

INDAGINE PRELIMINARE SUI RENDIMENTI DEGLI IMPIANTI ITALIANI DI FITODEPURAZIONE PER FONTI DI INQUINAMENTO PUNTUALE / ITALIAN CONSTRUCTED WETLAND BASED WASTEWATER TREATMENT PLANTS PERFORMANCES ANALYSES: PRELIMINARY RESULTS

Fabio Masi

IRIDRA S.r.l. – Via Lorenzo il Magnifico 70 – 50129 Firenze – Italy
Tel. ++39 055 470729
masi@iridra.com

ABSTRACT

Constructed wetlands (CWs) have been adopted by many Italian communities as a cost-effective mean of secondary and tertiary wastewater treatment, in order to meet more stringent standards and to lower operating costs. Some small systems have now been in existence for nearly 15 years, while wetland treatment systems for larger towns and small cities have become a more recent trend. Since 1999 CWs have been “officially” recognized as a treatment technology. The newest national law concerning wastewater, D.L.152/99 officially recognizes the use of CW’s for urban centres with populations in the range of 10-2000 PE (Population Equivalent) discharging into freshwater, in the range of 10-10.000 PE discharging in sea water, and for tourist facilities and other point sources with high rates of fluctuation of organic and/or hydraulic loads. In 1999 the Italian Section of the IWA Specialist Group on the Use of Macrophytes in Water Pollution Control was established. This group is collecting data (process, design criteria, plant utilization, removal efficiency, economic and legislative aspects, etc.) from existing plants operating in Italy in order to develop a reference manual, in collaboration with the main public authorities, for the use of local engineers and administrators in designing and evaluating CWs. The Italian operating CWs can be subdivided into two main categories: surface-flow or subsurface-flow design. In surface-flow wetlands the wastewater flows through a shallow basin planted with emergent and submerged macrophytes. In subsurface or “reed-bed” designs (RBTS), the wetland is filled with gravel or sand or similar substrates, and the plants, most commonly reeds (*Phragmites australis* or *communis*), grow rooted in the filling medium. Since the 1980’s over two hundred CWs, both free water and subsurface (horizontal and vertical) flow systems, have been realized in Italy. Most of the facilities are located in the northern and central part of the country. A high rate of efficiency in the removal of organic content (BOD, COD), Nitrogen (N_{tot}, NH₄⁺, NO₃⁻), Suspended Solids (TSS) and Pathogens (EC, FC, TC) was observed, both in secondary and tertiary treatment plants, despite a general lack of monitoring data. Designs are often adapted to take account of different site characteristics, treatment goals and secondary benefits such as the reuse of the treated wastewater or the provision of wildlife habitat. Surface-flow wetlands are increasingly being favoured as tertiary treatment, because of their cheaper investment costs and their higher wildlife habitat values. Subsurface-flow wetlands, however, tend to be more widely applied, due to their effectiveness at filtering out solids and removing BOD per unit land area. Therefore the use of septic tanks and secondary treatment subsurface CWs for small populations is set to increase sharply. There are some interesting applications also

concerning urban environments. Because the wastewater remains below the surface in these systems there is less possibility for human or wildlife contact with wastewaters and less potential for insect infestation. The use of hybrid designs incorporating both surface and subsurface-flow sections is now becoming more common, as well as the powerful combination of vertical and horizontal subsurface flow systems. In general, the Italian subsurface flow wetlands seem to obtain better results, probably due to the more constant and warmer climatic conditions, in comparison to most of the other European experiences.

LO SVILUPPO DELLA FITODEPURAZIONE IN ITALIA

Il territorio italiano è caratterizzato dalla presenza di numerosi insediamenti abitativi di piccole o medie dimensioni, con un intervallo di abitanti equivalenti che varia da poche decine ad alcune migliaia. Alcuni villaggi rurali, ormai quasi abbandonati, sono stati recentemente trasformati in centri turistici, che registrano durante le alte stagioni considerevoli picchi di presenza turistica.

L'utilizzo di sistemi di trattamento delle acque reflue "tecnologici", come ad esempio gli impianti a fanghi attivi, ad ossidazione totale, i filtri percolatori, i biodischi, etc., hanno dimostrato notevoli problemi gestionali su questi intervalli di utenze, prevalentemente generati dalla difficoltà economica correlata ad una gestione continuativa e specializzata che ne assicurerebbe un più corretto funzionamento. Le notevoli oscillazioni di presenze che spesso avvengono nei piccoli centri urbani rurali, montani o costieri, producono inoltre grosse problematiche tecniche nella gestione delle biomasse presenti nei sistemi biologici "tecnologici", come ad esempio gli elevati tempi di attivazione all'inizio delle stagioni turistiche o le "morie di fanghi" tipiche dei periodi in cui tali impianti lavorano sotto carico o vengono spenti del tutto.

Un'ulteriore aspetto di grande rilevanza è quello che introduce il concetto della "depurazione decentralizzata" (Sansoni, 1998).

A questo proposito per molti insediamenti urbani rurali un'affidabile scelta tecnologica potrebbe essere il collettamento di svariati nuclei in grossi impianti di depurazione consortili.

Da un lato si avrebbe la garanzia di ottenere continuamente l'attenuamento ai limiti di qualità per gli scarichi ed una fattibilità economica positiva nelle relative spese di gestione, ma anche dall'altro elevate spese di investimento, spesso insostenibili, per la realizzazione di nuove reti fognarie.

La realizzazione di grossi impianti consortili in zone rurali comporta inoltre una profonda alterazione dei cicli biogeochimici delle idrosfere locali, movimentando le acque reflue spesso in zone molto lontane dai punti di attingimento delle stesse e quindi variando il naturale decorso delle acque nei bacini idrografici e relativi sottobacini.

Il concetto della "depurazione decentralizzata" è invece basato nell'eliminazione delle alte spese di investimento per la realizzazione delle reti fognarie e nell'implementazione di

trattamenti quanto più possibile a piè d'utenza, che abbiano i costi e le necessità tecniche per la gestione ridotti al minimo, e che restituiscano le acque adeguatamente trattate in modo diffuso nel territorio.

Le tecniche di depurazione naturale, ed in particolare le aree umide artificiali (comunemente definite come impianti di fitodepurazione), sembrano essere una delle più promettenti ed appropriate soluzioni per i problemi sopra enunciati, in quanto rispondono egregiamente alle esigenze di rispetto dell'ambiente, e quindi di adeguate ed affidabili rimozioni degli inquinanti, e di contenimento ed ottimizzazione sia dei costi di investimento che, e soprattutto, dei costi di gestione, assai semplificata, non specializzata ed a basso consumo dal punto di vista energetico.

