

Relazioni tra macrofite e stato trofico in ambienti umidi perifluviali della Pianura Padana centrale

Rossano BOLPAGNI*, Daniele LONGHI & Marco BARTOLI

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

*E-mail dell'Autore per la corrispondenza: rossano@dsa.unipr.it

RIASSUNTO - *Relazioni tra macrofite e stato trofico in ambienti umidi perifluviali della Pianura Padana centrale* - L'agroecosistema padano nel corso del secolo scorso ha visto ridursi notevolmente i propri ambiti di naturalità a seguito della profonda manomissione del reticolo idrografico, che impedisce, di fatto, la genesi di nuovi habitat. Nel corso del quadriennio 2002-2005 un gruppo di biotopi perifluviali umidi relitti posti nella porzione centrale della Pianura Padana è stato sottoposto ad analisi fitosociologica, in relazione alle caratteristiche chimiche dell'acqua e dei sedimenti superficiali. I dati raccolti, limitatamente al primo anno di studio, confermano la predominanza di comunità pleustofitiche ascritte alla classe *Lemnetea*. La proliferazione di dense formazioni galleggianti induce il prolungato ombreggiamento e il completo isolamento della colonna d'acqua, favorendo l'insorgenza e il perdurare di fenomeni di ipossia capaci di stimolare la rigenerazione di nutrienti a livello dei sedimenti e di deprimere lo sviluppo di comunità maggiormente strutturate. I processi di eutrofizzazione favoriscono, infatti, la sostituzione delle rizofite con formazioni pleustofitiche, che tendono a mantenersi in forme di equilibrio stabile grazie a meccanismi di *feedback* positivi (ombreggiamento, ipossia e intensa rigenerazione bentonica).

SUMMARY - *Macrophytes and trophic status in wetlands of the central Po Plain* - In the last century the intensive exploitation of the Po Plain has led to the loss of large portion of natural habitats. Perifluvial wetlands have been severely damaged by river regulation, in consequence of strong alterations of frequency, timing and duration of hydrologic connection between river channels and surrounding environments. During a periannual research (2002-2005) hydrochemical parameters, sediment features and floristic and phytosociological data of aquatic plant stands have been analysed in 29 wetlands located in the central portion of Po Plain. On the base of data collected during the first year of investigation, the aquatic vegetation communities result strictly affected by nutrients availability and surficial sediment typologies. The most widespread are pleustophytic communities of the *lemnetea* class. The dense carpets of floating macrophytes limit the light penetration, sustain intense regeneration of nutrients from sediments and promote extended hypoxia events. Eutrophication processes favour the shift from submerged rooted vegetation to floating stands and such transition seems to be stable and selfmaintaining.

Parole chiave: vegetazione acquatica, stato trofico, zone umide perifluviali, parametri idrochimici, sedimenti superficiali, Pianura Padana

Key words: aquatic vegetation, trophic status, perifluvial wetlands, hydrochemical parameters, surficial sediments, Po Plain (Italy)

1. INTRODUZIONE

In Italia, e in particolare nella Pianura Padana, la regimazione del reticolo idrografico ha contribuito alla compromissione di importanti tipologie ambientali: le risorgive, le lanche, i boschi igrofilici ecc. Tutto ciò impedisce di fatto, negli episodi di piena, la regolazione naturale dei livelli fluviali, la genesi di nuovi biotopi umidi e la vivificazione degli ambienti esistenti (Casale 2000). Nelle aree irrigue gli ambienti relittuali sono quasi esclusivamente rappresentati da sistemi umi-

di perifluviali (Mitsch & Gosselink 2000), considerati veri e propri hot spot di biodiversità in contesti territoriali estremamente impoveriti. Nel corso del quadriennio 2002-2005 è stata condotta una caratterizzazione sistematica di una serie di zone umide perifluviali presenti nel tratto centrale della Pianura Padana, finalizzata all'elaborazione di programmi di gestione integrati. Il presente lavoro mostra i dati preliminari, raccolti nel primo anno di studio (2002), relativamente all'analisi delle comunità idrofite, parametri idrochimici e sedimentari.

