

# Un impianto di fitodepurazione in ambiente montano: progettazione e rese depurative<sup>§</sup>

Raffaella Canepel<sup>1\*</sup>, Floriana Romagnoli<sup>2</sup>

1 APPA Trento, Via Mantova 16 – 38100 Trento

2 Loc. Giandeto Biancana, 3 – 42034 Casina (RE)

\* Referente per la corrispondenza: raffaella.canepel@provincia.tn.it

## INTRODUZIONE

I sistemi di trattamento delle acque inquinate mediante aree umide artificiali sono comunemente definiti "impianti di fitodepurazione": si tratta di sistemi ingegnerizzati, progettati e costruiti per riprodurre i naturali processi autodepurativi in un ambiente maggiormente controllabile. I sistemi naturali di fitodepurazione rappresentano una tipologia di trattamento depurativo praticata da molto tempo nella maggior parte dei paesi del mondo: la prima esperienza risale al 1952, anno in cui Seidel avviò al Max Plank Institute di Plon una linea di ricerca sperimentale su questa particolare tipologia impiantistica (SEIDEL, 1955). Fu nel 1977, in Germania a Othfresen, che venne realizzato il primo impianto a scala reale per il trattamento dei reflui urbani (KICKTUTH, 1977).

In Italia vi è stato un certo ritardo nella diffusione delle tecniche di depurazione naturale rispetto ai paesi nordeuropei e questo principalmente in quanto, dal punto di vista normativo, tale tipologia depurativa non è mai stata presa in considerazione.

Infatti, solo dal 1999, anno in cui lo Stato Italiano recepisce la Direttiva europea 91/271 con decreto legislativo 152/99, la fitodepurazione viene suggerita dalla norma stessa come trattamento secondario appropriato (sotto i 2000 abitanti equivalenti) e come trattamento di affinamento per impianti tecnologici di grandi dimensioni.

Attualmente (APAT, 2005) si stima che su tutto il territorio italiano siano operativi oltre 300 impianti di fitodepurazione, concentrati soprattutto nel centro e nord Italia.

Oggetto del presente lavoro è

la realizzazione e il controllo dell'efficacia depurativa di un impianto di fitodepurazione al servizio delle acque reflue domestiche provenienti dall'area attrezzata Ponte Verde in Val Genova, realizzato nel 2004 nel Comune di Carisolo (TN) nel Parco Nazionale Adamello Brenta, a quota 900 m s.l.m. (Fig. 1).

## MATERIALI E METODI

La progettazione di un impianto di fitodepurazione si basa su modelli e formulazioni empiriche che, per un sicuro utilizzo, necessitano della approfondita conoscenza dei fattori specifici a partire dai quali sono state definite.

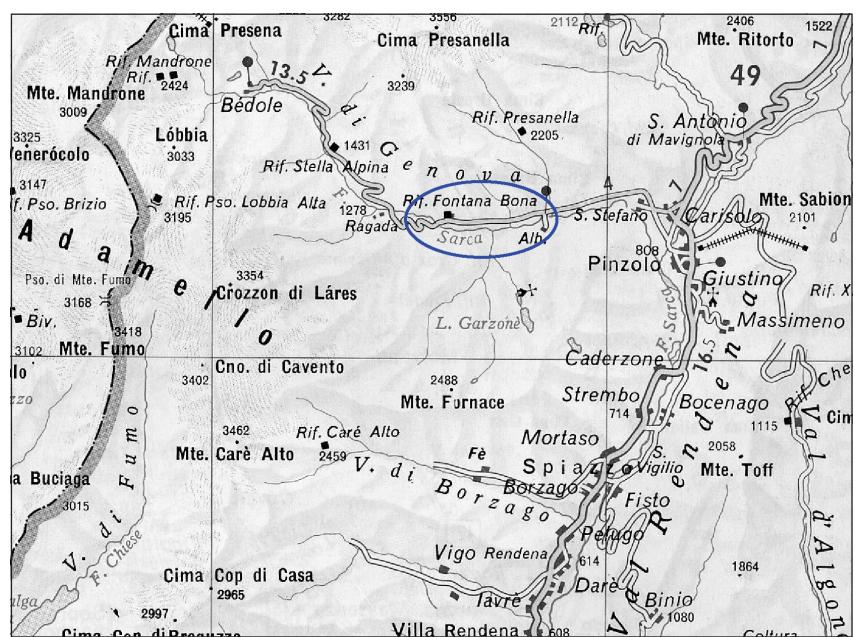


Fig. 1. Ubicazione dell'impianto, Comune di Carisolo (TN).

