



ASSOCIAZIONE
PRODUTTORI OLIVICOLI
DELLA LIGURIA

CORRETTO SMALTIMENTO DEI SOTTOPRODOTTI DELL'INDUSTRIA OLEARIA ATTRAVERSO LA FITODEPURAZIONE



Campagna finanziata con il contributo della Comunità Europea e dell'Italia - Reg. (C.E.) n 867/08 e sue modifiche azione 2d

**CORRETTO SMALTIMENTO DEI SOTTOPRODOTTI
DELL'INDUSTRIA OLEARIA
ATTRAVERSO LA FITODEPURAZIONE**

CORRETTO SMALTIMENTO DEI SOTTOPRODOTTI DELL'INDUSTRIA OLEARIA ATTRAVERSO LA FITODEPURAZIONE

PREMESSA

I rifiuti derivanti da attività agricole (Agricultural Wastes - AW) ed agro-industriali sono classificati come rifiuti speciali (Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n. 152, articolo 184, comma 3 lettera a), possono essere di tipo pericoloso e non pericoloso e comprendono sia rifiuti di tipo organico e non, prodotti attraverso varie attività agricole come la produzione di latte, l'orticoltura, la coltura, allevamento del bestiame, pascoli, orti, vivai,

Sebbene la quantità di rifiuti prodotti dal settore agricolo è significativamente bassa rispetto ai rifiuti industriali di altro genere, il potenziale inquinante degli rifiuti agricoli risulta essere relativamente elevato: ad esempio l'elevato carico organico di talune tipologie di rifiuti può causare un significativo inquinamento dei suoli, delle acque superficiali e sotterranee (Sarmah, 2009).

Oltre alla produzione di rifiuti, non trascurabile è altresì la quantità di sottoprodotti derivanti dalle aziende agricole, tra i quali le acque di vegetazione e le sanse derivanti dalla lavorazione dell'olio di oliva. A livello europeo, dopo la Spagna, l'Italia è il maggiore produttore di olio di oliva, quindi di conseguenza di sottoprodotti di lavorazione, di tipo solido (sanse) e liquido (acque di vegetazione), la cui quantità e le caratteristiche fisico-chimiche variano influenzate da una serie di fattori, quali le condizioni del clima e del suolo del sito produttivo, la varietà e lo stato di maturazione delle olive, il processo di estrazione dell'olio di oliva, le condizioni di immagazzinamento prima della frangitura.

In generale, complessivamente, per ogni tonnellata di olio, vengono prodotti circa 1.500 kg di composti organici inquinanti (matrice secca) ed il carico inquinante generato dallo smaltimento di 1 m³ di reflui oleari è equivalente a 100-200 m³ di rifiuti urbani (corrispondenti a quanto prodotto da 100.000 persone). Ne discende la produzione di un notevole quantitativo di rifiuti prodotti in un intervallo di tempo relativamente

breve che dovrebbero essere smaltiti correttamente oltreché un'elevata produzione di sostanze inquinanti, capaci di arrecare potenziali gravi danni all'ambiente (problemi di tossicità sulle piante e sui microorganismi del suolo, eutrofizzazione, in caso di cattiva gestione a valle del processo produttivo degli stessi reflui.

I rifiuti oleari sono infatti caratterizzati da:

- un elevato contenuto in composti polifenolici (da 0.5 a 24 g/l);
- bassi valori di pH;
- alto contenuto di sostanze organiche (COD fino a 220 g/l);
- un intenso odore;
- un alto contenuto in solidi totali.

A causa delle caratteristiche intrinseche dei reflui oleari, ne discende che lo smaltimento diretto delle acque di vegetazione è vietato senza un adeguato trattamento volto ad abbassare il loro carico inquinante.

I TRATTAMENTI

I trattamenti che possono essere usati per ridurre il carico organico dei sottoprodotti derivanti dalla lavorazione dell'olio di oliva possono essere divisi in due gruppi a seconda del tipo di rifiuto da trattare.

Nello specifico, tra i trattamenti annoverati per la depurazione delle acque di vegetazione si hanno (Caputo et al., 2003):

- a. *trattamenti biologici*: consentono la riduzione della Domanda Biochimica di Ossigeno (BOD) e della Domanda Chimica di Ossigeno (COD), dei composti azotati, ammoniacali e fosforici;
- b. *trattamenti fisici*;
- c. *trattamenti fisico-chimici*;
- d. *compostaggio*;
- e. *fitodepurazione*.

Si fornisce di seguito una breve descrizione dei trattamenti sopra elencati.

Trattamenti biologici

I trattamenti biologici prevedono l'uso di microrganismi per la degradazione di alcuni dei composti chimici presenti all'interno delle acque di vegetazione e sono considerati un mezzo sostenibile e rispettoso dell'ambiente nonché economicamente abbordabile. Il tipo di

microrganismi da utilizzare dipende dalle caratteristiche del trattamento che si vuole attuare, che può essere di tipo aerobico o anaerobico a seconda che lo stesso avvenga rispettivamente in presenza o in assenza di ossigeno.

In particolare i trattamenti anaerobici convertono i composti organici in biogas, costituito principalmente da metano e anidride carbonica e presentano notevoli vantaggi rispetto alla digestione aerobica come:

- una minore richiesta di energia
- un'efficienza di trattamento molto più elevata
- produzione di biogas, utilizzabile a sua volta per la produzione di energia
- un minore quantitativo di rifiuto finale.

Tuttavia, a seguito di un trattamento anaerobico l'effluente non risulta essere ancora adatto allo smaltimento, nonostante una resa del processo pari anche all'80% relativamente alla rimozione del COD, definito come la quantità di ossigeno richiesta per ossidare chimicamente le sostanze ossidabili presenti nei liquami. Questo è il motivo per cui si preferisce il refluo da trattare è preferibile che subisca un processo di pre-trattamento, per il quale è possibile utilizzare processi di tipo aerobico, o di post-trattamento.

Trattamenti fisici;

Questo tipo di trattamenti, di seguito elencato, consente la separazione, attraverso mezzi meccanici, di differenti fasi:

- a. evaporazione – le acque di vegetazione vengono stoccate in laghi da cui l'acqua evapora anche grazie alle condizioni atmosferiche. Questo metodo causa, però, problemi di cattivi odori, rischi di infiltrazione delle sostanze inquinanti nelle acque sotterranee, a meno di una impermeabilizzazione del fondo, possibile proliferazione di insetti,...
- b. filtrazione – usato generalmente come pre-trattamento dei processi biologici, avviene per mezzo di membrane micro filtranti (MF), ultrafiltranti (UF) e nano filtranti (NF) ed osmosi inversa e consente di separare i diversi componenti di un miscuglio sfruttando la dimensione delle particelle. Il trattamento, pur avendo rese elevate

nella rimozione del COD, prevede una costante manutenzione e alti costi di mantenimento;

c. sedimentazione – consente di ottenere, per gravità, un effluente chiarificato grazie alla separazione delle particelle in sospensione;

d. centrifugazione – consente la separazione di differenti fasi, una solida ed una liquida, attraverso l'uso della forza centrifuga,

ma il carico organico e la tossicità delle acque di vegetazione subiscono riduzione.

Trattamenti chimico-fisici

I trattamenti fisico-chimici prevedono l'impiego di additivi chimici per la neutralizzazione, la flocculazione, la precipitazione, l'adsorbimento, l'ossidazione e lo scambio ionico di alcuni componenti presenti all'interno delle acque di vegetazione permettendo così la riduzione del carico organico e della tossicità degli stessi liquami.

Gli additivi generalmente utilizzati sono i carboni attivi, i polielettroliti ed gli agenti flocculanti.

Gli impianti che sfruttano tali tecnologie hanno generalmente bassi costi di investimenti e di gestione e la loro efficienza è pari:

- fino al 94% per la riduzione del fenolo;
- fino al 83% per la rimozione della sostanza organica.

Compostaggio

Questo metodo, generalmente utilizzato per il riciclo e la trasformazione di rifiuti organici in sostanze biologicamente stabili costituenti un ottimo fertilizzante o ammendante per il suolo, utilizza la decomposizione aerobica e termofila in condizioni controllate.

Il compost risulta essere di più facile gestione rispetto al letame o ad altri materiali organici grezzi, è inodore quando maturo ed il prodotto finale risulta sanificato grazie alle elevate temperature raggiunte durante il processo di compostaggio.

L'aggiunta di compost nel suolo ne aumenta sia la fertilità che la Capacità di Scambio Cationico e può portare alla riduzione del fabbisogno di fertilizzanti fino al 50%.

Fitodepurazione

La fitodepurazione è un processo di depurazione naturale delle acque reflue che utilizza un sistema combinato costituito da un bacino adeguatamente impermeabilizzato riempito a sua volta con un letto ghiaioso sovrastato da terreno vegetale in cui attecchiscono le radici delle essenze vegetali acquatiche (microfite, macrofite acquatiche galleggianti, macrofite radicate sommerse od emergenti), il refluo da trattare ed i microorganismi responsabili della degradazione delle sostanze inquinanti. Le piante, attraverso la capacità evapotraspirativa, intervengono nel processo fornendo l'ossigeno necessario alle reazioni trasportandolo dall'apparato fogliare a quello radicale. Per questo motivo solo le specie vegetali che possiedono determinate caratteristiche possono essere impiegate negli impianti di fitodepurazione: in particolare le specie più utilizzate a livello internazionale sono *Phragmites australis*, *Carex*, *Juncus*, *Typha* ed *Iris*.

Gli impianti di fitodepurazione opportunamente dimensionati e realizzati consentono un abbattimento del carico organico del refluo in entrata superiore al 90% e comunque conforme al decreto legislativo 152/2006 e ss.mm.ii., nonché un abbattimento di numerosi metalli, radionuclidi, pesticidi, insetticidi, ...

Il processo si può dividere in:

- fitoestrazione: basata sull'assorbimento radicale dei contaminanti;
- fitotrasformazione: attraverso il quale i contaminanti vengono degradati dal metabolismo della pianta e vengono successivamente dispersi attraverso la traspirazione;
- fitostimolazione: che utilizza l'attività delle piante nella rizosfera per fare avvenire la degradazione microbica.