2. AREA DI STUDIO

Gli ambienti umidi studiati si collocano nella porzione centrale della Pianura Padana, all'interno delle province di Cremona e Mantova (Fig. 1). In questo ambito territoriale il sistema idrografico principale (fiumi Po, Oglio e Mincio) presenta caratteri comuni: un andamento sinuoso a canale unico, con le sponde laterali trasformate in argini artificiali, e un contesto golenale con numerose zone umide relitte (morte, lanche, botri, stagni, ecc.). Complessivamente nel 2002 sono stati indagati 19 ecosistemi, per un totale di 28 differenti siti, le cui caratteristiche principali sono riassunte in tabella 1. La vegetazione dominante è rappresentata da formazioni riparie arboree, costituite prevalentemente da boschi a *Salix alba* L., e da formazioni elofitiche eterogenee, dominate da *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. e da specie del genere *Carex* (Tomaselli *et al.* 2003).

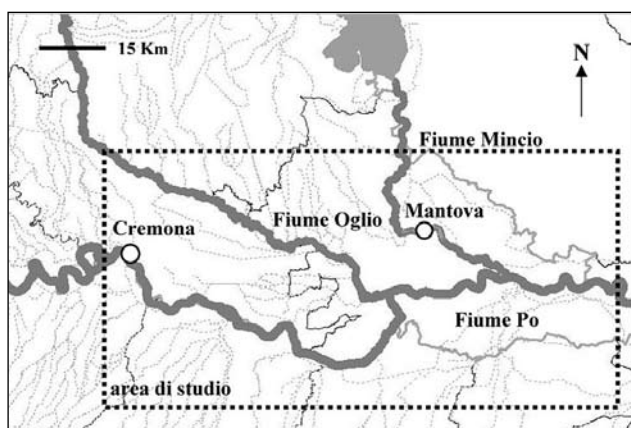


Fig. 1 - Area di studio.
Fig. 1 - Study area.

3. METODI

Le fitocenosi acquatiche sono state caratterizzate *in situ* da maggio a ottobre 2002 a frequenza bisettimanale, secondo il metodo fitosociologico (Braun-Blanquet 1964); il valore di copertura-abbondanza di ogni specie è stato stimato usando la scala di Braun-Blanquet, modificata da Pignatti & Mengarda (1962). I rilievi sono stati poi sottoposti a *cluster analysis* mediante l'utilizzo del programma Syn-Tax 2000. La classificazione dei tipi è stata condotta in accordo con Müller (1992), Müller & Görs (1992), Schrott (1993a, 1993b) e Pott (1995).

Data la relativa bassa profondità media dei corpi idrici indagati (<1 m) i campioni di acqua, prelevati a intervalli prevalentemente bimensili, sono stati raccolti immergendo una bottiglia da 1 l appena al di sotto della superficie. Dopo aver misurato la conducibilità, il pH e l'O₂ disciolto mediante una sonda multiparametrica

(YSI Instruments, mod. 560), un'aliquota è stata filtrata per le analisi dei nutrienti disciolti [NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ e fosforo reattivo solubile (SRP)]. I campioni sono stati conservati a ~4 °C mediante l'ausilio di una borsa refrigerata per essere poi trasferiti in laboratorio dove sono state condotte le analisi. I sedimenti superficiali sono stati prelevati mediante l'infissione di tubi in Plexiglass trasparente, tre repliche per ciascun sito, e caratterizzati nell'orizzonte tra 0 e 5 cm di profondità per densità, porosità e sostanza organica (SO), quest'ultima determinata mediante incenerimento in muffola a 550 °C di un'aliquota pesata di sedimento essiccato a 70 °C e finemente polverizzato. Una parte del materiale fresco è stata centrifugata e il surnatante utilizzato per le analisi di NH₄⁺ e SRP interstiziali. I campioni sono stati analizzati secondo metodi spettrofotometrici standard (APHA-AWWA-WPCF 1975).

Gli ecosistemi studiati sono stati ricondotti a quattro distinte tipologie ambientali (PN= stagno; DT= canale di bonifica; OL= lanca o morta; CH= canale naturale) (Tab. 1), rispetto alle quali sono stati presentati e discussi i risultati.