§ Progetto finanziato dalla Provincia Autonoma di Trento secondo la Legge Provinciale 22 marzo 2001, n. 3 art. 27 comma 4 e 5 e realizzato conformemente alle linee guida sperimentali, approvate dalla Giunta provinciale con deliberazione n. 992 del 10 maggio 2002.

L'azione di abbattimento degli inquinanti deriva dalla complessa interazione di processi di tipo fisico, biologico, chimico e biochimico. Questi, a loro volta, sono influenzati dalla combinazione di vari fattori tra cui in particolare la temperatura, il tempo di ritenzione idraulica, il carico idraulico, il carico di inquinante applicato, la profondità, la forma e le dimensioni degli impianti, e così via.

L'impianto di fitodepurazione a servizio dell'area attrezzata Ponte Verde è costituito da un bacino a flusso sommerso orizzontale (HF) e da uno a flusso superficiale (FWS) posti in serie. L'effluente depurato viene recapitato nel fiume Sarca che rientra in classe I per i parametri biologici e di funzionalità fluviale.

Per dimensionare il sistema di fitodepurazione si è ricorsi alla metodologia ed alle linee guida di progettazione suggerite dai seguenti autori: BRIX (1995, 1996, 2003), REED *et al.* (1995), KADLEC e KNIGHT (1996).

Le linee guida danesi scritte da Hans Brix danno indicazioni, per i sistemi HF, sui m<sup>2</sup> per abitante equivalente, sulla curva granulometrica e la permeabilità del substrato di riempimento e sulla profondità minima dei letti. Gli altri

due autori americani propongono modelli matematici basati sulle cinematiche di rimozione dei principali inquinanti e sull'utilizzo di coefficienti semiempirici, approssimando sostanzialmente i sistemi HF a sistemi "plug-flow" a biomassa ade-

sata.

I parametri utilizzati per il calcolo delle superfici dei due bacini di fitodepurazione sono riportati nella tabella I.

Il calcolo dell'area superficiale del sistema HF è stato eseguito utilizzando la seguente formula (KADLEC e KNIGHT, 1996):

$$Ah = Qd / \ln(C_0 - C_t) / KBOD$$

Ah = area superficiale, m<sup>2</sup>;

Qd = portata media giornaliera del refluo, m<sup>3</sup>/d;

Co = valore medio del BOD<sub>5</sub> in entrata, mg/L;

Ct = valore medio del BOD<sub>5</sub> richiesto in uscita, mg/L;

KBOD = costante, m/d;

KBODt = KBOD<sub>20</sub> (1,1) t-20.

Per il sistema a flusso libero (FWS) le equazioni di calcolo, che si basano sulla rimozione biologica di alcuni parametri come BOD<sub>5</sub>, ammoniaca e nitrati, seguono le cinematiche del primo ordine (REED *et al.*, 1995). I sistemi a flusso superficiale sono infatti strettamente legati alla temperatura dell'acqua: l'area del bacino

dipende da una costante di temperatura K<sub>T</sub> calcolata secondo le formule seguenti:

$$\ln\left(\frac{C_i}{C_0}\right) = K_T * t$$

$$K_T = K_R * \theta_R^{(T_w - T_r)}$$

$$t = \frac{V_f}{Q} = \frac{A_s * y * n}{Q}$$

$$A_s = L * W = \frac{Q * t}{y * n} = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_i}{C_0}\right)}{K_T * y * n}$$

A<sub>s</sub> = area del bacino (m<sup>2</sup>);

C<sub>0</sub> = concentrazione in uscita (mg/L);

C<sub>i</sub> = concentrazione in entrata (mg/L);

K<sub>R</sub> = costante alla temperatura di riferimento;

K<sub>T</sub> = costante alla temperatura TW;

L = lunghezza del bacino (m);

n = porosità;

t = tempo di residenza idraulico (in giorni);

T<sub>w</sub> = temperatura dell'acqua nel bacino (°C);

T<sub>r</sub> = temperatura di riferimento (°C);

V<sub>f</sub> = volume effettivo del bacino (m<sup>3</sup>);

W = larghezza bacino (m);

y = profondità bacino (m);

q<sub>R</sub> = coefficiente di temperatura ( $\theta_R$  R);

Q = portata.