In tutta Europa questi sistemi vengono ormai considerati come una delle soluzioni di trattamento con il miglior rapporto tra costi e rendimenti, soprattutto per la loro elevata affidabilità sul lungo periodo anche in assenza di gestione specializzata.

In Italia si è verificato un notevole ritardo nella diffusione delle tecniche di depurazione naturale rispetto agli altri paesi europei, nonostante le condizioni meteorologiche più favorevoli nel territorio nazionale rispetto, ad esempio, ai paesi nordeuropei, ed una delle principali cause è stata la mancanza di riferimenti normativi che prendessero in considerazione questa tipologia di impianti fino al recepimento della direttiva europea 91/271 con il D.Lgs. 152/99.

Infatti è proprio dal 1999 che la fitodepurazione viene consigliata nella normativa sulle acque (All. 5 del D.Lgs. 152/99) come trattamento secondario appropriato sotto ai 2000 abitanti equivalenti per lo scarico in acque superficiali o sotto 10000 a.e. per lo scarico in mare o infine come trattamento di affinamento per impianti tecnologici di dimensioni superiori. A riguardo di quest'ultima applicazione si deve mettere in rilievo che nell'Annuario dei dati ambientali realizzato dall'Apat (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici) viene riportato che negli agglomerati con più di 15.000 a.e., sono conformi alla legge soltanto 361 depuratori su 730, con picchi di irregolarità registrati al sud e nelle isole.

I trattamenti appropriati, secondo l'allegato 5, *"devono essere individuati con l'obiettivo di:*

- a) rendere semplice la manutenzione e la gestione;*
- b) essere in grado di sopportare adeguatamente forti variazioni orarie del carico idraulico e organico;*
- c) minimizzare i costi gestionali."*

Gli impianti di fitodepurazione sembrano rispondere ottimamente a queste indicazioni. E' per questo che in Italia, ormai da una decina di anni, gruppi di ricerca, enti pubblici e società private hanno incominciato a verificare, sulla base delle esperienze europee e nordamericane, l'applicabilità della fitodepurazione per il trattamento delle acque reflue civili, per alcuni reflui industriali (prevalentemente agroalimentari) e per la rimozione di nutrienti (inquinamento diffuso di origine agricola). Nonostante una prima fase che ha

portato, per mancanza di esperienze applicative, alla costruzione di impianti mal progettati e in alcuni casi scarsamente funzionanti, il ricorso a tali impianti non si è arrestato.

L'azione coordinata di organismi come l'Agenzia Nazionale Protezione Ambientale (ora APAT), l'ENEA, i gruppi di ricerca universitari (Padova, Pavia, Bologna, Firenze, Udine, Venezia, ... solo per citarne alcuni), alcune ARPA, il gruppo specialistico dell'International Water Association (IWA) sull'utilizzo di macrofite per il trattamento di acque inquinate, sta portando alla definizione di criteri progettuali comuni e alla volontà di istituire una rete di controllo e monitoraggio estesa a tutto il territorio.

Quest'ultimo passaggio risulta fondamentale per ottenere dati che potranno essere comparati, elaborati ed infine utilizzati per calcolare nuove costanti cinetiche di processo necessarie per comprendere le dinamiche di funzionamento indispensabili per la creazione di modelli previsionali attendibili e per la redazione di linee guida progettuali mirate al bacino del Mediterraneo, evitando in questo modo il ricorso ai modelli americani o europei (Brix, 1996; Reed, 1995; Kadlec, 1996; Cooper, 1993), che porta in genere ad una sovrastima delle dimensioni d'impianto necessarie alle nostre latitudini o per l'ottenimento di diversi obiettivi depurativi.

La sezione italiana del gruppo specialistico macrofite dell'IWA sta raccogliendo da anni informazioni, dettagli tecnici e dati di monitoraggio sugli impianti di fitodepurazione realizzati (e sui trattamenti di depurazione naturale in genere), creando una prima raccolta nazionale consistente in circa 170 impianti operativi certi, rispondenti a quelle caratteristiche tecniche comunemente accettate dal mondo scientifico internazionale.

Tale censimento non ha sicuramente un carattere esaustivo e ne risulta particolarmente difficile l'aggiornamento in questi ultimi anni, in cui la fitodepurazione ha mostrato una sempre crescente applicazione, ma al momento è l'unico strumento disponibile e l'investigazione di maggior dettaglio tecnico finora elaborata a livello nazionale.

Considerando l'alto numero di impianti per case singole di cui si sono avute segnalazioni, ma su cui non si sono potute verificare le specifiche progettuali, le modalità operative ed i rendimenti, si può ragionevolmente considerare un numero di impianti maggiore di 300 unità. I dati raccolti sono: localizzazione, tipologia di acque trattate, parametri di processo e di design e, quando disponibili, risultati del trattamento.

Come si può notare dalla rappresentazione grafica in Fig. 1 della distribuzione territoriale degli impianti ad oggi realizzati, la maggior parte dei sistemi sono concentrati nel Centro e nel Nord Italia. Il 75% dei 172 sistemi censiti è infatti distribuito fra Toscana, Veneto ed Emilia Romagna, regioni in cui le autorità locali si sono mostrate maggiormente recettive all'accettazione di questi impianti già da svariati anni.