4. RISULTATI

4.1. Vegetazione acquatica

L'elaborazione statistica dei rilievi raccolti ha permesso di suddividere la vegetazione acquatica in due differenti classi, *Lemnetea* e *Potametea*, secondo il seguente schema sintassonomico:

Lemnetea Tüxen ex O. de Bolòs et Masclans 1955

Lemnetalia minoris Tüxen ex O. de Bolòs et Masclans 1955

Fitocenon a *Lemna minor* (Lm)

Lemnion minoris Tüxen ex O. de Bolòs et Masclans 1955

Lemno-Spirodeletum polyrhizae Koch 1954 (Ls)

Lemnetum gibbae Miyawaki et J. Tüxen 1960 (Lg)

Lemnion trisulcae

Fitocenon a *Lemna trisulca* (Lt)

Hydrocharitetalia Rübél 1933

Hydrocharition Rübél 1933

Salvinio-Spirodeletum polyrhizae Slavnić 1956 (Ss)

Lemno minoris-Hydrocharitetum morsuranae Passarge 1978 (Hm)

Utricularietalia minoris Den Hartog et Segal 1964

Ceratophyllion demersi Den Hartog et Segal 1964 ex Passarge 1996

Fitocenon a *Ceratophyllum demersum* (Cd)

Tab. 1 - Codici, principali caratteristiche morfometriche, area (m²) per i bacini veri e propri (PN e OL), ampiezza (m) per gli elementi lineari (DT e CH) e profondità media (m), n° di campioni idrochimici raccolti nel corso del 2002 e formazioni idrofittiche delle aree studiate. Le sigle relative alle tipologie ambientali e vegetazionali sono riportate nel testo (schema sintassonomico).
 Tab. 1 - Codes, mean surface area (m²) for basins PN and OL, width (m) for the linear elements (DT and CH) and mean depth (m), number of hydrochemical samples collected in 2002 and hydrophytes communities of analysed ecosystems. For habitat and plant community abbreviations see text (syntaxonomical scheme).

codice	sito	tipologia	area-ampiezza (m ²)	profondità (m)	formazioni idrofittiche	n° prelievi acqua	prelievo sedimento
PN ₁	Valli di Mosio 1	stagno	40	0,15	Lm; Lt	4	
DT ₁	Valli di Mosio 2	canale di bonifica	400	0,60	Ls; Lh; Cd; Na	5	x
OL ₁	Castelfranco 1	morta	120	0,40	Ss; Lh	4	x
OL ₂	Castelfranco 2	morta	900	0,70	Ss; Na	5	x
OL ₃	Bicocca	morta	1800	1,30	Ls; Ss; Na	5	x
DT ₂	Canale Molino	canale di bonifica	0,6	0,45	Lm	5	x
OL ₄	Runate dx	morta	1800	1,50	Ss; Na	5	x
OL ₅	Runate sx	morta	7600	1,50	Ls; Cd; Na	5	x
OL ₆	Gerra Gavazzi	morta	2200	1,70		5	x
PN ₂	Lago Carpe	stagno	2900	0,20	Ny	5	x
DT ₃	Canale	canale di bonifica	270	1,00	Cd	5	
PN ₃	Laghetto	stagno	45	2,00	Lh; Cd; Ms; Ny; Pn	5	x
PN ₄	Belforte 4	stagno	3100	2,50	Ls; Cd; Ms; Ny	5	x
PN ₅	Golena S. Alberto 1	stagno	1300	3,00		4	x
PN ₆	Golena S. Alberto 2	stagno	5300	5,00	Ms	4	x
PN ₇	Golena S. Alberto 3	stagno	2700	4,00		4	x
DT ₄	Marcaria	canale di bonifica	500	0,60	Lm; Cd	3	x
OL ₇	Bine	morta	8400	2,00	Ls; Ss; Lh; Na	3	x
CH ₁	Busatello	canale naturale	250	1,50	Ss	7	x
CH ₂	Busatello	canale naturale	300	1,00	Ss; Na		x
CH ₃	Busatello	canale naturale	250	0,45	Na	7	x
CH ₄	Busatello	canale naturale	250	0,45	Na	7	x
CH ₅	Busatello	canale naturale	400	0,40		7	x
PN ₈	Busatello	stagno	2000	1,60		6	x
PN ₉	Busatello	stagno	3200	1,80	Cd	7	x
PN ₁₀	Busatello	stagno	6000	1,30		6	x
PN ₁₁	Busatello	stagno	500	1,00	Ms	7	x
PN ₁₂	Busatello	stagno	2100	0,20	Ny	7	x