Gli impianti di fitodepurazione presentano notevoli vantaggi che vengono di seguito riassunti:

- basso impatto ambientale (consumo energetico limitato o addirittura nullo, assenza di odori o insetti infestanti,...);
- bassa necessità di gestione: i microorganismi utilizzati, una volta insediati, crescono spontaneamente integrati con l'ecosistema;
- costi limitati di gestione e manutenzione;
- produzione limitata o addirittura nulla di fanghi.

Bibliografia:

Caputo A.C., Scacchia F., Pelagagge P.M., 2003. Disposal of by-products in olive oil industry: waste-to-energy solutions. *Applied Thermal Engineering* 23, 197–214.

Sarmah A.K., 2009. Potential Risk and Environmental Benefits of Waste Derived from Animal Agriculture, In *Agriculture Issues and Policies Series - Agricultural Wastes*, Eds: Geoffrey S. Ashworth and Pablo Azevedo. ISBN 978-1-60741-305-9, Nova Science Publishers, Inc., New York.

LA FITODEPURAZIONE

TIPOLOGIE DI SISTEMI DI FITODEPURAZIONE

La classificazione dei sistemi di fitodepurazione è basata sulle caratteristiche del percorso idraulico del refluo, che distingue i sistemi di fitodepurazione in **sistemi a flusso sommerso** (orizzontale e verticale) e **sistemi a flusso libero**. Di seguito sono descritte le principali caratteristiche di tali sistemi.

Sistemi a flusso sommerso

I sistemi a flusso sommerso o sub-superficiale sono canali o bacini, naturalmente o artificialmente impermeabilizzati, riempiti con materiale inerte ad elevata conducibilità idraulica (ghiaia, sabbia o terreno naturale) che funge da supporto di crescita per le macrofite emergenti e per la popolazione microbica.

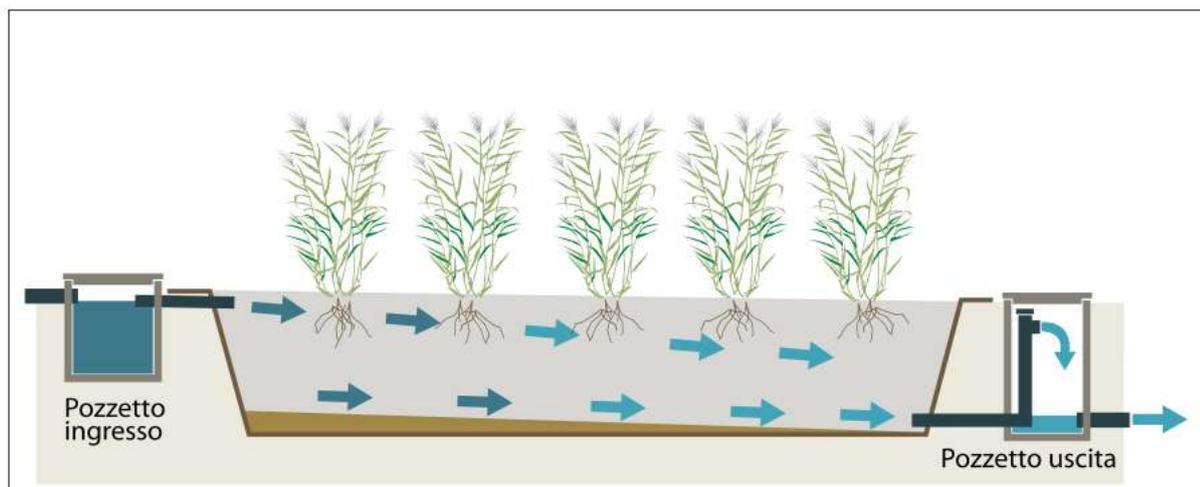
Rispetto ai sistemi a flusso superficiale, in cui lo sviluppo di colonie di microorganismi è limitato ai soli fusti sommersi delle macrofite, la pellicola batterica dispone in questo caso di una maggiore superficie di adesione dovuta alla presenza del medium di crescita, riducendo così l'area richiesta dall'impianto.

In base alla modalità di alimentazione del refluo e al regime di flusso, si distinguono in sistemi a **flusso orizzontale** e sistemi a **flusso verticale**.

Sistemi a flusso sommerso orizzontale (horizontal flow – HF)

I sistemi a flusso sommerso *orizzontale* sono costituiti da vasche opportunamente impermeabilizzate con manti plastici, riempite di materiale inerte di opportuna granulometria (es. ghiaie), in cui si sviluppano le radici di macrofite emergenti (comunemente utilizzata è la *Phragmites australis*), come rappresentato schematicamente in Figura 1.

Figura 1 – *Rappresentazione schematica di un sistema a flusso sommerso orizzontale*



Il flusso d'acqua è mantenuto costantemente al di sotto della superficie del materiale di riempimento, all'interno del quale si crea un ambiente prevalentemente anossico, ricco tuttavia di micro-siti aerobici posti in corrispondenza delle radici delle piante, che funzionano sostanzialmente come sistemi di trasferimento dell'ossigeno dall'atmosfera all'interno del letto filtrante. E' proprio questa varietà delle condizioni redox del sistema a renderlo estremamente elastico, versatile ed efficiente a fronte di diverse tipologie di reflui da trattare e di variazioni del contenuto inquinante.

Mentre il refluo attraversa il materiale di riempimento e viene in contatto con la rizosfera delle macrofite (che costituiscono un sistema a biomassa adesa), la sostanza organica e azotata in esso contenuta viene degradata dall'azione microbica; invece il fosforo ed i metalli pesanti vengono fissati per adsorbimento sul materiale di riempimento.

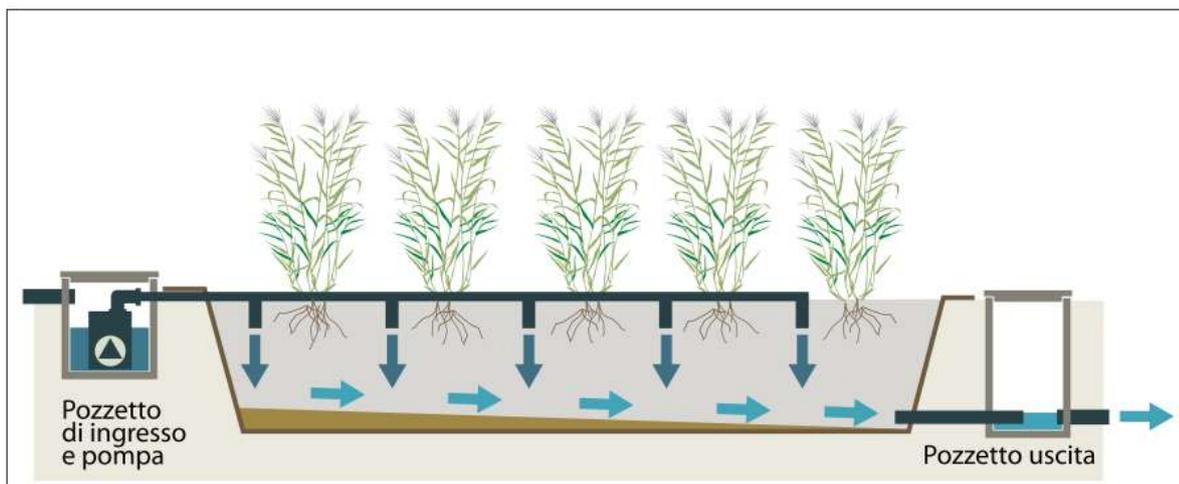
Le specie vegetali contribuiscono al processo depurativo, favorendo da un lato lo sviluppo di un'efficiente popolazione microbica aerobica nella rizosfera e, dall'altro, attraverso l'azione di pompaggio dell'ossigeno atmosferico dalla parte emersa all'apparato radicale alla porzione di terreno circostante, con conseguente migliore ossidazione del refluo e creazione di una alternanza di zone aerobiche, anossiche ed anaerobiche, consentendo lo sviluppo di diverse famiglie di microrganismi specializzati e la scomparsa pressoché totale dei patogeni, particolarmente sensibili ai rapidi cambiamenti del tenore di ossigeno disciolto.

I sistemi a flusso sommerso orizzontale assicurano una maggiore protezione termica dei liquami nella stagione invernale, soprattutto nel caso in cui si prevede possano verificarsi frequenti periodi di copertura nevosa. Per i sistemi realizzati in aree con clima particolarmente rigido è buona norma prevedere la possibilità di abbassare il livello dell'acqua nella vasca in modo da evitarne il congelamento.

Sistemi a flusso sommerso verticale (vertical flow -VF)

La configurazione geometrica dei sistemi a flusso verticale è molto simile a quella dei precedenti sistemi (Figura 2). Anche in questo caso si hanno delle vasche impermeabilizzate riempite con materiale inerte su cui vengono fatte sviluppare macrofite radicate emergenti.

Figura 2 – Rappresentazione schematica di un sistema a flusso sommerso verticale



La differenza principale consiste nel modo in cui il refluo scorre attraverso il medium di riempimento. Mentre nei sistemi HF si ha un flusso con alimentazione continua e uno scorrimento prevalente in direzione orizzontale, secondo uno schema di reattore "plug-flow", nei sistemi VF il refluo da trattare viene immesso nelle vasche in modo discontinuo e scorre in direzione prevalentemente verticale.

L'alimentazione intermittente con cicli di riempimento e svuotamento, regolati da un sistema temporizzato o da sifoni auto innescanti, ricrea le condizioni di un reattore "batch" e necessita spesso di almeno due vasche in parallelo, che funzionano a flusso alternato, in modo da poter regolare

i tempi di riossigenazione del letto variando frequenza e quantità del carico idraulico del refluo in ingresso.