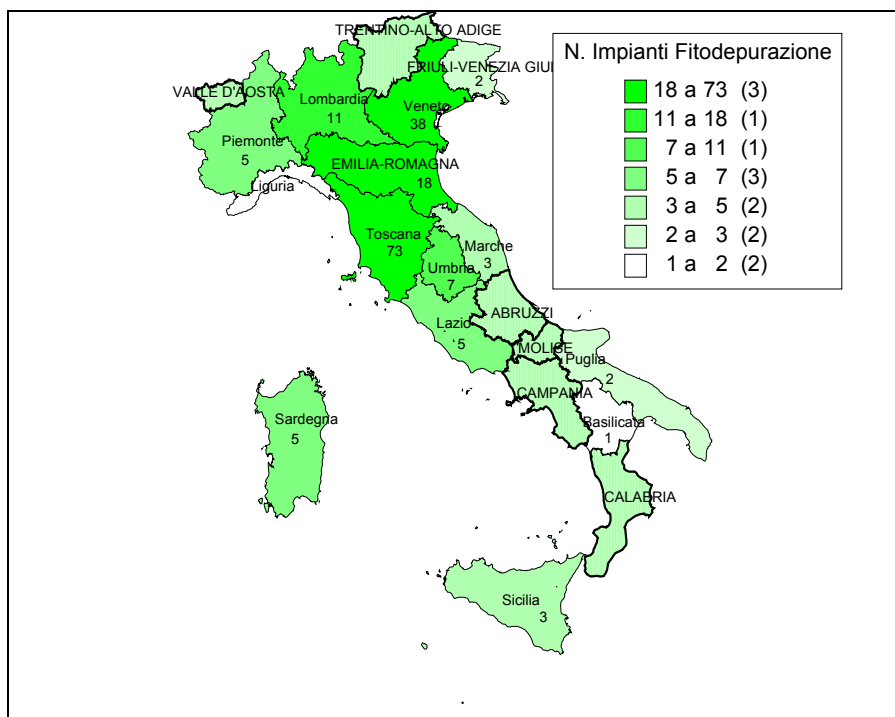


Fig. 1 – Distribuzione geografica degli impianti di fitodepurazione in Italia (Masi, 2002)

La Fig. 2 sottolinea il crescente sviluppo nell'applicazione dei sistemi di depurazione naturale nel nostro paese (tutti gli impianti realizzati nel periodo 1985-1993 sono stati accorpati nell'anno 1993). Dall'osservazione di questo trend di crescita ci si può aspettare un incremento di realizzazioni quasi esponenziale, in special modo andando a considerare l'applicazione di questi sistemi per il trattamento di case isolate (piccoli-medi impianti).

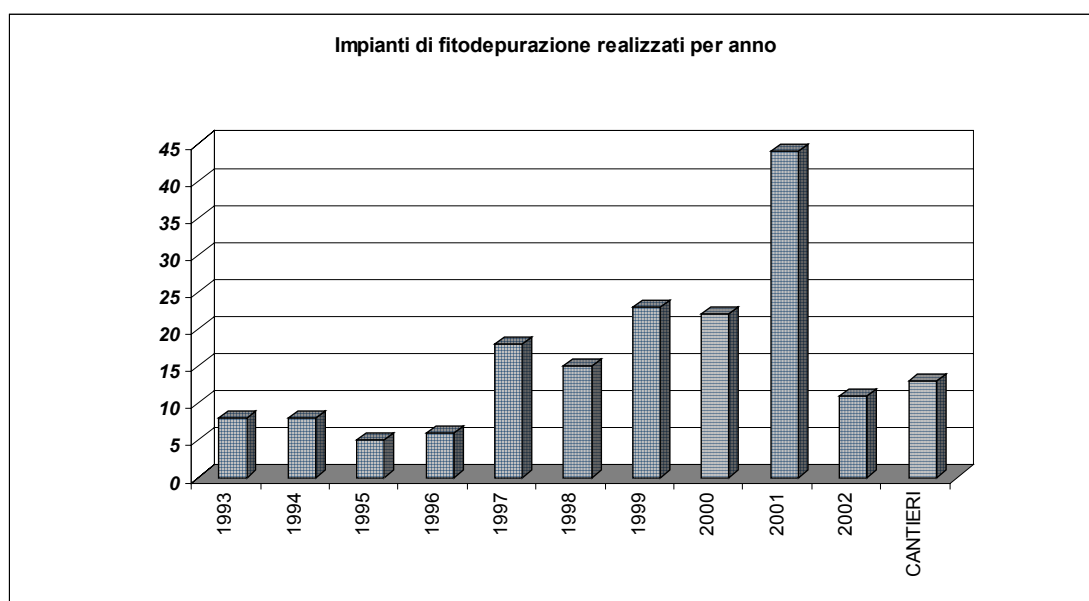


Fig. 2 – Numero di impianti di fitodepurazione realizzati annualmente dal 1993 ad oggi

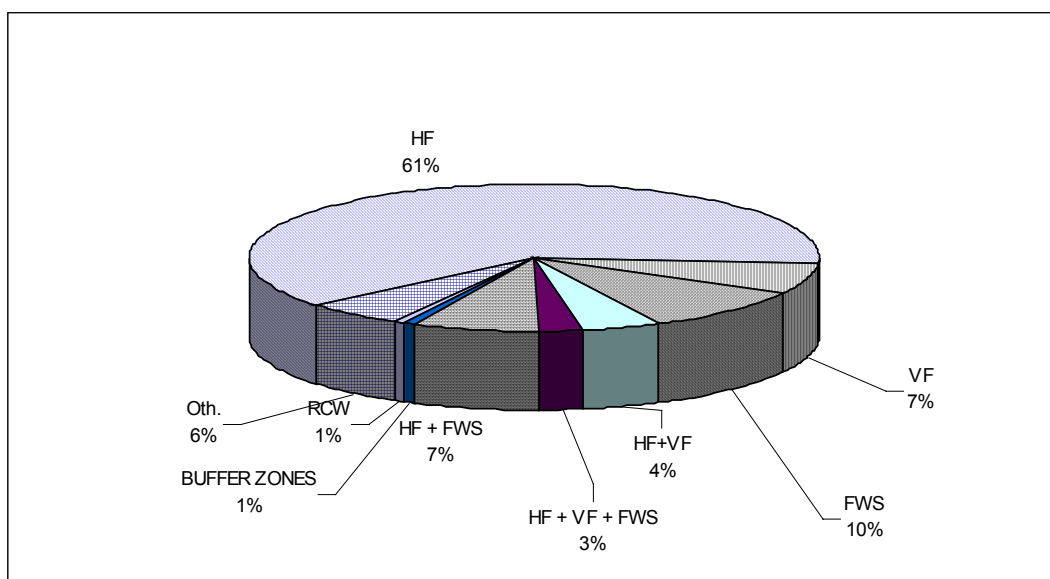


Fig. 3 – Diffusione delle diverse tipologie di impianti di fitodepurazione in Italia

In Fig. 3 sono riportate le diverse tipologie di impianti realizzate, da sole o combinate tra loro. La tipologia più utilizzata è il sistema a flusso sommerso orizzontale (HF), con più di 100 impianti operativi, spesso preferito per la sua maggiore semplicità realizzativa e gestionale rispetto agli altri sistemi. Purtroppo è stato possibile reperire dati di monitoraggio di solamente 16 di essi, quindi la discussione dei risultati presentati in questa sede si riferisce ad una piccola frazione del totale (circa 9%). Tuttavia, su molti degli altri impianti sono state effettuate analisi sporadiche, che comunque risultano nella maggioranza dei casi in buon accordo con le rese di rimozione valutate sugli impianti pilota realizzati e studiati estensivamente da università ed organizzazioni di ricerca pubbliche e private e sui 16 impianti in scala reale.

