nelle diverse aree umide, anche se le differenze di abbondanza diversificano bene gli ecosistemi (Tab. V); tuttavia si rilevano analogie fra biotopi difficilmente interpretabili sulla base dei dati a nostra disposizione e presumibilmente dovute a meccanismi stocastici legati alle vicende particolari di ciascun corpo idrico. È come se si trattasse di un unico, grande, ecosistema di acque lentiche con differenze legate più che altro alla specificità dei microhabitat, nel nostro caso costituiti dalle singole lanche.

Le specie identificate sono spesso euriecie e indicatori di acque eutrofe, come il copepode *Thermocyclops dybowskii*, tipico di bacini piccoli con acque calde (Souza *et al.*, 2008), il cladocero *Bosmina longirostris*, tipico anch'esso di acque eutrofe ed i rotiferi *A. priodonta* e *B. angularis*, classificati come specie  $\beta$ -mesosaprobiche (Sládeček, 1983).

È, però, significativa l'abbondanza di copepoditiformi e di nauplii nella lanca SL, ad indicare una comunità zooplanctonica continuamente alla ricerca di stabilità ma, invece, frequentemente disturbata da eventi irregolari e acuti che ne mantengono la fisiologia pioniera.

## CONCLUSIONI

Dal punto di vista ecologico il quadro complessivo è congruente con la storia geomorfologica e antropica di questi biotopi, ormai da tempo separati dal fiume, spesso più volte rimaneggiati dall'intervento dell'uomo, poco profondi, con elevato carico organico accumulato negli anni: sono, infatti, evidenti i segnali di una intensa attività biologica che produce forti scompensi dell'equilibrio dell'ossigeno disciolto, espressione del metabolismo complessivo del sistema.

Si tratta, però, di fenomeni sostanzialmente naturali, legati alla successione ecologica di queste aree laterali fluviali, che progressivamente porta all'impaludamento e, poi, all'interrimento.

In alcuni casi gli impatti antropici diventano evidenti

e producono effetti distrofici: è il caso della lanca di S. Lanfranco (SL), che riceve uno scaricatore di piena ed ha un ricambio molto lento; della lanca "dei Turbin" (TU), probabilmente interessata da liquami bovini; della roggia Canobbio (CA), che riceve reflui da una vicina cascina.

La comunità zooplanctonica è qualitativamente abbastanza omogenea ma risente di dinamiche individuali, specifiche di ciascun biotopo; nel complesso, comunque, si tratta di specie che tollerano bene un elevato carico organico.

L'IMPAL si è rivelato decisamente efficace nel fornire un quadro di sintesi dei diversi biotopi; per le lanche di Montebolone, FN e FS, l'elevata affinità della qualità sia chimico-fisica sia morfo-paesaggistica rilevata dalle analisi autorizza pienamente di considerarle lanche "gemelle", appartenenti ad un'unica realtà ambientale, anche se lo zooplancton ha comunque dinamiche indipendenti.

Nel complesso, la caratterizzazione morfo-paesaggistica fotografa impietosamente una realtà a forte impatto antropico, soprattutto dovuto alle pratiche agricole più che alle aree urbane limitrofe.

Tuttavia le diverse situazioni lasciano un discreto margine per il recupero della funzionalità ecologica, in quanto nelle aree a ridosso dei bacini solo eccezionalmente ci sono manufatti umani stabili; di conseguenza è possibile ricostruire o consolidare la fascia di vegetazione perispondale e la fascia anfibia, laddove la morfologia lo consenta.

L'elemento che in prospettiva sembra essere più preoccupante è, però, l'avanzato stato di maturazione di tutti gli ambienti studiati fra i quali uno, la Baia del Re (RE), è addirittura asciutto di norma da alcuni decenni, seppure ancora parzialmente invaso dal frammiteto; anche per la lanca del Topo, di cui si conosce la batimetria negli anni '80 (Cantonati e Sconfietti, 1996; Paganelli e Sconfietti, 2013), è evidente la tendenza al prosciugamento, anche se rimane un livello idrometrico medio di oltre 1 metro.