Il *medium* di riempimento di questa tipologia di sistemi deve essere costituito da inerte a granulometria più fine rispetto ai sistemi a flusso orizzontale in modo da consentire una lenta percolazione delle acque e quindi una distribuzione quanto più omogenea possibile su tutta la superficie del letto. Le sabbie grossolane utilizzate generalmente nei sistemi VF presentano una conducibilità idraulica adeguata alla filtrazione verticale lenta e offrono, inoltre, un rapporto tra volume e superficie più elevato rispetto alle ghiaie adoperate nei sistemi HF, a vantaggio dell'attecchimento della biomassa.

L'alimentazione intermittente del liquame, associata ad un substrato a granulometria differenziata, facilita il drenaggio nel medium di crescita che viene a trovarsi alternativamente in condizioni di carenza e di eccesso di ossigeno. La maggiore areazione del substrato incrementa così i processi aerobici come la rimozione della sostanza organica e la nitrificazione.

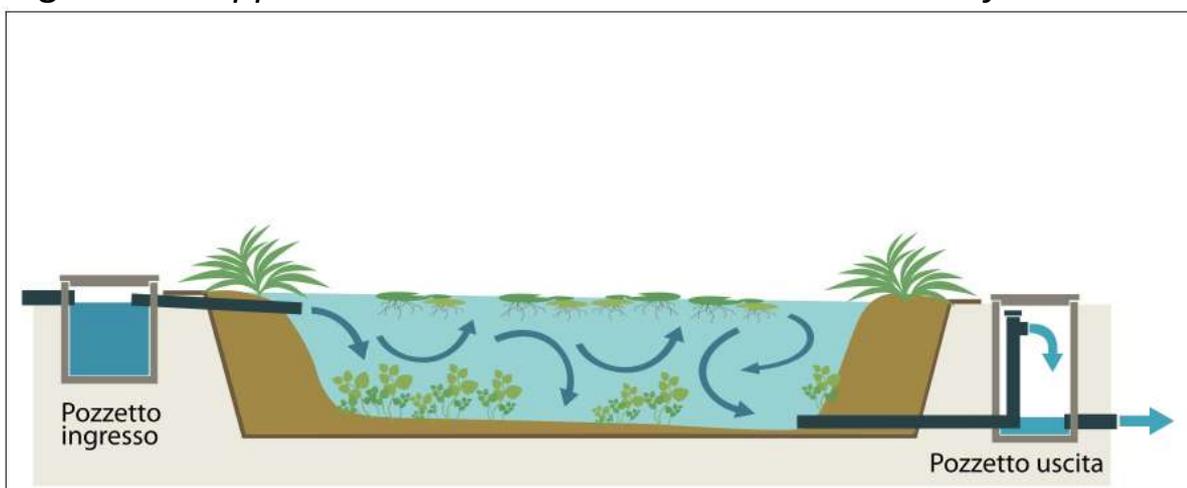
I fenomeni di deposizione di materiali sulla superficie del medium di riempimento, dovuti al continuo apporto di solidi sospesi e di sostanza organica, favoriscono in un primo periodo la diffusione omogenea del refluo su tutta la superficie del letto mentre, nel lungo periodo, tali fenomeni devono essere tenuti sotto controllo al fine di evitare formazioni stagnanti nel sistema ed una drastica diminuzione delle capacità ossidative del sistema (e quindi di nitrificazione). De Maeseneer (1997) riporta esperienze applicative in base alle quali i fenomeni di intasamento generalmente non si verificano in condizioni di alimentazione discontinua inferiore al carico idraulico massimo con una frequenza costante e nel caso si abbia un adeguato sviluppo della vegetazione.

Sistemi a flusso libero (free water system – FWS)

I sistemi a flusso libero o superficiale sono costituiti da bacini o canali, naturalmente o artificialmente impermeabilizzati, in cui il livello dell'acqua è costantemente mantenuto sopra la superficie del medium (Figura 3), con un battente idrico tipicamente compreso tra 0,3 e 0,6 m.

Il flusso è indirizzato all'interno attraverso un percorso che comprende la zona di *inlet* e tutte le aree del sistema fino a una o più strutture di *outlet*. Le zone a bassa profondità, con bassa velocità di scorrimento e con la presenza dei fusti delle piante, regolarizzano il flusso attraverso la formazione di una moltitudine di piccoli canali che simulano il comportamento di un reattore plug-flow. Uno dei principali obiettivi della progettazione di un sistema FW è garantire il contatto del refluo con la superficie biologica attiva del sistema, per consentire un effettivo tempo di residenza idraulica del refluo nel sistema ed evitare la formazione di corti-circuiti idraulici (Vymazal, 2008).

Figura 3 – Rappresentazione schematica di un sistema a flusso libero



In questi sistemi i meccanismi di rimozione delle sostanze inquinanti riproducono esattamente quelli presenti nel processo di autodepurazione delle zone umide naturali per la rimozione di organismi patogeni, BOD, COD, solidi sospesi e sostanze nutrienti, nonché metalli pesanti e altri micro inquinanti.

Le sostanze organiche e azotate sono rimosse principalmente attraverso processi biologici in condizioni ossigenate (in corrispondenza della superficie) o anossiche (in profondità), mentre i solidi sospesi possono da un lato essere rimossi (per sedimentazione e/o filtrazione attraverso le piante), dall'altro essere prodotti (ad esempio per la presenza di microalghe, frammentazione dei tessuti vegetali, produzione di fitoplancton, formazione di precipitati chimici). La rimozione del fosforo

avviene a ratei piuttosto bassi, attraverso processi di adsorbimento, assorbimento, complessazione, precipitazione.

I sistemi a flusso libero sono generalmente considerati molto efficaci nella rimozione dei microrganismi patogeni. Tuttavia tale efficacia presenta un'estrema variabilità dovuta principalmente alla complessa combinazione di fattori fisici, chimici e biologici che influenzano i meccanismi di rimozione, come ad esempio l'intrappolamento dei microrganismi nel sedimento, l'irraggiamento UV nelle aree più profonde non occupate dalla vegetazione, la presenza di colonie di uccelli che possono provocare apporto di sostanze fecali (Ghermandi, et al., 2007).

Infine i metalli pesanti presenti in un refluo possono essere rimossi attraverso processi come l'up-take delle piante, l'interazione fisico-chimica con il suolo, la formazione di complessi e la conseguente precipitazione (Kleinmann and Girts, 1987).

Le piante maggiormente utilizzate nei sistemi FWS sono tipiche specie paludose come *Scirpus sp.*, *Eleocharis sp.*, *Cyperus sp.*, *Juncus sp.*, *Phragmites australis*, *Phalaris arundinacea*, *Glyceria maxima* e *Typha sp.* La maggior parte degli impianti utilizza specie singole o in combinazione con specie sommerse, che permettono la presenza di specchi d'acqua liberi. Queste zone garantiscono una maggiore aerazione del refluo consentendo una maggiore rimozione dell'azoto incrementando la nitrificazione.

Tra i sistemi a flusso superficiale più utilizzati figurano i sistemi a Lemna costituiti da bacini di accumulo la cui superficie è totalmente coperta da un manto di lemna che induce svariati fenomeni tra cui la riduzione e prevenzione della crescita algale, la stabilizzazione del pH, il miglioramento del processo di sedimentazione ed il consumo di sostanze nutrienti; questa tipologia di trattamento è considerata una tecnica di fitodepurazione con macrofite galleggianti. La lemna o lenticchia d'acqua (genericamente rappresentata da più specie: *Lemna sp.*, *Spirodela sp.* e *Wolffia sp.*) è la più piccola e semplice pianta galleggiante utilizzata per il trattamento di depurazione di reflui (Figura 4).

Figura 4 – *Lemna sp.*



Il ricorso ai sistemi a lemna presuppone una valutazione preventiva delle problematiche di gestione della biomassa vegetale di supero, dal momento che la lemna ha un rapidissimo sviluppo e deve quindi essere periodicamente rimossa. Sono inoltre auspicabili le combinazioni tra impianti di trattamento delle acque e impianti per la produzione di energia da biomasse (per combustione e cogenerazione oppure per formazione di biogas in reattori anaerobici). Questa tipologia di impianti non ha avuto una diffusione significativa in Europa poiché la ricerca scientifica si è orientata verso sistemi a maggiore efficienza depurativa a fronte di minori coefficienti d'area utilizzati per la loro realizzazione.

LA FITODEPURAZIONE

INDICAZIONI COSTRUTTIVE

Tenuto conto delle tecnologie disponibili, della necessità di minimizzare il potenziale impatto sull'ambiente, delle possibilità d'uso dei prodotti finali, la Fitodepurazione appare una soluzione rapida e flessibile quale processo di trasformazione e smaltimento dei sottoprodotti dell'industria olearia. La fitodepurazione è, fra le tecnologie dedicate alla depurazione di suolo, acque e sedimenti, quella che sta riscuotendo maggior successo non solo dal punto di vista scientifico, ma soprattutto sotto l'aspetto industriale.

L'impianto di fitodepurazione può essere realizzato nei pressi del frantoio e non richiede manodopera specializzata; può essere utilizzato ad ogni ciclo di lavorazione delle olive, non crea alterazione all'ambiente circostante ed evita la presenza di cattivi odori e insetti infestanti.

Alla luce di quanto detto, esso rappresenta non solo una valida alternativa alle tecniche tradizionali di smaltimento, ma soprattutto una soluzione che, nel pieno rispetto dell'ambiente, è vicina alle esigenze degli operatori del settore. In sintesi, i punti di forza prevalgono su quelli di debolezza, qui sotto sintetizzati.

I principali **punti di forza** dei sistemi di fitodepurazione possono essere così riassunti:

- tecnologia semplice a basso impatto ambientale (rumori, odori, aerosol, manufatti, strutture fuori terra);
- consumo energetico nullo o limitato;
- limitati costi di gestione
- utilizzazione di microrganismi e piante che, una volta insediati, crescono spontaneamente, integrati con l'ecosistema circostante;
- mano d'opera istruita, ma non particolarmente specializzata;
- produzione limitata o nulla di fanghi;
- possibilità di utilizzazione degli spazi e dell'impianto per finalità accessorie (attività ricreative, acquacoltura, idrocoltura, fertirrigazione, etc.);

- possibilità di restauro del territorio e recupero aree degradate (ex cave, canali, aree dismesse);
- ottima efficacia come fase di finissaggio di un refluo già parzialmente depurato.