Potametea R. Tx. et Preising 1942

Potametalia Koch 1926

Fitocenon a *Myriophyllum spicatum* (Ms)

Nymphaeion albae Oberd. 1957

Nymphaetum albo-luteae Nowiński 1928 (Nl)

Fitocenon a *Nymphaea alba* (Na)

Fitocenon a *Potamogeton natans* (Pn)

La classe *Lemnetea* include le vegetazioni liberamente flottanti sul pelo dell'acqua o nello strato infra-acquatico. Dal punto di vista sintassonomico le sette formazioni descritte sono riferite a tre ordini: *Lemnetalia minoris*, *Hydrocharitetalia* e *Utricularietalia minoris* (Tab. 2). Le comunità appartenenti

all'ordine *Lemnetalia minoris* si presentano estremamente paucispecifiche e sono formazioni tipiche di acque ferme e calde, di ambienti a ridotta profondità ricchi in nutrienti. Le associazioni ricondotte all'ordine *Hydrocharition* sono dominate fisionomicamente da idrocaridi, rappresentati nell'area di studio da *Salvinia natans* (L.) All. e *Hydrocharis morsus-ranae* L., mentre le formazioni infracquatiche a *Ceratophyllum demersum* L., tra le più diffuse nell'area oggetto del presente studio (DT₁, OL₅, DT₃, PN₃, PN₄, DT₄ e PN₉), sono riconducibili all'alleanza *Ceratophyllion demersi*.

La classe *Potametea* raggruppa le comunità domi-

Tab. 2 - Tabella sinottica della vegetazione acquatica. A-C: classe *Lemnetea*; A: *Lemnetalia*; B: *Hydrocharition*; C: *Ceratophyllion*. D-E: classe *Potametea*; D: *Potametalia*; E: *Nymphaeion*. Le sigle relative alle tipologie vegetazionali sono riportate nel testo (schema sintassonomico).

Tab. 2 - Synoptic table of the aquatic vegetation. A-C: Lemnetea class; A: Lemnetalia, B: Hydrocharition, C: Ceratophyllion. D-F: Potametea class; D: Potametalia, E: Nymphaeion. For plant community abbreviations see text (syntaxonomical scheme).

tipo n° rilievi	A				B		C	D	E		
	Lm	Ls	Lg	Lt	Ss	Hm	Cd	Ms	Nl	Na	Pn
LEMNETEA											
<i>Lemna minor</i>	100	50	.	2	56	33	75	33	55	33	.
<i>Spirodela polyrhiza</i>	33	100	67	.	78	100	50	33	27	33	.
<i>Lemna gibba</i>	33	.	100	.	12	.	.	.	.	.	.
<i>Lemna trisulca</i>	33	33	.	4	56	.	.	17	9	.	.
<i>Salvinia natans</i>	.	33	.	.	100	33	.	.	64	.	.
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	.	17	.	.	22	100	.	17	.	.	.
<i>Ceratophyllum demersum</i>	100	17	.	.	.	33	100	50	45	67	.
<i>Wolffia arrhiza</i>	.	50	100	+	45	.	.	.	9	.	.
<i>Lemna minuta</i>	.	17	.	.	.	.	.	.	.	.	.
POTAMETEA											
<i>Myriophyllum spicatum</i>	.	.	.	.	.	.	25	100	.	.	1
<i>Nuphar luteum</i>	.	.	.	.	12	.	.	.	100	.	.
<i>Nymphaea alba</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	9	100	.
<i>Potamogeton natans</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	67	4
<i>Najas marina</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	9	33	.
<i>Potamogeton crispus</i>	.	.	.	.	.	.	.	17	.	.	.

nate strutturalmente da idrofite radicate nel sedimento. Nei siti indagati sono state descritte quattro unità fitosociologiche, riferibili all'alleanza *Nymphaeion albae* (Tab. 2) che include le formazioni dominate da idrofite a foglie galleggianti.

