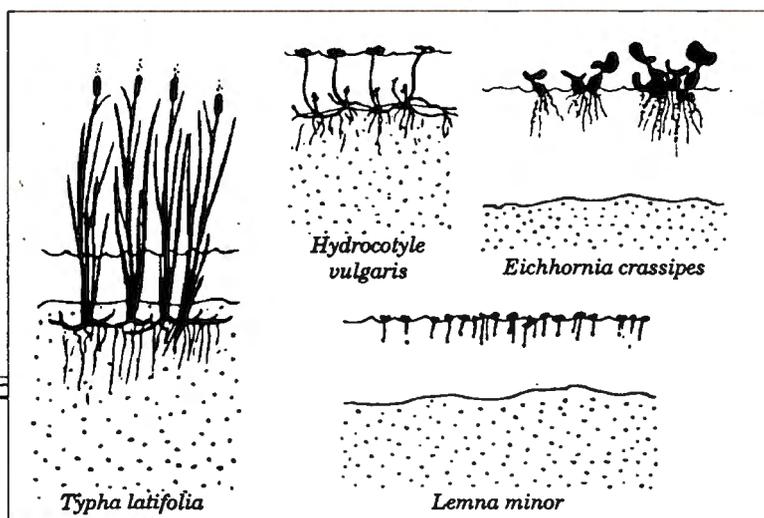


DEPURAZIONE



RUOLO DELLA FITODEPURAZIONE NELL'ABBATTIMENTO DEI NUTRIENTI*

Franca Egaddi**

INTRODUZIONE

Verranno qui presentati alcuni aspetti del complesso problema della coltivazione delle piante acquatiche come mezzo per depurare le acque di scarico, basandoci su una raccolta ed un esame critico della letteratura internazionale concernente tale tema.

L'interesse per questo tema di ricerca è dettato dall'esigenza di fare il punto e promuovere studi tendenti a ridurre gli effetti di alcuni residui inquinanti, ed in prevalenza dei nutrienti provenienti da attività umane, e di privilegiare quei processi di risanamento ambientale che, sfruttando l'energia solare, potrebbero costituire un contributo non trascurabile al risparmio di energia convenzionale.

Le acque di scarico, anche se trattate, presentano ancora un elevato contenuto di nu-

trienti, in particolare azoto e fosforo. Infatti il processo tradizionale di depurazione non riduce di molto la quantità complessiva di questi nutrienti immessi nell'ambiente, ma ne cambia soprattutto la composizione e lo stato fisico-chimico, in modo tale che essi risultano più facilmente assimilabili.

Per limitare gli effetti negativi in termini di costi energetici e di contributo al processo di eutrofizzazione, le strade da seguire possono essere o di ridurre la quantità di residui negli scarichi non trattati attraverso un processo di riciclaggio prima che essi diventino rifiuti, o di guardare a questi residui come a delle risorse da riconvertire in sostanze a maggiore potere aggiunto.

Le ricerche che si sono sviluppate in questo settore negli anni scorsi erano mirate prevalentemente:

- all'individuazione di specie vegetali caratterizzate da una elevata produttività e una buona qualità di biomassa;
- all'ottimizzazione delle condizioni di coltura;

* Relazione presentata al convegno nazionale "L'acqua tra storia cultura e natura", Terme di Comano (Trentino), 4-5 ottobre 1990.

** Studio Associato IND.ECO, Parma

• all'individuazione dei possibili usi delle biomasse prodotte in considerazione anche dell'eventuale tossicità derivante dalla composizione del mezzo colturale.

La coltivazione delle piante acquatiche, come mezzo per depurare le acque di scarico, è tuttavia fattibile soprattutto in determinate condizioni che dipendono prevalentemente:

- dalla quantità e dalla composizione del refluo da trattare;
- dalla disponibilità di ampie superfici da adibire a lagunaggio;
- dalle condizioni climatiche.

La validità della coltivazione di piante acquatiche su acque di scarico va quindi ricercata nel conseguimento di più obiettivi concomitanti:

- recuperare nutrienti che altrimenti avrebbero un impatto ambientale negativo, attraverso il raccolto delle biomasse vegetali;
- sviluppare la logica del riciclaggio, chiudendo all'interno delle stesse aree di produzione i cicli di alcuni nutrienti come azoto e fosforo;
- privilegiare tecniche depurative a basso consumo energetico, di semplice conduzione e decentrate nel territorio;
- sfruttare aree marginali (incolti, zone umi-

de) nel rispetto delle loro condizioni di naturalità.

Data l'ampiezza dei contributi, si limiterà il campo di interesse ad alcuni settori, nel tentativo di fornire un quadro generale relativo a questo argomento.

MICROALGHE

Viene considerata, pertanto, dapprima la produzione di biomasse vegetali utilizzando alghe unicellulari.