I principali **punti di debolezza** consistono principalmente in:

- elevato impegno di superfici in rapporto alla capacità depurativa;
- modeste possibilità di regolazione del processo;
- resa depurativa variabile in base alle condizioni stagionali e al clima.

La fattibilità del processo di fitodepurazione prevede le seguenti **condizioni di base**:

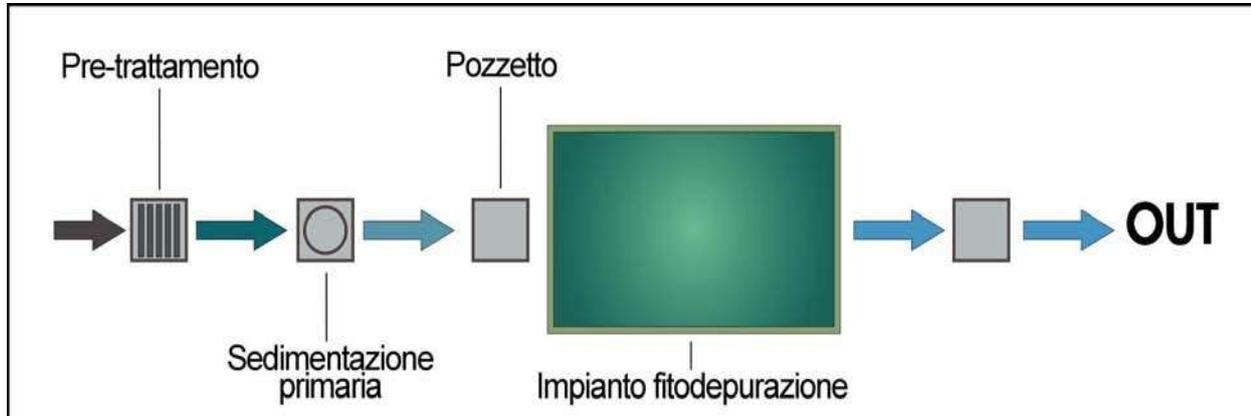
1. disponibilità e facile reperimento di sottoprodotti dell'industria olearia (acque di vegetazione)
2. opportunità di stoccaggio delle acque di vegetazione in prossimità dell'area di depurazione
3. disponibilità/realizzazione di una platea dotata delle opportune pendenze su cui realizzare l'impianto
4. disponibilità di rete elettrica
5. disponibilità di maestranze capaci di predisporre e avviare l'impianto
6. disponibilità di laboratori di analisi attrezzati per le principali verifiche chimico-fisiche del processo

SCHEMI GENERALI DI IMPIANTO

Lo schema generale di un impianto di fitodepurazione (Figura 5) è molto simile a quello dei comuni impianti di depurazione biologici. Nella maggioranza dei casi è presente uno **stadio di trattamento preliminare** per l'eliminazione dei solidi grossolani, seguito da una sedimentazione primaria, mentre il sistema di fitodepurazione costituisce lo stadio di trattamento secondario. La differenza fondamentale si riscontra nella linea fanghi: in un impianto di depurazione biologica convenzionale i fanghi prodotti dal sistema di trattamento secondario (biologico "a fanghi attivi") sono in parte utilizzati in ricircolo nel reattore ed in parte allontanati e smaltiti come fanghi di supero, mentre **negli impianti di fitodepurazione non si ha alcuna produzione di fanghi nello stadio di trattamento secondario.**

Gli unici fanghi prodotti sono quelli derivanti dallo stadio di sedimentazione primaria, che in genere vengono periodicamente rimossi ed adeguatamente smaltiti.

Figura 5 - Schema generale di un impianto di fitodepurazione



La complessità e la tipologia dei sistemi di pre-trattamento dipendono essenzialmente dalle caratteristiche del refluo da trattare ed hanno la funzione di eliminare le particelle grossolane che potrebbero causare fenomeni di intasamento. I trattamenti più comuni sono la grigliatura e la dissabbiatura.

Lo stadio successivo di sedimentazione primaria, invece, ha la funzione di rimuovere buona parte dei solidi sedimentabili e può essere costituito da

una vasca Imhoff, da una vasca tricamerale o da una classica vasca di sedimentazione.

Il trattamento secondario di fitodepurazione può essere costituito da sistemi di diversa tipologia che possono essere combinati in serie o in parallelo con l'obiettivo di realizzare un trattamento più spinto. In questo caso il sistema di fitodepurazione è definito, comunemente, "ibrido" o "multistadio".

La configurazione impiantistica (o "lay-out" dell'impianto) dipende da numerosi fattori quali le peculiari caratteristiche qualitative del refluo da trattare, gli specifici obiettivi depurativi, le caratteristiche dell'area di intervento (morfologiche, urbanistiche, paesaggistiche, etc).

OBIETTIVI DEPURATIVI E DIMENSIONAMENTO

Il dimensionamento di un impianto di fitodepurazione dipende da una serie di parametri da determinare durante la fase di indagine preliminare. Dopo aver fissato gli obiettivi depurativi in funzione del recapito o dell'utilizzo finale del refluo ed aver scelto la tipologia depurativa e lo schema di impianto più adeguati, si può procedere al dimensionamento. In particolare, gli elementi che devono essere considerati nella progettazione di ogni sistema di fitodepurazione sono:

- i trattamenti preliminari;
- il sistema di impermeabilizzazione;
- il dimensionamento;
- la configurazione geometrica dei bacini di contatto;
- la tipologia e le caratteristiche del *medium* di riempimento;
- i sistemi di alimentazione, raccolta e regolazione del flusso.

Le caratteristiche tecniche di alcuni di questi elementi risultano indipendenti o molto poco dipendenti dalla tipologia di sistema di fitodepurazione selezionato (come ad esempio il sistema di impermeabilizzazione e i pretrattamenti) mentre le caratteristiche di altri variano nettamente al variare del tipo di sistema (come ad esempio i sistemi di alimentazione, raccolta e regolazione).

I sistemi di pre-trattamento (trattamento preliminare e trattamento primario) sono inseriti nella filiera con il principale scopo di rimuovere la maggior parte dei solidi contenuti nel refluo. La scelta di un sistema di

pretrattamento adeguato al tipo di liquame da trattare è fondamentale per garantire il funzionamento e la durata di un impianto di fitodepurazione.

Quando la fognatura è di tipo misto si deve prevedere un trattamento preliminare di grigliatura. Il trattamento primario deve essere tale da permettere la rimozione di almeno il 60% dei solidi sospesi sedimentabili ed a questo scopo sono comunemente utilizzate vasche settiche tipo Imhoff, vasche settiche tricamerale, fino alle comuni vasche di sedimentazione primaria. Nel caso di impianti di fitodepurazione a servizio di utenze non allacciate alla fognatura è inoltre importante prevedere un trattamento di separazione degli oli e dei grassi delle acque grigie prima della confluenza con le restanti, al fine di migliorarne la rimozione e limitare la formazione di composti solidi nei trattamenti primari.

Per evitare fenomeni di inquinamento del sottosuolo, i bacini di fitodepurazione devono essere provvisti di adeguati sistemi di impermeabilizzazione. A tale scopo possono essere impiegate geomembrane sintetiche (PEAD, PVC, PP) o bentonitiche, di spessore variabile fra 0.5 e 2mm, e collegate tramite saldature o sormonti. La possibilità di utilizzare terreno argilloso, pur presentando indubbi vantaggi di tipo economico, è limitata dalla permeabilità del terreno stesso i cui valori devono essere molto bassi (indicativamente pari a $K_s < 10^{-8}$ m/s, e con la quota di falda a non meno di un metro sotto la base del letto -Cooper, 1993). Infine, l'isolamento del sistema può essere realizzato anche ricorrendo a manufatti in cemento ma, per gli elevati costi di realizzazione e dismissione, nonché per motivi di sicurezza, di tenuta idraulica e, quindi, di compatibilità ambientale, tale modalità è sconsigliabile.

Il materiale di riempimento (o *medium di riempimento*) ha un ruolo fondamentale nell'efficienza depurativa di un impianto di fitodepurazione in quanto, oltre a fornire supporto alla vegetazione, svolge la funzione di filtro meccanico e chimico per alcune sostanze contenute nel refluo; per questo la scelta del tipo di medium è strettamente correlata alle caratteristiche del liquame che si deve depurare. Il medium di riempimento dovrà essere costituito da materiale il più possibile

rotondeggiante omogeneo, proveniente da rocce compatte, resistenti, non gessose né gelive, non contenente elementi di scarsa resistenza meccanica, sfaldati o sfaldabili. Il materiale dovrà, inoltre, essere scevro da materie terrose, sabbia o comunque materie eterogenee.

Elementi di dimensionamento

Il dimensionamento dei sistemi a flusso verticale è eseguito in base alla richiesta di ossigeno necessario per l'ossidazione del BOD₅. Considerando un corretto valore del coefficiente di areazione superficiale è possibile calcolare l'area superficiale del sistema, aumentandola del 25% in via cautelativa. In letteratura il valore del coefficiente di areazione superficiale risulta pari a 30 grammi di O₂ per m² di superficie (Brix, 1998).

Il fabbisogno di ossigeno per l'ossidazione del BOD₅ è pari a 1.0 Kg di O₂ per Kg di BOD₅, mentre per l'ammonio sono necessari 4.3 Kg di O₂ per Kg di NH₄⁺ da ossidare (Cooper, 1996), sulla base della stechiometria della reazione complessiva di ossidazione e sintesi del processo di nitrificazione biologica.

Geometria delle vasche

Per i sistemi a flusso verticale non esistono particolari vincoli nella scelta della forma del bacino, a differenza di quanto accade per i sistemi a flusso orizzontale. L'importante è assicurare una uniforme distribuzione del liquame su tutta la superficie. Tale condizione può essere garantita attraverso la disposizione di sistemi di distribuzione dotati di un certo grado di simmetria; di conseguenza anche la forma della vasca dovrà possedere caratteristiche di simmetria analoghe.