4.2. Colonna d'acqua

I valori della conducibilità elettrica specifica a 20 °C sono mediamente elevati e tipici di ambienti eutrofici di pianura (300-900 $\mu\text{S cm}^{-1}$); i massimi sono stati rilevati per i canali artificiali (DT) (Tab. 3). Il pH è risultato nettamente alcalino, con massimi superiori a 8 unità nei sistemi "stagno" (PN₂, PN₃, PN₄, PN₅, PN₆, PN₇ e OL₇), caratterizzati da estese formazioni idrofite, sia sommerse che emergenti. In 14 siti, sui 28 analizzati, la colonna d'acqua si trova periodicamente in deficit di ossigeno; in alcuni casi (PN₁, OL₁, OL₂, OL₃) la condizione di ipossia si protrae per lunghi periodi in concomitanza con la proliferazione di uno strato superficiale di pleustofite (per lo più *Lemnaceae*) che, limitando gli scambi all'interfaccia e ombreggiando la colonna d'acqua, deprime i produttori primari infra-acquatici e isola completamente il corpo idrico dall'atmosfera.

Per quanto riguarda le concentrazioni delle forme inorganiche dell'azoto, l'azoto ammoniacale ha valori medi estremamente variabili tra siti e tra stagioni, compresi tra 2,2 \pm 3,3 (PN) e 27,6 \pm 32,7 (OL) μM , con minimi estivi e massimi invernali (Tab. 3). Valori di azoto ammoniacale contenuti, inferiori a 2 μM , sono stati determinati nei siti (PN₁, OL₂, OL₅, OL₇, DT₄, PN₂, PN₃, PN₄, PN₅, PN₆, PN₇ e CH₃) caratterizzati da estese fasce elofitiche a grandi carici (*Carex* sp. pl.) e cannuccia di palude (*Phragmites australis*), formazioni capaci di controllare efficacemente la disponibilità del nutriente. L'azoto nitrico raggiunge massimi medi di un ordine di grandezza superiore rispetto all'azoto ammoniacale (fino a 385,2 μM), mantenendo concentrazioni significative a seguito del periodico ingresso di acque di origine fluviale, in concomitanza agli eventi di piena, e di scorrimento superficiale, a seguito di intensi eventi di precipitazione. Le concentrazioni medie di SRP sono generalmente contenute e comprese tra 0 e 3,8 \pm 5,8 μM ; il rapporto tra le forme inorganiche di N e P è decisamente sbilanciato verso l'azoto come si poteva intuire vista la posizione geografica degli ambienti analizzati, collocati in contesti territoriali estremamente vulnerabili ai carichi diffusi prevalentemente di origine zootecnica.

Tab. 3 - Concentrazioni medie (\pm deviazione standard) dei parametri idrochimici registrati nella colonna d'acqua nel corso del 2002 per le diverse tipologie ambientali (cond.= conducibilità).

Tab. 3 - Mean concentrations (\pm Standard deviation) of hydrochemical parameters for each habitat typologies detected in 2002 (cond.= conductivity).

