

# Il sistema fitodepurativo sub-superficiale a flusso discontinuo verticale "VFB"

Luigi Fanizzi  
Ecoacque snc - Giovinazzo

Negli ultimi trent'anni è nettamente aumentato (William, 1990) l'interesse per i sistemi di trattamento delle acque reflue mediante aree umide artificiali (Constructed Wetlands).

Le motivazioni che hanno sostenuto la ricerca e le prime realizzazioni in questo campo si possono riassumere nei seguenti punti (Piraccini, 1998):

- ▶ ridurre l'impatto di un eccesso di sostanze eutrofizzanti sugli ambienti idrici ricettori, chiudendo preferibilmente all'interno delle stesse aree di generazione i cicli di queste sostanze;
- ▶ possibilità di riutilizzare l'acqua depurata per usi compatibili (orti, giardini, acquari, ecc.);
- ▶ privilegiare un processo a basso consumo d'energia convenzionale (circa il 60% inferiore) ad un processo a fanghi attivi (Romagnoli, 2000);
- ▶ adottare sistemi di facile e sicura gestione (raccolta e trinciatura annuale della biomassa prodotta ed assenza di trattamenti chimico-fisici di finissaggio e/o disinfezione) e costruire manufatti gradevoli ad impatto ambientale di bassa magnitudo (scelta del sito e geometrie dimensionali);
- ▶ ridurre i costi di collettamento degli scarichi, evitando la realizzazione di lunghi collettori fognari economicamente non giustificabili nel caso di piccoli insediamenti.

Su queste basi si sono dunque sviluppate, dalla metà degli anni '70 (Pucci, 2000), svariate esperienze d'utilizzo pianificato e ben controllato del potere autodepurativo di alcune zone umide naturali, per il raggiungimento di precisi "obiettivi di qualità" delle acque e, soprattutto, di "ricostruzione" o "creazione" di sistemi umidi (Shater et al., 1990).

In questi sistemi, basati sulla coltivazione in massa di macrofite emergenti, gli inquinanti sono rimossi grazie ad un sinergismo di processi chimici, fisici e biologici; tra questi sedimentazione, precipitazione, adsorbimento, assimilazione da parte delle piante ed attività microbica sono i più efficaci (Brix, 1993).

## Impianto a Vertical Flow Bed

I sistemi di trattamento e depurazione delle acque reflue mediante aree umide costruite - nel nostro paese comunemente definiti impianti di fitodepurazione - sono sistemi ingegnerizzati progettati e costruiti per riprodurre artificialmente i naturali processi autodepurativi in un ambiente maggiormente controllabile (Pucci, 2000).

La prima esperienza di questo tipo risale al 1952, anno in cui Seidel iniziò una serie di sperimentazioni al Max Planck Institute di Plon (Seidel, 1955). Ci sono però poi voluti circa vent'anni di ricerche per arrivare, nel 1977, al primo impianto di fitodepurazione in scala reale, costruito ad Othfresen in Germania per il trattamento delle acque reflue urbane (Kickuth, 1977). Solo nel 1988 fu ideato e realizzato, sempre in Germania, nel Centro per l'Energia e l'Ambiente di Hannover, il primo impianto di fitodepurazione a flusso discontinuo verticale sub-superficiale (Vertical Flow Bed o VFB). La peculiarità di questo sistema è quella di avere un'alimentazione di acqua (percolazione), all'interno del filtro verticale (medium), in modo intermittente (reattore batch).

L'intermittenza, infatti, permette di evitare che l'acqua all'interno dei

tubi geli e, ad ogni modo, di limitare l'evapotraspirazione e l'insorgenza di cattivi odori. Inoltre il substrato del filtro è costituito prevalentemente da sabbia, in cui le tracce di ferro favoriscono la precipitazione dei fosfati (Romagnoli, 2000).

