

Vulnerabilità di un ecosistema umido relitto rispetto a carichi inquinanti: evidenze da un'indagine pluriennale

Daniele LONGHI*, Rossano BOLPAGNI & Marco BARTOLI

Dipartimento di Scienze Ambientali, Università di Parma, Via G.P. Usberti 33/A, 43100 Parma, Italia

*E-mail dell'Autore per la corrispondenza: daniele.longhi@nemo.unipr.it

RIASSUNTO - *Vulnerabilità di un ecosistema umido relitto rispetto a carichi inquinanti: evidenze da un'indagine pluriennale* - La Riserva Naturale "Paludi del Busatello" (Mantova-Verona) è una torbiera pensile alimentata da due idrovore che attingono acqua da canali con elevati carichi di nutrienti. Da febbraio 2002 a dicembre 2005 sono stati monitorati, con frequenza stagionale, i parametri idrochimici, le caratteristiche dei sedimenti e le comunità a macrofite su di un'estesa griglia di stazioni, allo scopo di valutare lo stato trofico dell'ambiente acquatico e le relazioni tra la qualità dell'acqua e dei sedimenti e le comunità vegetali dominanti. Le analisi rivelano un gradiente marcato nelle concentrazioni dei nutrienti e del fitoplancton dalle stazioni perimetrali verso quelle più interne. Le prime sono caratterizzate da acque poco trasparenti, scarsamente colonizzate da macrofite e da alte concentrazioni di nutrienti; le seconde presentano bassi valori di clorofilla fitoplanctonica, elevata trasparenza e comunità diversificate di rizofite. I sedimenti superficiali sono soffici e ricchi di sostanza organica (>30%) e gli elevati tassi di respirazione microbica determinano frequentemente condizioni di ipossia nelle stazioni perimetrali. Lo scavo dei canali interni e la gestione della vegetazione palustre sono interventi prioritari per la salvaguardia della riserva.

SUMMARY - *Vulnerability to external loads of a wetland ecosystem: results of a multi-year research* - The Natural Reserve "Paludi del Busatello" is a hanging wetland located between the provinces of Mantua and Verona (northern Italy). Water level is man regulated by two pumping stations situated at two opposite sites of the protected area and representing point sources of inorganic nutrients. In fact water is collected from irrigation channels subject to runoff and particularly rich in nitrate (up to 600 μM) and soluble reactive phosphorous (up to 14 μM). From February 2002 to December 2005 hydrochemical parameters, sediment features and macrophytes communities were monitored seasonally in a grid of sites within the reserve including areas bordering the pumping stations and areas far from these sources of pollution. Results indicate a prompt response of macrophytic vegetation to nutrient availability with submersed vegetation scarcely represented in more eutrophic areas, where chlorophyll *a* attains maximum values (30 $\mu\text{g l}^{-1}$). Limited nutrient availability depresses phytoplankton blooms and increases water transparency at the inner sites, where plant communities includes both emergent and submersed species. Sediments were generally fluffy and organic matter rich (>30% as LOI), indicating fast sedimentation rates. Major management efforts in order to protect more preserved areas within the reserve and meliorate perimeteral areas include control of point sources, management of excess vegetation biomass and removal of organic loaded sediments.

Parole chiave: zone umide, palude pensile, qualità dell'acqua, sedimento, macrofite, Paludi del Busatello
Key words: wetlands, hanging wetland, water quality, sediment, macrophytes, Paludi del Busatello (Italy)

1. INTRODUZIONE

In Pianura Padana, nel corso degli ultimi due secoli, si è assistito alla progressiva diminuzione del numero e dell'estensione delle aree naturali (Ingegnoli 1991; Casale 2000). Attualmente la maggior parte della biodiversità è concentrata nelle zone umide relitte. Questi ambienti sono contraddistinti da dinamiche molto rapide che ne alterano forma, profondità ed estensione, e con esse le caratteristiche delle comunità animali e vegetali. In passato la trasformazione di un'area umi-

da in un ambiente terrestre, determinata dal processo di successione primaria, avveniva parallelamente alla formazione di un nuovo habitat, a causa ad esempio di esondazioni o di un salto di meandro. Attualmente, invece, le opere di regimazione dei corsi d'acqua impediscono la neoformazione di aree umide marginali, imponendo di conseguenza la salvaguardia degli ambienti umidi relitti.

