

LIFE+
Environment Policy and Governance



ECOMAWARU
**ECO-Sustainable MAagement of WAter and
wastewater in RUral communities**

FINAL REPORT

ANNEX 7.2G
TECHNICAL HANDBOOK "TRATTAMENTI NATURALI DELLE
ACQUE REFLUE"

FEBRUARY 2014

LIFE08 ENV/IT/000390
ECOMAWARU



Handbook

Trattamenti naturali delle acque reflue





Indice

Presentazione

1. Introduzione

1.1 Generalità sulla fitodepurazione

2. Inquinamento e depurazione degli scarichi idrici

2.1 Richiami normativi e principali parametri di inquinamento

2.2 Sistemi tradizionali di depurazione biologica

2.3 Sistemi naturali di depurazione

3. Fitodepurazione a macrofite e tipologia di impianti

3.1 Dimensionamento e conduzione

4. Fitodepurazione a microfite

4.1 Le alghe

4.2 Tipologie di impianti

5. Caso di studio

5.1 Dimensionamento sistema di fitodepurazione pond (10 AE)

5.2 Dimensionamento sistema di fitodepurazione fotobioreattore



5.3 Sperimentazione effettuata

6. Conduzione degli impianti di fitodepurazione

7. Bibliografia



Presentazione

Questo manuale, realizzato nell'ambito di **un progetto LIFE08 ENV/IT/000390 – ECOMAWARU**, vuole essere uno strumento, in un primo approccio, per fornire informazioni sulla fitodepurazione come tecnica di trattamento ecologicamente compatibile.

ECOMAWARU - acronimo di ECO-sustainable MAnagement of WAter and wastewater in RUrAl communities - è un progetto dimostrativo co-finanziato dall'Unione Europea mediante il programma LIFE+2008 di durata triennale (2010-2013).

Il progetto vede coinvolti il Comune di Varese Ligure e l'Università degli Studi di Genova, Dipartimento di Ingegneria Chimica e di Processo (DICHEP) ora Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA), con la finalità di verificare l'applicabilità della fitodepurazione a microalghe come sistema di affinamento degli scarichi idrici da un impianto di depurazione delle acque e da un piccolo insediamento civile, seguendo la politica dell'approccio sostenibile da tempo adottato dal Comune di Varese Ligure.



1 Introduzione

1.1 Generalità sulla fitodepurazione

I sistemi biologici di depurazione sfruttano la capacità autodepurante dei corpi idrici naturali e del suolo. In termini generali, essi consistono in grandi bacini ove i reflui o l'acqua da trattare subiscono un'azione depuratrice ad opera di microrganismi, quali batteri, alghe, funghi e macrofite.

Ne sono un esempio il lagunaggio e i sistemi di fitodepurazione.

La fitodepurazione è una tecnica naturale ed ecocompatibile che permette di depurare le acque reflue con l'impiego di alghe e piante superiori. Vengono ricostituiti artificialmente habitat naturali in modo che si possano sviluppare le piante adatte e necessarie, ricreando processi simili a quelli che avvengono naturalmente in laghi, stagni, fiumi e mari.

La capacità depurativa è dovuta ad un insieme di fattori quali: la presenza di ossigeno nel substrato, il potere depurativo della biomassa presente nel substrato e l'assimilazione di sostanze organiche e nutrienti da parte delle alghe stesse e piante superiori. È comunque principalmente la buona cooperazione tra le piante e i microrganismi che vivono su di loro o vicino a loro che attiva la rimozione degli inquinanti.

Il trattamento dei reflui di scarico di origine domestica mediante fitodepurazione ha origini antiche. Questa tecnica di depurazione era infatti conosciuta e culturalmente accettata già nell'antichità, in particolare nell'antica Grecia. Allora costituiva l'unico modo per assimilare e stabilizzare completamente i reflui nel suolo.

A Roma, a partire dal periodo imperiale, si era soliti scaricare la cloaca Massima (così era denominato il sistema fognario della città) nelle paludi Pontine, al fine di sfruttarne il naturale potere autodepurante.

Alla fine del XVIII secolo, in Inghilterra, Francia e Germania si utilizzavano i liquami per irrigare grandi superfici di terreno, impiegandoli come fertilizzante.

Nel XIX secolo le prime applicazioni della fitodepurazione come metodo di trattamento delle acque reflue risalgono alla fine degli anni '70 e sono state realizzate in Germania ad opera dei ricercatori Seidel e Kickuth, oggi considerati i due principali fondatori della fitodepurazione a livello nazionale e mondiale. Negli anni '80 e '90 sono sorti numerosi impianti di varie dimensioni, soprattutto in Baviera e in Bassa Sassonia, nell'ultimo ventennio in Germania si è



avuta una crescita esponenziale di impianti di fitodepurazione, tanto che si stimano circa 10000 impianti operativi.

La tecnica della fitodepurazione, sviluppatasi in tutta Europa ed in particolare nei paesi nordici a partire dalla metà degli anni '80, è in fase di espansione ed oggetto di numerosi studi, volti all'affinamento delle tecniche esistenti, per esempio alla ricerca di nuove soluzioni impiantistiche, nuovi materiali e nuove specie vegetali.

Tale tecnica ha conosciuto un enorme successo anche negli USA, dove si è imposta come tecnologia efficace nella soluzione di molti problemi relativi al trattamento delle acque.

In Italia, così come nei paesi mediterranei, la fitodepurazione non è stata agli inizi oggetto di grande considerazione, si applicò nei terreni agricoli della pianura lombardo-piemontese la tecnica della "marcita" (sistema a prato marcitoio) che trova le sue origini nel Medioevo, ma è a partire dai primi anni '90 che è stata effettivamente sperimentata. Ad oggi è considerata un'ottima tecnica alternativa ai tradizionali impianti a fanghi attivi e alla subirrigazione per le piccole e medie comunità. Ciò è testimoniato dalla comparsa della fitodepurazione come tecnica consigliata per la depurazione delle acque reflue nel D.Lgs. 152/99.



2 Inquinamento e depurazione degli scarichi idrici

2.1 Richiami normativi e principali parametri di inquinamento

Dal punto di vista legislativo, nel D.Lgs. 152/99 il riferimento alla tecnica della fitodepurazione è esplicito, in particolare nei casi previsti dall'art. 27, comma 4, in cui vengono citati i trattamenti appropriati per la depurazione di scarichi prodotti da piccole comunità (fino a 2000 AE). Per utenze più consistenti la fitodepurazione diventa una tecnica piuttosto dispendiosa soprattutto in termini di superfici impegnate.

Il successivo D.lgs.152/2006 “Norme in materia ambientale”, conosciuto come “Testo Unico sull’ambiente” (TUA), oltre ad indicare precisi limiti per gli scarichi di agglomerati urbani compresi tra i 50 e i 2000 abitanti equivalenti (art.105 comma 2), suggerisce il ricorso a particolari tecniche depurative quali la fitodepurazione, considerate idonee per gli agglomerati la cui popolazione fluttuante sia superiore al 30% della popolazione residente. Particolare rilievo viene dato alla tutela qualitativa della risorsa idrica, che si realizza attraverso una serie di disposizioni in materia di reti fognarie e di criteri generali di disciplina agli scarichi. Queste disposizioni sono rese operative dalle indicazioni tecniche contenute nell’Allegato V del decreto, compresi i limiti previsti agli scarichi per i vari parametri e le efficienze depurative che devono essere garantite dagli impianti.

La norma precisa che il sistema prescelto di trattamento dei reflui deve anche:

- rendere semplice la manutenzione e la gestione;
- essere in grado di sopportare adeguatamente forti variazioni orarie del carico idraulico ed organico;
- minimizzare i costi di gestione.

La fitodepurazione, in questo senso, si presenta come una soluzione che permette di soddisfare gli obblighi normativi, sia per quanto riguarda il rispetto dei limiti tabellari che per gli aspetti economici della gestione dell’impianto.

Relativamente alla normativa regionale di gestione delle acque reflue, sempre il D. Lgs. n 152/2006 specifica all’articolo 105 comma 5 che “Le Regioni dettano specifica disciplina per



gli scarichi di reti fognarie provenienti da agglomerati a forte fluttuazione stagionale degli abitanti, tenuto conto di quanto disposto ai commi 2 e 3 e fermo restando il conseguimento degli obiettivi di qualità”.

Per quanto riguarda il caso del progetto LIFE08 ECOMAWARU, legato appunto ad una comunità rurale ligure, si fa riferimento alle disposizioni della Legge Regionale per la Liguria n° 43 del 16/08/1995, che nella sezione modalita' per gli scarichi nei corpi idrici fornisce le indicazioni per la gestione di scarichi di acque reflue in corpi idrici provenienti da agglomerati con meno di 2.000 abitanti equivalenti e recapitanti in acque dolci.

Inoltre, in un'ottica di salvaguardia della risorsa idrica, soprattutto nelle aree sensibili ai sensi della Direttiva comunitaria 91/271, è indispensabile rendere compatibile lo scarico con il corpo recettore al fine di non compromettere le naturali capacità depurative del sistema naturale. In quest'ottica, l'applicazione dei trattamenti terziari assume un ruolo di fondamentale importanza.

Affinché lo scarico non comprometta le naturali capacità depurative del corpo idrico recettore è necessario valutare i principali parametri di inquinamento del refluo in termini di concentrazione e rapportarli ai valori limite per gli scarichi stabiliti dal D.Lgs.152/2006.