Gli obiettivi principali dell'allevamento in massa di alghe vengono riportati in Figura 1, dalla quale emergono i due obiettivi di fondo a cui tende questo sistema:

- trattamento di scarichi, come scarichi grezzi o dopo trattamento secondario in impianti di depurazione, con particolare attenzione all'abbattimento dei nutrienti azoto e fosforo;
- produzione di biomasse utilizzabili per ricavare fertilizzanti, estrarre prodotti chimici, fornire proteine come integratori della dieta animale e umana, costituire un substrato alimentare per l'acquacoltura, oppure utilizzazioni dirette nei processi di digestione anaerobica per la produzione di biogas.

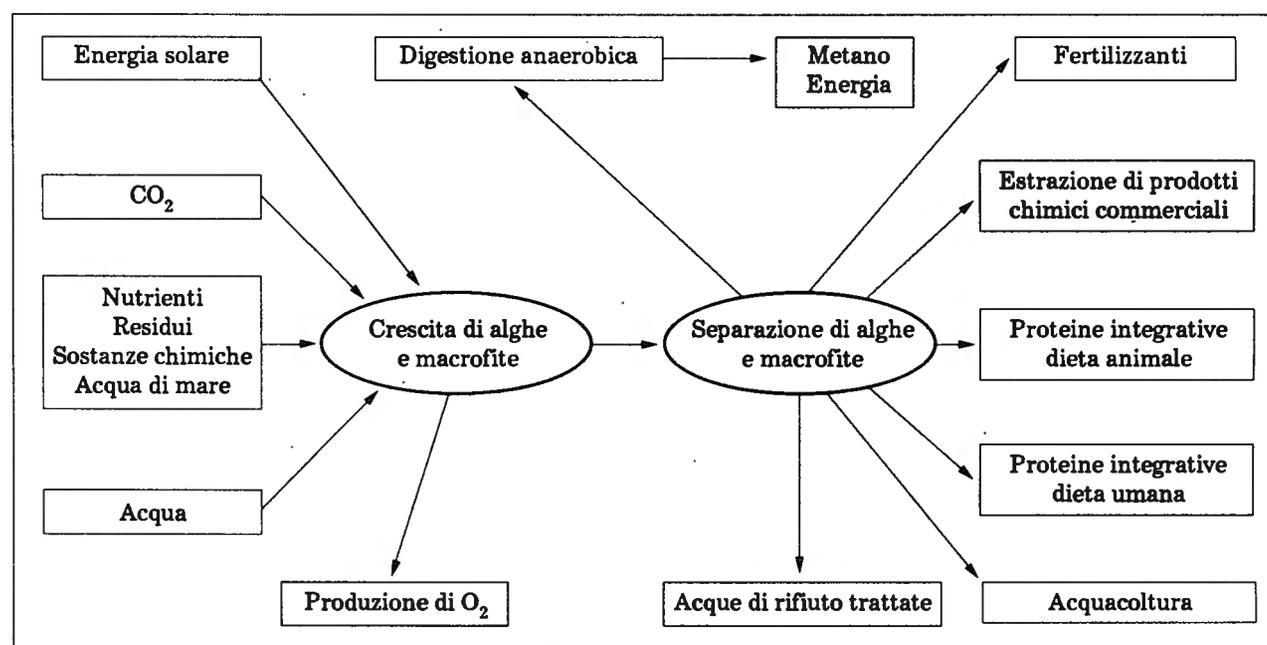


Fig. 1 - Obiettivi della coltura in massa di biomasse vegetali

Le caratteristiche che giustificano l'allevamento in massa di alghe unicellulari sono prevalentemente tre:

- breve tempo di generazione (2-6 ore) e rapida crescita;
- elevato contenuto proteico;
- produzione legata a substrati disponibili in grandi volumi.

Le alghe più comunemente coltivate sono appartenenti alle:

- cloroficee (*Chlorella*, *Scenedesmus*, *Coelastrum*);
- Cianoficee (*Spirulina*);
- Diatomee (*Dunaliella*).

Il mezzo colturale più utilizzato è il liquame proveniente da allevamenti animali, sia diluito che non diluito.

Per quanto riguarda le condizioni di sviluppo, è necessario che nel mezzo di coltura siano presenti carbonio, azoto, fosforo, ioni inorganici (Ca, Mg, K, Fe, Mn e altri metalli in tracce) che hanno il compito di funzionare da catalizzatori.

Dati sperimentali riportati da diversi Autori provano che si ha una crescita ottimale soprattutto

quando si realizzano alcune condizioni riportate in tab. 1.

Circa le rese produttive di questo tipo di colture esistono esperienze non sempre concordanti. Sono state verificate produzioni, in peso secco, di 10 g/m²giorno. Il periodo di crescita più difficile sembra essere quello tra febbraio e marzo, in cui le basse temperature (< 10 °C) e la scarsa illuminazione costituiscono fattori limitanti.

Per quanto riguarda la rimozione dei nutrienti, colture intensive di alghe possono partecipare attivamente alla loro rimozione. Il problema di abbattere l'eccesso in nutrienti presenti nelle acque di scarico si pone infatti anche per gli elevati costi e, a volte, la limitata efficienza dei metodi fisici e chimici tradizionali.