Tenuto conto che le dinamiche fluviali che portano lentamente alla formazione di nuove aree umide sono molto alterate dall'azione dell'uomo, che tende a forzare il sistema in un'ottica fessista, la gestione delle aree umide ha due tipi di urgenze: a) il recupero del ruolo funzionale di questi biotopi, molto attivi nell'ambito dei processi autodepurativi; b) il ringiovanimento degli ecosistemi, che ne prolunghi la vita nel tempo.

Il secondo obiettivo prevede per tutte le lanche il rimodellamento delle sponde per creare nuovi habitat ecotonali e l'escavazione del fondale per l'approfondimento. Per il primo obiettivo, invece, sono state individuate alcune priorità sulla base dell'urgenza e della concreta fattibilità degli interventi:

SL - acquisizione dei terreni in sponda destra, fra la lanca e il Ticino (lo specchio d'acqua è demaniale); creazione di una porzione profonda almeno 2 metri per aumentare il volume e la diluizione; impianto di un canneto nel tratto a valle dello scaricatore di piena; potenziamento della vegetazione autoctona acquatica, anfibia e riparia.

CA - acquisizione di una fascia perisondale di 10 metri (lo specchio d'acqua è demaniale); consolidamento del canneto esistente, ora confinato sul perimetro; immissione di parte dei reflui in uscita dal depuratore urbano o, in alternativa, di parte della portata della Vernavola, per garantirne la funzionalità idraulica e favorire i processi autodepurativi;

TO - consolidamento della vegetazione perisondale (specchio d'acqua e terreni limitrofi di proprietà comunale); potenziamento della vegetazione autoctona acquatica, anfibia e riparia.

RE - scotico del canneto esistente; escavazione dell'intero paleoalveo fino a garantire l'emergenza di uno specchio d'acqua stabile; asportazione delle specie arboree alloctone; riposizionamento del canneto in una condizione più favorevole, che ne garantisca la sopravvivenza a lungo termine; impianto ex-novo di vegetazione autoctona acquatica, anfibia e riparia; creazione di isole galleggianti e ripari per pesci.

Il ripristino del collegamento idraulico fra i bacini RE e TO, in gran parte ancora riconoscibile nella morfologia del terreno, andrà a creare un interessante corridoio ecologico, valorizzando anche in termini

fruitivi un'area di facile accesso.

Il fiume Ticino con la sua valle, riconosciuto Patrimonio dell'UNESCO dal 2002, è ricco di aree umide marginali, che svolgono un ruolo prezioso nel mantenimento della funzionalità ecologica e della biodiversità; il ruolo ecologico di queste aree diventa ancora più rilevante in ambito periurbano, dove inevitabilmente l'ecosistema fluviale viene semplificato e banalizzato.

La numerosità delle aree umide in Comune di Pavia, alcune delle quali decisamente urbane, rappresenta un insolito patrimonio naturalistico e paesaggistico che necessita, però, di essere salvaguardato e, in parte, recuperato.

La nostra indagine fornisce, quindi, le basi scientifiche e gli indirizzi gestionali per la progettazione degli interventi migliorativi.

### Ringraziamenti

La ricerca è stata in parte eseguita grazie ai finanziamenti della Fondazione Cariplo, Bando 2010 "Tutelare la qualità delle acque", sul progetto "Riqualificazione idromorfologica ed ecologica del fiume Ticino e delle sue aree umide golenali nel tratto in comune di Pavia", che ha visto la partecipazione del Comune di Pavia (capofila), Università di Pavia (partner), Agenzia Interregionale per il Fiume Po – AIPO- ufficio di Pavia (finanziatore), Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino e Sede Territoriale di Pavia della Regione Lombardia (enti sostenitori). Si ringraziano per il supporto durante le attività di campionamento e analisi dei dati chimico-fisici Marianna Pessina e le dott.sse India Pesci, Marta Saltarelli e Roberta Targa.