**Tab. I.** Parametri di calcolo per impianto di fitodepurazione HF e FWS.

Parametro di calcolo	Valore	Unità di misura
Numero massimo di abitanti equivalenti trattati giornalmente	66	a.e.
Dotazione idrica procapite	80	L/a.e. al giorno
Carico organico	60	grBOD <sub>5</sub> /a.e. al giorno
Qmn (Portata media giornaliera)	5,3	m <sup>3</sup> /d
Profondità dei letti a flusso orizzontale (HF)	0,80	m
Profondità media dei letti a flusso superficiale (FWS)	0,60	m
Pendenza letti	1	%
Conducibilità idraulica ghiaia letto flusso orizzontale (K <sub>s</sub> )	800	m/d
Carico organico in ingresso (dopo trattamento primario) BOD <sub>5</sub>	670	mgO <sub>2</sub> /L
Rimozione % (obiettivi di depurazione) come BOD <sub>5</sub>	99	
Rimozione % (obiettivi di depurazione) come NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	97	

### Valori delle costanti e coefficienti di temperatura

Parametro	Rimozione BOD	Rimozione patogeni
T <sub>R</sub> (°C)	20	20
K <sub>R</sub> (d <sup>-1</sup> )	0,678	2,6
q <sub>R</sub>	1,06	1,19

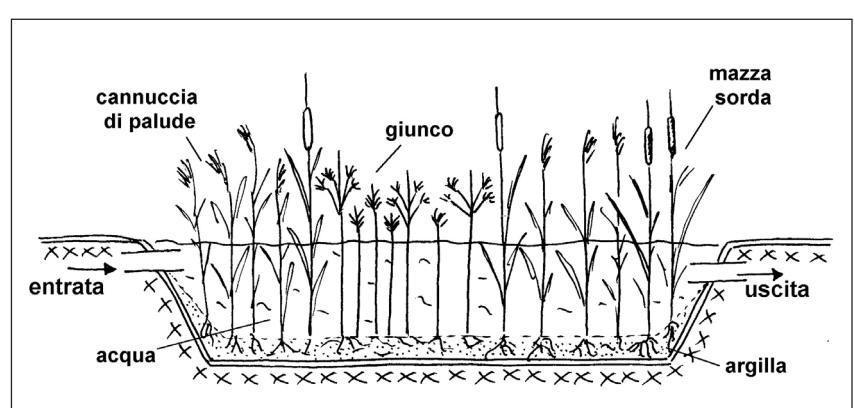
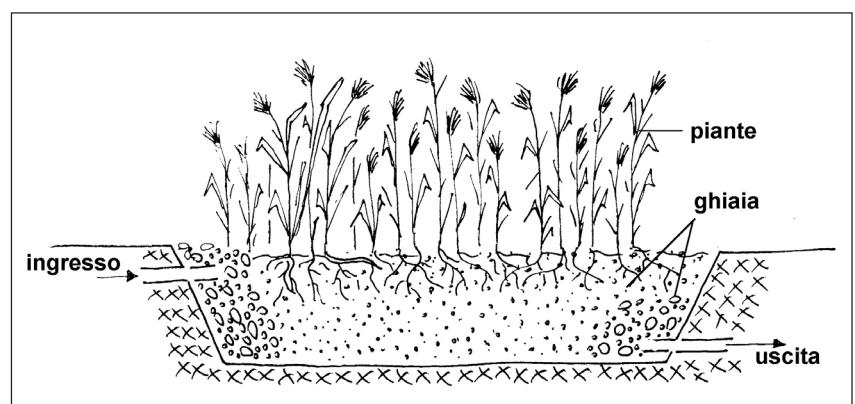
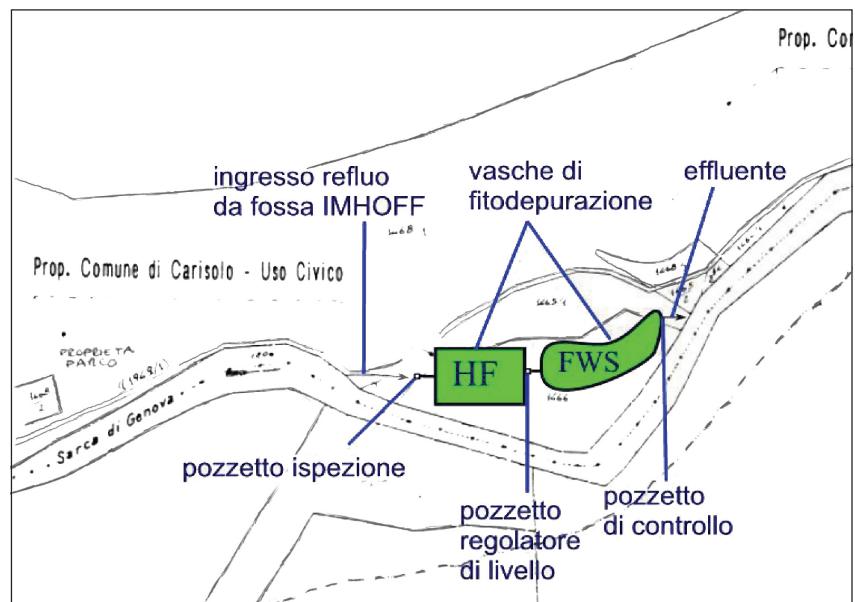
Dalle valutazioni effettuate in base all'esperienza ed ai metodi sopra citati l'area del sistema HF risulta pari a 216 m<sup>2</sup> e quella del sistema FWS pari a 255 m<sup>2</sup>.

