

Depurazione delle acque reflue e fitodepurazione

La depurazione delle acque reflue

La depurazione è un complesso insieme di trattamenti di tipo fisico, chimico e biologico a carico delle acque reflue per arrivare a determinati obiettivi di qualità. A più di 20 anni dalla Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE, recepita dalla legislazione italiana dai D. Lgs. 152/2006 e 219/2010, esistono ancora in Italia molti problemi relativi alla depurazione delle acque reflue sia da abitazioni che da allevamenti:

- molte case isolate non sono allacciate alla rete fognaria e non hanno sistemi di smaltimento in linea con le prescrizioni;
- molti depuratori effettuano soltanto un trattamento di tipo primario, senza quindi abbattere la maggioranza degli inquinanti;
- altri depuratori e reti fognarie presentano diversi tipi di carenze strutturali;
- nei reflui da zootecnia, per gli elevati costi dei sistemi di depurazione, si adotta generalmente lo smaltimento dei liquami di tipo agronomico ma, se non si rispettano le prescrizioni e non si adottano tutte le precauzioni, è possibile che si verifichino episodi di sversamenti accidentali nella rete scolante superficiale.

Gli impianti di depurazione possono essere divisi in due tipologie:

- **intensivi**: sono impianti che richiedono una bassa superficie per abitante equivalente (AE, → Modulo 2, Unità 3), meno di 0,5 m²/AE, e tempi di depurazione di qualche ora ma richiedono anche un elevato consumo di energia elettrica e una costosa manutenzione al fine di accelerare il processo depurativo. Hanno inoltre un impatto visivo sul paesaggio ed emettono odori sgradevoli: per questi motivi devono essere costruiti lontano dalle abitazioni. Generalmente sono impianti di grandi dimensioni, adatti per grandi comunità, e sono detti anche tradizionali. Un esempio di questa tipologia di impianto è l'impianto a fanghi attivi;
- **estensivi**: diversamente dai precedenti hanno bisogno di elevate superfici, da 1-2 m² fino a 10 m² per abitante equivalente, i tempi di depurazione vanno da 1-2 giorni fino a qualche decina di giorni, richiedono semplicità di costruzione, minima spesa energetica, bassi costi di gestione e manutenzione, si inseriscono bene in un paesaggio agricolo o comunque seminaturale, sono adatti per piccole comunità o comunità a popolazione fluttuante come i campeggi. Sono chiamati anche impianti a trattamento naturale. Un esempio di questa tipologia di impianto è la fitodepurazione.

Impianti intensivi

Nell'ambito dell'intero processo si distinguono due linee principali:

- linea acque;**
- linea fanghi.**

Linea acque

Nella linea di trattamento delle acque di scarico si distinguono le seguenti fasi in sequenza temporale:

1. **pretrattamenti;**
2. **trattamenti primari;**
3. **trattamenti secondari;**
4. **trattamenti terziari e disinfezione.**

Pretrattamenti

I pretrattamenti sono essenzialmente di tipo fisico. Le acque nere o miste nere/grigie sono sollevate da pompe idrauliche o viti senza fine a una quota in modo che poi possano progredire nel processo in base alla gravità. Per acque nere si intendono quelle ricche di residui organici provenienti dai WC; per acque grigie quelle ricche di saponi e grassi, provenienti da cucine, lavandini, docce, elettrodomestici come lavastoviglie e lavatrici, generalmente non sono ancora differenziate e confluiscono nella stessa fognatura. Inoltre nelle città le fognature raccolgono spesso anche le acque meteoriche, dette acque bianche, convogliate nelle caditoie lungo le strade.

Il primo trattamento è quello di **grigliatura** (Figura 1) che ha l'obiettivo di trattenere materiali solidi che potrebbero ostruire o danneggiare le apparecchiature dei trattamenti seguenti. Le griglie che operano una semplice selezione meccanica hanno dimensioni diverse:

- **grossolane**: hanno una spaziatura tra le barre di 50-100 mm;
- **medie**: la spaziatura tra le barre è di 25-50 mm;
- **fini**: la spaziatura tra le barre è di 10-25 mm.