I primi studi riguardanti la Riserva Naturale "Paludi del Busatello" hanno messo in evidenza come la specifica condizione di pensilità che la caratterizza accresca

il rischio di compromissione. La necessità, infatti, di immettere acqua dall'esterno al fine di garantire adeguati livelli idrici risulta in contrasto con l'esigenza di limitare l'apporto di nutrienti dal sistema agricolo circostante (Bolpagni *et al.* 2003). Lo scopo del presente lavoro è quindi quello di approfondire le conoscenze sull'attuale stato trofico, sul grado di interrimento e sulle dinamiche evolutive delle Paludi, al fine di valutare strategie di intervento per migliorarne lo stato di conservazione e salvaguardarne la biodiversità.

2. AREA DI STUDIO

Le "Paludi del Busatello" costituiscono un'area umida relitta, originata dal Canale Busatello, che identifica il confine regionale fra Lombardia e Veneto (Fig. 1). In Lombardia si trova la Riserva Naturale Paludi di Ostiglia (35 ha), nel Comune di Ostiglia (Mantova);

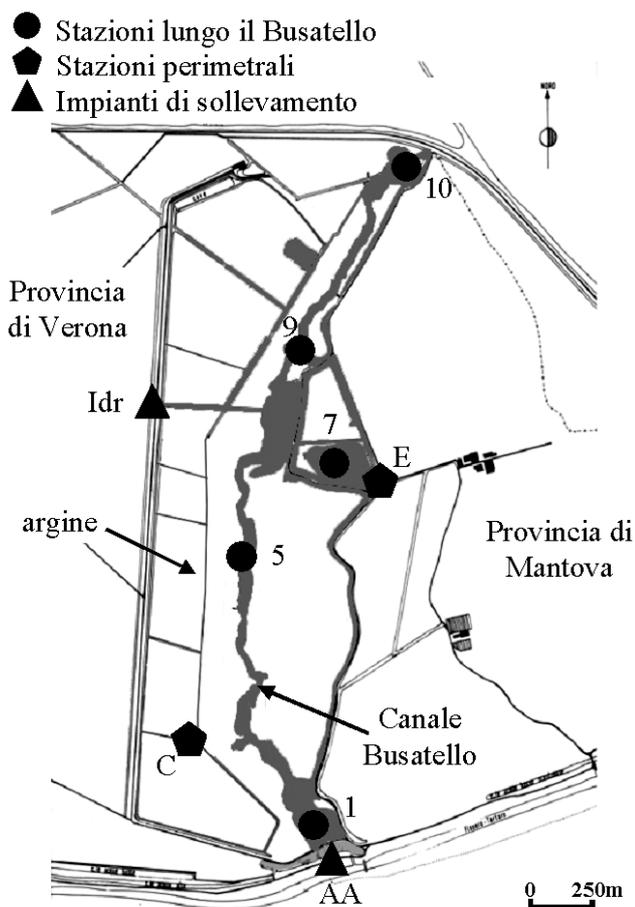


Fig. 1 - Mappa dell'area di studio che mostra la posizione delle stazioni di campionamento.

Fig. 1 - Map of the study area showing the position of sampling stations.

in Veneto l'Oasi del Busatello (46 ha), nel Comune di Gazzo Veronese (Verona).

Le "Paludi del Busatello" rappresentano l'ultimo lembo delle "Valli Grandi Veronesi", un sistema di aree umide che sono state bonificate a partire dalla seconda metà dell'Ottocento. La caratteristica principale del sistema è una peculiare condizione di pensilità; le Paludi si trovano, infatti, rialzate di circa due metri rispetto al piano dei campi circostanti per effetto del compattamento subito dai suoli adiacenti dovuto a interventi di bonifica. Di conseguenza le Paludi necessitano di un continuo apporto di acqua dall'esterno, che avviene mediante un sistema di idrovore che prelevano acqua da canali di scolo del sistema agricolo adiacente (Fig. 1).