Anche per i sistemi a flusso sommerso verticale (VF), sui 23 impianti operativi esistenti solo 5 sono stati regolarmente analizzati.

La maggioranza dei sistemi a flusso sommerso, sia HF che VF, circa 120 impianti, sono stati installati per il trattamento di reflui domestici o civili come stadio di trattamento secondario (quindi sempre preceduti da uno stadio di trattamento primario).

I sistemi HF sono stati in gran parte dimensionati con un coefficiente d'area di 3-5 m² ae⁻¹ (ae=abitante equivalente; 60 gr BOD₅ per persona per giorno), mentre i sistemi VF presentano un minore ingombro, con un coefficiente che varia tra 2-3 m² ae⁻¹.

I sistemi a flusso libero (FWS) sono prevalentemente stati realizzati come stadio di trattamento terziario o post-trattamento per impianti biologici esistenti (fanghi attivi, biodischi, etc.) con un'area specifica pari a circa 1.5 m² ae⁻¹ (9 impianti), o come stadio finale in sistemi di fitodepurazione ibridi (quindi insieme alle tipologie a flusso sommerso),

al fine di favorire la disifenzione degli effluenti e di raffinare il trattamento depurativo ai fini del riuso agricolo o industriale delle acque trattate.

Sono presenti in Italia anche alcune importanti esperienze di utilizzo di zone umide seminaturali (NW) o ricostruite (RCW), impiegate prevalentemente per la rimozione di nutrienti nella Regione Veneto, come trattamento a “tecnologia leggera” dell’inquinamento diffuso di origine agricola. Gli interessanti risultati ottenuti in queste esperienze sono stati descritti da Bendoricchio G. et al. (2000), Bragato C. et al. (2002) e Borin M. et al. (2001).

Le esperienze applicative sulle acque industriali sono prevalentemente focalizzate nel settore delle trasformazioni agroalimentari (aziende vitivinicole, caseifici, stalle di mungitura, oleifici, o nel trattamento terziario finalizzato alla rimozione di alcuni inquinanti di lenta degradazione, come tensioattivi (lavaggi auto, industria tessile), coloranti (industria tessile), organici persistenti (polo chimico di Porto Marghera, impianto di Fusina attualmente in via di progettazione).

I sistemi ibridi, e particolarmente l’abbinamento di sistemi a flusso sommerso verticale (VF) ed orizzontale (HF), anche se realizzati al momento in numero limitato, si dimostrano come un’efficace scelta progettuale per l’abbattimento dell’azoto, con un ridotto impiego d’area (1-2 m²/a.e.). I sistemi ibridi sono stati applicati nelle situazioni in cui erano richieste più alte prestazioni e più spinti livelli di rimozione degli inquinanti.

Come si può osservare nella successiva Fig. 4 gli impianti di fitodepurazione realizzati in Italia sono in gran parte di piccola-media taglia. Il numero riportato di impianti per case singole (1-10 ae) è sicuramente sottostimato, per le difficoltà incontrate nel censimento degli stessi, ma si può dare una stima credibile del loro ammontare in circa 150-200 unità.

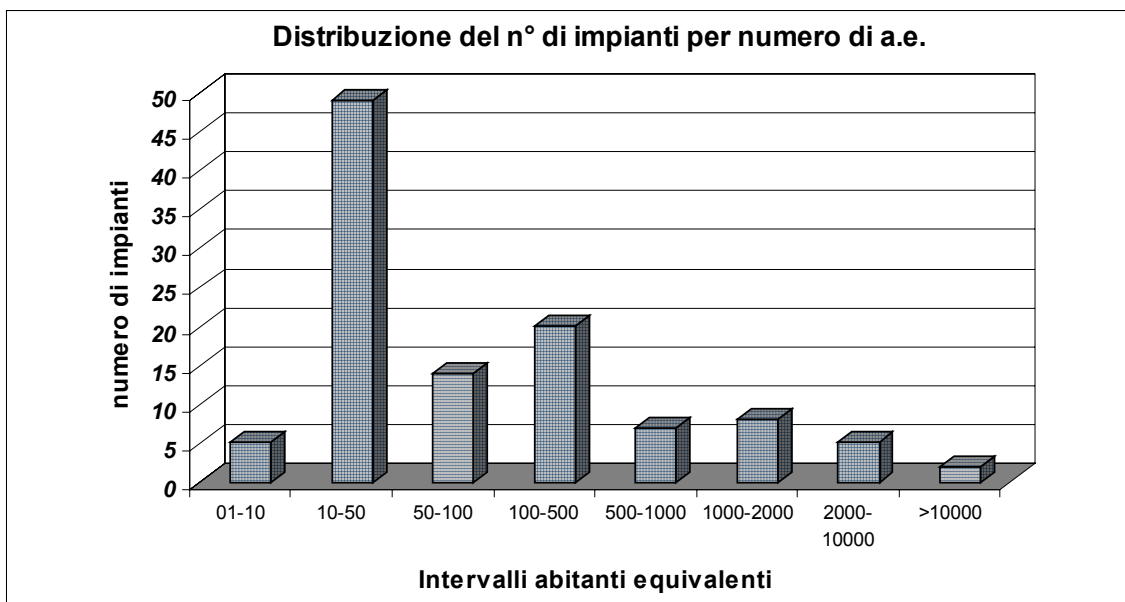


Fig. 4 – Distribuzione del numero di impianti per fasce di utenza

TRATTAMENTO DI FONTI DI INQUINAMENTO PUNTUALE

Come specificato nei precedenti paragrafi, la maggior parte degli impianti di fitodepurazione italiani tratta acque reflue prodotte da sorgenti puntuali. Dall'analisi dei rendimenti degli impianti monitorati, considerando particolarmente quegli impianti con più di tre anni di attività, emergono le considerazioni di seguito suddivise per tipologia impiantistica e stadio di trattamento depurativo.

I sistemi a flusso sommerso sono la soluzione più efficace, in termini di area specifica, per la rimozione del carico organico e della filtrazione dei solidi sospesi.