Generalmente dopo la grigliatura grossolana segue quella fine, con rimozione automatica del materiale trattenuto dalle griglie, che viene convogliato in un cassonetto e destinato a una discarica.

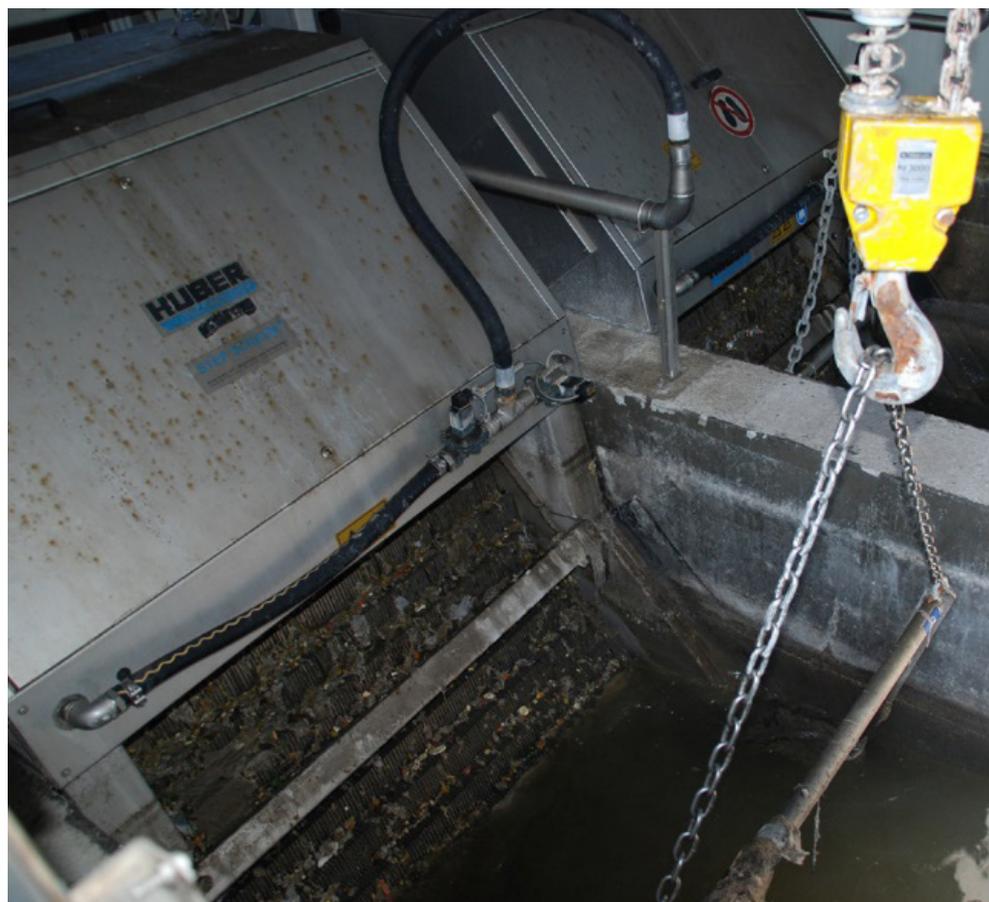


Figura 1
Griglia di un depuratore.

Alla grigliatura può seguire una **staccatura** effettuata da cilindri rotanti ricoperti da una tela filtrante a maglie ancora più fini.

Seguono quindi la **dissabbiatura** e la **sgrassatura** o **disoleatura** che possono essere anche accoppiate nella stessa vasca. La dissabbiatura deve essere sempre prevista quando la rete fognaria convoglia acque miste, date dall'unione delle acque nere e grigie con quelle che provengono dalle caditoie stradali e quindi possono trascinare sabbia e sassolini che possono danneggiare le lame raschiatrici, le