Secondo PERSOONE et AL. (1980), ad esempio, con allevamenti di alghe in condizioni ottimali si può ottenere una rimozione dell'azoto e del fosforo superiore al 90%, mentre altri Autori indicano una rimozione dell'azoto superiore al 95%.

La fase di separazione delle alghe unicellulari dal mezzo liquido costituisce però uno dei pro-

Tab. 1 - Condizioni ottimali per la produzione in massa di alghe

Luce	°C	CO ₂	pH	N/P	Umidità
17.000 lux per effluenti diluiti, provenienti da allevamenti di animali (DE PAUW et AL., 1976)	18-21° per effluenti diluiti, provenienti da allevamenti di animali (DE PAUW et AL., 1976)	Le migliori condizioni di crescita si ottengono con aggiunta di CO ₂ al mezzo di coltura. Questo serve a stabilizzare il pH a valori ottimali (7-7,5) e ad aumentare l'efficienza della produzione algale (DE PAUW et AL., 1976)	Valori troppo acidi o troppo basici sono fortemente inibenti la crescita algale (pH > 8 provoca un blocco dell'assunzione dei nutrienti) (DE PAUW et AL., 1976)	Il rapporto ottimale per la crescita algale in liquami suinocoli è 5:1 (DE PAUW et AL., 1976)	70-80% (WONG et AL., 1977)
27.000 lux per effluenti non diluiti, provenienti da allevamenti di animali (DE PAUW et AL., 1976)	23-25° per effluenti non diluiti, provenienti da allevamenti di animali (DE PAUW et AL., 1976)				
25.000 lux (WONG et AL., 1977)	25° (WONG et AL., 1977)				
	15-25° per le diatomee; 25-35° per le alghe verdi; 35-40° per le alghe blu-verdi (BERBENNI e GALASSI, 1978)				

Tab. 2 - Metodi di raccolta della biomassa algale (MIDDLEBROKS et AL., 1974)

Centrifugazione	Coagulazione Flocculazione Sedimentazione	Flottazione per insufflazione di aria	Filtri intermit- tenti a sabbia	Microfiltrazioni
Metodo valido per la separazione delle alghe, anche se esperimenti in impianti pilota evidenziano sensibili problemi operativi dovuti all'uso di attrezzature sofisticate.	L'efficacia del processo è legata al tipo ed alla fisiologia delle cellule algali, fattore che può variare sensibilmente. Non è un metodo facilmente controllabile e richiede personale molto esperto. Produce grossi volumi di fango.	Metodo valido per la separazione delle alghe, anche se esperimenti in impianti pilota evidenziano sensibili problemi operativi dovuti all'uso di attrezzature sofisticate.	Sistema non molto usato perché richiede un basso tasso di carico. Ci sono poche informazioni sull'uso pratico di tali filtri in unità di depurazione. Piuttosto economico.	Usati spesso, si è ottenuto un valore medio di rimozione dell'89% per il fitoplancton. Un problema associato con tale provvedimento è rappresentato dalla difficoltà di mantenere una costante qualità dell'effluente, soprattutto durante le fluttuazioni dovute alle piene e per eccessiva crescita batterica e algale che può occludere i pori del filtro.

cessi più impegnativi nella conduzione di questi sistemi. Essa incide in modo sensibile sui costi complessivi del trattamento.

I metodi di raccolta della biomassa algale vengono riassunti in tab. 2.

Di un certo interesse è la percentuale in proteine di questa biomassa.

Diversi Autori riportano prove relative ad un soddisfacente valore nutritivo e ad una buona digeribilità della biomassa algale utilizzata come cibo per animali.

E' utile ora sottolineare alcune delle difficoltà che si possono incontrare nella realizzazione di sistemi di coltura in massa di microalghe.

Innanzitutto la conversione di energia solare in biomassa algale sembra essere un processo piuttosto dispersivo sul piano energetico. La resa migliore ottenibile è del 5 % rispetto alla quantità di luce radiante solare.

Esistendo inoltre, un'apparente relazione negativa fra le dimensioni di una coltura algale e la resa potenziale di biomassa, diviene importante sviluppare studi bioingegneristici sulle colture algali a grande scala.

Non sembra, comunque, che questo tipo di coltura possa offrire una soluzione ottimale ai vari problemi, per diversi ordini di motivi, quali, ad esempio:

- i costi e le difficoltà legati alle tecniche di separazione dal mezzo liquido;
- la possibilità di estrarre sostanze chimiche

dalle alghe è limitata dalla difficoltà pratica di mantenere colture monospecifiche per lunghi periodi;

- le proteine ottenibili sono carenti di aminoacidi solforati e la durezza delle pareti cellulari delle alghe più comuni (ad esempio, *Clorella* e *Scenedesmus*) crea dei problemi di digeribilità all'uomo e agli animali.

Pertanto la direzione verso cui orientare questo tipo di coltura in massa sembrerebbe quella del trattamento terziario degli effluenti della depurazione, utilizzando ad esempio le alghe in catene controllate per la produzione di biomasse animali. Questo potrebbe rappresentare anche una soluzione al problema della separazione.