## Dimensionamento

I trattamenti di fitodepurazione, mediante letti a macrofite emergenti, con sistema sub-superficiale a flusso verticale intermittente, sono dimensionati attraverso l'equazione di Reed (1995), che descrive il bioprocesso depurativo nel reattore con una cinetica del primo ordine:

$$C_e/C_i = e^{-K_t \cdot HRT} \quad (1)$$

con:

$$HRT = n \cdot L \cdot W \cdot y/Q \quad (2)$$

Il moto idraulico percolativo è invece definito con la legge di filtrazione di Darcy (1856). Le aree del letto, trasversale e superficiale, sono date, pertanto, rispettivamente dalle relazioni:

$$A_t = Q \cdot \ln(C_i/C_e)/(K_t \cdot n \cdot L) \quad (3)$$

$$A_s = Q/(K_p \cdot J) \quad (4)$$

dove:

**HRT** = tempo di ritenzione idraulico convenzionale [d];

**As** = area superficiale del letto [m<sup>2</sup>];

**Q** = portata media giornaliera [m<sup>3</sup>/d];

**C<sub>i</sub>** = concentrazione del poluente influente [mg/L];

**C<sub>e</sub>** = concentrazione del poluente effluente [mg/L];

**K<sub>t</sub>** =  $K_{20} \cdot \Theta^{(T-20)}$ ;

- $K_{20}$  = costante della cinetica del primo ordine della temperatura a 20 °C [d<sup>-1</sup>];
- $\Theta$  = coefficiente di temperatura [adimensionale];
- $T$  = temperatura del liquame [°C];
- $n$  = porosità del mezzo di riempimento del letto [adimensionale];
- $y$  = altezza del letto [m];
- $A_t$  = area trasversale del letto [m<sup>2</sup>];
- $K_p$  = permeabilità del mezzo di riempimento del letto [m/d];
- $J$  = gradiente idraulico [m/m].

Le costanti cinetiche del primo ordine a 20 °C ed i coefficienti di temperatura, in sistemi a film biologico fisso, valgono rispettivamente: 0,72 ( $K_{20}$ ) e 1,04 ( $\Theta$ ) per la rimozione del carbonio (BOD<sub>5</sub>) e 0,20 ( $K_{20}$ ) e 1,05 ( $\Theta$ ) per la rimozione dell'azoto ammoniacale (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

Per quanto riguarda il mezzo di riempimento del letto, la porosità e la permeabilità delle sabbie medie ( $\phi = 0,3 \div 0,6$  mm) e grosse (1 ÷ 2 mm), valgono (Frangipane et al., 1994):

RIEMPIMENTO	n	K <sub>p</sub>
Sabbie medie	0,40	420
Sabbie grosse	0,35	480

Per la temperatura del liquame, può considerarsi valida l'espressione:

$$T = 8 \text{ °C} + (0,50 \cdot T_{\text{aria}} \text{ °C}) \quad (5)$$

ove con  $T_{\text{aria}}$  è espressa, in gradi centigradi, la temperatura media dell'aria del mese più freddo (Ventura, 1997). Il gradiente idraulico  $J$  rappresenta la perdita di carico per metro di letto: si assume che esso sia uguale al rapporto unitario  $y/y = 1$  (m/m), potendo in tal modo ritenersi costante il tirante idrico rispetto al fondo drenato del letto. Progettualmente è opportuno che il valore di  $J$  non superi il 10% del valore massimo utilizzabile. Ciò per tenere in considerazione la non omogeneità del materiale posto in opera e gli effetti dell'intasamento, a lungo termine, che possono decrementare il valore della conducibilità idraulica (Pergetti, 1994).

In **Figura 1** sono rappresentati gli schemi, matematico e costruttivo, del sistema di trattamento sub-superficiale a flusso discontinuo verticale "VFB", mediante piantumazione ed attecchimento di *Phragmites australis* (fragmiteto).

La conoscenza dell'area superficiale e di quella trasversale, permette il

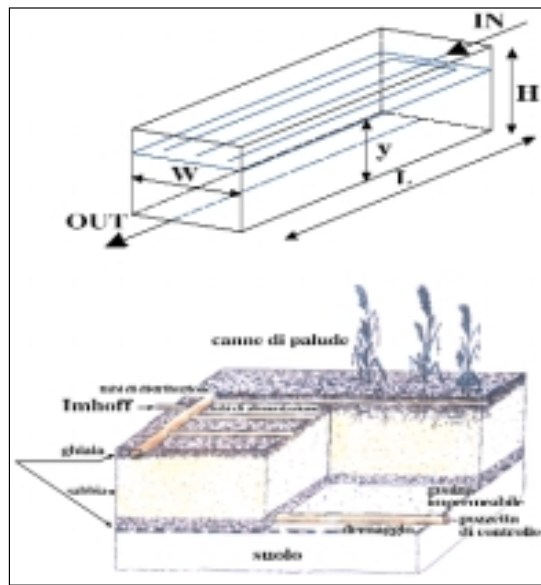


Figura 1 - Schema, matematico e costruttivo, del sistema fitodepurativo batch.