pompe o possono accumularsi in determinati punti critici della linea. La rimozione della sabbia può avvenire per gravità, per aerazione o per centrifugazione. Le sabbie rimosse dopo essere state lavate e asciugate sono destinate a una discarica. L'aerazione è spesso accoppiata con la sgrassatura perché, insufflando aria in una vasca, la sabbia sedimenta, mentre oli e grassi galleggiano e sono rimossi per sfioramento. La disoleatura non è praticata di routine in tutti gli impianti, perché la presenza di oli e grassi è spesso di modesta entità e sono adeguatamente trattenuti da paraschiuma presenti prima del trattamento primario. Quando è invece accertata la presenza cospicua di queste sostanze nei reflui è meglio rimuoverle perché danneggiano il trattamento ossidativo ad opera dei batteri nelle vasche a fanghi attivi. Proprio questo trattamento cruciale, di ossidazione e demolizione della sostanza organica sospesa da parte dei batteri, risente molto della portata idraulica e della concentrazione dei solidi sospesi. Per ovviare a ciò, alla fine dei pretrattamenti, è posta una grande vasca di **equalizzazione**, cioè di livellamento della portata, che varia grandemente in caso di acque miste che raccolgono anche le acque piovane, e di **omogeneizzazione**, cioè di livellamento della concentrazione dei solidi sospesi. Nella vasca di equalizzazione si può anche associare la dissabbiatura insufflando aria in quantità tale da mantenere in sospensione le sostanze organiche ma da provocare la precipitazione della sabbia. Anche senza insufflazione di aria, l'acqua è sempre tenuta in movimento da agitatori meccanici per impedire la sedimentazione dei solidi sospesi.

Trattamento primario

Consiste in un processo fisico e/o chimico-fisico di sedimentazione dei solidi sospesi sedimentabili (SSS) che avviene in vasche cilindriche o rettangolari, dimensionate per un tempo di decantazione di circa 1-3 ore. Se l'impianto riceve acque miste allora il tempo massimo di decantazione può arrivare a 50 minuti in caso di pioggia duratura e insistente. Dopo questo processo i solidi sospesi totali sono ridotti di circa il 50% mentre la BOD_5 è ridotta del 30%. I solidi sedimentati in questa vasca sono chiamati fanghi primari e sono rimossi dal fondo della vasca con una lama raschiatrice.

Trattamento secondario

Si tratta di un processo fondamentalmente biologico-ossidativo a opera dei batteri aerobi comunemente presenti nei liquami, che in presenza di una buona concentrazione di ossigeno degradano la sostanza organica sospesa, principalmente in CO_2 . In pratica viene riprodotto artificialmente e in modo accelerato il processo di depurazione naturale che avviene in fiumi e laghi. Le tecniche più comuni sono:

- **impianti a fanghi attivi;**
- **impianti a letti percolatori;**
- **impianti a dischi biologici;**
- **impianti MBR** (*Membrane Biological Reactor*).

Gli impianti a fanghi attivi o attivati sono i più diffusi perché sono ad alta efficienza, abbattendo la BOD_5 oltre al 90%. In questi impianti è fondamentale cercare di mantenere un livello, chiamato *set point*, ottimale della concentrazione di O_2 , che è di 2 mg/l. Il *set point* varia a seconda della temperatura ambiente: si dimezza d'estate, quindi è influenzato dalla stagione, dall'ora del giorno, dalla nuvolosità. L'aria è introdotta generalmente con compressori che richiedono un elevato consumo di energia elettrica.

I batteri ossidativi, a causa della turbolenza dovuta all'aria insufflata, si aggregano alle particelle organiche insieme ad altri microrganismi, come i protozoi, in

piccole masserelle gelatinose chiamate “flocchi”, che saranno poi rimossi successivamente per sedimentazione (**Figura 2**).



Figura 2
Vasca a fanghi attivi.

Alla vasca dei fanghi attivati segue un sedimentatore secondario (**Figura 3**) dove avviene la sedimentazione della biomassa batterica che va a costituire il fango secondario. Parte di questa biomassa viene però reimpressa nella vasca di ossidazione per mantenerne una quantità ottimale. Una parte di fango secondario può essere pompata anche nel sedimentatore primario, al fine di migliorare le qualità del fango primario. La parte eccedente viene avviata alla linea di trattamento dei fanghi. Nei fanghi secondari oltre alla biomassa batterica ci sono solidi sospesi sedimentabili che erano sfuggiti alla sedimentazione primaria, solidi sospesi non sedimentabili (SSNS), in parte ancora biodegradabili, in parte no, sostanze di tipo collodiale. Le acque separate dai fanghi secondari sono avviate ai trattamenti terziari.