Al fine di massimizzare i rendimenti depurativi è necessario alimentare il sistema in modo discontinuo, lasciando tra una carica e l'altra il tempo adeguato per la percolazione del liquame e la successiva areazione. Soprattutto per impianti di dimensioni significative può essere importante garantire un funzionamento continuo prevedendo la possibilità di frazionamento del sistema in più vasche o settori alimentati in modo alternato.

Medium di riempimento

Riguardo la scelta ottimale del medium di riempimento per i sistemi a flusso sommerso verticale esistono diverse teorie, tutte supportate da dati di monitoraggio. Ad esempio nei sistemi VF di tipo anglosassone, si utilizza ghiaia media (8 –16 mm) mentre in quelli di tipo tedesco si usa sabbia grossolana (0-3 mm), preferibilmente di fiume e lavata per evitare che le parti fini intasino gli interstizi.

Il medium di riempimento può essere costituito unicamente da sabbia, oppure può prevedere la disposizione di più strati di inerti di granulometria diversa. I processi depurativi sono in ogni caso a carico dello strato di sabbia, mentre i materiali con granulometria più grossolana hanno prevalentemente una funzione di miglioramento delle caratteristiche idrauliche.

In superficie è consigliabile disporre uno strato di ghiaia, con uno spessore minimo di 10 cm (e comunque dipendente dal sistema di alimentazione scelto), a granulometria medio-fine per ottenere una più efficace distribuzione del refluo su tutto lo strato di sabbia sottostante; sul fondo è invece importante prevedere uno strato di almeno 15 cm di ghiaia grossolana (25-50 mm), per evitare che i grani di sabbia ostruiscano il sistema di drenaggio. Lo strato di sabbia dovrà essere sufficientemente spesso da permettere al suo interno lo sviluppo delle radici della specie vegetale prescelta e, comunque, non inferiore a 30 cm .

Particolarmente importante risulta l'esame qualitativo del materiale di riempimento al momento della fornitura. La sabbia dovrà essere scevra da materie terrose o organiche, essere preferibilmente di qualità silicea (in subordine quarzosa, granitica o calcarea), di grana omogenea, stridente al tatto, derivante da rocce con alta resistenza alla compressione, eventualmente lavata per l'eliminazione di sostanze nocive. A seguito di prove di decantazione in acqua la perdita in peso non dovrà superare il 2%.

LE SPECIE VEGETALI

Le specie vegetali utilizzate nei sistemi di depurazione naturale sono piante che vivono normalmente nelle zone umide (piante acquatiche e idrofile), adattate a crescere in suoli parzialmente o perennemente saturi d'acqua.

Le piante costituiscono il primo anello di tutte le catene biologiche dell'ambiente subaereo, grazie alla clorofilla che permette loro di trasformare l'energia solare in energia chimica, utilizzabile da tutti gli esseri viventi. Per esplicare questa fondamentale funzione i vegetali superiori necessitano di un ambiente tale da garantire la disponibilità di luce, di acqua e degli elementi chimici necessari ad operare le sintesi organiche.

Pertanto, nei sistemi di fitodepurazione il substrato, le caratteristiche chimiche delle acque reflue e le condizioni climatiche rappresentano gli elementi fondamentali che influiscono sulla componente vegetale. Le piante utilizzate nei sistemi di fitodepurazione posseggono la capacità di catturare l'ossigeno attraverso l'apparato fogliare e di condurlo, lungo il fusto, fino alle radici. Sono piante autoctone, per lo più erbacee perenni, capaci di adattarsi a condizioni di saturazione e di eutrofizzazione con uno sviluppo sotterraneo.

Funzione della vegetazione

La vegetazione svolge diverse funzioni, ripartite tra le diverse componenti strutturali. La parte sommersa delle piante acquatiche esplica la duplice funzione di filtro e di supporto per la popolazione microbica. Ulteriori funzioni svolte dalla vegetazione sono la riduzione del volume del refluo attraverso l'assorbimento radicale e la traspirazione fogliare, l'assorbimento e l'asportazione di fitonutrienti e di elementi tossici, la filtrazione del refluo (Borin, Tocchetto, 2007).

Le piante acquatiche (ad es. *Phragmites* spp. e *Typha* spp.) hanno sviluppato nel tempo particolari tessuti interni, gli aerenchimi, che consentono il trasporto dell'ossigeno dalle parti aeree alla rizosfera, garantendo l'instaurarsi di microzone aerobiche in un ambiente prevalentemente anaerobico.

In questo modo è favorito lo sviluppo di diverse famiglie di microrganismi aerobi nella rizosfera ed anaerobi nell'ambiente limitrofo, dove l'ossigenazione è praticamente assente.

In relazione all'entità dell'ossigeno trasferito alle radici non esistono valori uniformi in letteratura, in quanto tale processo è influenzato da molti fattori quali, ad esempio, la densità delle piante, le caratteristiche di permeabilità radicale o la temperatura esterna. Alcuni autori segnalano un rilascio di ossigeno da parte delle radici di *Phragmites australis* variabile, che oscilla da 0,02 g/m²/d a 45 g/m²/d (Reed & Brown, 1992).

La contemporanea presenza di condizioni aerobiche, anaerobiche ed anossiche è fondamentale per lo sviluppo di diverse famiglie di microrganismi che consentono l'ossidazione della sostanza organica, l'ammonificazione, la nitrificazione, la denitrificazione dell'azoto. L'azione depurante della vegetazione si esplica, inoltre, per assunzione attraverso l'apparato radicale di azoto, fosforo e altri microelementi.

Inoltre, intorno ai rizomi si formano dei microecosistemi molto efficienti e capaci di eliminare gli elementi estranei, come ad esempio i microrganismi patogeni (Brix, 1994; Vretare, 2000).

Selezione della vegetazione

La selezione delle specie vegetali deve essere effettuata tenendo conto di molteplici aspetti, quali le condizioni climatiche del sito in cui si intende realizzare l'impianto di fitodepurazione, le caratteristiche delle acque reflue da trattare, la qualità richiesta dell'effluente.

La vegetazione più adatta al sistema di fitodepurazione proposto dovrà essere selezionata in relazione all'adattabilità alle condizioni di saturazione del terreno, al potenziale di crescita dell'apparato radicale e di capacità di trasporto dell'ossigeno, all'elevata capacità di attività fotosintetica, alla resistenza ad elevate concentrazioni di inquinanti, alla resistenza alle malattie, alla semplicità di gestione (messa a dimora, propagazione, raccolta, ecc.).

La scelta delle specie vegetali dovrà essere effettuata anche tenendo conto di eventuali problemi relativi all'eccessivo sviluppo di alcune di esse, che possono risultare infestanti, compromettendo la funzionalità degli ambienti acquatici in cui si sviluppano.

Le specie vegetali utilizzate nei sistemi di depurazione naturale precedentemente descritti, appartengono prevalentemente a specie erbacee che, in relazione all'ambiente di crescita, possono essere suddivise in idrofite e macrofite emergenti o elofite.

Le idrofite sono piante acquatiche perenni le cui gemme si trovano sommerse o natanti (es. *Lemna spp*, *Ranunculus aquatilis*, *Potamogeton spp*, *Nymphaea spp.*). Alcuni autori suddividono le idrofite in due sottogruppi: pleustofite, se non ancorate al substrato e liberamente natanti in superficie e rizofite (idrofite sommerse e idrofite flottanti) se ancorate al fondo mediante il loro apparato radicale (Testoni 1993).

In particolare, le rizofite sono piante con radici che penetrano nel substrato, che vivono totalmente sommerse (idrofite sommerse) o ancorate al fondo e fluttuanti, emergenti dalla superficie solo con i fiori e, talvolta, con foglie galleggianti (idrofite flottanti). Sono reperibili in natura solo in acque sufficientemente profonde. L'adozione delle rizofite è scarsamente diffusa nella fitodepurazione. Il loro impiego è spesso limitato ad acque pulite ed ossigenate, essendo piante particolarmente sensibili alle condizioni anaerobiche o in combinazione con piante emergenti.

Le pleustofite invece, sono specie vegetali non ancorate al suolo, liberamente natanti, fluttuanti sulla superficie dell'acqua (come *Lemna spp.*, *Hydrocharis morsus-ranae* o *Wolffia arrhiza*). Sono specie vegetali dotate di un'elevata produttività e di una ingente capacità di assorbimento dei nutrienti, caratteristiche che le rendono particolarmente indicate per trattamenti terziari (rimozione dei nutrienti). Le specie galleggianti sono dotate di apparato radicale esteso che, sviluppandosi in tutta la colonna d'acqua, incrementa non solo la rimozione dei nutrienti per assunzione diretta, ma anche la superficie di crescita della biomassa adesa ed i processi di filtrazione e di adsorbimento delle sostanze colloidali. Le foglie possono determinare la copertura totale dello specchio liquido, limitando così la penetrazione della luce, con il conseguente sviluppo di alghe fotosintetiche e la diffusione dell'ossigeno nella colonna d'acqua dove s'instaurano facilmente condizioni anaerobiche. Frequente in queste piante è il

polimorfismo fogliare (le foglie sommerse hanno forma diversa da quelle che giungono alla superficie) (Pignatti, 1982).

In Tabella 1 sono riassunte le specie maggiormente utilizzate nei sistemi a flusso libero.