Dal punto di vista vegetazionale le Paludi appaiono come un esteso canneto a cui si associano popolamenti a *Carex elata* All., presenti prevalentemente nella porzione veneta. Tale situazione rispecchia le diverse strategie gestionali attuate nelle due porzioni: nella metà lombarda vengono infatti privilegiate attività di tipo protezionistico, indirizzate alla salvaguardia di alcune specie di interesse; nella porzione veneta l'attenzione è, invece, rivolta al mantenimento delle pratiche tradizionali di coltivazione e di raccolta della carica. Tali attività prevedono l'utilizzo del debbio primaverile, seguito dalla sommersione dei terreni bruciati, allo scopo di eliminare il canneto e di ottenere cariceti puri; la gestione separata dei livelli idrici da parte della porzione veneta è resa possibile da un piccolo argine artificiale, costruito a ovest del corso del Canale Busatello (Fig. 1).

3. METODI

Il monitoraggio della riserva, tuttora in corso, è iniziato nel mese di febbraio 2002; i dati presentati sono relativi al periodo compreso fino al mese di dicembre 2005 e riguardano l'analisi di tre comparti: acqua, sedimenti e vegetazione acquatica.

3.1. Acqua

I campioni di acqua sono stati prelevati con frequenza circa mensile da 9 stazioni (Fig. 1), di cui cinque poste lungo il corso del Canale Busatello (1, 5, 7, 9 e 10), due lungo canali perimetrali (C ed E) e due a livello degli impianti di sollevamento (AA e Idr). *In situ*, mediante una sonda multiparametrica (YSI instruments, modello 556 MPS), sono stati misurati i valori di temperatura, conducibilità, pH e concentrazione dell'ossigeno disciolto; un'aliquota compresa tra 200

e 300 ml è stata filtrata con filtri in fibra di vetro (GF/C Whatman) per la determinazione dei nutrienti inorganici disciolti (NH_4^+ , Koroleff 1970; NO_2^- e NO_3^- , APHA 1981; SRP, Valderrama 1981); sui filtri è stata determinata la concentrazione della clorofilla *a* fitoplanctonica (APHA 1981).

3.2. Sedimenti

I sedimenti sono stati prelevati il 20 novembre 2002 in tutte le stazioni poste lungo il corso del Canale Busatello e, per la sola stazione 10, con frequenza stagionale da settembre 2003 a febbraio 2005. I campioni (tre repliche per ogni data di campionamento) sono stati prelevati mediante *liner* in plexiglas trasparente ($h=40$ cm; $\varnothing=8$ cm). In laboratorio il sedimento è stato estruso da ogni carota e i primi 10 cm sono stati rapidamente omogeneizzati. La densità è stata determinata pesando un volume noto di sedimento fresco; i campioni sono stati quindi seccati in stufa (60°C) e ripesati per la determinazione della porosità e del contenuto di acqua. Il sedimento secco è stato successivamente polverizzato in mortaio e dei sottocampioni (0,1 g) sono stati inceneriti in muffola (400°C) per la determinazione della sostanza organica (LOI). Sulle ceneri è stata determinata la concentrazione di fosforo totale dopo estrazione acida con HCl concentrato (Aspila *et al.* 1976).

3.3. Vegetazione acquatica

Lo studio della vegetazione è stato svolto secondo il metodo fitosociologico proposto da Braun-Blanquet (1964); per la nomenclatura delle specie si è fatto riferimento a Pignatti (1982). L'analisi delle formazioni vegetali è stata effettuata per ciascuno dei quattro anni di indagine su tutte le stazioni poste lungo il corso del Canale Busatello.

4. RISULTATI E DISCUSSIONE

4.1. Caratterizzazione della colonna d'acqua

Le stazioni monitorate presentano una profondità ridotta, compresa tra 50 e 200 cm; in tali condizioni la temperatura dell'acqua mostra ampie fluttuazioni stagionali, con minimi invernali inferiori ai 4°C e copertura ghiacciata nelle zone più marginali, e massimi estivi che possono superare i 30°C . Il pH è risultato alcalino e compreso tra 7,1 e 8,4 unità: i valori più alti sono stati determinati in periodo primaverile, in concomitanza di fioriture algali, mentre quelli più bassi al

termine della stagione estiva. La conducibilità è risultata compresa tra 270 e $680\ \mu\text{S cm}^{-1}$, con massimi misurati in prossimità delle stazioni di sollevamento e di quelle in contatto con esse. I valori più alti sono stati determinati durante i mesi primaverili e autunnali, probabilmente a causa del dilavamento delle piogge e dell'azionamento degli impianti di sollevamento, mentre i valori minimi verso la fine di agosto, in coincidenza con il massimo sviluppo delle macrofite.