Figura 3
Sedimentatore secondario con carroponete.

Trattamento terziario

Questo tipo di trattamento può comprendere sistemi di rimozione dell'azoto e del fosforo, filtrazione, adsorbimento, disinfezione.

La rimozione dell'azoto spesso è fatta nella vasca a fanghi attivati che viene divisa in tre scomparti:

- la **zona ossica** dove batteri dei generi *Nitrobacter* e *Nitrosomonas* ossidano l'azoto ammoniacale a nitriti e poi a nitrati;
- segue una **zona anaerobica**, dove non si insuffla più O_2 , e quello presente è tutto consumato dai batteri;
- infine la **zona anossica** dove avviene la denitrificazione a opera di batteri del genere *Pseudomonas* per cui i nitrati sono trasformati in N_2 che si libera in atmosfera.

Il fosforo non si può trasformare in un gas che si libera nell'atmosfera come l'azoto, pertanto durante il processo di depurazione una parte viene inglobato nella biomassa batterica (20-30%), il rimanente può essere fatto precipitare a valle della sedimentazione secondaria per via chimica utilizzando cloruro ferri-co, solfato di alluminio, policloruro di alluminio. Il fosforo precipita sotto forma di fosfati insolubili, in un fango che è detto chimico e che può adsorbire anche polifosfati e fosforo organico.

L'utilizzo di coagulanti per la precipitazione del fosforo comporta un elevato utilizzo di reagenti che sono implicati in reazioni secondarie, anche di due volte rispetto alle quantità stechiometriche.

Negli impianti a fanghi attivi è possibile favorire una rimozione biologica del fosforo, abbinabile a quella chimica, favorendo lo sviluppo di popolazioni di **batteri fosforo-cumulanti** (PAO, *Phosphorus Accumulating Organism*), sottoponendo i fanghi di ricircolo e il refluo in ingresso al susseguirsi di fasi anaerobiche ed aerobiche. Così facendo aumenta la quantità di fosforo contenuto nel fango biologico.

La **disinfezione** per eliminare microrganismi patogeni per l'uomo e gli animali può essere fatta con raggi ultravioletti, clorazione con ipoclorito di sodio, acido peracetico che altera enzimi e membrane cellulari, ozono.

Le acque chiarificate in uscita, scaricate in un corpo idrico recettore, fiume o canale, devono avere parametri chimici e fisici che rispettano le tabelle dell'allegato V del D. Lgs. 152/2006. La carica batterica massima deve essere inferiore a 5000 UFC (**Unità Formanti Colonia**) di *Escherichia coli* con l'assenza di microrganismi patogeni.

Linea fanghi

I fanghi provenienti dal sedimentatore primario e secondario devono essere omogeneizzati per miscelazione, stabilizzati per impedire fenomeni di putrefazione, disidratati per essere idonei allo smaltimento. Dopo l'omogeneizzazione subiscono i seguenti trattamenti:

- **preispessimento;**
- **stabilizzazione;**
- **postispessimento;**
- **condizionamento;**
- **disidratazione;**
- **compattazione o incenerimento.**

L'**ispessimento** consiste nel ridurre il volume del fango eliminando una consistente parte di acqua. Può essere realizzato per centrifugazione, per flottazione, per gravità. Il preispessimento precede la stabilizzazione, il postispessimento la segue.

L'ispessimento per gravità si divide in continuo e discontinuo: quello continuo è svolto in vasche cilindriche con un agitatore centrale a pale in movimento che facilita l'uscita dell'acqua dai fiocchi; quello discontinuo avviene in vasche a lunga sedimentazione dove si può insufflare aria per favorire ulteriormente i processi ossidativi.

Il liquido surnatante in uscita dall'ispessimento fanghi è reinviato nella linea acque a monte della vasca di sedimentazione primaria.