Siti	date	cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	pH	[O ₂] (mg l ⁻¹)	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	NH ₄ ⁺ (μM)	SRP (μM)
PN	19-feb	573 \pm 94	7,6 \pm 0,4	10,5 \pm 3,4	1,3 \pm 1,3	22,8 \pm 15,4	20,4 \pm 25,3	1,6 \pm 3,9
	8-apr	475 \pm 124	7,9 \pm 0,1	6,5 \pm 2,3	0,2 \pm 0,2	8,9 \pm 8,0	4,1 \pm 4,0	0,1 \pm 0,2
	14-giu	597 \pm 92	8,1 \pm 0,6	9,7 \pm 5,2	0,7 \pm 1,9	6,9 \pm 13,4	3,1 \pm 3,1	0,5 \pm 1,3
	25-lug	506 \pm 40	7,9 \pm 0,2	8,9 \pm 1,6	0,0 \pm 0,0	5,8 \pm 1,7	5,4 \pm 2,6	0,0 \pm 0,0
	20-ago	524 \pm 109	8,3 \pm 0,6	9,2 \pm 4,1	0,0 \pm 0,0	4,0 \pm 2,8	2,2 \pm 3,3	0,1 \pm 0,2
	27-ott	451 \pm 78	8,0 \pm 0,6	6,4 \pm 4,0	0,1 \pm 0,1	9,9 \pm 10,3	2,8 \pm 3,6	0,5 \pm 1,0
	20-nov	380 \pm 40	7,3 \pm 0,1	3,9 \pm 2,4	2,0 \pm 1,6	74,1 \pm 58,7	13,7 \pm 5,9	0,3 \pm 0,2
DT	19-feb	845 \pm 40	7,3 \pm 0,3	6,6 \pm 2,7	4,8 \pm 3,2	276,2 \pm 156,8	21,0 \pm 13,3	2,0 \pm 2,6
	8-apr	595 \pm 54	7,5 \pm 0,1	2,5 \pm 0,7	3,2 \pm 4,7	120,8 \pm 92,0	12,1 \pm 4,3	3,8 \pm 5,8
	14-giu	740 \pm 87	7,6 \pm 0,2	4,8 \pm 2,1	6,5 \pm 5,7	203,4 \pm 238,3	16,2 \pm 22,0	2,2 \pm 4,2
	20-ago	751 \pm 117	7,6 \pm 0,0	5,5 \pm 2,6	5,5 \pm 4,4	148,5 \pm 185,9	12,3 \pm 13,3	2,5 \pm 3,4
	27-ott	644 \pm 113	7,8 \pm 0,1	3,4 \pm 1,9	4,7 \pm 4,2	385,2 \pm 347,7	10,0 \pm 4,9	1,6 \pm 1,7
OL	19-feb	787 \pm 156	7,5 \pm 0,4	11,5 \pm 4,4	3,9 \pm 2,4	262,5 \pm 199,5	27,6 \pm 32,7	0,6 \pm 0,7
	8-apr	578 \pm 135	7,6 \pm 0,1	5,5 \pm 3,0	2,0 \pm 2,1	199,7 \pm 215,1	7,5 \pm 5,7	0,5 \pm 0,5
	14-giu	702 \pm 134	7,3 \pm 0,3	3,6 \pm 3,0	3,0 \pm 4,4	235,6 \pm 311,8	10,1 \pm 13,3	0,4 \pm 0,5
	20-ago	669 \pm 160	7,6 \pm 0,5	5,6 \pm 6,1	2,7 \pm 3,4	236,6 \pm 255,9	8,5 \pm 10,4	0,5 \pm 0,6
	27-ott	624 \pm 111	7,7 \pm 0,3	4,9 \pm 4,1	1,4 \pm 2,4	297,6 \pm 366,5	12,2 \pm 19,2	3,0 \pm 7,1
CH	19-feb	516 \pm 33	7,2 \pm 0,3	8,1 \pm 2,6	0,6 \pm 0,3	20,0 \pm 20,3	13,4 \pm 7,5	0,5 \pm 0,4
	14-giu	471 \pm 40	7,6 \pm 0,2	6,8 \pm 3,0	0,7 \pm 0,8	15,9 \pm 14,3	3,7 \pm 1,5	0,1 \pm 0,0
	25-lug	446 \pm 50	7,7 \pm 0,2	6,6 \pm 1,7	0,5	15,4	12,0	0,0
	20-ago	482 \pm 60	7,7 \pm 0,3	7,0 \pm 2,9	0,4 \pm 0,6	26,9 \pm 33,0	2,3 \pm 0,8	0,0 \pm 0,0
	27-ott	401 \pm 11	7,2 \pm 0,1	3,8 \pm 1,5	2,3 \pm 1,3	130,5 \pm 40,1	6,3 \pm 1,0	0,1 \pm 0,1
	20-nov	399 \pm 21	7,7 \pm 0,2	5,5 \pm 1,7	0,3 \pm 0,3	11,0 \pm 9,2	8,5 \pm 2,3	0,2 \pm 0,1

Tab. 4 - Concentrazioni medie (\pm deviazione standard) dei parametri analizzati nei sedimenti superficiali (0-5 cm) rilevati nel corso del 2002 per le diverse tipologie ambientali.