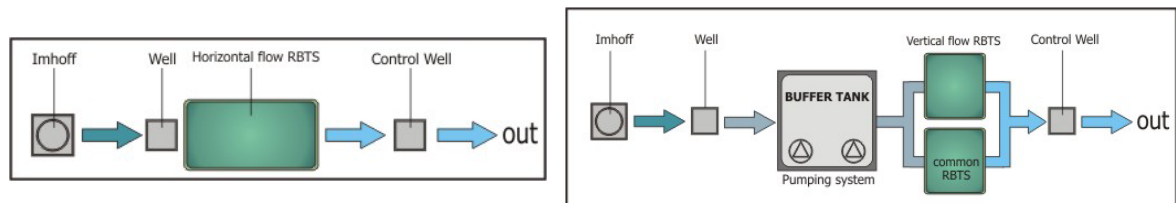
In Italia i sistemi HF sono quasi unicamente riempiti con ghiaia fine (5-10 mm) o con lisetta (1-4 mm), e non presentano le problematiche riportate per tali sistemi riempiti a sabbia di cui è ricca la letteratura dei paesi di lingua tedesca.

I sistemi VF, tecnicamente un po' più complessi a causa della modalità di alimentazione discontinua necessaria per il loro funzionamento, sono tuttavia la migliore tipologia di fitodepurazione per la nitrificazione, anche se si deve utilizzarli in combinazione con i sistemi HF se poi si vuole ottenere un'elevata rimozione dell'azoto per denitrificazione. Il maggior costo della sabbia rispetto alla ghiaia fine in molte zone del paese, fa sì che si debba attentamente valutare la necessità di un'azione depurativa sui nutrienti prima di preferirli ai sistemi HF.

Quando si vogliono ottenere standard di qualità più stringenti (scarico in corpi idrici recettori sensibili, scarico sul suolo, riutilizzo degli effluenti), i sistemi ibridi rappresentano una scelta quasi obbligata nella definizione della configurazione dell'impianto.

I sistemi di trattamento primario sono estremamente importanti, come lo è la loro corretta gestione nel tempo. I più comunemente utilizzati sono le fosse settiche tricamerale e le fosse Imhoff, unitamente a degrassatori per le acque grigie ed in alcuni casi a grigliatura meccanica.

I seguenti schemi a blocchi descrivono le configurazioni degli impianti di fitodepurazione usualmente adottate in Italia (RBTS=Reed Bed Treatment System – normale definizione dei sistemi a flusso sommerso, sia HF che VF, che utilizzano *Phragmites communis*).



SISTEMI A FLUSSO SOMMERSO ORIZZONTALE (HF)

I sistemi a flusso sommerso orizzontale esistenti in Italia sono stati in larga maggioranza dimensionati utilizzando i criteri riportati nella letteratura internazionale: E.P.A. (1993), Cooper P.F. (1990, 1993), Reed et al. (1995), Kadlec & Knight (1995). I risultati ottenuti possono essere quindi comparati con le rese di rimozione riportate nei più aggiornati testi sulle tecniche di fitodepurazione (Vymazal et al., 1998; DLWC-NSW, 1998; IWA, 2000).

I sistemi che mostrano le migliori prestazioni sono riempiti con ghiaia di diametro inferiore ai 10 mm, hanno coefficienti d'area specifica che variano tra 2.5 e 5 m²/ae (con una tendenza verso il limite inferiore di tale intervallo), la pendenza del fondo dell'1-2% ed una profondità media di 0.7 m (Del Bubba, 2000; Garuti, 2000; Masi, 1999; Pucci, 2001, Conte, 2001; Masi, 2002). Gli impianti descritti nella letteratura nazionale sopra citata hanno dimostrato l'elevata affidabilità dei sistemi HF per la rimozione del carico organico, dei solidi sospesi e del carico microbico, indipendentemente da variazioni anche sostanziali nel carico idraulico, delle caratteristiche di composizione delle acque in ingresso e delle temperature esterne.

In pieno accordo con i dati di letteratura, gli impianti HF italiani dimensionati con coefficienti d'area minori di 5 m²/ae non riescono ad ottenere rimozioni dell'azoto ammoniacale superiori al 60-70%, mentre mostrano rese più elevate per la denitrificazione, specialmente nei mesi estivi (Del Bubba, 2000; Garuti, 2000; Masi, 1999).

Masi (2000) riporta un tentativo di individuazione di una correlazione tra le concentrazioni del carico organico (COD) in ingresso e quelle in uscita per 10 impianti HF italiani applicati come trattamento secondario di reflui civili e domestici. I 10 impianti hanno tutti un tempo di ritenzione idraulica (HRT) compreso tra 3-4 giorni. La Fig. 6 mostra la debole relazione tra i valori esaminati (medie annuali sui singoli impianti), mettendo quindi in luce una certa indipendenza della qualità degli effluenti dal contenuto di carico organico dei reflui in ingresso. Questo risultato è in accordo con quanto riportato per il BOD₅ da Vymazal, (1999) su 44 impianti HF nella repubblica Ceca e da Brix, (1998) per 100 impianti HF in Danimarca.

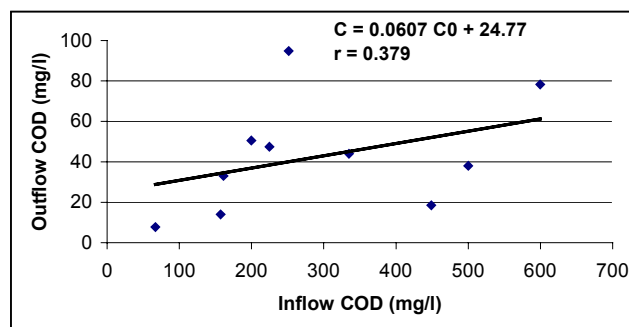


Fig. 5 – Correlazione tra le concentrazioni di COD nei reflui in uscita dai sistemi primari (fosse Imhoff) e le concentrazioni negli effluenti per 10 impianti HF. Ogni punto rappresenta le due medie annuali per ogni singolo impianto.

Aggregando tutti i dati inerenti la rimozione del carico organico, espresso come COD, sui 10 sistemi italiani analizzati si ottiene una rimozione media pari al 83.7% (\pm 10.0%), ed anche questo dato risulta in accordo con simili esperienze nordamericane, norvegesi e ceche (Reed et al, 1993; Maehlum et al, 1998; Vymazal, 1999).

Negli stessi impianti si sono ottenute rimozioni medie dei solidi sospesi pari al 86.1% (\pm 15.3%), dell'azoto ammoniacale pari al 64.0% (\pm 29.4%) e del 94.5% (\pm 7%) per i nitrati.