Tali parametri sono:

- **pH**: concentrazione idrogenionica data dalla nota espressione

$$\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}_3\text{O}^+]$$

dove H_3O^+ è la concentrazione idrogenionica presente in soluzione acquosa

valore limite D.Lgs. 152/2006 5.5 – 9.5

- **COD** (Chemical Oxygen Demand): esprime la quantità di ossigeno richiesta per ossidare chimicamente le sostanze ossidabili presenti nel liquame, è un indice aspecifico degli inquinanti presenti sia biodegradabili che non biodegradabili

valore limite D.Lgs. 152/2006 160 mg/l

- **BOD₅** (Biochemical Oxygen Demand): quantità di ossigeno richiesta dai microrganismi aerobi per poter degradare le sostanze organiche presenti nel liquame, misurata in 5 giorni, facendo quindi riferimento alla richiesta di ossigeno della sola frazione carboniosa biodegradabile

valore limite D.Lgs. 152/2006 40 mg/l



- Solidi sospesi totali: tutte quelle sostanze che è possibile rilevare ad avvenuta evaporazione del liquido stesso
valore limite D.Lgs. 152/2006 80 mg/l
- Azoto: presente nei liquami grezzi principalmente sotto forma di
N_{NH₄} (azoto ammoniacale) prodotto dalla degradazione di sostanze azotate organiche complesse (esempio: proteine)
valore limite D.Lgs. 152/2006 15 mg/l
N_{NO₂} (azoto nitroso) ottenuto dall'ossidazione dello ione ammonio presente in soluzione per via batterica
valore limite D.Lgs. 152/2006 0.6 mg/l
N_{NO₃} (azoto nitrico) ottenuto dall'ulteriore ossidazione dell'azoto nitroso per via batterica
valore limite D.Lgs. 152/2006 20 mg/l
- **Fosforo**: presente nelle acque reflue principalmente come orto fosfato PO_4^{3-}
valore limite D.Lgs. 152/2006 10 mg/l o 1 mg/l per scarichi in aree sensibili

2.2 Sistemi di depurazione biologica tradizionali (cenni)

Si ritiene opportuno fornire in modo sintetico alcune informazioni inerenti ai trattamenti biologici tradizionali quali: impianti a fanghi attivi, sistemi SBR e filtri percolatori.

L'impianto a fanghi attivi è un trattamento di tipo aerobico condotto mediante una più o meno prolungata aerazione dello scarico in contatto con una numerosa popolazione batterica. Negli impianti a fanghi attivi, che sono processi a biomassa sospesa, le popolazioni batteriche responsabili del trattamento depurativo sono presenti sotto forma di fiocchi e tenuti in sospensione attraverso l'insufflazione d'aria.

La biomassa attiva è costituita da numerosi microorganismi (batteri, protozoi, metazoi, rotiferi, larve di insetti, vermi) ed è prodotta continuamente all'interno del reattore in seguito a reazioni biochimiche della degradazione del carbonio organico e di utilizzazione dei nutrienti, con conseguente sintesi di nuovo materiale organico.



Schematicamente, un impianto a fanghi attivi è rappresentato da una vasca di aerazione dove avviene il contatto tra la popolazione batterica e lo scarico da depurare introdotto in continuità, la miscela aerata in uscita dalla vasca viene inviata alla sedimentazione ove i fiocchi di fango attivo vengono separati dall'effluente che può quindi essere scaricato, mentre il fango viene reintrodotta parzialmente nel sistema, a mezzo di un circuito di ricircolo, e in parte viene estratto come fango di supero.

Contemporaneamente avvengono dei processi di assorbimento e bioflocculazione per cui anche le sostanze colloidali e sospese del liquame unitamente alla biomassa formatasi determinano la formazione di fiocchi e la separazione dalla fase liquida del materiale non solubile in un processo di coagulazione. Si ha in tal modo la formazione dei fanghi di composizione chimica variabile e complessa, che sedimenta quando la massa liquida viene immessa in una vasca di decantazione. In sintesi il risultato che si ottiene con un impianto a fanghi attivi è l'eliminazione della sostanza organica biodegradabile mediante trasformazione in materiale inerte e in una soluzione fangosa concentrata di sostanza organica che deve essere sottoposta ad ulteriori trattamenti prima dello smaltimento.

Gli impianti SBR (Sequencing Batch Reactor) rappresentano dei sistemi di trattamento biologici a flusso discontinuo, costituiti da un bacino in cui si sviluppano i processi di ossidazione biologica e di sedimentazione e dal quale si provvede altresì alla estrazione sia dell'effluente depurato che dei fanghi di supero. Tali processi vengono condotti in tempi diversi, variando ciclicamente le condizioni di funzionamento dell'impianto; operando opportunamente sui tempi delle varie fasi si ripropone, di fatto, un processo a fanghi attivi, nel quale però, le diverse fasi di processo si susseguono in sequenza temporale piuttosto che spaziale come negli impianti tradizionali.

Gli SBR sono particolarmente adatti per il trattamento di reflui di origine industriale in quanto scarsamente sensibili alle variazioni di carico idraulico e organico tipici degli effluenti industriali legati ai ritmi operativi della lavorazione. In modo particolare sono indicati per i reflui originati da attività agroalimentare.

Il filtro percolatore è un reattore biologico all'interno del quale i microrganismi, che svolgono la depurazione del refluo, si sviluppano sulla superficie di appositi corpi di riempimento disposti alla rinfusa. La distribuzione uniforme del liquame attraverso il filtro garantisce il massimo contatto tra il materiale organico da degradare e le pellicole biologiche che ricoprono le sfere di riempimento. Nello specifico una versione classica di un filtro percolatore è costituito da un materiale di riempimento (pietrisco, carbon coke, pezzi di mattone, lava vulcanica, scorie di altoforno, materiale plastico) attraverso il quale il liquame,



precedentemente chiarificato con una fase di sedimentazione primaria ed uniformemente distribuito sulla superficie attraverso particolari organi, percola, cioè scorre sulla superficie dei vari elementi del mezzo filtrante. Dopo un periodo di applicazione del liquame, generalmente alcune settimane, sulla superficie del materiale di riempimento gradualmente si forma una pellicola o membrana biologica, cioè uno strato mucillaginoso dello spessore di 2-3 mm, costituito da un insieme di batteri, funghi, protozoi ed alghe. Gli organismi costituenti la membrana adsorbono e degradano, essenzialmente con processi biologici aerobici, le sostanze organiche nutritive disciolte e colloidali presenti nei liquami.

Fra le tecnologie che maggiormente si sono sviluppate negli ultimi anni e con le quali si riesce ad ottenere un effluente finale idoneo al riutilizzo, una certa rilevanza è da attribuirsi ai processi **MBR** (Membrane Biological Reactor). Tali impianti si compongono di un reattore con biomassa sospesa, in condizioni aerobiche od anaerobiche, e di un sistema di membrane a microfiltrazione che realizzano la separazione dei solidi dall'effluente trattato.

2.3 Sistemi naturali di depurazione

La depurazione delle acque reflue può avvenire mediante sistemi naturali e biologici che sfruttano l'azione combinata di batteri e piante (macrofite) o alghe con notevole risparmio energetico rispetto ai trattamenti tradizionali dato il ricorso alla radiazione solare per la fotosintesi.

I "sistemi naturali di depurazione" oggi utilizzati sono essenzialmente riconducibili a tre tipologie:

1- **lagunaggi**: sono invasi nei quali il refluo viene lentamente purificato da popolazioni batteriche prevalentemente di tipo aerobico (che utilizzano ossigeno) in sospensione nell'acqua mantenuta in un invaso con la superficie libera esposta all'atmosfera. L'ossigeno necessario può essere fornito da apparecchiature elettromeccaniche (**lagunaggio aerato**) o dall'azione fotosintetica di alghe che si sviluppano, in opportune condizioni climatiche negli strati più superficiali del bacino (**lagunaggio naturale o stagno biologico**)

2- **fitodepurazione**: processo naturale che avviene mediante piante acquatiche (idrofite) che possono essere radicate su un substrato idoneo oppure galleggianti nel mezzo acquoso. La funzione principale delle piante è quello del trasporto dell'ossigeno dall'atmosfera alle radici creando così nell'intorno dell'apparato radicale un ambiente idoneo all'insediamento di batteri aerobi che sono i veri responsabili della depurazione.



3-subirrigazione: consiste nella dispersione del refluo nel sottosuolo ove lo stesso viene depurato da batteri adesi alle particelle di terreno. Il liquido depurato può essere ripreso e riutilizzato ai fini irrigui.

Tutti i processi anzidetti richiedono almeno un pretrattamento di sedimentazione dell'influenza, la impermeabilizzazione mediante geomembrane del fondo e dei lati degli invasi e, soprattutto, notevoli superfici necessarie agli invasi e la forte dipendenza dai fattori meteo climatici.

A titolo di esempio per un lagunaggio naturale sono necessari 10 mq per abitante (la profondità della vasca non deve superare gli 80 centimetri) e il tempo di residenza idraulico è dell'ordine dei 40-50 giorni (per sistemi senza ricircolo); per la fitodepurazione con idrofite la superficie scende a valori intorno a 4-5 mq con tempi di residenza mediamente pari a 6 giorni.

I vantaggi dei trattamenti naturali sono: buone efficienze depurative anche nei confronti dell'inquinamento batteriologico, modesti o nulli consumi energetici, estrema facilità di gestione.