Tabella 1 – Piante acquatiche maggiormente utilizzate per i sistemi a flusso libero in Italia

ELOFITE		IDROFITE	
Nome scientifico	Nome comune	Nome scientifico	Nome comune
<i>Phragmites australis</i> (o <i>communis</i>)	Cannuccia di palude	IDROFITE SOMMERSE	
<i>Thypha latifolia</i>	Mazzasorda, Sala	<i>Myriophyllum spicatum</i>	Millefoglie d'acqua
<i>Thypha minima</i>	Mazzasorda	<i>Potamogeton natans</i>	Lingua d'acqua
<i>Thypha angustifolia</i>	Stiancia	<i>Potamogeton crispus</i>	Lingua d'acqua crespa
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	Giunco da corde	<i>Ceratophyllum demersum</i>	
<i>Juncus</i> spp.	Giunco	<i>Elodea canadensis</i>	Peste d'acqua comune
<i>Butomus umbellatus</i>	Giunco fiorito		
<i>Caltha palustris</i>	Parferugine	IDROFITE FLOTTANTI	
<i>Carex fusca</i>	Carice nera	<i>Nymphaea alba</i>	Ninfea comune, carfano
<i>Carex hirta</i>	Carice eretta	<i>Nymphaea rustica</i>	Ninfea rosa
<i>Carex elata</i>	Carice spondicola	<i>Nuphar lutea</i>	Nannufera
<i>Iris pseudacorus</i>	Iris giallo	<i>Nymphoides peltata</i>	Genziana d'acqua
<i>Eupatorium cannabinum</i>	Canapa d'acqua	<i>Callitriche stagnalis</i>	Stella d'acqua
<i>Mentha aquatica</i>	Menta acquatica	<i>Hottonia palustris</i>	Violetta d'acqua
<i>Epilobium irsutum</i>	Epilobia maggiore		
<i>Alisma plantago aquatica</i>	Mestolaccia	PLEUSTOFITE	
<i>Lyttrum salicaria</i>	Salcerella	<i>Hydrocharis morsus - ranae</i>	Morso di rana
<i>Sagittaria palustris</i>	Mastricale palustre	<i>Lemna</i> spp.	Lenticchie d'acqua
<i>Sparganium erectum</i>	Coltellaccio, biode	<i>Wolffia arrhiza</i>	
<i>Glyceria maxima</i>	Gramigna di palude	<i>Eichornia crassipes</i>	Giacinto d'acqua

Le elofite, dette anche macrofite radicate emergenti (Tabella 2) sono piante terrestri, che nel tempo si sono adattate alla vita su suoli parzialmente o completamente saturi d'acqua.

Sono solitamente presenti nelle paludi e sulle rive dei laghi. Pur avendo caratteristiche morfologiche diverse, la maggior parte delle specie emergenti presenta un esteso sviluppo di tessuti aerati (aerenchimi), che consente il trasporto di ossigeno dalle foglie alle radici (Brix, 1993) e al suolo circostante. Tali piante trovano utilizzo nei sistemi di fitodepurazione, in particolare nei sistemi a pelo libero d'acqua ed in quelli a flusso sub superficiale orizzontale e verticale.

Tabella 2 – Macrofite radicate emergenti (Elofite) utilizzate per i sistemi a flusso sommerso

Nome	Descrizione	Aspetto
Cannuccia di palude (<i>Phragmites australis o communis</i>)	Specie erbacea, perenne, rizomatosa; può raggiungere anche 4 m di altezza. Foglie, opposte, ampie e laminari, lunghe 15-60 cm, larghe 1 - 6 cm, glabre, verdi o glauche. All'apice del fusto è presente una pannocchia di colore bruno o violaceo, lunga fino a 40 cm. Germoglia a marzo e fiorisce a luglio.	
Mazzasorda o Mazza di tamburo (<i>Typha latifolia</i>)	Specie erbacea, alta anche 2,5 m. Infiorescenze femminili formate da migliaia di piccolissimi fiori di colore bruno circondati da peli. Le spighe cilindriche marroni ed a forma di salsiccia sono lunghe fino a 30 cm.	
Mazzasorda (<i>Typha minima</i>)	Specie erbacea alta 30 - 80 cm. Foglie lineari, canalicolate, lunghe e strette (1-3 mm). Fioritura maggio-giugno.	
Stiancia (<i>Typha angustifolia</i>)	Specie erbacea perenne, rizomatosa, altezza 1,5-2 m, portamento eretto, fogliame semipersistente. Foglie lineari, cerulee. Vegeta in terreno fresco, umido, acquitrinoso e tollera periodi di immersione anche prolungati; è molto diffusa nelle paludi, negli stagni e nei fossi, fino a 1.000 m di altitudine. Il periodo di fioritura è giugno-luglio.	
Giunco da corde (<i>Shoenoplectus lacustris o Scirpus lacustris</i>)	Specie erbacea perenne, rizomatosa, in condizioni particolarmente favorevoli può raggiungere i 3 m di altezza. Fusti eretti, cilindrici, di colore verde scuro. Foglie brevi, lineari o ridotte a guaine alla base del fusto. Infiorescenza a forma di capolino, situata al termine del fusto, costituita da piccole spighe rosso-brune	
Giunco (<i>Juncus spp</i>)	Specie erbacea perenne, rizomatosa. Può raggiungere 1-1,5 m di altezza sviluppando fusti verdi, privi di foglie o con foglie avvolte intorno al fusto.	

I sistemi più diffusi in Europa sono quelli che utilizzano macrofite radicate emergenti (HF e VF). Le specie vegetali utilizzate sono numerose; in generale, per ottenere i migliori risultati in termini di sviluppo della vegetazione, si consiglia di utilizzare specie vegetali autoctone, già adattate alle condizioni ambientali del sito.

Usualmente in ambito europeo sono utilizzate piante appartenenti al gen. *Phragmites* in quanto presentano numerosi vantaggi, quali la scarsa manutenzione richiesta e la maggiore velocità di accrescimento e di diffusione, soprattutto rispetto al giunco di palude (*Scirpus lacustris*). Le specie comunemente utilizzate in Italia sono *Phragmites australis*, *Schoenoplectus lacustris* (o *Scirpus lacustris*) e *Typha latifolia*.

Nei sistemi a flusso sommerso la scelta delle piante deve tener conto della penetrazione dell'apparato radicale (Tabella 3), utile per calcolare l'altezza dei letti.

Tabella 3 – *profondità radicale delle specie acquatiche più utilizzate nei sistemi a flusso sommerso orizzontale*

Planta acquatica	Penetrazione delle radici (cm)
<i>Phragmites australis</i> (o <i>communis</i>)	70
<i>Typha latifolia</i>	30 - 40
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	80
<i>Juncus effusus</i>	60 - 90

In fase di progettazione, la profondità e l'estensione dell'apparato radicale sono parametri importanti da considerare in quanto il trasferimento di ossigeno da un lato e la superficie di contatto tra refluo e rizosfera dall'altro, influenzano le rese depurative.

Nel caso invece dei sistemi a flusso superficiale si deve porre attenzione all'altezza dell'acqua (Tabella 4), quale elemento biotico fondamentale per la scelta delle piante.

Tabella 4 – *Profondità dell'acqua ottimale di alcune piante acquatiche*

ELOFITE		IDROFITE	
Specie vegetale	Profondità dell'acqua (cm)	Specie vegetale	Profondità dell'acqua (cm)
<i>Phragmites spp</i>	0 -100	<i>Myriophyllum spp</i>	10 – 20
<i>Thypha minima</i>	0 - 40	<i>Potamogeton spp</i>	> 50
<i>Juncus effesus</i>	0 – 30	<i>Ceratophyllum demersum</i>	> 50
<i>Lythrum salicaria</i>	0 – 30	<i>Nymphoides peltata</i>	30
<i>Iris pseudacorus</i>	0 – 20	<i>Nuphar lutea</i>	30 – 50
<i>Butomus umbellatus</i>	10 – 30	<i>Nymphaea alba</i>	70 – 110
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	0 – 100	<i>Nymphaea rustica</i>	70 – 110
<i>Carex spp</i>	0 – 10	<i>Lemna spp</i>	galleggiante
<i>Alisma plantago aquatica</i>	10 – 20	<i>Hydrocharis morus-ranae</i>	galleggiante

Oltre a quanto riportato, nella scelta e nella distribuzione delle piante acquatiche in un sistema di fitodepurazione è necessario considerare anche i seguenti aspetti:

- reperibilità in vivaio;
- costi di acquisto e posa in opera;
- costi di manutenzione;
- caratteristiche paesaggistico-decorative.

Propagazione e messa a dimora della vegetazione

La propagazione delle specie vegetali può avvenire attraverso la semina, la piantagione dei rizomi o di essenze vegetali di varie dimensioni (o livelli di crescita). La semina richiede tempi più lunghi per la crescita delle piante e per raggiungere la completa ed uniforme copertura del sistema. Per questi motivi è generalmente consigliabile adottare le altre modalità.

Nel caso specifico delle macrofite radicate come *Phragmites*, la tecnica d'impianto è rappresentata dal trapianto di piantine con pani di terra (con densità di circa 3-4 piantine/m²) in primavera e dall'interramento di cespi (2/m²) o di rizomi (4-5 m²) di circa 15-20 cm di lunghezza in autunno. Le porzioni di rizoma dovranno essere inserite nel medium di crescita (ghiaia) ad una profondità di circa 15 cm. Per i sistemi a flusso sommerso,

nel caso di messa a dimora di piante già sviluppate (con parte aerea), si consiglia una densità di 4 unità/m², mentre per i sistemi a flusso libero si deve tenere presente le esigenze ecologiche delle essenze utilizzate.

La messa a dimora è un'operazione delicata che, al fine di ottenere un rapido ed uniforme attecchimento delle specie vegetali selezionate, deve essere eseguita in modo da ridurre i rischi di competizione da erbe infestanti, contenere i problemi conseguenti all'insorgere di malattie e prevenire i problemi di rischio climatico (www.inwaterman.eu/file/documenti/Borin_Inwaterman.pdf).

Le piante impiegano circa 2 anni per raggiungere il completo sviluppo e per il raggiungimento da parte dell'apparato radicale della massima profondità. Lo sviluppo dei rizomi orizzontali consente la totale copertura dell'impianto di fitodepurazione già a partire dal secondo anno vegetativo.