Conte (2001) mette inoltre in evidenza, mediante uno studio su 4 impianti HF operativi in Toscana da più di quattro anni, come questi sistemi ottengano alle nostre condizioni meteorologiche risultati del tutto comparabili con alcune esperienze inglesi e ceche, realizzate con gli stessi criteri progettuali e con simili materiali, ma con maggiori dimensioni specifiche rispetto al carico idraulico giornaliero (Cooper et al. 1996; Vymazal et al. 1998). Conte descrive infatti impianti con coefficiente d'area compreso tra 1.1 e 2.6 m²/ae, che ottengono abbattimenti del COD pari al 62-95% e dell'azoto ammoniacale pari al 42-85%, ed i valori massimi riscontrabili in questi intervalli sono stati ottenuti nelle esperienze europee solo per impianti dimensionati con coefficienti d'area di circa 4-5 m²/ae. Nel lavoro di Conte viene inoltre considerato l'abbattimento delle sostanze tensioattive anioniche (MBAS), anch'esso sufficientemente elevato (42-88%). Sempre a riguardo della rimozione di tensioattivi in sistemi HF, si segnala l'approfondita ricerca effettuata dal Dip. di Chimica Ambientale dell'Università di Firenze, che ha pubblicato alcuni lavori sull'argomento, in particolare sull'abbattimento dei non-ionici e sulla trasformazione di questi nei vari metaboliti, di cui alcuni rientrano nella famiglia degli ED (Endocrine Disruptors). Nel più recente lavoro di Del Bubba, pubblicato negli atti di questo convegno, viene riportata una rimozione media di circa il 60% della miscela di tensioattivi non-ionici utilizzata, sia a basse che alte concentrazioni e con un HLR di circa 2.2 cm/giorno (Del Bubba et al, presenti atti; Sacco et al., 2003). Rimozioni superiori al 94% erano state precedentemente ottenute sullo stesso impianto HF pilota, con le stesse condizioni operative, per i tensioattivi anionici, analizzati sia come MBAS che come LAS (Linear Alkylbenzene Sulphonates) (Del Bubba et al., 2000).

Può risultare utile anche la comparazione di due impianti HF italiani per reflui domestici (Moscheta – FI e Spannocchia – SI, Conte et al. 2001) che lavorano con un carico idraulico medio giornaliero (HLR) di 4.8 e 5.6 cm/giorno rispettivamente e che ottengono risultati di rimozione del carico organico, dei solidi sospesi e dell'azoto totale comparabili con impianti operativi nei paesi scandinavi, con dimensioni simili ma con HLR nettamente inferiori (minori di 1.5 cm/giorno, Axler et al., 2000). Per quanto riguarda i parametri microbiologici, vengono considerati nel lavoro di Conte tre impianti, i quali ottengono elevate rese di rimozione dei principali indicatori, spesso superiori al 99,9%. Questi risultati sono comparabili sia con quelli ottenuti su impianti europei operanti con HLR più bassi (Ottovà et Al., 1996), sia con impianti con simile HLR ma situati in regioni con condizioni meteorologiche più favorevoli e stabili (Khatiwada and Polprasert, 1999; Masi et al., 1999).

Altri impianti HF degni di attenzione nel panorama nazionale sono le applicazioni ai reflui “industriali”.

Mantovi (2001), del Centro Ricerche Produzioni Animali di Reggio Emilia, ha pubblicato i risultati ottenuti su un sistema HF che tratta le acque di lavaggio di una stalla di mungitura miste a scarichi civili. L'impianto opera con un HLR di circa 4.2 cm/giorno ed ha ottenuto nel primo anno di monitoraggio rimozioni del carico organico superiori al 92% per il COD, con concentrazioni in ingresso superiori ai 1000 mg/l, e del 93% del BOD₅, e superiori al 91% per i solidi sospesi. Anche in questo caso l'impianto HF non si mostra particolarmente versatile per la nitrificazione.

Per quanto riguarda le aziende vitivinicole, sono stati recentemente pubblicati i risultati di alcune ricerche effettuate su tre impianti di fitodepurazione situati in Toscana, in cui sono presenti stadi HF, ed in cui si ottiene una rimozione percentuale del carico organico molto elevata con tempi di ritenzione di 3-4 giorni (anche in questo caso inferiori di 1-2 giorni rispetto a simili esperienze anglosassoni): COD 87-98%, BOD₅ 92-98%. Negli stessi impianti si sono ottenute le seguenti rimozioni medie totali (in quanto due impianti sono configurati come sistemi ibridi): Solidi Sospesi 70-90%, Azoto totale 50-90%, Fosforo Totale 20-60% (Masi et al., 2002).

SISTEMI A FLUSSO SOMMERSO VERTICALE (VF)

In Europa i sistemi a flusso sommerso verticale sono indubbiamente sempre più adottati, specialmente nei paesi di lingua tedesca, dove sono stati recepiti dalle normative tecniche nazionali (ATV per la Germania, ONORM per l'Austria) per il trattamento dei reflui di case sparse e nuclei abitativi di piccola-media entità, ma anche in altri paesi come il Regno Unito, la Grecia, l'Olanda (Vjmazal et al, 1998).

Anche in Italia sta aumentando il numero di realizzazioni di questa tipologia di impianti, sia a livello di piccoli impianti, sia come stadi ossidativi, inseriti per ottenere un'adeguata nitrificazione in impianti ibridi multistadio.

Anche le esperienze italiane mostrano elevate capacità di nitrificazione dei sistemi VF, normalmente riempiti con sabbia grossolana (0.05-0.1 mm) o con lisetta (0.1-0.5 mm) ed alimentati in discontinuo sia con sistemi elettromeccanici di pompaggio che con sifoni di cacciata. L'esperienza tedesca sui sistemi VF ha ben chiarito quali siano i limiti dimensionali, specialmente in termini di HLR, che garantiscono un buon funzionamento nel tempo evitando i fenomeni di occlusione superficiale che sono tipici di sistemi sottodimensionati.

Pertanto anche gli impianti italiani sono stati realizzati con coefficienti d'area di 2-5 m²/ae per il trattamento secondario di reflui domestici o civili e le macrofite maggiormente utilizzate sono sempre le *Phragmites australis*.