Le concentrazioni dell'ossigeno disciolto sono risultate molto variabili, sia tra stazioni che su scala stagionale, con valori compresi tra 1,5 e $17\ \text{mg l}^{-1}$. Le ampie fluttuazioni nei valori di questo parametro dipendono probabilmente dallo scarso idrodinamismo che caratterizza la riserva; le stazioni indagate risultano infatti relativamente isolate in senso idrologico e di conseguenza il chimismo dell'acqua è fortemente influenzato dall'alternanza dei processi metabolici che si verificano al loro interno. L'analisi delle concentrazioni medie annue dell'ossigeno disciolto mette tuttavia in evidenza come la riserva si trovi generalmente in condizioni di sottosaturazione (Fig. 2), ad indicare la prevalenza dei processi che consumano ossigeno (respirazione e ossidazioni chimiche) rispetto a quelli fotosintetici. In particolare, durante i mesi estivi, a causa dell'alta temperatura e dell'intensità dei processi batterici, in alcune stazioni vengono raggiunte condizioni di ipossia o anossia, che favoriscono processi respiratori di tipo anaerobico, come la metanogenesi.

La concentrazione della clorofilla fitoplanctonica è risultata compresa tra 1 e $65\ \mu\text{g l}^{-1}$, con valori più alti nella stazione 1. Valori più bassi caratterizzano invece le stazioni interne, in particolare la 5, la 9 e la 10. Su scala stagionale le concentrazioni massime vengono raggiunte tra marzo e maggio, in corrispondenza dell'aumento della temperatura dell'acqua e delle prime fioriture algali. Durante la stagione estiva, al contrario, lo sviluppo delle macrofite appare in grado di controllare efficacemente la crescita del fitoplancton, determinando ridotti valori di clorofilla e una maggiore trasparenza dell'acqua. In alcuni casi, concentrazioni di clorofilla relativamente alte sono state riscontrate anche in settembre e ottobre, probabilmente in seguito alla rigenerazione dei nutrienti successiva alla senescenza delle comunità idrofite.

L'azoto nitrico è risultato la forma prevalente dell'azoto inorganico disciolto, con valori medi che nelle stazioni 5, 7, 9 e 10 sono compresi tra circa 18 e $51\ \mu\text{M}$. Valori marcatamente più alti sono stati determinati a livello degli impianti di sollevamento (AA e Idr) e della stazione 1, con concentrazioni medie pari a 97, 162 e $194\ \mu\text{M}$ rispettivamente (Fig. 2). Su scala stagionale i valori più alti sono stati riscontrati nel perio-