MACROFITE GALLEGGIANTI

Analizziamo ora i sistemi di trattamento che sfruttano la produzione in massa di macrofite galleggianti. Lo schema di funzionamento è semplice ed è illustrato in Fig. 2.

I vantaggi di questo tipo di coltura sono legati in particolare alla elevata biomassa prodotta, alla notevole efficacia di rimozione dei nutrienti azoto e fosforo, alla possibilità di operare in bacini più profondi (quindi in grado di contenere maggiori volumi di acqua a parità di superficie occupata rispetto alle colture di alghe) e alla agevole separazione dal mezzo liquido. Le essenze più studiate e promettenti di

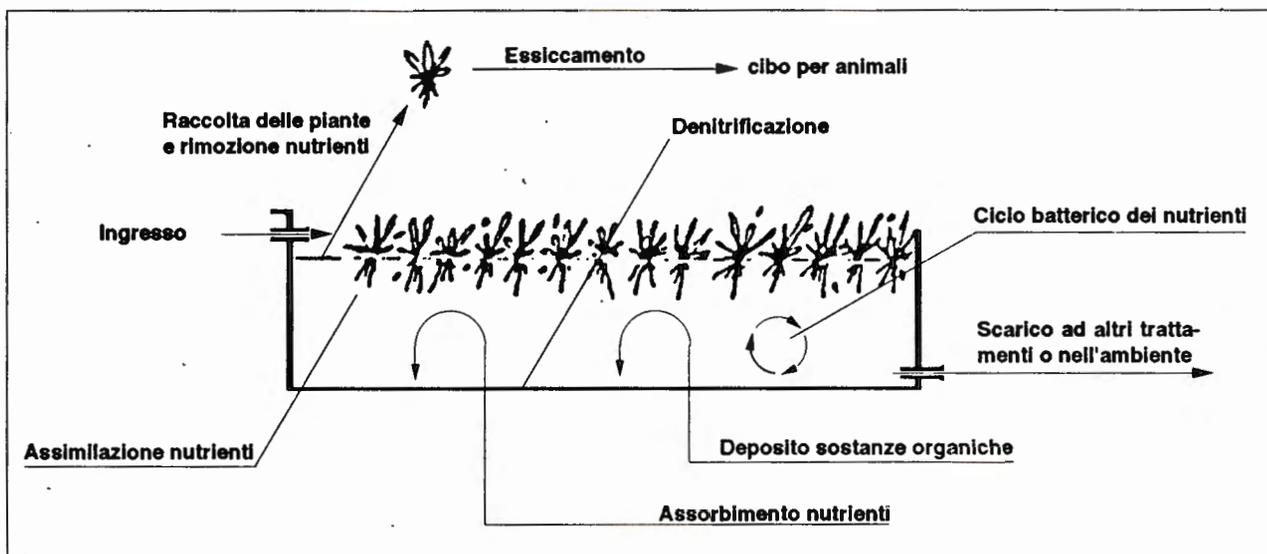


Fig. 2 - Processi implicati nel lagunaggio con fitodepurazione (CORRADI et AL., 1981)

questo gruppo sono il giacinto d'acqua (*Eichhornia crassipes*) ed alcune specie di Lemnace, comunemente conosciute come "lenticchie d'acqua".

Il giacinto d'acqua è una pianta liberamente natante, ma con un fitto ciuffo di radici che si immergono nell'acqua assorbendo azoto e fosforo, funzionando da filtro per i solidi sospesi e agendo come un substrato vivente per l'attacco da parte dei microrganismi che contribuiscono significativamente all'abbattimento del carico organico.

Uno dei problemi maggiori legato all'uso di questa pianta è rappresentato dai limiti di sopravvivenza alla temperatura. Infatti il tasso di crescita si riduce drasticamente al disotto dei 10 °C, mentre a -5 °C per 48 h si ha la completa distruzione della pianta. A questo si potrebbe ovviare mediante l'installazione di coperture a serra, atte a mantenere l'optimum di temperatura, ma a questo punto occorre riconsiderare l'aspetto economico.

Attualmente, in alcune zone degli USA viene utilizzata con successo un'altra macrofita, *Hydrocotyle umbellata*, dotata di un alto tasso di crescita e di un'alta capacità di assimilare i nutrienti anche durante i periodi freddi. Ciò ha suggerito la possibilità di alternare la coltivazione di quest'ultima pianta al giacinto d'acqua

per mantenere la massima efficienza del sistema nelle zone fredde; al momento mancano dati precisi sul rendimento e sull'efficienza di questi sistemi.

In condizioni ambientali favorevoli, il giacinto d'acqua è una delle piante più produttive del mondo. Per tali caratteristiche, in una cinquantina di paesi a clima tropicale e subtropicale, è diventato una delle piante infestanti.

Questo fatto deve indurre a valutare con attenzione i problemi che potrebbero derivare da un allevamento in massa del giacinto d'acqua nel nostro Paese, per il progressivo selezionarsi di ecotipi resistenti. E' opportuno, comunque, rilevare che la pianta è già commercializzata da tempo presso i vivaisti ed in Italia non ha trovato finora condizioni per una vita spontanea.