3 Fitodepurazione a macrofite e tipologia di impianti

Le tecniche di fitodepurazione possono essere classificate in base alla prevalente forma di vita delle macrofite che vi vengono utilizzate:

- sistemi con macrofite galleggianti quali *Eichhornia crassipes* (giacinto d'acqua), diverse specie di *Lemna* (lenticchie d'acqua)
- sistemi con macrofite radicate, le principali specie usate sono: *Phragmites australis* (canna di palude), *Typha latifolia* (mazza sorda), *Scirpus lacustris* (giunco di palude), *Iris pseudacorus* (giglio giallo)
- sistemi multistadio (combinazioni delle due classi precedenti tra loro o con interventi a bassa tecnologia come, ad esempio, i lagunaggi o i filtri a sabbia)

Un'ulteriore classificazione dipende dal flusso idraulico delle acque reflue:

- sistemi a flusso superficiale (FWS: Free Water System)
- sistemi a flusso sommerso orizzontale (SFS-h o HF: Subsurface Flow System-horizontal)
- sistemi a flusso sommerso verticale (SFS-v o VF: Subsurface Flow System-vertical).

Sistemi a flusso superficiale (FWS)

Sono utilizzati in Europa da oltre 30 anni. I sistemi FWS consistono in vasche o canali dove la superficie dell'acqua è esposta all'atmosfera ed il suolo, costantemente sommerso, costituisce il supporto per le radici delle piante emergenti; il flusso è orizzontale e l'altezza delle vasche generalmente limitata a poche decine di centimetri.

I bacini o canali in cui vengono realizzati tali sistemi sono opportunamente impermeabilizzati mediante materiale sintetico o idoneo inerte, in cui viene immesso il terreno di crescita per la vegetazione. Gli organismi vegetali comunemente utilizzati appartengono alle specie *Phragmites*, *Typha* e *Scirpus*.

Il livello del refluo da depurare viene mantenuto ad un'altezza pari a circa 30÷60 cm. La velocità di scorrimento all'interno delle vasche è bassa al fine di assicurare un adeguato tempo di ritenzione, che dovrebbe essere mantenuto tra un minimo di 7 e un massimo di 14 giorni. La depurazione si attua grazie al lungo tempo di contatto tra acqua, piante e lettiera.

Questi ultimi assicurano un substrato di crescita per la flora microbica adesa, principale responsabile della depurazione.

Sistemi a flusso sommerso orizzontale (SFS-h o HF)

Sono costituiti da vasche contenenti materiale inerte con granulometria prescelta al fine di assicurare un'adeguata conducibilità idraulica (Figura 1). In essi la superficie dell'acqua non è mai esposta al contatto diretto con l'atmosfera. I letti sono scavati per una profondità pari a circa 70÷80 cm. Il fondo delle vasche deve essere opportunamente impermeabilizzato per evitare indesiderate percolazioni nel sottosuolo, facendo uso di uno strato di argilla o, come più comunemente accade, di membrane sintetiche.

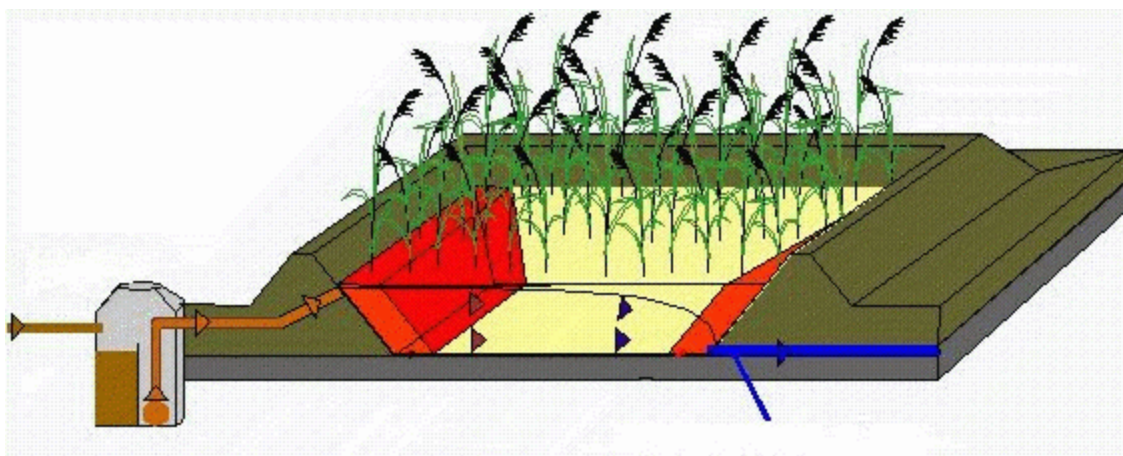


Figura 1 Sistemi a flusso sommerso orizzontale

Come mezzi di riempimento possono essere utilizzati principalmente due tipi di substrati: materiale inerte (sabbia, ghiaia, pietrisco) e terreno vegetale. Generalmente viene preferito il materiale inerte (di solito pietrisco calcareo) in quanto comporta minori problemi idraulici per il sistema poiché, essendo caratterizzato da una conducibilità idraulica, riduce il pericolo di intasamento del letto provocato dai solidi sospesi. Ancora oggi, tuttavia, non esiste certezza su quale sia il materiale più adatto per la composizione del letto.

I mezzi di riempimento costituiscono il supporto su cui si sviluppano le radici delle piante emergenti. La specie più comunemente utilizzata è la *Phragmites*, ma possono essere impiegate anche le altre specie citate precedentemente (*Scirpus*, *Typha*, *Iris*).

Il fondo del bacino ha generalmente una leggera pendenza verso valle, non superiore al 3÷4%.

Il flusso di acqua rimane costantemente al di sotto della superficie del vassoio assorbente e scorre in senso orizzontale grazie alla pendenza del fondo del letto.

Durante il passaggio dei reflui attraverso la rizosfera delle macrofite, la materia organica viene decomposta dall'azione microbica, l'azoto viene rimosso sia per metabolismo batterico che per assimilazione dalle piante, il fosforo per assimilazione e i metalli pesanti vengono fissati per assorbimento sul materiale di riempimento.

I contributi della vegetazione al processo depurativo possono essere ricondotti sia allo sviluppo di un' efficiente popolazione microbica aerobica nella rizosfera, sia all'azione di pompaggio di ossigeno atmosferico dalla parte emersa all'apparato radicale e quindi alla porzione di suolo circostante, con migliore ossidazione del refluo e creazione di una alternanza di zone aerobiche, anossiche ed anaerobiche con conseguente sviluppo di diverse famiglie di microrganismi specializzati e scomparsa pressochè totale dei patogeni, particolarmente sensibili ai rapidi cambiamenti nel tenore di ossigeno disciolto.

Sistemi a flusso sommerso verticale (SFS-v o VF)

La configurazione di questi sistemi è del tutto simile a quelli appena descritti. La differenza consiste nel fatto che il refluo da trattare scorre verticalmente nel medium di riempimento (percolazione) e viene immesso nelle vasche con carico alternato discontinuo, mentre nei sistemi SFS-h si ha un flusso a pistone, con alimentazione continua (Figura 2).

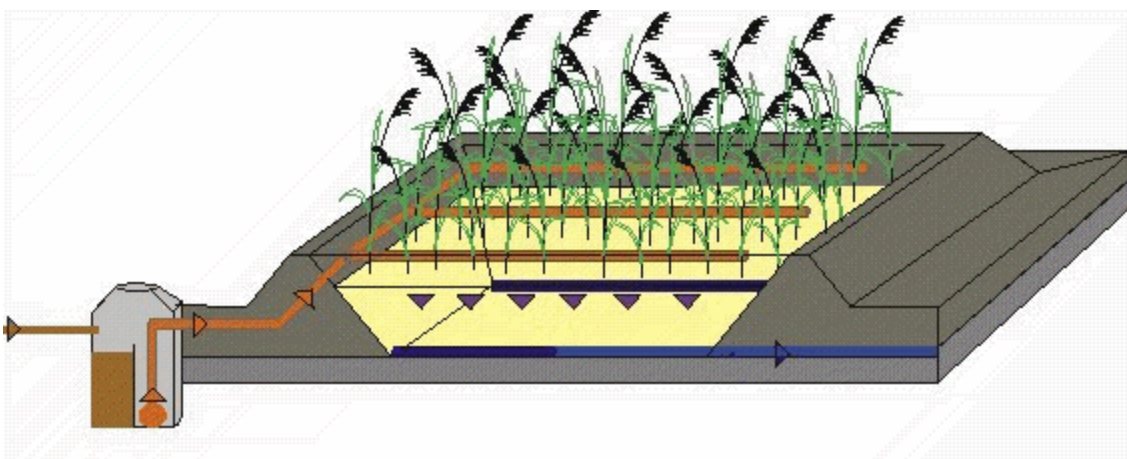


Figura 2 Sistemi a flusso sommerso verticale

Le specie vegetali sono quelle tipiche dei terreni umidi, ma mai saturi d'acqua e comprendono sia specie graminacee che arbustive. Il substrato che costituisce la lettiera di filtrazione del



refluo si differenzia da quello dei sistemi a flusso orizzontale, in quanto non si utilizza una granulometria costante per tutto il letto, bensì alcuni strati di materiale inerte di dimensioni variabili (terreno ricostruito), partendo da uno strato di sabbia alla superficie per arrivare allo strato di pietrame posto sopra il sistema di drenaggio sul fondo.