L'IMPIANTO DI FITODEPURAZIONE DEI RESIDUI DI FRANTOIO REALIZZATO PRESSO IL CERSAA

Tenuto conto dei dati di progettazione e dei vincoli sinteticamente illustrati più sopra, si è provveduto alla realizzazione di una vasca di fitodepurazione costruita con blocchi di cemento vibrato e rinforzato amovibili (tipo new jersey), impermeabilizzata con film plastico del tipo di quelli utilizzati per le discariche (spessore 0,20 mm, fornito in pezzo unico, ovvero in strisce tra loro già saldate a misura. Il volume ritenuto sufficiente alla validazione dei saggi svolti è stato calcolato in 20 m³(Figure 8, 9, 10, 11, 12, 13).

La vasca così realizzata è stata riempita per un volume pari ad almeno 20 m³ con ghiaia di granulometrie differenti, così da realizzare un franco di coltivazione adeguato ad ospitare l'apparato radicale delle piante che trapiantate in esso (Figure 6, 7).

La movimentazione della soluzione in via di depurazione all'interno dell'impianto è stata realizzata mediante l'impiego di una o più pompe circolative sommerse, a seconda delle condizioni d'uso e adatte garantire il rimontaggio della soluzione. E' stato previsto anche un semplice sistema di ossigenazione (zampillio della soluzione) per garantire la presenza di ossigeno lungo il franco di coltivazione.

L'afflusso della massa liquida da depurare è stato garantito da un miscelatore-dosatore applicato al momento dell'immissione della soluzione all'interno dell'impianto.

Il controllo dell'impianto è stato garantito da un sistema di controllo e di gestione.

Figura 6 - Progetto generale dell'impianto

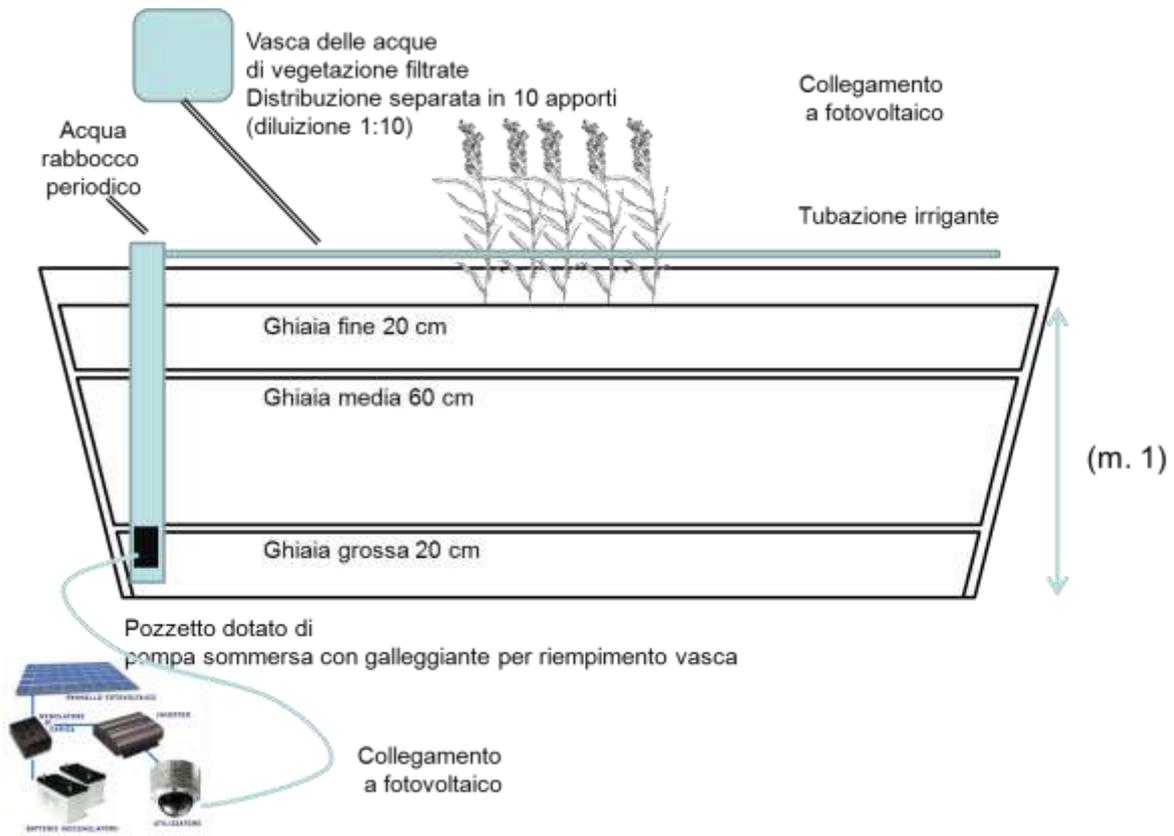


Figura 7 -Sezione delle ghiaie

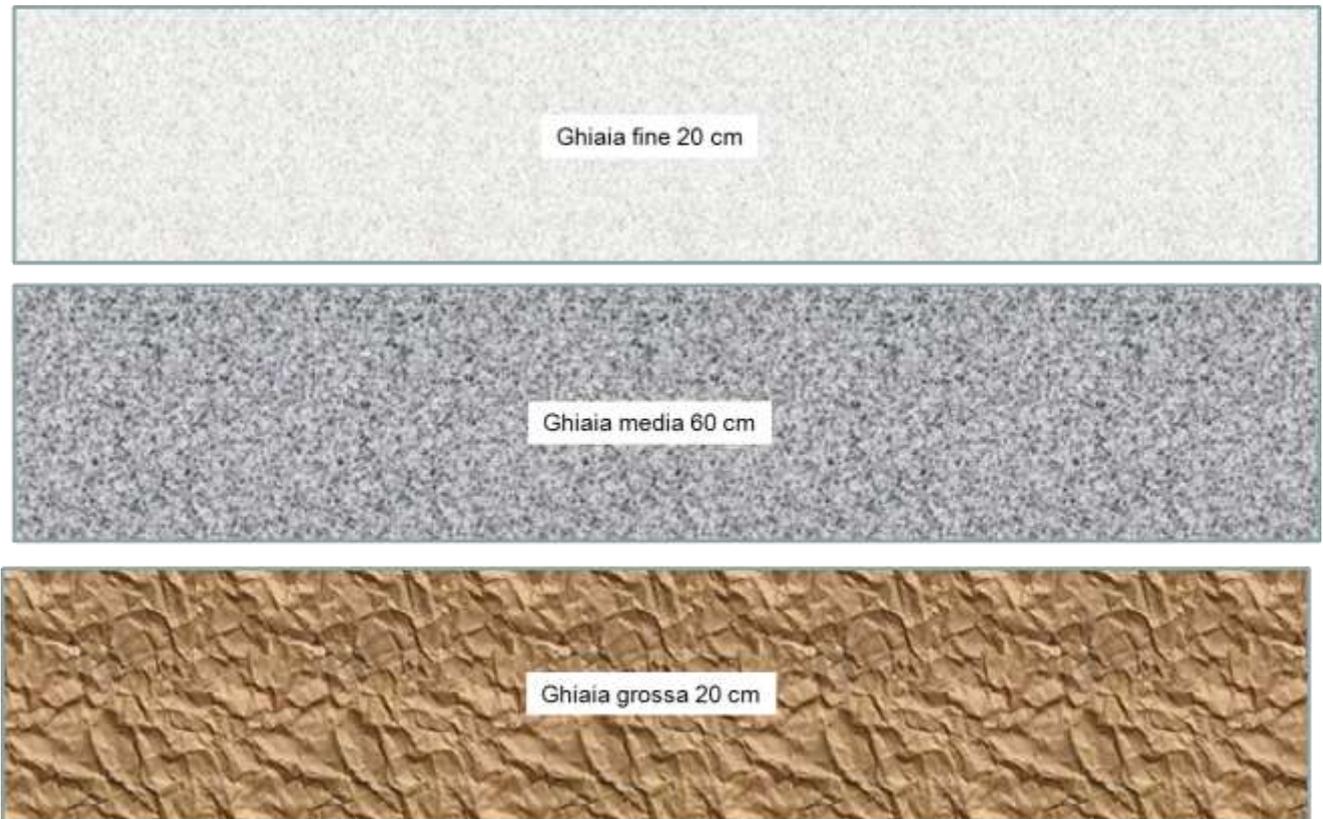


Figure 8, 9- Immagini dell'impianto



Una volta realizzata la vasca e predisposti tutti i materiali di riempimento e di conduzione dell'impianto, è stata impiantata la coltura desiderata. Il ruolo di piante non è soltanto quello di assimilazione diretta degli inquinanti nei tessuti, ma anche quello di creare un habitat idoneo alla crescita di microrganismi che svolgono una buona parte del processo di degradazione della materia organica e aiutano il mantenimento della conducibilità idraulica nei sistemi a flusso sommerso.

Figure 10, 11, 12, 13 - *Immagine delle fasi di costruzione dell'impianto*



La scelta delle piante da utilizzare è stata effettuata tenendo conto della tipologia impiantistica scelta, dell'efficacia depurativa delle differenti specie, della loro ecologia, della compatibilità con l'ambiente e della loro disponibilità sul territorio. Considerate le attuali tendenze del mercato e verificati alcuni impianti realizzati nel nord Italia, se si escludono i piccoli impianti "promozionali", che prevedono l'impianto di specie molto diverse tra loro tra cui molte specie ornamentali, la tendenza attuale è

quella che prevede la messa a dimora di specie da biomassa, utilizzabile successivamente come ammendante, ovvero per la produzione di energia (combustione o fermentazione anaerobia). Nel caso di realizzazione quale quella presentata in queste pagine (sistemi a flusso sommerso orizzontale e verticale), si ritiene di inserire la coltivazione della canna comune (*Phragmites australis*). Questa specie, oltre ad essere ben adatta alle zone umide (elofite ed idrofite), ha la caratteristica di agire da “pompa di ossigeno” mediando il trasferimento di ossigeno dalle parti aeree alla rizosfera incrementando la degradazione aerobica delle sostanze organiche e la nitrificazione (Figura 14). *Phragmites australis*, inoltre, è anche in grado di costruire intorno ai suoi fusti un microecosistema molto efficiente in grado di eliminare gli elementi estranei (ad esempio microrganismi patogeni) (Brix, 1994; Vretare, 2000). E’ possibile utilizzare anche altri generi di elofite come *Thypha*, *Juncus*, *Schoenoplectus* che, tuttavia, sono meno tolleranti verso gli stress da trapianto e non si adattano a tutti tipi di refluo.