Per quanto riguarda la rimozione dei nutrienti, queste piante, come si è detto, sono dotate di un elevato "standing crop": sono pertanto in grado di assumere dall'acqua sensibili quantità di nutrienti. E' stato tuttavia verificato che solo quando il carico in azoto non è molto alto e le piante vengono rimosse con periodicità opportuna, il principale meccanismo di rimozione dell'azoto è rappresentato dall'assunzione da parte delle piante. Al contrario, cioè se il carico in azoto è troppo elevato, il principale

Tab. 3 - Rimozione dell'azoto nel trattamento terziario con giacinto d'acqua

Carico idraulico (m ³ /ha · d)	Riduzione % dell'N totale
9350	10-35
4675	20-55
2340	37-75
1560	50-90
1170	65-90
<935	70-90

meccanismo di rimozione è rappresentato dalla denitrificazione. In tab. 3 viene riportata la percentuale di riduzione dell'azoto totale in funzione del carico idraulico.

La rimozione del fosforo in un sistema a macrofite acquatiche è dovuta a diversi processi: all'assunzione da parte delle piante, all'immobilizzazione microbica del detrito vegetale, alla ritenzione da parte del sedimento ed alla precipitazione nella colonna d'acqua. Pertanto per la rimozione di questo nutriente è necessaria non solo la raccolta delle piante, ma anche il dragaggio periodico dei sedimenti.

Il rapporto ottimale azoto/fosforo nel mezzo acquatico, per ottenere la massima resa in biomassa, dovrebbe comunque essere di 2,3 - 5. Questo range ottimale può essere utilizzato per valutare se in un determinato sistema di trattamento a giacinto d'acqua, l'azoto o il fosforo siano limitanti per la crescita delle piante. In tab. 4 vengono riportati alcuni esempi di carichi idraulici applicabili al giacinto d'acqua.

Il giacinto d'acqua può inoltre essere utilizzato per ridurre l'inquinamento da metalli pesanti ed altre sostanze chimiche come i fenoli. Occorre però ricordare che le piante, assorbendo elevate quantità di metalli, subiscono danneggiamenti metabolici permanenti e quindi, se utilizzate per il trattamento di scarichi chimici, devono essere periodicamente raccolte.

Inoltre le piante raccolte, proprio per il loro elevato contenuto in metalli pesanti, non possono ovviamente essere utilizzate per la produzione di foraggio o di concime, ma possono

Tab. 4 - Alcuni esempi di carichi idraulici applicabili alle colture in massa di giacinto d'acqua (EPA, 1988)

Scarichi domestici	Trattamenti secondari (BOD ₅ < 30 mg/l)	Trattamenti terziari (dopo aerazione)
m ³ /ha · day	m ³ /ha · day	m ³ /ha · day
240-3570	200-600	1000

essere utilizzate per la trasformazione in biogas o, qualora il procedimento si dimostrasse vantaggioso, per il recupero del metallo.

Per quanto riguarda l'utilizzazione commerciale della biomassa prodotta, vi sono diverse opportunità da valutare caso per caso.

L'utilizzazione del giacinto per l'alimentazione animale, ad esempio, è limitata dal suo elevato contenuto in acqua che può produrre un rapido deterioramento del materiale stoccato. Di notevole interesse è invece l'uso del giacinto nella fermentazione anaerobica per la produzione di biogas. Queste tecniche di digestione sono vantaggiose su impianti a larga scala per l'elevato rapporto solidi/acqua, mentre si possono verificare alcuni problemi per la presenza di sacche d'aria all'interno della pianta che, pertanto, dovrebbe essere triturrata prima di essere immessa nei digestori anaerobici.

Le altre macrofite, come già si è detto, utilizzate per questi sistemi di trattamento, sono le lenticchie d'acqua che in Italia sono molto comuni e ricoprono vaste superfici di acque stagnanti, laghi, risaie e canali.

Nella famiglia delle Lemnacee sono state coltivate in massa *Lemna* sp., *Spirodela* sp. e *Wolffia* sp. I principali vantaggi offerti da questo tipo di coltura sono:

- facile raccolta (per scrematura);
- capacità di rimozione dei nutrienti, in particolare azoto e fosforo;
- possibilità di crescita regolare anche in climi temperato-freddi; per questo motivo viene impiegata a rotazione con il giacinto in alcuni

sistemi di trattamento; inoltre il suo tasso di crescita è superiore del 30% a quello del giacinto d'acqua;

- alto contenuto in proteine (almeno il doppio rispetto al giacinto);
- basso contenuto in fibre e lignina; questo perchè le piante vengono asportate frequentemente, almeno settimanalmente, in modo da poter disporre di una biomassa più giovane e più adatta alla dieta animale;
- buona appetibilità, quindi, della biomassa prodotta; il valore nutritivo di queste piante è alto rispetto al giacinto, poichè contengono fino al doppio di proteine, grassi, azoto e fosforo.