Il liquame da depurare viene distribuito omogeneamente sulla superficie del terreno in modo intermittente e segue un percorso verticale verso il fondo impermeabilizzato, dove viene raccolto da un sistema di drenaggio. In tal modo il substrato non è mai saturo d'acqua, ma vi è un'alternanza tra fasi di presenza ed assenza di reflu. L'intermittenza consente un ricambio costante dei gas presenti nel suolo stesso (CO_2 in uscita, O_2 in entrata), permettendo in tal modo un'aerazione molto spinta del terreno. L'elevato tenore d'ossigeno consente l'instaurarsi dei processi microbici di ossidazione degli inquinanti, favorendo il raggiungimento di livelli di depurazione molto spinti.

Sistemi combinati

In molti casi l'applicazione di uno soltanto dei sistemi di fitodepurazione sopra descritti si rivela non sufficiente per un trattamento efficace delle acque reflue.

Le nuove configurazioni impiantistiche prevedono l'abbinamento di sistemi HF a sistemi VF, sia per la riduzione delle aree superficiali necessarie al raggiungimento degli obiettivi della depurazione, sia per migliorare alcuni processi depurativi come l'abbattimento dell'azoto e del fosforo.

Le soluzioni impiantistiche che possono essere adottate, nell'ambito delle tecniche di depurazione naturale, per il trattamento secondario e/o terziario di acque inquinate sono numerose, e la loro scelta dipende sostanzialmente dai seguenti fattori:

1. natura dei reflui da trattare in termini chimici e fisici;
2. obiettivi di depurazione prescelti;
3. disponibilità di suolo;
4. inserimento ambientale.

In Italia i sistemi più diffusi sono quelli a flusso sub-superficiale (o sommerso), in quanto presentano numerosi vantaggi rispetto alle altre tipologie impiantistiche, quali: il più facile inserimento ambientale; l'elevata efficienza depurativa anche nei mesi invernali; la maggiore semplicità di gestione e di manutenzione; l'assenza di problemi legati all'insorgenza di cattivi odori e alla presenza di insetti.

Si ritiene che il substrato o medium di crescita, nei sistemi a flusso sommerso, fornisca una



maggiore superficie di contatto per i microrganismi, responsabili dei processi depurativi, rispetto ai sistemi a flusso superficiale e che, quindi, la risposta al trattamento sia più rapida e la superficie richiesta per l'impianto sia minore rispetto a quella necessaria per sistemi a flusso superficiale progettati per il trattamento della stessa tipologia di reflui.

Nei sistemi a flusso sub-superficiale, poi, il livello dell'acqua e l'accumulo dei detriti vegetali sulla superficie dell'impianto offrono una protezione termica maggiore che nei sistemi a flusso superficiale. Nei sistemi a flusso sommerso, inoltre, il rischio dell'insorgere di odori o dello sviluppo di insetti è molto limitato e, pertanto, l'area adibita all'impianto può essere utilizzata dal pubblico ed è possibile prevederne la dislocazione anche in prossimità di centri urbani, con un ottimale inserimento nell'ambiente circostante.

Si può quindi parlare, in un certo senso, di "riqualificazione" della depurazione, in quanto gli impianti si avvicinano ai centri urbani e, in taluni casi, costituiscono anche delle aree fruibili da parte dei cittadini.

In Italia e negli altri Paesi europei, nell'ambito dei sistemi a flusso subsuperficiale, viene adottato essenzialmente il flusso orizzontale perché presenta minori problemi gestionali rispetto ai sistemi con flusso verticale, anche se le rese depurative sono inferiori a quest'ultimi.

Gli aspetti positivi connessi con questa tecnologia depurativa sono i seguenti:

- efficace abbattimento di BOD (domanda biochimica di ossigeno), COD (domanda chimica di ossigeno), SS (solidi sospesi), N (azoto) e P (fosforo),
- inserimento paesaggistico,
- ridotto impatto ambientale,
- contenute spese di costruzione e gestione,
- risparmio in termini di energia e di materiali,
- basso impiego di manodopera,
- mancata produzione di fanghi di difficile smaltimento,
- tolleranza alle forti oscillazioni di carico organico, di carico idraulico e di temperatura,
- assenza di produzione di cattivi odori e assenza di sviluppo di insetti.

Gli aspetti negativi sono:

- richiesta di estese superfici, spesso non disponibili,
- costi elevati di acquisizione del suolo sul quale costruire l'impianto.

Tuttavia, la scelta del sistema da adottare deve scaturire dalla valutazione del caso specifico ed essere effettuata sulla base di informazioni relative alla quantità e tipologia di refluo da trattare, alla disponibilità di superficie da adattare al trattamento e alle condizioni climatiche della zona. In funzione degli obiettivi che si intendono perseguire si può ricorrere alla combinazione di più elementi delle varie tipologie (flusso superficiale, sub-superficiale orizzontale/verticale), posti in serie o in parallelo.



3.1 Dimensionamento e conduzione

In merito ai lagunaggi i principali elementi di dimensionamento sono riportati nella seguente tabella:

Carico organico superficiale	25-45	[Kg BOD ha ⁻¹ giorno ⁻¹]
Tempo di residenza idraulico	45-65	[giorni]
Profondità utile	0.80-1.10	[m]

Il mantenimento di condizioni aerobiche nell'intero bacino può essere ottenuto con un'ulteriore riduzione della profondità (0.60-0.75 m) e dei carichi superficiali di dimensionamento (15-20 Kg BOD ha⁻¹ giorno⁻¹).

I vantaggi in termini di rendimenti depurativi e di impatti ambientali sono però molto modesti.

In merito alla fitodepurazione a macrofite i criteri di dimensionamento sono relativi alla rimozione dei nutrienti. I quantitativi di nutrienti rimossi dai reflui possono essere calcolati in funzione della produttività delle macrofite utilizzate e della composizione dei relativi tessuti, come espresso orientativamente nella seguente tabella:

Macrofite	Produttività [g SS m ⁻² giorno ⁻¹]	Composizione %		Assunzione [g m ⁻² giorno ⁻¹]	
		N	P	N	P
Galleggianti					
<i>Eichhornia crassipes</i>	15-25	2-4	0.4-1	0.70	0.16
<i>Lemna minor</i>	2-6	2.5-5	0.5-1.5	0.15	0.03
Emergenti					
<i>Typha latifolia</i>	6-10	0.5-2.5	0.1-0.3	0.10	0.02
<i>Phragmites australis</i>	6-10	1.8-2.2	0.2-0.3	0.10	0.02

I criteri di dimensionamento di sistemi di fitodepurazione a flusso sommerso orizzontale e verticale possono essere quelli riportati nella seguente tabella:



Grandezza		Flusso	
		orizzontale	verticale
Superficie unitaria	[m ² Ab ⁻¹]	3-5	1.5-2
Carico organico superficiale	[g BOD m ⁻² giorno ⁻¹]	6-11	12-18
Carico idraulico superficiale	[l m ⁻² giorno ⁻¹]	30-40	< 80
Tempo di ritenzione idraulica	[giorno]	2-5	-
Rapporto lunghezza/larghezza	-	0.4-3	irrilevante

Per la superficie unitaria ed il carico organico superficiale, i valori più prudenziali sono riferiti ad impianti con alimentazione costante nel corso dell'anno, quelli meno restrittivi per applicazioni prevalentemente estive o in cui il rallentamento dei processi invernali sia compensato da una diminuzione dei carichi addotti.

Qui di seguito viene riportata una scaletta dei punti principali da seguire in fase di progettazione preliminare di un impianto di fitodepurazione.

Punti da definire per la progettazione di sistemi di fitodepurazione:

- 1° definizione degli obiettivi
- 2° definizione della tipologia impiantistica da realizzare in base ai costi e agli spazi
- 3° dimensionamento per un particolare afflusso, carico organico, % rimozione degli inquinanti (geometria, area, profondità dei letti)
- 4° tempo di ritenzione
- 5° struttura di ingresso ed uscita per il controllo del livello dell'acqua, riciclo dell'acqua, distribuzione e suddivisione del flusso
- 6° configurazione del percorso dell'acqua
- 7° variazione della profondità dell'acqua per migliorare la distribuzione del flusso e la rimozione degli inquinanti
- 10° dettagli sulla selezione delle specie, densità delle specie e spettro delle specie
- 11° piano di avviamento, gestione e manutenzione



Di seguito vengono riportati e descritti in breve i criteri di progettazione.

Criteri di progettazione:

1. tempo di ritenzione idraulica
2. carico idraulico
3. condizioni aerobiche/anaerobiche
4. strutture ingresso e uscita refluo
5. piante
6. efficienza di rimozione degli inquinanti

Il tempo di residenza

È il tempo di permanenza del refluo da trattare all'interno del sistema di fitodepurazione.

Carico idraulico

Questa fase della progettazione risulta essere la più complessa, poiché portate e carichi possono subire sensibili variazioni giornaliere e stagionali a seconda del tipo di utenza allacciata, delle condizioni climatiche e del regime delle precipitazioni, delle infiltrazioni di acque superficiali o di falda in rete, ecc.

Condizioni aerobiche/anaerobiche

Bisogna tenere presente che negli impianti di fitodepurazione vi è la necessità di un ambiente ben areato, perché le condizioni di anaerobiosi causano cattivi odori e mal funzionamento del sistema.

Trattamenti preliminari

Allo scopo di ridurre i rischi di intasamento del medium ad opera dei solidi sedimentabili presenti nel refluo, è necessario inserire a monte dell'impianto un comparto per la sedimentazione, che non deve, però, permettere l'innesco di processi di degradazione anaerobica. Se la composizione degli scarichi lo richiede a monte della fitodepurazione possono essere adottati anche trattamenti di grigliatura, dissabbiatura e disoleazione.