Romagnolli (atti del presente convegno), ha raccolto i dati di tre sistemi VF localizzati rispettivamente nel Nord, Centro e Sud Italia. I tre impianti hanno le stesse caratteristiche costruttive (3 m²/ae, riempiti con 60 cm di sabbia grossolana, alimentati con 50 lt/m².giorno) e gestionali e mostrano eccellenti rimozioni dell'azoto ammoniacale (60-90%), insieme ad un'elevato abbattimento del COD (92-99.9%) e del BOD₅ (97-99%).

Di particolare interesse le esperienze dell'ENEA, prima con impianto pilota a San Matteo della Decima (BO) e successivamente con un impianto a scala reale presso un'azienda vitivinicola a Canelli (AS), sulla disidratazione e mineralizzazione dei fanghi di supero prodotti in impianti a fanghi attivi con sistemi VF opportunamente modificati. I risultati dei primi anni di esercizio dell'impianto di Canelli sono in via di pubblicazione.

Un'altra particolare applicazione dei sistemi a flusso sommerso verticale è riportata da Vecchiet in un articolo, pubblicato negli atti di questo convegno, in cui si riporta l'esperienza di un impianto di fitodepurazione a flusso verticale per l'affinamento dei reflui effluenti da un impianto a fanghi attivi a servizio della tintoria di filati tessili Ziche Manifattura Lane S.p.A di Breda di Piave (TV): avviato nel febbraio 2002, è stato realizzato e monitorato da CETA con la collaborazione di AREA Science Park di Trieste e con il supporto finanziario del MURST (Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica Tecnologica). Le analisi condotte hanno evidenziato una riduzione del COD mediamente del 43% e una rimozione dei tensioattivi non ionici BiAS compresa tra il 65 ed il 92%.

ZONE UMIDE ARTIFICIALI PER IL TRATTAMENTO TERZIARIO

Proprio per la loro adattabilità alle variazioni di carico idraulico e di sostanze inquinanti, per la loro facile e poco onerosa gestione e per gli evidenti vantaggi di inserimento ambientale rispetto ad altri sistemi, le zone umide artificiali si prestano assai bene come stadio di trattamento terziario o di affinamento degli effluenti di depuratori tecnologici esistenti.

Le principali funzioni della fitodepurazione in questa specifica applicazione sono:

- il tamponamento di eventi di malfunzionamento dell'impianto a monte;
- l'ottenimento di elevati standard di disinfezione degli effluenti mirato al riutilizzo degli stessi a fini agricoli o industriali o al ripascimento delle falde presso le fasce costiere;
- il raggiungimento di elevate rimozioni di nutrienti, sfruttando in particolar modo la particolare capacità di denitrificazione dei sistemi HF.

In Italia sono stati realizzati circa 35 impianti di fitodepurazione per trattamento terziario, di cui alcuni HF a singolo stadio (Barbagallo et al, 2002; Conte et al, 2001), alcuni sistemi misti HF+FWS (impianto Gorgovivo di Jesi, attualmente in fase di avvio), ma prevalentemente sistemi FWS (sistemi a flusso libero), come ad esempio i 5 impianti sul Fiume Trebbia (Bisogni, 2000).

Solo 13 impianti sono stati monitorati con regolarità. Due sistemi HF, entrambi posizionati a valle di impianti a fanghi attivi, ed aventi entrambi un coefficiente d'area di circa $1 \text{ m}^2/\text{ae}$, hanno efficacemente svolto l'azione di tamponamento dei picchi di concentrazione degli inquinanti in uscita dagli impianti a monte ed hanno mostrato rimozioni del COD e dei nitrati rispettivamente negli intervalli del 59-88% e del 78-84%. (Masi, 2000).

L'applicazione di un sistema HF per l'abbattimento della carica batterica residua negli effluenti di un filtro percolatore che tratta una popolazione di circa 1100 ae in Sicilia è illustrata da Barbagallo et al. (2002). I risultati ottenuti mostrano rimozioni maggiori del 99% per i batteri indicatori, ottenuti con un tempo di ritenzione di circa 2-3 giorni (circa 1 m²/ae), ed abbattimenti di circa il 68% per il BOD₅ e del 76% per il COD.

Tra i sistemi FWS sul Trebbia, l'impianto di Bobbio è stato approfonditamente monitorato per un lungo periodo. Le rimozioni medie ottenute riportate da Bisogni (2000) sono: BOD₅ 50%, COD 10%, Nitrati 80%, Nitriti 88%, Fosforo 33%, Coliformi Fecali 99.9%.

CONCLUSIONI

Considerando le buone rese depurative ottenute, il positivo impatto sull'opinione pubblica, i bassi costi gestionali e le ultime disposizioni di legge in materia di depurazione delle acque di scarico, si può concludere come i sistemi di fitodepurazione stiano diventando un valido strumento per il trattamento delle acque reflue in Italia, in special modo per applicazioni su piccole-medie utenze quale trattamento secondario e come trattamento finale di affinamento e disinfezione per medi-grandi impianti tecnologici. Dall'osservazione dei primi significativi monitoraggi sugli impianti esistenti, dando particolare rilevanza agli impianti che abbiano già raggiunto un livello di esercizio "a regime" (generalmente dopo 2-3 anni dall'attivazione), sembra emergere l'evidenza che l'utilizzo dei criteri di dimensionamento utilizzati nei paesi del nord e del centro Europa produca dei sovradimensionamenti nelle condizioni meteorologiche tipiche del bacino Mediterraneo. Le rese di rimozione che si ottengono sugli impianti di fitodepurazione (zone umide costruite) italiani sono invece in maggior accordo, in relazione al carico idraulico, alla qualità delle acque reflue trattate ed al coefficiente d'area utilizzato, con altre esperienze mediterranee, come ad esempio le esperienze Slovene, illustrate da Zupancic in una comunicazione inclusa in questi atti.