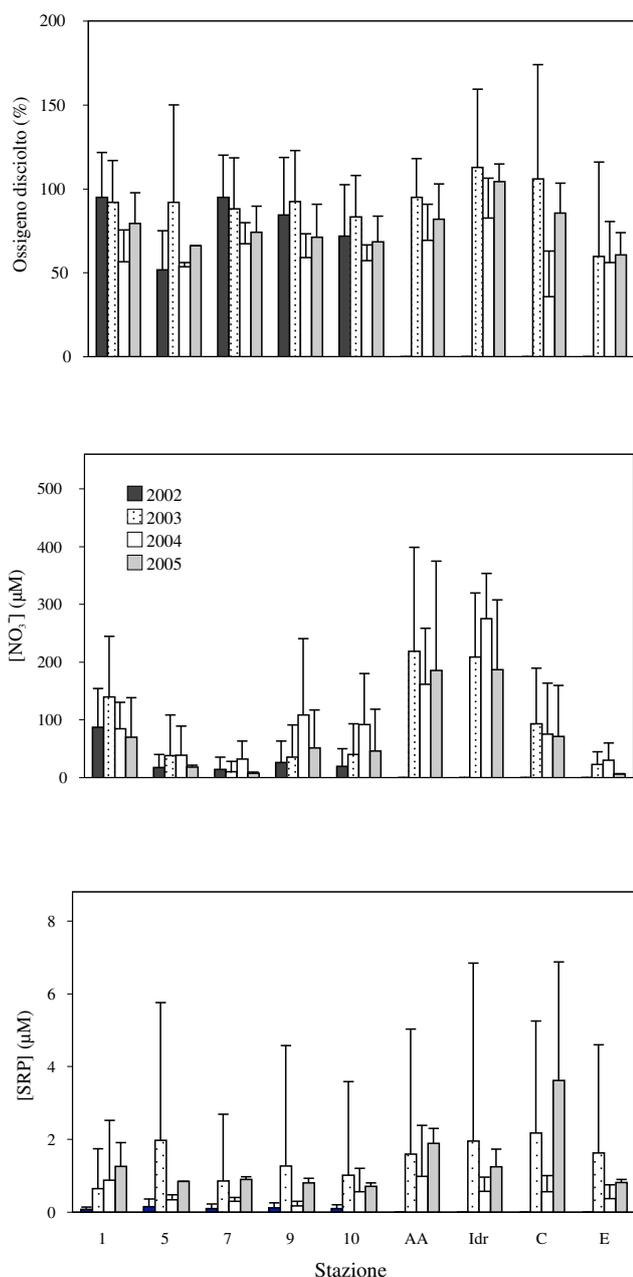


Fig. 2 - Valori medi annuali \pm deviazione standard della saturazione dell'ossigeno disciolto, della concentrazione dell'azoto nitrico e del fosforo reattivo solubile (SRP).

Fig. 2 - Annual mean values \pm standard deviation of dissolved oxygen saturation, nitrate and soluble reactive phosphorus (SRP) concentrations.

do invernale; nei mesi estivi, invece, i nitrati diminuiscono notevolmente a causa dell'assimilazione da parte dei produttori primari.

Nei quattro anni di indagine la concentrazione media dello ione ammonio è risultata inferiore a circa 6 μM nelle stazioni poste lungo il corso del Busatello, e pari a circa 12,5 μM nelle stazioni AA (3,7-71,8 μM)

e Idr (4,2-48,7 μM); su scala stagionale massimi relativi sono stati determinati frequentemente nei mesi più caldi, probabilmente in seguito ai processi di rigenerazione da parte dei sedimenti e ai ridotti tenori di ossigeno disciolto nella colonna d'acqua.

Le concentrazioni del fosforo reattivo solubile (SRP) sono risultate generalmente contenute, con valori massimi che, ad esclusione di una data di campionamento (8 ottobre 2003), erano sempre inferiori a 2 μM per le stazioni lungo il corso del Busatello e a 4 μM per gli impianti di sollevamento. In data 8 ottobre 2003 sono state invece determinate concentrazioni di SRP sensibilmente più alte, con valori pari a 10,1 e 14,0 μM per le stazioni AA e Idr rispettivamente, e compresi tra 3,0 e 9,4 μM per le stazioni lungo il Canale Busatello. Tali dati indicano come questo ione derivi in prevalenza dall'immissione di carichi esterni piuttosto che da processi di mobilitazione interni alla palude. Questa ipotesi sembra essere confermata dall'analisi delle concentrazioni medie annue del SRP (Fig. 2), per le quali l'andamento determinato a livello degli impianti idrovori è sovrapponibile a quello delle altre stazioni monitorate.

4.2. Caratterizzazione dei sedimenti superficiali

I sedimenti superficiali della riserva sono generalmente soffici e inconsistenti, indice di elevati tassi di sedimentazione. La densità è risultata infatti molto bassa, la porosità sempre superiore a 0,9 e il contenuto di acqua sempre superiore all'80%. Il contenuto di sostanza organica è risultato relativamente alto, con valori compresi tra circa 16 e oltre 34%; i valori più elevati sono stati determinati verso la fine dell'estate, in coincidenza col crollo della produzione delle comunità di macrofite. La concentrazione del fosforo totale è risultata compresa tra 0,5 e 1,7 mg g^{-1} , con i valori più alti in corrispondenza della stazione 10, i più bassi della stazione 7 (Tabb. 1, 2).