Strutture di ingresso e uscita

Aspetti importanti per la riuscita di un impianto di fitodepurazione sono rappresentati dal sistema di distribuzione del liquame e dalla regolazione del suo livello all'interno del sistema.



4 Fitodepurazione a microfite

4.1 Le alghe

Le alghe sono organismi che crescono in ambiente acquatico. La maggior parte di esse è caratterizzata dalla capacità di fotosintesi, ovvero di sfruttare l'energia solare in abbinamento all'anidride carbonica (CO₂) per creare biomassa. Le alghe si possono differenziare in macroalghe e microalghe. Le prime sono organismi vegetali visibili ad occhio nudo, che vivono sia in ambiente marino sia in acqua dolce. La loro crescita è molto veloce e possono raggiungere dimensioni anche di decine di metri. Con il termine microalghe generalmente si fa riferimento agli organismi fotosintetici unicellulari e/o coloniali, organismi di piccole dimensioni di cui non è distinguibile la struttura ad occhio nudo.

Le alghe si dividono in:

- **alghe procariote**, sono alghe unicellulari con cellula procariota (pro: prima e kàryon: nucleo) e appartengono al regno delle Monere;
- **alghe eucariote**, sono alghe unicellulari e/o coloniali con cellula eucariota (eu: vero e káryon: nucleo) e appartengono al regno dei Protisti.

Le alghe unicellulari procariote sono rinvenibili ovunque sia presente dell'umidità permanente, anche in terraferma, ma principalmente sono diffuse nei mari, dove costituiscono una porzione importante del plancton. Le alghe eucariote sono diffuse in tutti i mari e in acqua dolce, spesso ancorate ad un substrato.

Esistono diversi modi di classificare le alghe, una di queste si basa sul pigmento fotosintetico utilizzato. Tale classificazione è riportata qui di seguito:

- **alghe blu verdi** è un gruppo di procarioti appartenenti alla classe delle Cyanophyceae. Esistono circa 2000 specie, presenti in habitat molto differenti. La modesta quantità di lipidi da essa prodotta non li rende particolarmente indicati per applicazioni energetiche.
- **Alghe verdi** è un gruppo di eucarioti appartenenti alla classe delle **Chlorophyceae**. Si tratta di un gruppo molto abbondante. Ne sono state individuate 8.000 specie. Contengono clorofilla di tipo a e b. Come principale componente di accumulo energetico utilizzano gli amidi, ma in determinate condizioni possono aumentare la produzione di lipidi. Uno dei generi più studiati è la Chlorella.



- **Alghe rosse** è un gruppo di eucarioti appartenenti alla classe delle Rodophyceae sono prevalentemente confinate ad habitat marini e contribuiscono anche alla formazione della barriere coralline. In particolare possiedono un pigmento, la ficoeritrina che dona loro la particolare colorazione rossa.
- **Alghe brune** è un gruppo di eucarioti appartenenti alla classe delle Pheophyceae. Possiedono pigmenti come le xantofille e i caroteni che donano la colorazione scura assorbendo i raggi blu-verdi. Sono tipiche dei mari più freddi e alcune specie possono raggiungere anche delle dimensioni notevoli raggiungendo la lunghezza di diverse decine di metri.

Nelle figure (Taras et al. 1974), che seguono, vengono mostrate le alghe più comuni:

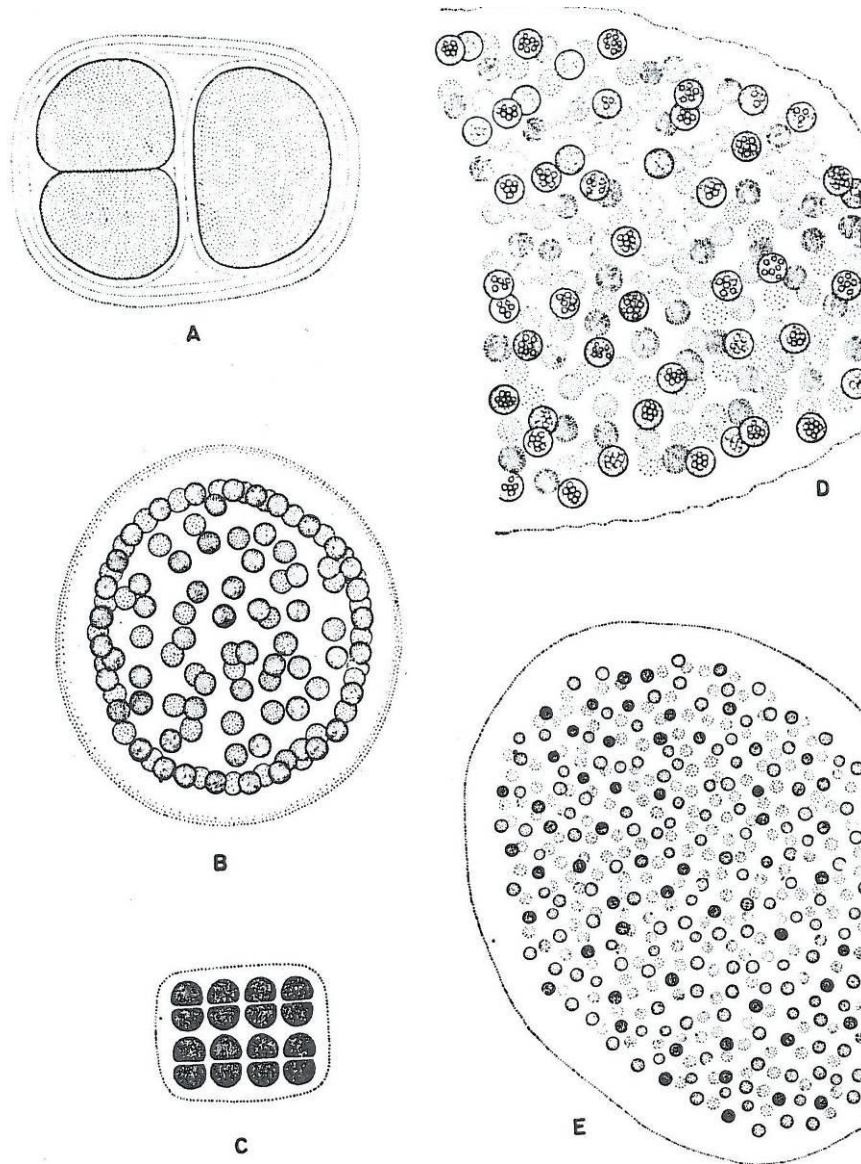


Figura 3 Alghe blu verdi: Cyanophyceae

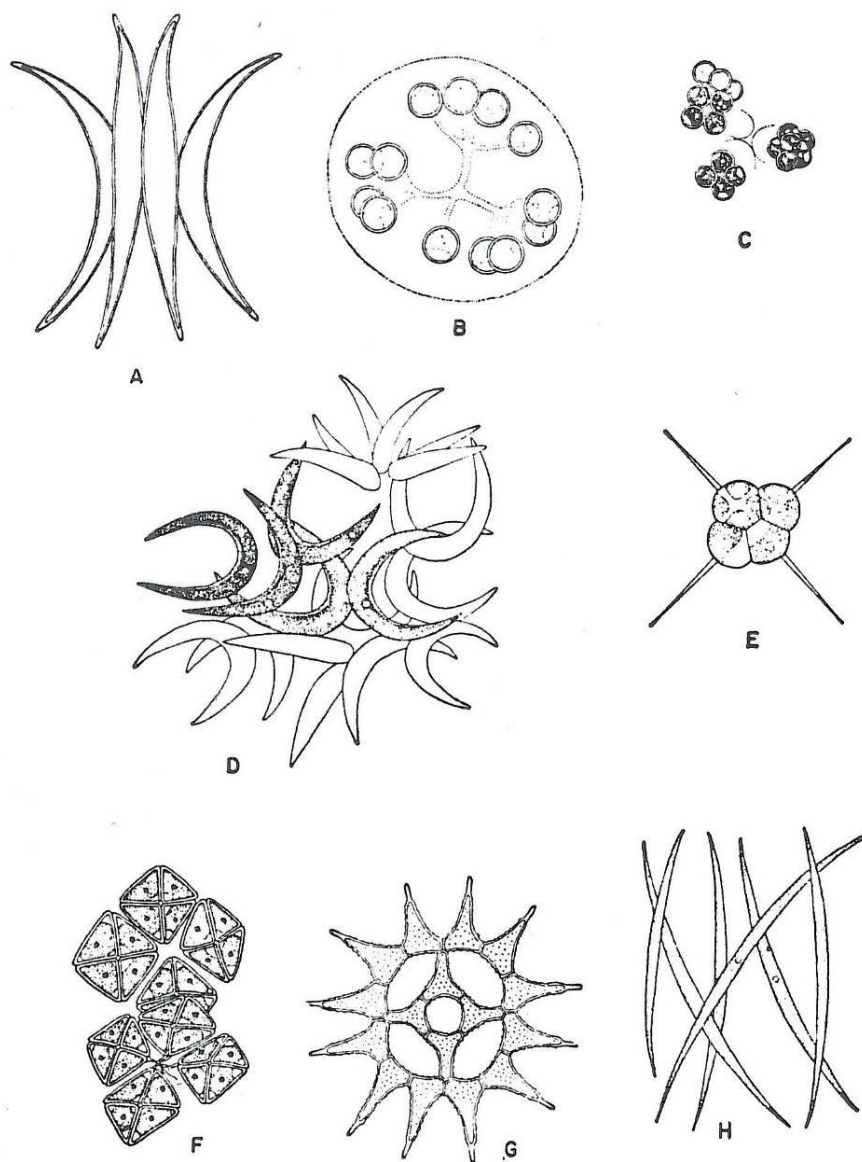


Figura 4 Alge blu verdi: Cyanophyceae

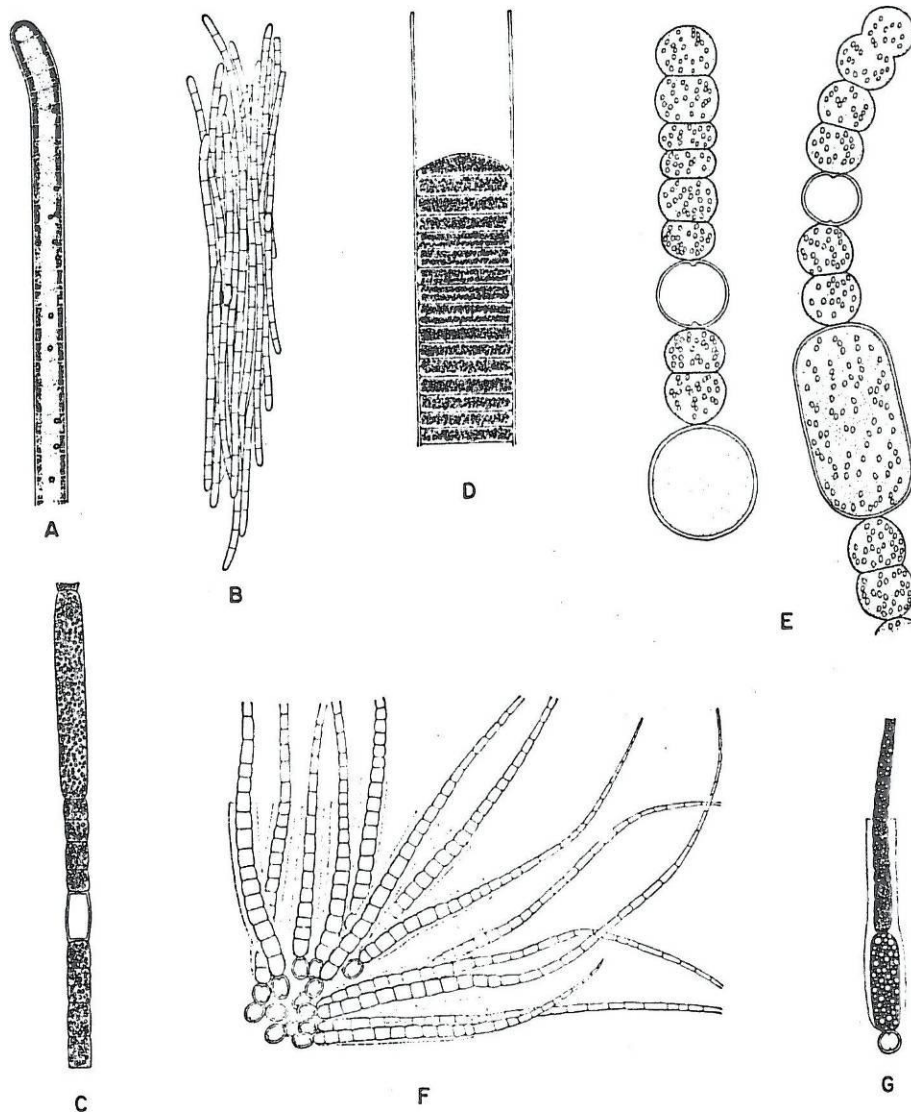


Figura 5 Alge blu verdi: Cyanophyceae

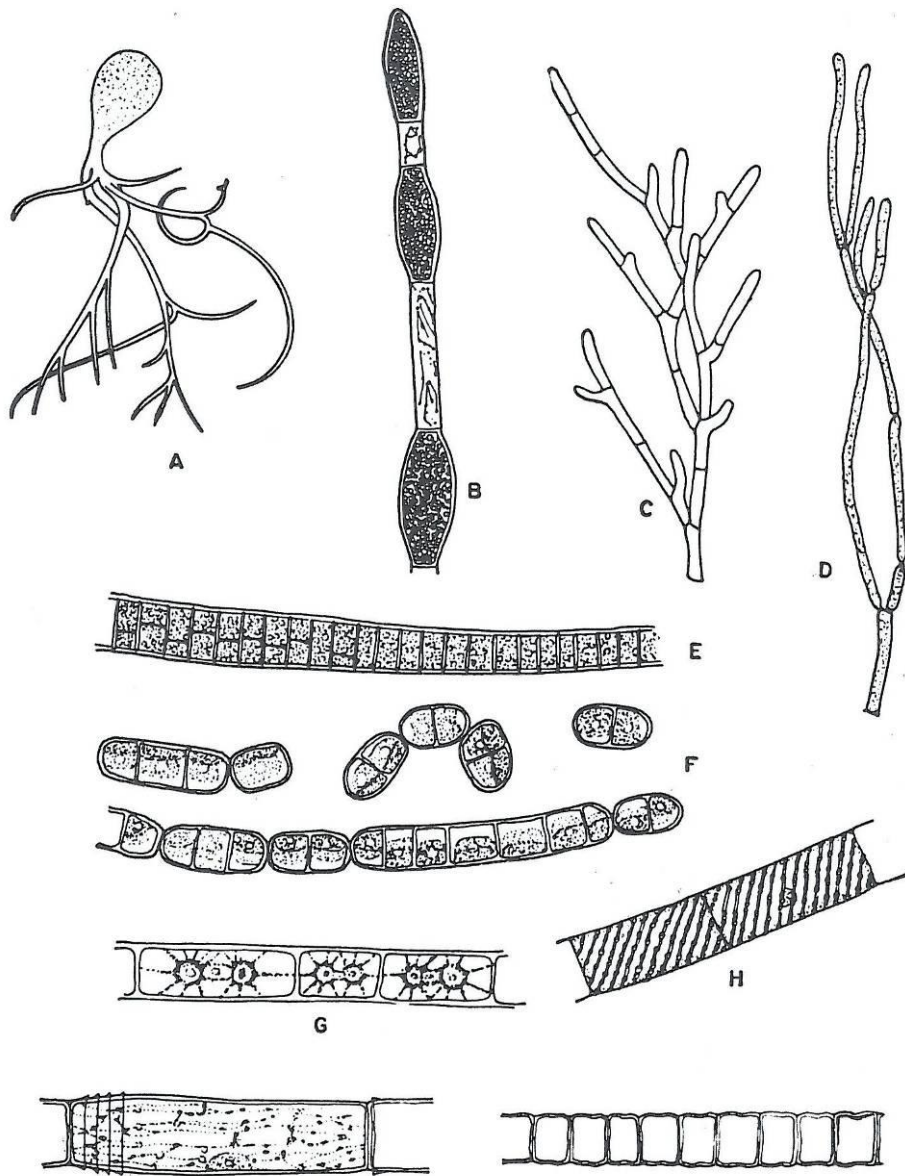


Figura 6 Alge verdi: Clorophyceae

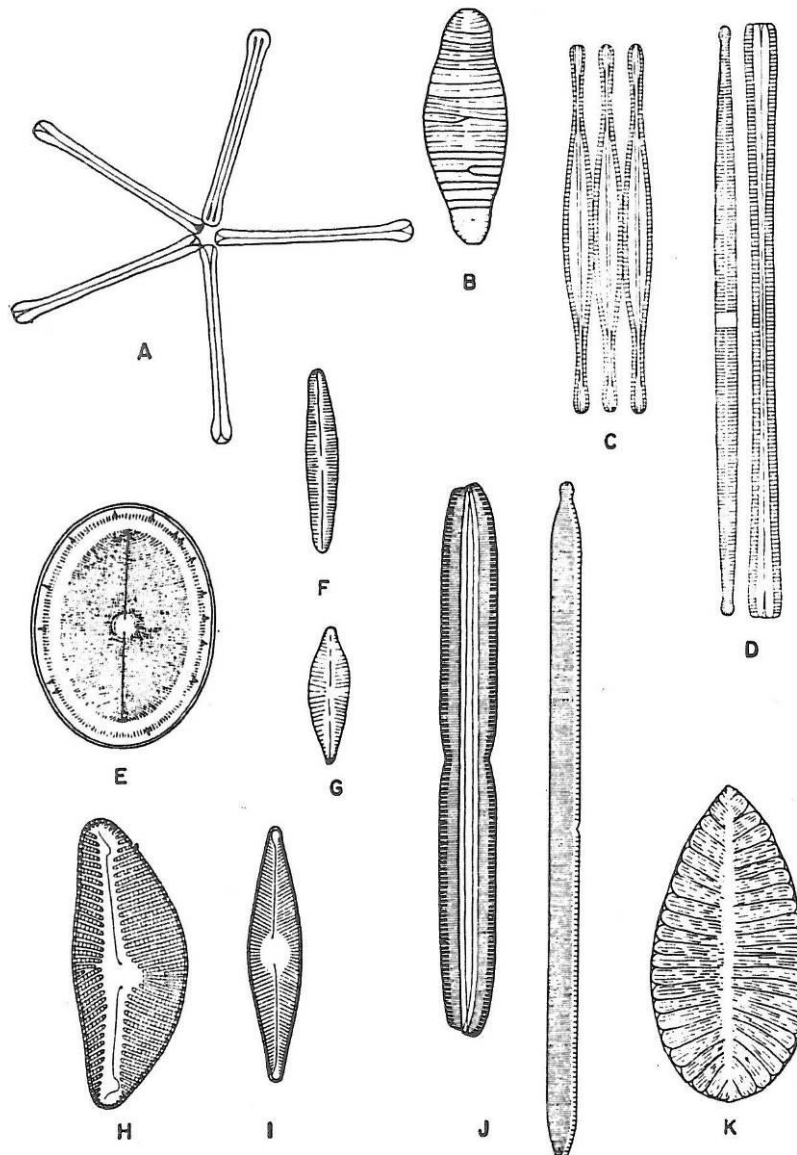


Figura 7 Diatomesae

Le microalghe, in quanto organismi fotosintetici, per la crescita necessitano di **luce, anidride carbonica, acqua e sali inorganici (azoto, fosforo, ecc.)**. Al fine di ottenere una buona coltura per una grossa produzione di alghe devono essere controllati alcuni fondamentali parametri. Al variare della specie considerata, si hanno differenze sensibili riguardo i valori ottimali e il range di tolleranza. La seguente tabella elenca dei valori di riferimento per le specie più utilizzate.