Tab. 4 - Mean concentrations (\pm Standard deviation) of surficial sediment (0-5 cm) features for each habitat typologies analysed in 2002.

Siti	SRP (μM)	NH ₄ ⁺ (μM)	SO (%)	Porosità	Densità (g l ⁻¹)
PN	10,7 \pm 5,0	717,1 \pm 289,2	22,6 \pm 6,7	0,29 \pm 0,03	1,07 \pm 0,04
DT	6,1 \pm 42,8	328,0 \pm 68,2	14,7 \pm 4,6	0,88 \pm 0,08	1,12 \pm 0,08
OL	13,6 \pm 22,3	574,8 \pm 445,3	16,0 \pm 10,3	0,85 \pm 0,11	1,20 \pm 0,16
CH	12,5 \pm 2,8	685,7 \pm 102,0	21,9 \pm 3,1	0,93 \pm 0,02	1,06 \pm 0,02

4.3. Sedimenti superficiali

La sostanza organica (SO) presente nell'orizzonte superficiale compreso tra 0 e 5 cm varia tra 14,7 \pm 4,6 e 22,6 \pm 6,7% (Tab. 4). Complessivamente i siti PN e i CH presentano una percentuale media di SO superiore al 20%, tipica dei sedimenti torbosi. Le concentrazioni di NH₄⁺ e SRP nelle acque interstiziali presentano un'ampia variabilità. L'NH₄⁺ raggiunge concentrazioni medie superiori a 328,0 μM . I valori medi massimi, 717,1 \pm 289,2 e 685,7 \pm 102,0 μM rispettivamente determinati per i siti PN e CH,

si riferiscono ad ambienti caratterizzati da uno stadio spinto di interrimento e con elevati tassi di sedimentazione.

I minimi sono stati misurati in DT₁, PN₄ e PN₆ (261,0 \pm 51,8; 245,0 \pm 83,4 e 183,8 \pm 98,1 μM , rispettivamente) in presenza di sedimenti compatti a seguito di recenti interventi di scavo. L'SRP mostra concentrazioni medie assai più contenute, inferiori a 13,6 μM . Solo 6 siti presentano concentrazioni superiori a 15,0 μM (OL₃, DT₂, OL₇, CH₃, CH₄ e PN₁₂), a indicare un efficiente controllo della disponibilità dello ione in questi sistemi acquatici.

5. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Le formazioni pleustofitiche, ricondotte alle classi *Lemnetea*, rappresentano le comunità vegetali più diffuse nell'area di studio e sono, in genere, proprie di corpi idrici caratterizzati da elevate concentrazioni di nutrienti disciolti e alti tenori di conducibilità (OL e DT). Comunità più evolute, dominate da macrofite ancorate al sedimento o capaci di proliferare nello spazio infracquatico, sono rare nell'area di studio perché tipiche di ambienti a minor carico trofico (PN e CH).

I picchi massimi dei nutrienti azotati disciolti (Tab. 3) si hanno in corrispondenza dei periodi di massimo afflusso di acque dal reticolo circostante, in concomitanza con i periodi di massima deposizione atmosferica (Bonali *et al.* 2006) a cui sono associati gli eventi di piena fluviale (ottobre-gennaio). Inoltre, i nutrienti immagazzinati nei sedimenti superficiali possono facilmente essere rilasciati nella colonna d'acqua influenzando le comunità di produttori primari e le fasi di colonizzazione del bacino. In contesti di bassa pianura è il periodico ingresso di acque dal reticolo idrografico circostante a modulare l'evoluzione stagionale di questi sistemi (Ward & Stanford 1995), veicolando nutrienti, materiale particellato e grandi quantità di propaguli e organismi viventi.

Le comunità di pleustofite sono in grado di innescare meccanismi di *feedback* positivi utili al mantenimento di elevati carichi trofici (Scheffer *et al.* 2003). Vista la costante limitazione da SRP in acqua, il meccanismo capace di restituire all'acqua fosforo solubile potrebbe essere il rilascio di questo ione dai sedimenti a seguito della prolungata ipossia nella tarda estate, quando i sedimenti hanno accumulato sostanza organica e i buffer biogeochimici sono saturi (cioè in assenza di Fe³⁺).