Queste specie, rispetto al giacinto d'acqua, hanno un ruolo meno diretto nel processo di trattamento poichè, mancando di un esteso sistema radicale, forniscono una minor superficie all'insediamento dei microrganismi. Il principale utilizzo della lemna è, pertanto, quello di recuperare i nutrienti in un trattamento terziario, anche se può essere impiegata con un certo successo in un trattamento secondario. Un'ulteriore caratteristica di questa pianta è quella di formare un fitto tappeto sulla superficie dell'acqua. Questo fatto inibisce sia gli scambi gassosi acqua/aria, sia la produzione di O_2 da parte del fitoplancton, a causa della scarsa penetrazione della luce: nella colonna d'acqua si instaurano perciò condizioni decisamente anaerobiche che favoriscono la denitrificazione.

I sistemi basati sulle lenticchie d'acqua possono presentare alcuni inconvenienti: un forte vento può infatti impilare, ad esempio, le lenticchie in uno strato spesso od anche spazzare via completamente le piante dall'acqua. Nei sistemi molto ampi può essere quindi necessario introdurre delle barriere galleggianti per prevenire questo fenomeno.

MACROFITE EMERGENTI RADICATE

Un discorso a parte meritano i sistemi di trattamento basati su macrofite emergenti radicate, in quanto il ruolo potenziale di queste piante nella depurazione delle acque è un fattore importante non solo nelle cosiddette "zone

umide artificiali", ma anche nelle "zone umide naturali".

Queste ultime infatti sono tipicamente colonizzate da macrofite emergenti radicate come *Typha*, *Scirpus* e *Phragmites*, che possono essere accompagnate da macrofite flottanti e sommerse. Questi ambienti sono caratterizzati da acque mediamente basse, con un flusso lento e sono in grado di sostenere una popolazione di batteri che cresce sulle parti sommerse della pianta formando un film biologico di una certa importanza nell'abbattimento del carico organico. Inoltre la condizione di acque a flusso lento consente la sedimentazione dei solidi sospesi.

Le zone umide artificiali, pertanto, hanno le caratteristiche positive di quelle naturali, ma con il vantaggio di poterne controllare gli aspetti negativi e rafforzare quelli positivi.

Le zone umide artificiali possono essere costruite pertanto in modo da consentire il controllo di ben definite condizioni, quali, ad esempio, la composizione del substrato, il tipo di vegetazione, il modello di flusso e così via.

La rimozione degli inquinanti in questi sistemi avviene attraverso una combinazione di processi biologici diversi:

- la rimozione dell'azoto avviene soprattutto, ed in modo efficace, per un processo di nitrificazione-denitrificazione;
- la rimozione del fosforo non è sempre efficace ed aumenta con la presenza di ferro ed alluminio; anche in questo caso per una più efficiente rimozione di questi nutrienti, è opportuno procedere al taglio periodico delle piante allo scopo di stimolarne la crescita;
- fenomeni di precipitazione, di sedimentazione ed adsorbimento (eliminazione dei solidi sospesi);
- la trasformazione ad opera dei microrganismi che ricoprono le parti sommerse delle piante.

Una importante caratteristica di queste macrofite, infatti, è quella di possedere ampi spazi aeriferi interni cosicchè l'ossigeno viene trasportato alle radici ed ai rizomi. Un po' di ossigeno, quindi, può essere rilasciato dalle radici e stimolare così sia la decomposizione della materia organica che la crescita dei batte-

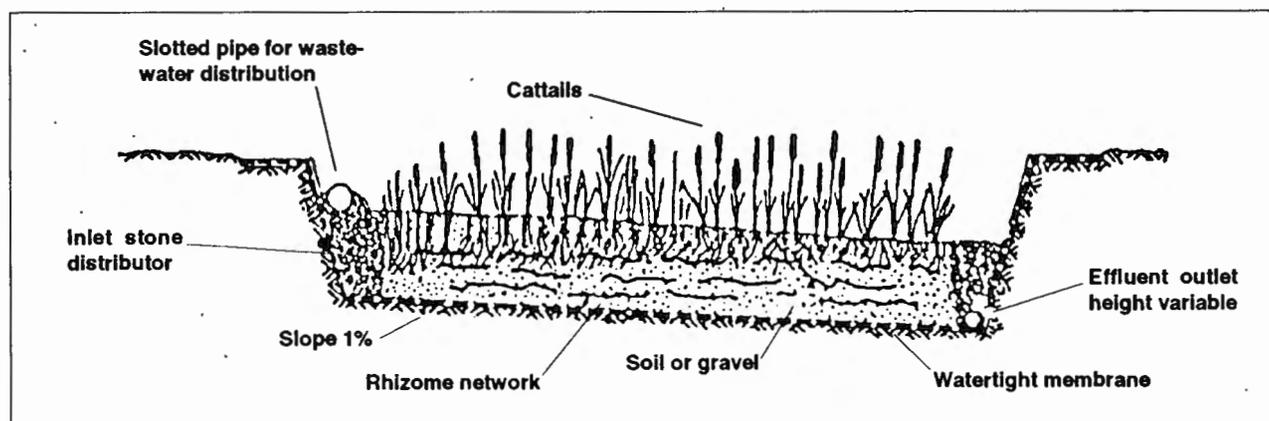


Fig. 3 - Typical cross section - SFS system

ri nitrificanti nella rizosfera.