Parametri	Range	Ottimale
Temperatura [°C]	16-27	18-24
Salinità [gl ⁻¹]	12-40	20-24
Intensità luminosa [lux]	1000-10000 (dipende dal volume e dalla densità)	2500-5000
Fotoperiodo luce-buio [h]	-	16:8 (minimo) 24:0 (massimo)
pH	7-9	8.2-8.7

Le microalghe si riproducono per divisione cellulare, finché non insorgono fattori limitanti, quali la mancanza di spazio o l'esaurimento dei nutrienti. In generale la crescita di una coltura di alghe può essere schematizzata in cinque fasi distinte:

- fase di avviamento: è una fase di latenza dovuta all'adattamento del metabolismo della biomassa alla crescita;
- fase di crescita esponenziale: la densità della coltura aumenta molto velocemente
- fase di crescita lineare: fattori climatici e fisici cominciano a limitare la crescita della biomassa. La concentrazione della microalghe non permette più alla luce di penetrare in profondità e lo spazio e il nutrimento cominciano ad essere meno disponibili.
- fase stazionaria: la densità rimane indicativamente costante, poiché i fattori limitanti e la crescita si bilanciano a vicenda;
- fase di letalità: la densità comincia a diminuire, poiché la qualità dell'acqua e i nutrienti non sono più tali da poter sostenere la vita, della contaminazione o del surriscaldamento del brodo di coltura.



4.2 Tipologie di impianti

Le varie tecnologie sviluppate per la coltura massiva di alghe includono molteplici tipologie di impianto, sempre in relazione alle finalità ed agli obiettivi dell'impianto stesso. Altri fattori condizionanti possono essere: la tipologia di organismi in uso, la disponibilità di spazi, la disposizione dell'impianto (se all'aperto o al chiuso), la collocazione geografica dell'impianto (latitudine), i fattori economici e di rendimento.

Sistemi di sfruttamento delle alghe:

- 1) sfruttamento di blooms in laghi e lagune
- 2) coltivazioni semi-intensive in lagune seminaturali o artificiali
- 3) stagni di trattamento terziario
- 4) fotobioreattori aperti (FBRa): vasca circolare con agitazione radiale; raceway con microalghe; cascata - scivolo in pendenza; vasche con gorgoglio lineare; vasca circolare con gorgoglio centrale
- 5) fotobioreattori chiusi (FBRc) con irradiazione naturale: tubolari orizzontali; tubolari orizzontali di doppio cappa; tubolari verticali; alveolari; tubolari iperdensi; piani
- 6) fotobioreattori chiusi (FBRc) con irradiazione artificiale: botti di acciaio inossidabile
- 7) bioreattori (fermentatori di botti di acciaio).



Figura 8 Laguna artificiale



Figura 9 Laguna naturale



Figura 10 Stagni di trattamento terziario

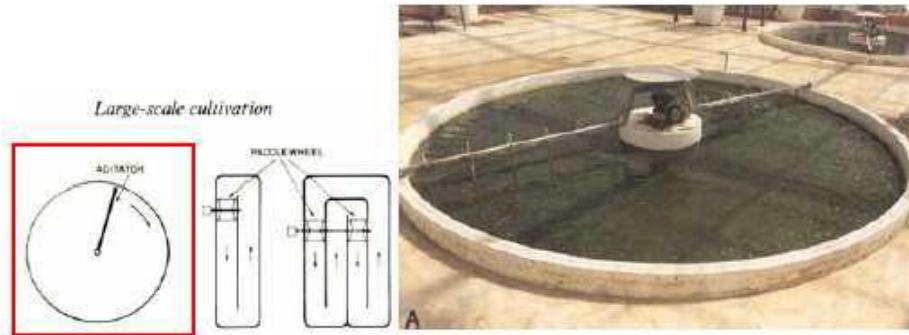


Figura 11 Vasche circolari ad agitazione radiale

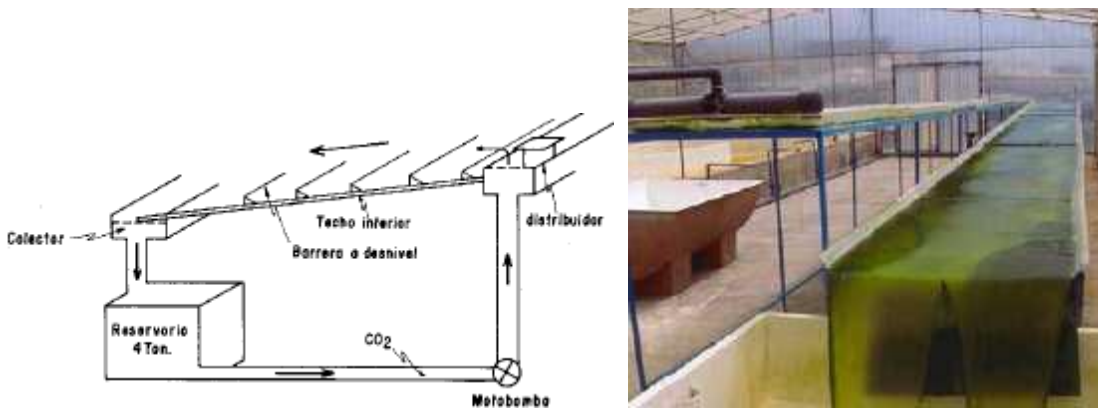


Figura 12 Cascate - scivoli in pendenza



Figura 13 Vasca con areazione lineare profondità



Figura 14 Vasche circolari con aerazione centrale



Figura 15 Vasche rettangolari con mescola a pale

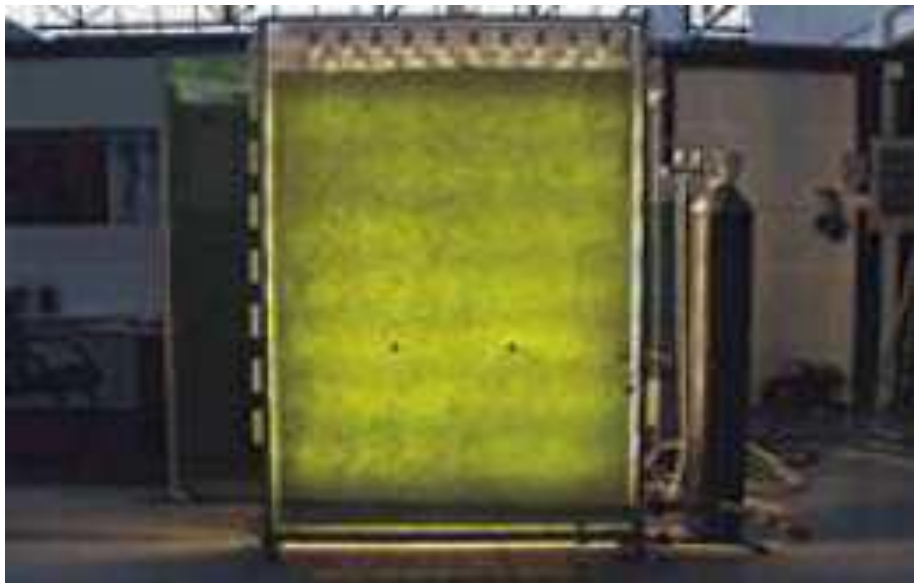


Figura 16 Fotobioreattori a piani verticali

Questi sono alcuni esempi di diverse tipologie di impianto progettate con particolare attenzione al problema del mescolamento e della areazione della biomassa algale. Il mescolamento è fondamentale per prevenire e contrastare fenomeni di stratificazione e sedimentazione algale e condizioni disomogenee di parametri limitanti quali: temperatura, pH



ed ossigeno disciolto. L'aerazione contrasta gli stessi fenomeni ed inoltre rende omogenea la concentrazione d'ossigeno per tutta la profondità del bacino opponendosi a fenomeni di anaerobiosi frequenti sul fondo.



5. Caso di studio

In letteratura vi sono molteplici esempi di studi e ricerche sulle microalghe, ma tutti mirati alla produzione di biomassa. La biomassa algale infatti è una biorisorsa di primaria importanza perché può essere trasformata in una vasta gamma di prodotti di pregio: prodotti sanitari, additivi alimentari, prodotti chimici, biocarburanti di terza generazione. Per questo motivo la ricerca nel settore è finalizzata allo sviluppo di tecnologie che consentono la produzione intensiva di microalghe.