La temperatura minima di funzionamento dell'acqua nell'impianto è stata cautelativamente assunta pari a 4°C.

In linea generale l'impianto è composto dai seguenti elementi (Fig. 2):

- trattamento primario costituito da una fossa Imhoff (posizionata vicino agli scarichi);
- pozzetto d'ispezione (in testa all'impianto)
- bacino a flusso sommerso orizzontale (HF) costituito da una vasca di forma rettangolare (18 m x 12 m) della profondità di 0,8 m;
- pozzetto regolatore di livello (posizionato in uscita alla vasca HF);
- bacino a flusso superficiale di forma irregolare (FWS) e profondità media di 0,6 m;
- pozzetto di controllo;
- scarico nel corpo idrico recettore (effluente depurato).

Il sistema di fitodepurazione prevede che i liquami, dopo un pre-trattamento di sedimentazione nella fossa Imhoff, vengano inviati a caduta al pozzetto di ispezione e da qui, attraverso i tubi di distribuzione, sul filtro sommerso orizzontale. Il sistema HF prevede il passaggio del refluo in modo continuo attraverso un bacino impermeabile riempito di ghiaia a diversa granulometria.



tria (8-16 mm al centro e 100-120 mm in ingresso e uscita): la depurazione si attua soprattutto attraverso processi anaerobici e aerobici, favoriti dall'apporto di ossigeno dai rizomi di *Phragmites australis* (canneccia di palude), e attraverso processi chimici, fisici e biologici con rendimenti di rimozione molto elevati per il carico organico, solidi sospesi e carica batterica.

Nei bacini sono state messe a dimora piante acquatiche (idrofite ed elofite). In particolare nel sistema a flusso sommerso orizzontale sì è utilizzata *Phragmites australis*. Nel sistema a flusso libero si sono utilizzate sia specie autoctone prelevate in loco (*Carex* spp.) sia specie da vivaio: *Alisma plantago aquatica*, *Iris pseudacorus*, *Mentha aquatica*, *Nuphar lutea*, *Typha latifolia*, *Hydrocaris morsus-ranae*. Il sistema sta ora evolvendo naturalmente, accogliendo e selezionando le specie più idonee.

Nelle figure 3 e 4 si propongono due schemi convenzionali relativi alle tipologie citate.

Le figure 5 e 6 corrispondono invece all'impianto realizzato, al suo primo anno di avviamento.

Sono stati condotti due cicli di analisi chimico-fisiche e batteriologiche nei periodi estivi degli

anni 2005 e 2006: fra giugno e settembre di ciascun anno sono stati condotti campionamenti mensili.

Per evidenziare la resa depurativa dei singoli settori, i campioni sono stati prelevati in tre punti differenti: a valle della fossa Imhoff, a valle dell'impianto a flusso sommerso orizzontale e a valle del bacino a flusso superficiale, in pozetti appositamente realizzati.

I parametri indagati, analizzati secondo la metodologia ufficiale (CAPRI *et al.*, 2004a, b, c), sono stati i seguenti: colore, odore, temperatura al prelievo, pH, conducibilità, COD, azoto ammoniacale, azoto nitroso, azoto nitrico, azoto totale, fosforo totale, fluoruri, cloruri, solfati, coliformi totali, coliformi fecali, *Escherichia coli*, streptococchi fecali.