calcolo della lunghezza  $L$  [m] e della larghezza  $W$  [m] del letto, nota che sia la sua altezza  $y$  [m] (comparabile alla profondità massima raggiungibile dalle radici), cioè 0,60 m,

per minimizzare i volumi di letto (Del Bubba et al., 1998). E' bene che il rapporto adimensionale  $L/W$  sia superiore od uguale a 0,5 onde evitare cortocircuiti idraulici (vincolo idraulico) e, in ogni caso, inferiore a 3, onde evitare di applicare un carico organico eccessivo nelle sezioni iniziali del letto (Pergetti, 1994).

## L'impianto

La piantumazione del fragmiteto deve avvenire in primavera quando riprende, in modo sensibile, l'attività vegetativa delle piante (Del Bubba, 1998). Per quanto riguarda le macrofite emergenti si possono utilizzare 4 rizomi o 4 pianticelle per metro quadrato di letto: le pianticelle, rispetto ai rizomi, tendono a produrre una più rapida copertura del letto (Cooper et al., 1990).

Circa la capacità d'ossigenazione da parte delle *Phragmites australis*, nei confronti del medium di riempimento sabbioso, è doveroso ricordare che i dati di letteratura, in proposito, riportano valori variabili da 5 a 12 g O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> x d (Armstrong et al., 1990).

A monte del sistema "VFB", le acque reflue vengono pretrattate in fossa Imhoff e pozzetti degrassatori d'adequate dimensioni.

A valle della sedimentazione primaria è installata una stazione di sollevamento che permette di regolare (e-qualizzazione) la portata in ingresso al bacino fitodepurativo.

L'impermeabilizzazione del bacino di contenimento è realizzata tramite una guaina impermeabile di HDPE di 1 ÷ 2 mm (in soluzione mono o multistrato). Sul fondo del bacino è posta una condotta ventilata di captazione in HDPE

termosaldabile, avente pendenza generalmente pari all'1% ÷ 2%, che raccoglie le acque depurate. Tale tubazione è costituita da un tubo fessurato del tipo drenante con fessure di dimensioni pari a 3 mm, per non essere occluse dalla ghiaia d'involuppo di granulometria 4 ÷ 8 mm.

La stessa tubazione convoglia le acque in un pozzetto, posto all'uscita del bacino,

ove all'interno è posto un sistema di regolazione del livello idrico all'interno del letto (Reed & Brown, 1992). Successivamente è posto il materiale di riempimento (medium) costituito da sabbia grossa di granulometria 1 ÷ 2 mm. Lo spessore del medium è circa 0,60 m. Sopra questo strato drenante sono poste delle tubazioni d'adduzione costituite da tubi in PVC (UNI 302-303, 25 ÷ 50 mm DN ≥ ), su cui sono praticati dei fori, di dimensioni pari a 6 mm, alla distanza di circa 1 m l'uno dall'altro; questo per permettere una distribuzione uniforme del liquame sulla superficie del letto (Piraccini, 1998). Il sistema di distribuzione del liquame deve permettere un'uniforme irrorazione dello strato filtrante, perciò le tubazioni sono poste alla distanza di circa 1 m l'una dall'altra. Le stesse tubature dovranno essere ricoperte da un ulteriore strato di ghiaia di granulometria 7 ÷ 14 mm, per uno spessore di 10 ÷ 15 cm (per evitare che l'apparato radicale delle piante ostruisca i succitati fori, è opportuno ricoprire questi ultimi con spezzoni di tubo corrugato e fessurato, del tipo drenante). In questo strato di ghiaia so-

no poste a dimora le piante elofite. Il sistema VFB, ancora relativamente nuovo nel panorama della fitodepurazione, ma già sufficientemente validato, ha la prerogativa di consentire una notevole diffusione dell'ossigeno anche negli strati più profondi del bacino, giacché la diffusione di questo elemento è circa 10.000 volte più veloce nell'aria che nell'acqua, e di alternare periodi di condizioni "ossidanti" a periodi di condizioni "riducenti".