I dati attualmente disponibili sul rendimento delle zone umide artificiali mostrano un'efficace rimozione dei solidi sospesi e della materia organica facilmente biodegradabile: gli effluenti, infatti, raggiungono una qualità quasi superiore a quella ottenuta mediante un trattamento secondario. L'efficienza di rimozione dell'azoto e del fosforo è variabile e dipende dal carico, dal tipo di substrato e dalla composizione dello scarico.

Mentre la maggior parte dei processi coinvolti in questi trattamenti sono ben documentati dal punto di vista qualitativo, i dati quantitativi sui processi stessi e sui fattori che li influenzano sono ancora scarsi.

Attualmente i due sistemi di trattamento più utilizzati, basati sulle macrofite emergenti, sono il Free Water Surface System ed il Subsurface Flow System. Il primo, più utilizzato negli USA, consiste tipicamente di un bacino o un canale in cui viene introdotto un substrato di crescita per le macrofite emergenti ed in cui l'acqua, mediamente bassa, scorre molto lentamente attraverso il sistema. Più utilizzato in Europa è il secondo sistema, meglio conosciuto come Root-Zone-Method. Lo schema di funzionamento è riportato in Fig.3.

Come si può notare, questo sistema è essenzialmente un filtro orizzontale: l'influente entra attraverso un filtro di pietre che lo distribuisce nel sistema. Il fondo del bacino è impermeabilizzato (con materiale naturale o artificia-

le) allo scopo di evitare indesiderabili fenomeni di percolazione nel sottosuolo.

Il flusso orizzontale dello scarico, subsuperficiale, passa così attraverso la rizosfera; avvengono quindi i processi sopra menzionati: decomposizione microbiologica della materia organica, denitrificazione dell'azoto, etc.

In Germania, il Max Planck Institut ha affrontato lo studio di un sistema di fitodepurazione di reflui urbani composto da una sezione a *Phragmites communis* ed una a *Scirpus lacustris*. *Phragmites* sembra essere più efficiente nel trasferimento dell'ossigeno, in quanto le radici penetrano più profondamente rispetto a *Typha* sp.

In Danimarca il Root Zone Method è stato introdotto nel 1983 per il suo basso costo e perché, avendo un'efficacia depurante equivalente o migliore a quella ottenuta con la tecnologia convenzionale, permetteva trattamenti decentrati, non richiedendo il collettamento degli scarichi ad un impianto centralizzato. E' stata soprattutto riconosciuta la capacità del Root Zone Method di rimuovere tanto i nutrienti che la materia organica con costi di costruzione e gestione pari al 10-50% di quelli richiesti dalle soluzioni tecnologiche tradizionali. Attualmente in Danimarca ci sono circa 100 sistemi di trattamento di questo tipo; le prime esperienze mostrano che la capacità di abbattimento di questi sistemi per il BOD e i solidi sospesi è molto vicina agli standard convenzionali di trattamento secondario già dalla

prima stagione di crescita. L'efficienza di rimozione dell'azoto e del fosforo varia attorno al 20-50%, in funzione della portata idraulica.

Alcuni inconvenienti di questo sistema sembrano essere:

- lo scorrimento in superficie delle acque piovane che impedisce che una parte dello scarico venga in contatto con la rizosfera;
- una capacità di trasporto dell'ossigeno non sempre sufficiente ad assicurare la decomposizione aerobica nella rizosfera ed una nitrificazione quantitativamente significativa.

Ciononostante il Root Zone Method si è dimostrato competitivo con gli altri trattamenti tecnologici disponibili per piccole e medie comunità.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

In conclusione, da questa breve rassegna emergono in particolare le seguenti considerazioni:

- i sistemi che utilizzano la fitodepurazione richiedono una progettazione *ad hoc*, caso per caso, che tenga conto delle caratteristiche del refluo da trattare, delle sostanze inquinanti da abbattere, delle superfici disponibili e delle condizioni climatiche. Questi sistemi sono adatti soprattutto a piccoli centri abitati, con bassa portata ed alto carico, ad esempio villaggi turistici estivi, campeggi, allevamenti animali, integrando questa soluzione con lagunaggi, fertirrigazione ed eventuale utilizzo delle biomasse prodotte, una volta risolti i problemi igienico-sanitari. E' opportuno ricordare che attualmente la legislazione italiana non consente l'impiego di queste biomasse nella dieta animale, salvo poi consentire l'abbeveraggio nel corpo recettore anche ad un metro dallo scarico;
- questi impianti richiedono un corretto dimensionamento, una precisa definizione della geometria dei bacini ed una preventiva valutazione del destino delle biomasse prodotte, ricordando che esiste una grossa differenza, in volume, tra peso umido e peso secco.