## RISULTATI

Dalle analisi condotte sono emersi risultati molto confortanti.

Nella tabella II sono rappresentate le concentrazioni medie rilevate a valle dei singoli stadi e le percentuali di abbattimento al passaggio fra la fossa Imhoff e il bacino a flusso sommerso orizzontale: punto 1 - a valle della fossa Imhoff; punto 2 - a valle del bacino HF;

punto 3 - a valle del bacino FWS (prima del recapito in corso d'acqua).

Come si può notare, la qualità del refluo in uscita dalla fossa Imhoff, benché conforme alla normativa vigente (decreto del Presidente della Giunta provinciale 26 gennaio 1987, n. 1-41/Legisl.), presenta valori piuttosto elevati.

Analizzando nel dettaglio i singoli parametri si evidenzia come per l'ammoniaca ( $\text{N-NH}_4^+$ ) si passi da una concentrazione media di 105,7 mg/L a valle della fossa Imhoff, a 0,14 mg/L a valle del bacino con sistema HF e a 0,01 mg/L in corrispondenza del recapito finale, dopo il bacino a superficie libera.

In questo caso appare evidente, come atteso, l'azione ossidativa legata alla nitrificazione che determina la trasformazione dell'ammoniaca in nitrato.

Sicuramente più interessante risulta invece l'abbattimento dell'azoto totale che, a partire da 100,28 mg/L, passa a 0,28 mg/L nel punto 2 per risalire leggermente a valle del bacino FWS (1,04 mg/L).

Sensibili abbattimenti si osservano ancora per COD, Fosforo totale ed *Escherichia coli*.



Fig. 5. Bacino a flusso sommerso orizzontale (HF).



Fig. 6. Bacino a flusso superficiale (FWS).

## DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Dall'analisi dei dati emerge che l'impianto assolve correttamente alla funzione depurativa, assicurando abbattimenti estremamente interessanti dei principali inquinanti.

Emerge soprattutto l'efficacia del bacino a flusso sommerso che, da solo, provvede alla completa depurazione del refluo in ingresso.

Le concentrazioni di COD e Azoto totale subiscono addirittura un lieve incremento, comunque leggibile, al passaggio fra i due bacini.

Tale condizione, apparentemente contraddittoria, è comprensibile analizzando brevemente le differenti dinamiche che possono instaurarsi nelle due condizioni.

Durante il passaggio dei reflui nel bacino a flusso sommerso orizzontale, attraverso il materiale di riempimento e la rizosfera delle elofite, la materia organica viene decomposta dall'azione microbica, l'azoto subisce i vari processi di degradazione e il fosforo viene fissato per adsorbimento sul materiale di riempimento.

L'efficacia dell'azione depurativa pertanto si esplica in questo bacino, mentre il secondo in realtà si comporta proprio come un ecosistema a sé stante, caratterizzato da tutte le dinamiche biologiche proprie di un sistema lacustre.

Questo spiega l'aumento, se pur modesto, delle concentrazioni

**Tab. II.** Rese depurative del sistema HF e FWS. I valori relativi alle concentrazioni dei parametri sono mediati sui 5 campionamenti eseguiti nell'arco del biennio 2005-2006.

	u.m.	Punto 1	Punto 2	%abbatt.	Punto 3
Ammoniaca ( $\text{N-NH}_4^+$ )	mg/L	105,7	0,14	>99%	0,01
Azoto totale (N)	mg/L	100,28	0,28	>99%	1,04
COD	mg/L	161,5	6,5	97%	18,5
Fosforo Totale (P)	mg/L	5,6	0,02	>99%	0,02
<i>Escherichia coli</i>	u.f.c./100 mL	119700	2	>99%	19

di COD e azoto totale nei prelievi condotti a valle del bacino FWS in quanto al suo interno si svolgono i cicli biologici legati all'attività di tipo lacustre con produzione di materia organica, demolizione della medesima e conseguente cessione all'acqua.

Al bacino poi giungono gli apporti provenienti dall'ambiente esterno, quali foglie, detriti e quant'altro che contribuiscono all'incremento della sostanza organica.

In ultima analisi vi è da dire che non esiste correlazione diretta fra l'analisi condotta a valle del bacino HF con quella condotta a valle del bacino FWS, poiché quando si analizza l'acqua proveniente dal bacino a superficie libera si analizza un'acqua che porta con sé l'eredità della permanenza in situ.