Scopo del progetto ECOMAWARU è invece quello di verificare l'applicabilità della fitodepurazione a microalghe quale sistema di affinamento degli scarichi idrici da un impianto di depurazione delle acque e da un piccolo insediamento civile nel territorio di Varese Ligure.

5.1 Dimensionamento del sistema di fitodepurazione pond (10AE)

Il **pond** (sistema aperto), allestito in una zona pianeggiante in prossimità del torrente Stora e vicino ad un gruppo di case sparse (10 AE), già provviste di un trattamento primario, è costituito:

- un collettore di oli e grassi ed una fossa Imhoff dove viene pretrattato il liquame proveniente dal piccolo borgo di Le Pezze
- due vasche rettangolari in vetroresina collegate in serie (larghezza 1 m, lunghezza 4.2 m, profondità 0.5 m) con volume totale di 4200 l
- una pompa di ricircolo (BLASTER 65863) dalla seconda alla prima vasca (24 V, 4.05 A max, Q (portata) = 13.2 l/min., H (prevalenza) = 3.1 bar)
- due pannelli fotovoltaici (larghezza 990 mm, lunghezza 1600 mm, 220 Wp) per l'alimentazione della pompa di ricircolo (140 A max)

L'area occupata dal sistema di fitodepurazione pond è 8.5 m².



Figura 17 Sistema aperto pond

Il pond allestito presenta le caratteristiche di un sistema terziario di affinamento, ovvero uno stagno aerobico dove la modesta profondità (0.5 m) fa sì che la luce possa raggiungere tutti gli strati e la fotosintesi algale possa svilupparsi su tutta la massa d'acqua.

Il sistema è inoltre dotato di una valvola di by-pass generale inserita all'uscita della fossa Imhoff. Le acque depurate vengono scaricate nel torrente Stora.

5.2 Dimensionamento del sistema di fitodepurazione fotobioreattore

Il **fotobioreattore** (sistema chiuso), allacciato all'impianto di depurazione di San Pietro Vara è costituito:

- due moduli verticali ciascuno composto da 20 tubi in plexiglass alimentati in parallelo (diametro interno 44 mm, diametro esterno 50 mm e lunghezza 2 m)
- una vasca di ricircolo del volume di 500 l
- una pompa centrifuga di ricircolo
- una elettropompa per l'alimentazione dell'impianto
- una vasca di scarico del volume di 300 l.

L'area occupata dal sistema di fitodepurazione pond è 5.4 m².



Figura 18 Sistema chiuso fotobioreattore



5.3 Sperimentazione effettuata

Gli impianti prototipali di fitodepurazione a microalghe sistema aperto pond e sistema chiuso fotobioreattore sono stati monitorati da giugno 2011 a settembre 2013: sono stati raccolti due campioni di entrata ed uscita dal pond e dal fotobioreattore ed analizzati con cadenza settimanale.

In particolare, i dati raccolti sono stati:

- dati riguardo alla biomassa: concentrazione, classi e composizione elementare
- dati di qualità (entrata ed uscita): N-NH₄, N-NO₃, N-NO₂, P-PO₄, COD, SST, pH, temperatura (T), chl-a (modo tradizionale)
- pH, OD, NO₃, NH₄, Chl-a, temperatura (T) e torbidità utilizzando due sonde multiparametriche, la prima per il fotobioreattore e l'altra per il pond, che hanno trasmesso i parametri tramite sms (da remoto) al laboratorio del DICCA.

Inoltre sono stati raccolti i dati meteorologici sul territorio di Varese Ligure nel periodo da agosto 2012 ad agosto 2013, allo scopo di controllare le diverse condizioni del tempo nelle quattro stagioni e la loro influenza sul processo.

La sperimentazione effettuata ha consentito di verificare che i sistemi di trattamento a microalghe risultano efficaci nell'abbattimento di N e P, efficacia che comunque risente degli effetti stagionali.

La biomassa prodotta dai due sistemi presenta notevoli capacità di agglomerazione e sedimentazione, per cui non sono stati necessari particolari sistemi di separazione della stessa dal mezzo liquido.

Le efficienze di rimozione dei nutrienti variano a seconda della stagione e sono diverse per i due sistemi aperto (pond) e chiuso (fotobioreattore):

- pond: per il COD 35-50 %, per N 50-60 %, per P 40-50 %
- fotobioreattore: per il COD 30-40 %, per N 82-90 %, per P 60-80 %

La crescita μ e la composizione elementare della biomassa algale sono:

- pond: $\mu = 0.1-0.5 \text{ d}^{-1}$; C = 40.52 %, H = 5.70 %, N = 5.39 %, P = 5.21 %, K = 6.49 %, S = 0.20 %



- fotobioreattore: $\mu = 0.012-0.220 \text{ d}^{-1}$; C = 45.52 %, H = 4.51 %, N = 4.58 %, P = 2.43 %, K = 1.1 %, S = 0.10 %.



6. Conduzione degli impianti di fitodepurazione

Al fine di conseguire una corretta funzionalità dell'impianto occorre predisporre un programma di gestione e manutenzione adeguato.

Tale programma dovrà analizzare gli aspetti inerenti:

- le attività di conduzione e controllo;
- le verifiche di funzionalità, mediante l'analisi di campioni dei liquami e dei reflui depurati;
- lo smaltimento dei fanghi derivanti dal trattamento primario;
- la manutenzione delle eventuali apparecchiature elettromeccaniche (es. pompe idrauliche);
- la gestione degli organismi vegetali.

Inoltre qui di seguito viene riportata una lista di eventuali cause di malfunzionamento dell'impianto che possono essere dovute a:

- intasamenti delle tubazioni di alimentazione o di drenaggio;
- non funzionamento di pompe o sifoni, se presenti;
- fuga di solidi dal comparto di pretrattamento;
- sovraccarico idraulico;
- sovraccarico di solidi;
- sovraccarico organico;
- gestione scorretta degli organismi vegetali.

Se l'impianto è dotato di un pretrattamento mal gestito, il refluo in ingresso all'impianto di fitodepurazione conterà una forte concentrazione di solidi sospesi che non permetterà il passaggio di luce nella matrice liquida, cosicché gli organismi vegetali non saranno in grado di effettuare il loro normale ciclo vitale (il processo di fotosintesi) ossigenando bene l'impianto, ciò può comportare problemi di cattivi odori e di ridotta efficienza depurativa. Trattamenti primari come una fossa settica tricamerale o tipo Imhoff devono essere svuotati una o due volte all'anno a seconda delle dimensioni, ed i fanghi smaltiti come prescritto dalle norme vigenti.

Qui di seguito viene proposto un piano di manutenzione e controllo dell'impianto.

Operazioni con frequenza quindicinale:

1. controllo del sistema di distribuzione del refluo



2. controllo del sistema di raccolta e scarico
3. controllo del livello nell'impianto
4. verifica di funzionalità delle eventuali apparecchiature elettromeccaniche
5. controllo della corretta funzionalità dei pretrattamenti
6. controllo degli organismi vegetali
7. controllo cattivi odori anomali

Operazioni con frequenza mensile o stagionale:

1. verifica della funzionalità, mediante l'analisi di campioni dei liquami e dei reflui depurati
2. controllo del livello del fango nel trattamento primario per decidere la sua rimozione semestrale
3. rimozione del fango nel trattamento primario.



7. Bibliografia

- Bonomo Luca, “Trattamenti delle acque reflue”, ed. Mc Graw-Hill, 2008.
- Sigmund Carlo, “Teoria e pratica della depurazione delle acque reflue. Procedure di smaltimento e progettazione”, ed. Dario Flacco Editore, 2005.
- Taras M.J. and Greenberg A.E..Standard Method for the examination water and wastewater published by American Public Health Association,1974.
- Mario Beccari, Roberto Passino, R. Ramado, R. Vismara. “Rimozione di azoto e fosforo dai liquami”, 2004.
- M.V. Jimenez-Prez, P. Sanchez-Castillo, O. Romera, D. Fernandez-Moreno, C. Perz-Martinez (2003). “Growth and nutrient removal in free and immobilized planktonic green algae isolated from pig manure”. Enzyme and Microbial Technology 34 392-398.
- M. Gantar, Z. Obreht, B. Dalmacija (1990). “Nutrient removal and algal succession during the growth of *Spirulina platensis* and *Scenedesmus quadricauda* on Swine Wastewater”. Bioresource Technology 36 167-171.
- E. Martinez Sancho, J.M. Jimenez Castillo, Farida El Yousfi (1997). “Influence of phosphorus concentration on the growth kinetics and stoichiometry of the microalga *Scenedesmus obliquus*”. Process Biochemistry Vol 32, No. 8, pp. 657-664.
- M.E. Martinez, S. Sanchez, J.M. Jimenez, F. El Yousfi, L. Muñoz (1999). “Nitrogen and phosphorous removal from urban wastewater by the microalga *Scenedesmus obliquus*”. Bioresource Technology 73 263-272.
- E. Martinez Sancho, J.M. Jimenez Castillo, Farida El Yousfi (1998). “Photoautrophic consumption of phosphorus by *Scenedesmus obliquus* in a continuous culture. Influence of light intensity”. Process Biochemistry 34 811-818.
- D. Voltolina, H. Gomez-Villa, Gabriel Correa (2004). “Nitr “Nitrogen removal and recycling by *Scenedesmus obliquus* in semicontinuous cultures using artificial wastewater and a simulated light and temperature cycle”. Bioresource Technology 96 359-362.