4.3. Caratterizzazione delle comunità a macrofite

L'analisi delle formazioni vegetali effettuata nel corso dei quattro anni di monitoraggio conferma l'elevata ricchezza floristica e vegetazionale della riserva, come riportato da Tomaselli *et al.* (2006). In generale, le caratteristiche delle comunità macrofite delle stazioni indagate appaiono correlate con il gradiente evidenziato dall'analisi della qualità delle acque: procedendo dalle stazioni più esterne, in collegamento con gli impianti di sollevamento, verso quelle più interne della palude, si assiste infatti al passaggio da cenosi dominate da pleustofite (*Salvinio-Spirodeletum polyrhizae*)

Tab. 1 - Caratteristiche dei sedimenti superficiali delle stazioni poste lungo il Canale Busatello.

Tab. 1 - Sediment features of the sampling stations located along the Busatello channel.

Stazione	Densità (g cm ⁻³)	Porosità	Contenuto di acqua (%)	Sostanza organica (%)	P totale (mg g ⁻¹)
1	1,09	0,91	82,9	23,5	0,59
5	1,06	0,94	88,4	17,4	1,00
7	1,07	0,93	86,9	26,8	0,50
9	1,10	0,89	80,9	16,4	0,58
10	1,07	0,99	92,0	31,8	1,43

Tab. 2 - Caratteristiche dei sedimenti superficiali della stazione 10. Vengono riportati i valori medi ± deviazione standard di tre repliche.

Tab. 2 - Sediment features of the sampling station 10. Mean values ± standard deviations were reported.

Stazione	Densità (g cm ⁻³)	Porosità	Contenuto di acqua (%)	Sostanza organica (%)	P totale (mg g ⁻¹)
Settembre 03	1,03 ±0,02	0,94 ±0,01	91,6 ±1,0	32,96 ±0,69	1,26 ±0,08
Dicembre 03	1,02 ±0,02	0,95 ±0,01	93,2 ±1,0	30,95 ±1,39	1,35 ±0,08
Marzo 04	1,01 ±0,04	0,95 ±0,03	93,7 ±1,2	31,77 ±1,16	1,67 ±0,07
Luglio 04	1,01 ±0,02	0,93 ±0,02	92,7 ±1,3	33,60 ±1,49	1,41 ±0,10
Settembre 04	1,02 ±0,02	0,95 ±0,02	93,3 ±1,0	34,41 ±1,60	1,40 ±0,10
Febbraio 05	1,01 ±0,02	0,91 ±0,02	92,4 ±1,0	32,12 ±0,99	1,59 ±0,09

e macrofite emergenti (*Nymphaeetum albo-luteae*), a formazioni infracquatiche (fitocenon a *Ceratophyllum demersum*, fitocenon a *Myriophyllum spicatum*, *Potamogetum lucentis* e *Utricularietum neglectae*). Le stazioni meridionali, contraddistinte da un maggior carico trofico (in particolare la 1 e la 5), sono quindi caratterizzate da vasti tappeti galleggianti di *Salvinia natans* (L.) All. ed estesi nuclei di *Nuphar luteum* (L.) S. et S., a cui si associano sporadicamente altre idrofite. Nelle porzioni più interne della riserva, dove il carico di nutrienti è inferiore, spiccano invece comunità dominate da *Utricularia australis* R. Br, *Ranunculus trichophyllus* Chaix, *Najas marina* L., *Myriophyllum spicatum* L., *M. verticillatum* L. e *Potamogeton lucens* L.