Figura 14 - Impianto di *Phragmites australis* appena messo a dimora



Caratteristiche salienti di *P. australis*: E' una specie elofita perenne, erbacea, rizomatosa, rustica. Appartiene alla famiglia delle Poaceae (Graminaceae). E' alofila, per cui si può trovare negli ambienti palustri anche fino in riva al mare, dalla sorgente del fiume fino alla sua foce. La rapidissima moltiplicazione e la sua diffusione cosmopolita l'hanno resa pianta temibile per la sua invasività nel passato, soprattutto nelle risaie e nelle piane di allevamento ittico. Nel secolo scorso, i fusti di *Phragmites australis* venivano utilizzati per la costruzione dei tetti e dei "capanni" nelle zone vallive. Oggi è completamente rivalutata: l'ottima attività biologica e il facile reperimento in ogni parte del pianeta ne hanno determinato lo studio a livello internazionale e l'applicazione nella fitodepurazione. La pianta si divide tagliando una porzione del rizoma sotterraneo. Dal rizoma nasce una nuova pianta, costituita da 1 o 2 culmi e dall'apparato radicale. Lo sfalcio di *Phragmites australis* deve essere eseguito a inizio primavera, prima della ripresa vegetativa.

Fiori: pannocchia apicale, lunga 10-40 cm, con spiglette di 6-10 mm, con 3-9 fiori;

Frutti: cariossidi;

Foglie: alterne, lanceolate, strette, verde glauco; ligula con corona di peli, guaina aderente al culmo;

Fusto: culmo eretto, cilindrico, cavo, articolato in nodi e internodi;

Dimensioni: 3-5 metri di altezza;

Esposizione: pieno sole;

Terreno: argilla, sabbia;

Irrigazione: essendo pianta elofita, ha bisogno di mantenere il piede bagnato, in condizioni di saturazione, per gran parte del suo ciclo vitale;

Temperature: da -15°C a 35°C;

Potatura: il taglio del secco di questa erbacea può essere eseguito ogni anno nel mese di marzo, prima della ripresa vegetativa;

Concimazione: organo-minerale bilanciata primaverile;

Curiosità: il culmo viene attraversato dall'ossigeno ottenuto dall'attività fotosintetica e veicolato all'apparato radicale.

DURATA PREVISTA DELL'IMPIANTO

Un impianto realizzato secondo le indicazioni sopra illustrate è destinato ad operare per un lungo periodo di tempo; richiede interventi limitati di manutenzione ordinaria e straordinaria e può essere utilmente adoperato per le valutazioni di merito che dovranno essere fatte.

PRETRATTAMENTI DELLE ACQUE DI VEGETAZIONE

Gli impianti di fitodepurazione necessitano di pretrattamenti (grigliatura, fossa Imhoff, disoleatori, ecc.) al fine di rimuovere le sostanze particolate e le parti più grossolane presenti nei liquami in ingresso, per evitare intasamenti dei letti filtranti. Questo pretrattamento migliora l'efficienza depurativa dell'impianto di fitodepurazione e ne allunga la vita media. Il pre-trattamento è stato realizzato a monte, prima della fase di caricamento delle acque di vegetazione nell'impianto.

MECCANISMI DI DEPURAZIONE

La depurazione avviene mediante l'azione combinata tra substrato permeabile, piante, refluo e microrganismi presenti.

I meccanismi di rimozione degli inquinanti (sostanza organica, azoto fosforo e patogeni) sono simili a quelli dei letti percolatori, e sono di tipo fisico, chimico e biologico tra i quali:

- processi fisici:
 - filtrazione meccanica da parte del medium
 - sedimentazione
 - adsorbimento del medium per azione delle forze di Van der Waals
- processi chimici:
 - sedimentazione e la degradazione di numerosi inquinanti per azione della luce e delle reazioni chimiche che si creano sia in zone ossigenate che ridotte
- processi biologici:
 - assorbimento da parte delle radici delle piante dei nutrienti biochimici
 - metabolismo della flora microbica che svolge la maggior parte del lavoro di depurazione.

La funzione delle piante è molteplice in quanto le loro radici:

- rendono il substrato permeabile idraulicamente e stabile
- attenuano l'irraggiamento solare, creando un ambiente sfavorevole alla crescita di alghe
- regolano gli scambi di calore tra aria ed acqua e quindi sull'evaporazione
- riducono la velocità del flusso idraulico
- assorbono, in frazione modesta, gli elementi nutritivi (principalmente inorganici) presenti nell'acqua da depurare
- ma principalmente forniscono una parte dell'ossigeno necessario alla decomposizione della materia organica da parte dei microrganismi aerobici eterotrofi.

Infatti le macrofite messe a dimora sul medium hanno la naturale capacità di catturare l'ossigeno attraverso l'apparato fogliare e condurlo, attraverso il fusto, ai rizomi.

a superficie di questi, già dopo pochi mesi dall'avviamento dell'impianto, si rivestirà di un film batterico di microrganismi.

Questi microrganismi eterotrofi aerobici che vivono nelle nicchie ossigenate adiacenti alle radici delle piante acquatiche, operano gran parte del processo di degradazione della sostanza organica e di ammonificazione e nitrificazione-denitrificazione dell'azoto, inoltre filtrano direttamente il materiale in sospensione e particolato

Nei sedimenti e nelle zone più lontane dalle radici si verificano processi anossici e anaerobici, comunque utili ai fini del processo depurativo quando in giusto rapporto con i processi aerobici.

Vengono rimossi quasi totalmente anche i microrganismi patogeni.

RIMOZIONE DEI NUTRIENTI

Per quanto riguarda la rimozione dei composti dell'azoto e del fosforo, che sono i tipici fattori di eutrofizzazione, questa avviene attraverso varie vie.

I nitrati vengono assimilati dalle macrofite o convertiti, attraverso processi biochimici di denitrificazione, in azoto gassoso che si libera nell'atmosfera.

Il fosforo viene in parte assimilato dai vegetali, in parte si insolubilizza sotto forma di fosfati minerali di calcio, di ferro o alluminio oppure forma complessi organici più o meno stabili che in seguito mineralizzano attraverso processi chimici o biochimici.

MANUTENZIONE

L'unica manutenzione in questi impianti è il controllo periodico dello scarico a mezzo di analisi chimiche, come richiesto dalla legge.

Vi è poi da considerare la manutenzione (vuotatura periodica in funzione anche del dimensionamento dell'impianto) delle vasche a monte del sistema (vasca Imhoff, degrassatore, ecc.).

Gli impianti correttamente dimensionati non prevedono la sostituzione delle piante acquatiche.

e piante, se scelte nei modi, nei tempi e collocate correttamente, non devono essere rimpiazzate o sostituite.

VANTAGGI

- costi minimi di costruzione e manutenzione rispetto a quelli degli impianti di depurazione tradizionali
- assenza di odori e di proliferazione di insetti nei sistemi a flusso sommerso
- totale abbattimento della carica patogena
- creazione di un'area verde al posto di manufatti in cemento
- possibilità di riutilizzo dell'acqua depurata a scopi irrigui
- riduzione dei consumi di energia elettrica rispetto ad un depuratore tradizionale
- assenza o ridotta necessità di apparecchiature elettromeccaniche
- effluente finale conforme alle norme vigenti (tabella 1,2 D.lg. n152/2006)
- funzionamento depurativo indipendente dall'assenza di energia o sovraccarico idraulico fondamentali per il funzionamento dei processi di depurazione tradizionali.

SVANTAGGI

- richiesta di maggiori superfici rispetto ai depuratori convenzionali
- costi di acquisizione del suolo sul quale costruire l'impianto

NORMATIVA

Il Testo unico sull'ambiente (D.lg. 152/2006) incentiva gli impianti di fitodepurazione in quanto tecniche di depurazione naturale in possesso dei requisiti di "trattamento appropriato" (allegato 3/5): sopportare adeguatamente forti variazioni orarie del carico idraulico ed organico, semplificare la manutenzione e la gestione, minimizzare i costi gestionali.

Il legislatore *auspica* il ricorso alle tecnologie di depurazione naturale per:

- "agglomerati con popolazione equivalente compresa tra 50 e 2.000 abitanti"
- "agglomerati in cui la popolazione equivalente fluttuante è superiore al 30% della popolazione residente e laddove le caratteristiche territoriali e climatiche lo consentano"
- "agglomerati di maggiori dimensioni con popolazione equivalente compresa tra i 2.000 e i 25.000 abitanti, anche in soluzioni integrate"

con impianti a fanghi attivi o a biomassa adesa, a valle del trattamento, con funzione di affinamento”.

Bibliografia

- Robert H. Kadlec, Robert L. Knight (1996): *Treatment Wetlands*
- Gerald A. Moshiri (1993): *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*
- Department of Land and Water Conservation, New South Wales (1998): *The Constructed Wetland Manual*
- 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; Romagnoli F. (2000): *Fitodepurazione: manuale tecnico divulgativo per una gestione sostenibile del ciclo delle acque*, Comune di Reggio Emilia
- Borin M. (2003): *Fitodepurazione: soluzioni per il trattamento dei reflui con le piante*, Edagricole, Bologna



**Associazione produttori olivicoli
della Liguria (A.P.O.L.)**

Via XX Settembre, 21

16121 GENOVA

Tel 010 5601155 – 010 5601152 www.apol.liguria.it



Centro di Sperimentazione e Assistenza Agricola

**Camera di Commercio
Savona**

Centro di Sperimentazione e Assistenza Agricola

Regione Rollo 98,

17031 Albenga (Sv) - Italia

Tel. +39 0182.554949 - Fax +39 0182.50712

www.cersaa.it