La fitodepurazione, pur rappresentando una soluzione integrativa nella più complessa politica di risanamento delle acque, riveste un

precipuo interesse in quanto utilizza processi naturali, ha costi di gestione più limitati e può essere condotta anche da personale non specializzato e con mezzi recuperabili, ad esempio, dall'attività agricola.

In Italia manca ancora, purtroppo, un'adeguata sperimentazione su impianti a scala reale che consenta una più precisa definizione dei parametri dimensionali e costruttivi.

Questi sistemi, inoltre, non vanno considerati esclusivamente come soluzioni alternative ai trattamenti tecnologici convenzionali, ma anche nell'ottica di un collegamento con tutta una gamma di altri interventi quali il lagunaggio anaerobico, aerobio e facoltativo, la valorizzazione degli ecosistemi filtro nelle zone di alveo, la rifinitura dei processi di trattamento tradizionali.

Le scarse esperienze nazionali sono legate in alcuni casi ad obiettive difficoltà di collocazione di questi impianti (ad esempio in relazione alla struttura del nostro territorio con molti centri abitati, scarse superfici disponibili e dove spesso gli scarichi sono concentrati per migliaia di abitanti equivalenti), ma più spesso ad una scarsa volontà di cercare alternative alle comode soluzioni degli impianti di depurazione tradizionali "chiavi in mano", tranne poi trascurarne il funzionamento o l'effetto dell'impatto dell'effluente nel corpo recettore.

Molti dei problemi legati alla fitodepurazione sono dovuti ad una politica di risanamento delle acque basata sulla concentrazione degli scarichi (vedi legge Merli) e non su un corretto rapporto fra carichi inquinanti sversati e capacità portante dei corpi recettori. Il problema è, quindi, quello di risanare fiumi e laghi e non di costruirsi alibi contro i pretori, garantendosi concentrazioni negli scarichi senza preoccuparsi dei sistemi con cui vengono raggiunte.

La fitodepurazione nel controllo dell'inquinamento delle acque è un approccio corretto e promettente nello sforzo urgente di ridurre l'inquinamento dei corpi recettori: merita perciò un periodo di sviluppo e sperimentazione qualificata.

BIBLIOGRAFIA

- Berbenni P & Galassi G. - 1978. Chimica ed ecologia delle acque.
ETAS Libri, Milano.
- Brix H. & Schierup H.H. - 1989. The use of aquatic macrophytes in water-pollution control.
Ambio, 18: 100-107.
- Corradi M., Copelli M. & Ghetti P.F. - 1981. Depurazione delle acque e produzione di biomasse.
Rivista di suinicoltura, 1: 15-66.
- De Pauw N. & De Leenheer L. - 1976. Mass culturing of marine and freshwater algae on aerated swine manure. p. 441-473.
In "Cultivation of fish fry and its live food". Styczynska-Jurewicz E., T. Backiel, E. Jaspers & G. Persoone (Eds).
European Mariculture Society, Special Public., 4, Bredene, Belgium, 534 p.
- EPA - 1988. Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment.
EPA n. 625: 1-88.
- Giannotti M. - 1988. Trattamento di effluente urbano scaricato nel canale naturale "Sanguinaro" (Montalto di Castro) mediante fitodepurazione con macrofite galleggianti e successiva trasformazione della biomassa in prodotto riutilizzabile in agricoltura.
In "Acque reflue e fanghi. Trattamento e smaltimento, sviluppi normativi e tecnologici", p. 209-222, Ed. CSI.
- Malcewshi S., Ferraris M. & Capetta C. - 1987. Ecosistemi filtro per la fascia di media collina piacentina. Verifiche sperimentali su impianti pilota. Relazione annua sulla qualità delle acque superficiali.
Ammin. Prov. Piacenza, luglio 1988, appendice I: 1-34.
- Middlebrooks D.J., Procella D.B., Gearheart R.A., Marshall G.R., Reynolds J.H. & Grenney W.J. - 1974. Techniques for algal removal from wastewater stabilization ponds.
J. Wat. Pollut. Control Fed., 46: 2676.
- Persoone G., Morales J., Verlet H. & De Pauw N. - 1980. Air-lift pumps and the effect of mixing on algal growth. p. 505-522.
In "Algae Biomass", Shelef G. & Soeder C.J. (Eds.).
Elsevier/North-Holland Biomedical Press, Amsterdam, 852 pp.
- Vaucouloux M. - 1982. Utilisation des potentialités du milieu naturel pour l'épuration des eaux usées domestiques et leur réemploi aux USA. Rapport de mission effectuée aux Etat-Unis d'Amerique.
Ministère de l'Agriculture, Paris.
- Viaroli P. - 1989. Processi biologici alternativi per il trattamento terziario delle acque. La fitodepurazione: problemi e prospettive.
In atti convegno "Depurazione e inquinamento del mare", S. Benedetto del Tronto-Grottamare, 1989.
- Wong M.H. - 1977. Decomposition of activated and digested sludge extracts in cultivating *Chlorella pyrenoidosa* and *Chlorella salina*.
Environ. Pollut., 14: 207-21.