5. CONCLUSIONI

I risultati di questo studio rivelano la presenza di un gradiente netto tra le stazioni perimetrali in contatto con gli impianti di sollevamento e le stazioni interne alla riserva, confermando i risultati di Bolpagni *et al.* (2003). L'immissione di elevati carichi di nutrienti determina infatti l'insorgenza di frequenti fioriture algali che riducono la trasparenza dell'acqua e limitano la crescita di macrofite sommerse. Le stazioni interne alla riserva sono caratterizzate al contrario da elevata trasparenza, ridotti carichi di nutrienti e comunità di-

versificate di idrofite. L'azione filtro della vegetazione elofitica sembra quindi in grado di controllare efficacemente gli effetti negativi derivanti dall'immissione di acqua dall'esterno. La capacità del sistema di tamponare gli apporti di nutrienti appare tuttavia legata alla frequenza e all'intensità con cui vengono azionate le idrovore. In presenza di carichi di piccola entità la palude è in grado di abbattere efficacemente i nutrienti in ingresso; quando invece la frequenza di azionamento degli impianti di sollevamento e/o la quantità di acqua immessa aumentano, anche nelle stazioni interne alla riserva si verificano fioriture fitoplanctoniche e la comparsa di comunità di epifiti che crescono adese alla superficie delle macrofite presenti. L'azionamento degli impianti idrovori andrebbe quindi regolato non solo per ridurre la quantità di acqua immessa, ma anche per evitarne l'immissione troppo frequente, specialmente in coincidenza di eventi piovosi che veicolano grandi quantità di nutrienti all'interno dei canali da cui viene prelevata l'acqua. Ulteriori interventi, in particolare per le stazioni in cui la profondità dell'acqua è inferiore ai 50 cm, dovrebbero riguardare la rimozione dei sedimenti soffici e di parte delle vegetazione acquatica allo scopo di migliorare la circolazione dell'acqua, attualmente troppo limitata. La rimozione attiva di *Salvinia natans*, ad esempio, avrebbe il duplice vantaggio di esportare ingenti quantitativi di biomassa, riducendo così la velocità del processo di interra-

mento, e di eliminare dal sistema i nutrienti organici dalla pianta nel corso della stagione di crescita. Tutti gli interventi andrebbero ovviamente programmati nel rispetto dei cicli riproduttivi delle specie animali e vegetali di interesse conservazionistico presenti all'interno della riserva.

BIBLIOGRAFIA

- APHA, AWWA & WPCF, 1981 - *Standard methods for the examination of water and wastewater, 15th edition*. American Public Health Association, Washington: 1134 pp.
- Aspila K.I., Agemian H. & Chau A.S.Y., 1976 - A semi-automated method for the determination of inorganic, organic and total phosphate in sediments. *Analyst*, 101: 187-197.
- Bolpagni R., Bartoli M. & Viaroli P., 2003 - Caratterizzazione di acque, sedimenti e vegetazione nella Riserva Naturale Paludi di Ostiglia. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 80 (2003): 169-174.
- Braun-Blanquet J., 1964 - *Pflanzensoziologie. 3. Auflage*. Springer, Wien-New York: 865.
- Casale F., 2000 - Cause di perdita e di degrado delle zone umide in Europa. In: Bernardoni A. & Casale F. (a cura di), Atti Convegno "Zone umide d'acqua dolce - Tecniche e strategie di gestione della vegetazione palustre". Regione Lombardia e Comune di Ostiglia. *Quad. Ris. Nat. Paludi di Ostiglia*, 1: 21-28.
- Ingegnoli V., 1991 - Human Influences in Landscape Change: Thresholds of Metastability. In: Ravera O. (a cura di), *Terrestrial and Aquatic Ecosystems: Perturbation and Recovery*. Ellis Horwood Ltd., Chichester: 303-309.
- Koroleff F., 1970 - Direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue. Information on techniques and methods for seawater analysis. *I.C.E.S, Interlab. Rep.*, 3: 19-22.
- Pignatti S., 1982 - *Flora d'Italia*. 3 voll., Edagricole, Bologna: 2402 pp.
- Tomaselli M., Bolpagni R., Gualmini M., Petraglia A. & Longhi D., 2006 - Studio fitosociologico, cartografia della vegetazione ed analisi dello stato trofico delle acque delle "Paludi del Busatello" (Italia settentrionale). *Boll. Mus. civ. St. Nat. Verona*, 30: 3-37.
- Valderrama J.C., 1981 - Methods used by the Hydrographical Department of the National Board of Fisheries. In: Grasshof K. (ed.), *Report of the Baltic Intercalibration Workshop*. Annex, Interim Commission for the Protection of the Environment of Baltic Sea. Goteborg, Sweden: 13-40.

Accettato per la stampa: 29 maggio 2007