La presenza di uno spesso strato di piante liberamente flottanti, frequentemente presenti per lunghi periodi anche nelle fasi tardo autunnali e invernali, facilita, infatti, la rigenerazione bentonica dei nutrienti e preclude la possibilità dello sviluppo di comunità sommerse o ancorate al sedimento.

La gran parte dei sistemi studiati si mostra estremamente vulnerabile all'impatto delle acque di origine fluviale o diffusa, sia superficiale che di falda (Scheimer *et al.* 1999), favorendo così l'affermazione di comunità vegetazionali effimere, considerate pioniere dalla letteratura fitosociologica che in tali contesti, però, si mostrano estremamente competitive.

BIBLIOGRAFIA

- APHA-AWWA-WPCF, 1975 - *Standard Methods for the examination for water and wastewater*. 14th ed. APHA, Washington: 1193 pp.
- Bonali F., D'Auria G., Ferrari V. & Giordana F., 2006 - Atlante corologico delle piante vascolari della provincia di Cremona. Monografie di Pianura n.7, Provincia di Cremona, Cremona: 344 pp.
- Braun-Blanquet J., 1964 - *Pflanzensoziologie*, 3. Aufl. Springer Verlag, Wien-New York: 865 pp.
- Casale F., 2000 - Cause di perdita e di degrado delle zone umide in Europa. In: Atti Convegno "Zone umide d'acqua dolce. Tecniche e strategie di gestione della vegetazione palustre". Regione Lombardia e Comune di Ostiglia, 15 maggio 1999. *Quad. Ris. Nat. Paludi di Ostiglia*, 1: 21-28.
- Mitsch W.J. & Gosselink J.G., 2000 - *Wetlands*, 3rd ed. John Wiley & Sons, New York: 920 pp.
- Müller T., 1992 - Klasse: Lemnetea (*Lemnetea minoris*). In: Oberdorfer E. (ed.), *Süddeutsche Pflanzengesellschaften*. Teil I, 3 Auflage. Fischer, Stuttgart: 67-77.
- Müller T. & Gors S., 1992 - Klasse: Potamogetonetea R. Tx. et Preising 42. In: Oberdorfer E. (ed.), *Süddeutsche Pflanzengesellschaften*. Teil I, 3 Auflage. Fischer, Stuttgart: 89-118.
- Pignatti S. & Mengarda F., 1962 - Un nuovo procedimento per l'elaborazione delle tabelle fitosociologiche. *Rendiconti della classe di Scienze fisiche, matematiche, naturali*, s. 8, 32: 215-222.
- Pott R., 1995 - *Die Pflanzengesellschaften Deutschlands*. Ulmer, Stuttgart, 622 pp.
- Scheffer M., Szabo S., Gragnani A., van Nes E.H., Rinaldi S., Kautsky N., Norberg J., Roijackers R.M.M. & Franken R.J.M., 2003 - Floating plant dominance as a stable state. *PNAS*, 100: 4040-4045.
- Scheimer F., Baumgartner C. & Tocken K., 1999 - Restoration of floodplain rivers: the Danube restoration project. *Reg. Riv. Res. Manag.*, 15: 231-244.
- Schratt L., 1993a - Lemnetea. In: Grabherr G. & Mucina L. (eds), *Die Pflanzengesellschaften Österreichs. 2. Natürliche waldfreie Vegetation*. Fischer, Jena: 31-44.
- Schratt L., 1993b - Potamogetonetea. In: Grabherr G. & Mucina L. (eds), *Die Pflanzengesellschaften Österreichs. 2. Natürliche waldfreie Vegetation*. Fischer, Jena: 55-78.
- Tomaselli M., Bolpagni R., Gualmini M., Borghi M.L., Perlini S. & Spettoli O., 2003 - La vegetazione dei nuclei naturalistici del Parco Regionale dell'Oglio Sud. *I Quaderni del Parco*, 2. Parco Oglio Sud - Provincia di Mantova, 105 pp.
- Ward J.V. & Stanford J.A., 1995 - Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. *Reg. Riv. Res. Manag.*, 11: 105-119.