Si può concludere pertanto che l'esperienza condotta porta ad avvalorare l'ipotesi di procedere alla depurazione stagionale di modesti

carichi inquinanti attraverso sistemi naturali tenuto conto soprattutto della sensibilità ambientale del contesto in cui s'inserisce l'opera.

Si ritiene altresì interessante l'aver verificato la validità del sistema a flusso sommerso orizzontale. Il sistema a flusso libero, oltre ad estrinsecare una funzione ecologica importante, assolve al ruolo di bacino "tampone" nel caso in cui dovessero verificarsi, nel corso degli anni, malfunzionamenti nell'impianto a monte.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano il direttore del Parco Adamello-Brenta, dott. Claudio Ferrari, per la disponibilità realizzativa, il geom. Bruno Battocchi per la disponibilità operativa, il sig. Alfredo Trainotti per aver eseguito i campionamenti, il Settore Laboratorio e Controlli dell'APPA Trento per aver eseguito le analisi chimiche e l'Azienda Provinciale per i Servizi Sanitari di Trento per aver eseguito le analisi microbiologiche.

## BIBLIOGRAFIA

- APAT, 2005. *Linee guida per la progettazione e gestione di zone umide artificiali per la depurazione di reflui civili*. A cura di Marco Mazzoni, Firenze, 88 pp.
- BRIX H., 1995. Use of subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment - an overview. In:

- Ramadori R., Cingolani L. and Cameroni L., (eds.). *Natural and constructed wetlands for wastewater treatment and reuse - experiences, goals and limits*. Preprint of the international seminar, 26-28 Oct. 1995, Perugia, Italy.
- BRIX H., 1996. Design Criteria for a

two-stage constructed wetland. In: *Preprints of Proceedings of the 5th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, IX/6, 15-19 Sept., Vienna, Austria.

BRIX H., 2003. Danish guidelines for small constructed wetland

- system. Atti del convegno "La fitodepurazione: applicazioni e prospettive", ARPAT, Volterra (PI), pp.109-117.
- CAPRI S., PAGNOTTA R., PETTINE M., BELLINI M., CENTIOLI D., DEZORZI P., SANSONE S., 2004a. *Metodi analitici per le acque*. Vol. I: Sez.1000 - Pt. generale. Sez. 2000 - Parametri chimico-fisici, Sez 3000 - Metalli, Manuali e linee guida N.29/2003, Roma - ed. APAT-IRSA CNR, 1-490 pp.
- CAPRI S., PAGNOTTA R., PETTINE M., BELLINI M., CENTIOLI D., DEZORZI P., SANSONE S., 2004b. *Metodi analitici per le acque*. Vol. II: Sez. 4000 - Inorganici non metallici, Sez. 5000 - Organici. Manuali e linee guida N.29/2003, Roma - ed. APAT-IRSA CNR, 491-840 pp.
- CAPRI S., PAGNOTTA R., PETTINE M., BELLINI M., CENTIOLI D., DEZORZI P., SANSONE S., 2004c. *Metodi analitici per le acque*. Vol. III: Sez. 6000 - Metodi microbiologici, Sez. 7000 - Metodi per microorganismi, Sez. 8000 - Metodi ecotossicologici, sez. 9000 - Indicatori biologici. Manuali e linee guida N.29/2003, Roma - ed. APAT-IRSA CNR, 841-1153 pp.
- KADLEC R.H., KNIGHT R.L., 1996. *Treatment Wetlands*. Lewis, Boca Raton.
- KICKUTH R., 1977. Degradation and incorporation of nutrients from rural wastewaters by plant hydro-sphere under limnic conditions. In: "Utilization of Manure Land Spreading", Comm. Europ. Com-
- mun., EUR 5672e, London, pp. 335-343.
- REED S.C., CRITES R.W., MIDDLEBROOKS E.J., 1995. *Natural Systems for wastewater Management and Treatment*. 2nd ed., Mc-Graw- Hill, Inc., New York press, Florida.
- ROMAGNOLI F., 2000. "La fitodepurazione: manuale tecnico divulgativo per una gestione sostenibile del ciclo delle acque". Comune di Reggio Emilia, 106 pp
- SEIDEL K., 1955. Die Flechbinse *Scirpus lacustris*. In: "Okologie, Morphologie und Entwicklungen, ihre Stellung bei den Vollkern und ihre Wirtschaftliche Bedeutung", Sweizerbart'sche Vergsbuchhandlung, Stuttgart, pp. 37-52.