### BIBLIOGRAFIA

- Cantonati M., Sconfietti R., 1996. Short term evolution of the zooplankton community in a lateral fluvial ecosystem, In: Cruz-Sanjulián J., Benavente J. (eds.), *Wetlands: a multiapproach perspective*. Water Research Institute, University of Granada: 131-144.
- Chen G., Dalton C., Taylor D., 2010. Cladocera as indicators of trophic state in Irish lakes. *Journal of Paleolimnology*, **44**: 465-481.
- Clarke K.R., Warwick R.M., 1994. *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, 144 pp.
- Geldreich E.E., 1966. *Sanitary significance of fecal coliform in the environment*. Federal Water Pollution Control Administration, Cincinnati, 122 pp.
- Kattel G.R., 2012. Can we improve management practice of floodplain lakes using cladoceran zooplankton? *River Research and Applications*, **28**: 1113-1120.
- Jeppesen E., Nøges P., Davidson T.A., Haberman J., Nøges T., Blank K., Lauridsen T.L., Søndergaard M., Sayer C., Laugaste R., Johansson L.S., Bjerring R., Amsinck S.L., 2011. Zooplankton as indicators in lakes: a scientific-based plea for including zooplankton in the ecological quality assessment of lakes according to the European Water Framework Directive (WFD). *Hydrobiologia*, **676**: 279-297.
- Paganelli D., Sconfietti R., 2013. Biodiversity loss in a small riverine wetland of the Ticino river (Lombardia, Northern Italy). *Journal of Limnology*, **72** (3): 573-581.
- Ramsar, 1971. *Convention on Wetlands of international importance especially as Waterfowl Habitat*. Ramsar (Iran).
- Ramsar Convention Secretariat, 2013. *The Ramsar Convention Manual: a guide to the Convention on Wetlands* (Ramsar, Iran, 1971), 6th ed. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland.
- Ren Z., Zeng Y., Fu X., Zhanga G., Chena L., Chena J., Chonb T.S., Wangc Y., Weic Y., 2013. Modeling macro-

- zooplankton and water quality relationships after wetland construction in the Wenyuhe River Basin, China. *Ecological Modelling*, **252**: 97-105.
- Sacchi C.F., Sconfiatti R., Occhipinti A., 1993. Ambienti fluviali marginali: lanche del pavese. *Acqua aria*, **7**: 738-741.
- Sconfiatti R., Cantonati M., 1990. A zooplankton net for very shallow waters. *Rivista di Idrobiologia*, **29**: 669-674.
- Sconfiatti R., Paganelli D., 2012. IMPaL: proposta di un metodo di rapid assessment per la definizione della qualità paesaggistica delle lanche fluviali. *Biologia Ambientale*, **26** (2): 23-31.
- Siligardi M., Avolio F., Baldaccini G., Bernabei S., Bucci M.S., Cappelletti C., Chierici E., Ciutti F., Floris B., Franceschini A., Mancini L., Minciardi M.R., Monauni C., Negri P., Pineschi G., Pozzi S., Rossi G.L., Sansoni G., Spaggiari R., Tamburro C., Zanetti M., 2007. *IFF 2007, Indice di Funzionalità Fluviale. Nuova versione del metodo revisionata e aggiornata*. Lineagrafica Bertelli Editori snc, Trento, 366 pp.
- Sládeček V., 1983. Rotifers as indicators of water quality. *Hydrobiologia*, **100**: 169-201.
- Sousa W., Attayde J., Rocha E., Eskwazi- Santanna E., 2008. The response of zooplankton assemblages to variations in the water quality of four man-made lakes in semi-arid northeastern Brazil. *Journal of Plankton Research*, **30**: 699-708.