BIBLIOGRAFIA

- Axler R., Henneck J. and McCarthy B. (2000). Residential subsurface flow treatment wetlands in northern Minnesota. *Proceedings of 7th Intern. Conf. on Wetland Systems for Water Poll. Control.*
- Barbagallo S., Cirelli G.L., Consoli S., Toscano A. e Barbera A., Experiences on Constructed Wetland as tertiary treatment for wastewater reuse: the case-study of "S.Michele di Ganzaria" (Sicilia), *Proceedings of 1th International Conference on small wastewater technologies and management for the Mediterranean area*, Siviglia, Spagna, 20-22 marzo 2002, pp. 23.
- Bendoricchio G., Dal Cin L. e Presson J., Guidelines for free water surface wetland design, *Ecosys Bd.* 8, 51-91, 2000.
- Bisogni L., Ecosistemi filtro della Val Trebbia, Atti della 1° edizione del corso "Sistemi di fitodepurazione", Milano, FAST, 22-24 maggio 2000.
- Borin M., Bonaiti G., Santamaria G. e Giardini L. (2001). A constructed surface flow wetland for treating agricultural waste waters. *Water Science & Technology*, vol. 44, n. 11/12, 523-530.
- Bragato C., Piran S. e Malagoli M., Efficiency of nutrient and heavy metal removal by *Phragmites Australis* and *Bolboschoenus Maritimus* growing in a re-constructed wetland, *Proceedings of the*

- 8th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, IWA, Arusha, Tanzania, pp. 109-115.
- Brix H. (1996) *Design Criteria for a two-stage constructed wetland*, Proceedings of the 5th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, IX/6, Vienna, Austria.
- Brix H. (1998) *Denmark*. In *Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe*. Vymazal J., Brix H., Cooper P.F., Green M.B., Haberl R (eds). Backhuys publ. Leiden, pp. 123-152.
- Conte G., Martinuzzi N., Giovannelli L., Pucci B. e Masi F., (2001). Constructed wetlands for wastewater treatment in central Italy, *Water Science & Technology*, vol. 44, n. 11/12, 339-343.
- Cooper P. F., Ed. (1990). *European design and operations guidelines for reed bed treatment systems*. WRC Report UI 17, presented to the *Conf. Constructed Wetlands in Water Pollution Control*. Cambridge, U.K., September 1990.
- Cooper P. F. (1993). *The use of reed bed systems to treat domestic sewage: the European design and operations guidelines for reed bed treatment systems*. In: *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. G. A. Moshiri Ed., Lewis, Boca Raton, pp. 203-217.
- Cooper P.F., Job G.D., Green M.B. and Shutes R.B.E. (1996). *Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment*. WRC Seven Trent Water.
- Del Bubba M., Lepri L., Griffini O., Tabani F. (2000). *Nitrogen Removal in a pilot scale subsurface horizontal flow constructed wetland*. Ann. Chim.-Rome, in press.
- Del Bubba M., Lepri L., Cincinelli A., Griffini O., Tabani F., (2000). Linear Alkylbenzenesulphonates (LAS) removal in a pilot submerged horizontal flow constructed wetland. in *Proceedings of 7th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, IWA, Orlando, Florida, 11-16 Nov 2001, pp. 919-925.
- DLCW - NSW (1998). *The Constructed Wetlands Manual*. Department of Land and Water Conservation – New South Wales - Australia
- IWA Specialist Group on use of Macrophytes in Water Pollution Control (2000). *Constructed Wetlands For Pollution Control.- Processes, performance, design and operation*. Scientific and Technical Report n° 8. IWA Publishing, London.
- Kadlec R. H., Knight R. L. (1996). *Treatment Wetlands*. CRC Press/Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- Kemp M.C. and George D.B. (1997). Subsurface flow constructed wetlands treating municipal wastewater for nitrogen transformation and removal. *Wat. Environ. Res.* Vol. **69** (7), 1254-1262.
- Khawiwada N.R.; Polprasert C. (1999). Kinetics of fecal coliforms removal in constructed wetlands. *Water Science & Technology*, vol. **40**, n. 3, 109-116.
- Garuti G. (2000). *Vertical and horizontal flow reed beds for tourist areas in Italy*. Personal Communication.
- Maehlum T., and Jenssen P.D. (1998). *Norway*. In *Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe*. Vymazal J., Brix H., Cooper P.F., Green M.B., Haberl R (eds). Backhuys publ. Leiden, pp. 217-225.
- Mantovi P., Piccinini S. (2001). Trattamento di fitodepurazione delle acque reflue della zona di mungitura. *L'Informatore Agrario*, n. 33, pp. 53-57.
- Masi F., Martinuzzi N., Loiselle S., Peruzzi P. and Bacci M. (1999). The tertiary treatment pilot plant of PubliSer Spa (Florence, Tuscany): a multistage experience. *Water Science & Technology*, vol. **40**, n. 3, 195-202.
- Masi F., Bendoricchio G., Conte G., Garuti G., Innocenti A., Franco D., Pietrelli L., Pineschi G., Pucci B., Romagnoli F., (2000). Constructed wetlands for wastewater treatment in Italy: state of the

- art and obtained results, *Proceedings of 7th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, IWA, Orlando, Florida, 11-16 Nov 2000, pp. 979-986.
- Masi F., Conte G., Martinuzzi N. e Pucci B., (2002). Winery high organic content wastewater treated by constructed wetlands in mediterranean climate, *Proceedings of the 8th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, IWA, Arusha, Tanzania, pp. 274-282.
- Ottová V., Balcarová J. and Vymazal J. (1996). Microbiological Characteristics of constructed wetlands. *Proceedings of the 5th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, I/13, IAWQ, Vienna, Austria.
- Pucci B., Conte G., Martinuzzi N., Giovannelli L. e Masi F. (2000). Design and performance of a horizontal flow constructed wetland for treatment of dairy and agricultural wastewater in the "Chianti" countryside, *Proceedings of 7th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, IWA, Orlando, Florida, 11-16 Nov 2000, pp. 1433-1436
- Reed S. C., Crites R. W. and Middlebrooks E. J. (1995). *Natural Systems for Waste Management and Treatment* - 2nd ed. McGraw Hill, New York, 173-284.
- Sacco C., Pizzo A., Piscione E., Burrini D., Messeri L., Lepri L. and Del Bubba M. (2003). Aerobic bacterial community associated with the removal of alkylphenol polyethoxylates (APEOs) in a pilot-scale sub-surface horizontal flow reed bed. *Wat Res.*, submitted.
- Sansoni G., Casotti M. (1998). Ruolo della fitodepurazione nell'ambito di una strategia complessiva di recupero ambientale. Atti giornata di studio "Fitodepurazione: da tecnica depurativa a strategia di salvaguardia ambientale", Filattiera (MS), 25 settembre 1998.
- U.S.E.P.A. (1993). *Subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment*. EPA 832-R-93-001, U.S.E.P.A. Office of Water (WH547).
- Vymazal J., Brix H., Cooper P.F., Green M.B., Haberl R. (1998). *Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe*. Backhuys publ. Leiden. The Netherlands.
- Vymazal J. (1999). Removal of BOD₅ in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: Czech experience. *Water Science & Technology*, vol. **40**, n. 3, 133-138.