I tempi di ritenzione idraulica (HRT = 2 ÷ 10 d, *Rotondo & Franchino*, 1992), nella massa filtrante sabbiosa, favoriscono sia la denitrificazione sia l'adsorbimento del fosforo.

Le esperienze del De Maesener (1997) su tali sistemi hanno mostrato che non si rilevano fenomeni d'intasamento quando si utilizza un'alimentazione discontinua inferiore al massimo carico idraulico superficiale (Cis) di 0,16 ÷ 0,20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x d (*Rotondo & Franchino*, 1992, *Vismara*, 1998).

Particolarmente importante è che *Phragmites australis* non funziona, come visto, solo come "pompa d'ossigeno", ma è anche in grado di costruire intorno ai suoi fusti un "microsistema" molto efficiente in grado di eliminare elementi patogeni (*Brix*, 1994 e *Vretare*, 2000). Esperienze svolte, in merito, al CETA (Centro di Ecologia Teorica ed Applicata) di Trieste, hanno evidenziato una rimozione media, sui coliformi totali, non inferiore al 97,5% ( $\cong C_e/C_i = 0,025$ ); la specifica relazione sviluppata, da un bilancio tra batteri coliformi totali entranti ed uscenti dal bacino fitodepurativo, all'equilibrio dinamico vale (*mod. Vecchiet*, 2000):

$$C_e/C_i = 1/(1 + K_b \cdot \text{HRT}) \quad (6)$$

con:

**K<sub>b</sub>** = costante di scomparsa batterica [d<sup>-1</sup>];

**K<sub>b</sub>** = 200 · 1,05<sup>(T-20 °C)</sup>

**C<sub>i</sub>** = concentrazione Coli totali influente [mg/L];

**C<sub>e</sub>** = concentrazione Coli totali effluente [mg/L];

**HRT** = tempo di ritenzione idraulico convenzionale [d].

I batteri coliformi, infatti, sono particolarmente sensibili ai rapidi cam-

biamenti nel tenore di ossigeno disciolto (*Brix*, 1993). Nella sottostante tabella si riportano, infine, i valori medi di rendimento specifici, riscontrabili negli impianti "VFB":

INQUINANTE	RENDIMENTO
BOD <sub>5</sub>	95 %
COD	90 %
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	90 %
P	85 %
Coliformi totali	98 %

Milano.

♦<sup>5</sup> S. C. Reed (1995): "Natural system for waste management", 2a edizione, Mc Graw-Hill Inc., USA.

♦<sup>6</sup> E. Piraccini (1998): "Una applicazione

## Bibliografia

♦<sup>1</sup> G. De Marchi (1986): "Idraulica - Basi scientifiche ed applicazioni tecniche", Vol. 1°, parte 2a, Ed. Hoepli, Milano.

♦<sup>2</sup> M. Pergetti (1994): "Criteri progettuali e costruttivi di un sistema a flusso sub-superficiale per piccole comunità", Quaderno I. A. N° 20, Ed. CIPA srl, Milano.

♦<sup>3</sup> H. Brix (1994): "Function of macrophytes in constructed wetlands", Water Scienze & Technology, Vol. 29, N. 4, USA.

♦<sup>4</sup> E. Frangipane e G. Pastorelli (1994): "Impianti di depurazione di piccole dimensioni", Edizione CIPA srl,

di tecniche di fitodepurazione presso l'A.M.G.A di Cesena", Ingegneria Ambientale n. XXVII, n° 3 marzo 1998, Ed. CIPA srl, Milano.

♦<sup>7</sup> B. Pucci (2000): "La fitodepurazione per il trattamento delle acque reflue civili ed il loro riuso", Atti del Convegno su il riuso delle acque reflue: l'esperienza di Pistoia nel settore vivaistico, 14 dicembre 2000, Pistoia.

♦<sup>8</sup> M. Vecchiet (2000): "La fitodepurazione a flusso verticale nel trattamento delle acque reflue di origine civile", Quaderno dell'ARPA - Emilia Romagna su il riuso delle acque reflue urbane in agricoltura, Ind. Grafiche Labanti & Nanni, Bologna.



*Phragmites australis*