La **stabilizzazione** dei fanghi deve fermare i processi biologici di putrefazione per fare in modo che sia lavorabile, trasportabile e smaltito. Può essere aerobica e anaerobica e comporta un periodo di 15-40 giorni:

- la stabilizzazione aerobica comporta sempre un processo biologico ossidativo insufflando ossigeno. Alla digestione aerobica può essere associato un processo di ispessimento;
- la stabilizzazione anaerobica si basa invece sull'azione di batteri anaerobici per cui deve essere condotta in digestori (**Figura 4**) in cui non c'è immissione di aria; di conseguenza risulta meno costosa da un punto di vista energetico. Inoltre, il digestore anaerobico produce biogas, una miscela di metano e CO_2 , che è utilizzato per produrre energia. Il digestore è chiamato a strati perché al suo interno si realizza una stratificazione del fango a seconda del grado di digestione, con acqua e grassi che si dispongono in superficie, sormontati dallo strato di biogas. Il fango può essere prelevato dal digestore, riscaldato utilizzando il biogas prodotto e reimesso nel digestore, in questo modo si migliora e si ottimizza il processo di digestione. Nel caso del digestore non riscaldato è bene proteggerlo da eccessivi sbalzi termici per cui si può parzialmente interrare e ricoprire la parte fuori suolo con un terrapieno. Esistono anche digestori a due stadi (**Figura 5**), un contenitore dove il fango è riscaldato e miscelato e un secondo contenitore dove il fango si dispone a strati e subisce l'ispessimento.

Il **condizionamento** è il processo in cui si favorisce il distacco dell'acqua dalle particelle colloidali e si realizza generalmente attraverso sostanze chimiche, come il cloruro ferrico, che provocano una coagulazione-flocculazione dei colloidali. La **disidratazione** può essere realizzata per via meccanica con dispendio di energia o con letti di essiccamento. Le operazioni meccaniche utilizzate possono essere di tipo diverso:



Figura 4
Digestori anaerobici per fanghi.

- centrifugazione;
- filtrazione con nastropressa;
- filtrazione con filtropressa a piastre;
- filtrazione sotto vuoto.



Figura 5
Vasche di sedimentazione e digestori anaerobici a due stadi.

Nei letti di essiccamento il fango liquido viene sparso su un letto drenante costituito da ghiaia e sabbia. Parte dell'acqua scende per gravità nel letto e viene portata via da un tubo drenante posizionato sul fondo del letto, un'altra parte di acqua evapora direttamente nell'aria.

Alla fine del processo di disidratazione il fango arriva a concentrazioni di sostanza solida nell'ordine del 40-50% (**Figura 6**).

Un fango così concentrato può essere incenerito in un termovalorizzatore. I fumi devono passare in una camera di postcombustione a 1200 °C per abbattere le eventuali sostanze tossiche presenti.

Se i fanghi rientrano nei limiti di legge, per quanto riguarda contenuto di azoto e fosforo, metalli pesanti e sostanze nocive, possono essere utilizzati in agricoltura come ammendanti e concimi.



Figura 6
Fango disidratato.

Trattamenti estensivi

Nel D. Lgs. 152/1999 sono consigliati, per comunità dai 50 ai 2500 AE, trattamenti con lagunaggio e fitodepurazione, nel caso di comunità tra i 2000 e i 25.000 AE questi trattamenti sono consigliati per trattamento di affinamento batterico. I trattamenti estensivi sono particolarmente efficienti nel depurare acque grigie, che hanno un basso carico di sostanze organiche. Oltre ad avere bassi costi di gestione e di manutenzione, i trattamenti naturali sono convenienti dove i terreni hanno un basso costo e il clima favorevole per la maggior parte dell'anno come nel Sud Italia. Inoltre ben si inseriscono nel contesto agricolo dove possono altresì contribuire a innalzarne la biodiversità.

Fitodepurazione

La fitodepurazione è un processo depurativo simile a quello che avviene nelle zone umide naturali o seminaturali grazie all'attività dei batteri aerobi e anaerobi che vivono in sospensione, sul materiale di riempimento della vasca, sul fondo dei bacini, nella rizosfera, ai meccanismi di sedimentazione fisica e all'assorbimento degli elementi mineralizzati da parte delle radici dei vegetali presenti. I vegetali utilizzati sono generalmente indicati con il termine di **macrofite acquatiche**, che significa vegetali legati all'acqua dolce di dimensioni apprezzabili alla vista, mentre con il termine **microfite acquatiche** si intendono alghe microscopiche che rivestono un ruolo principale negli impianti di lagunaggio e di accumulo in grandi serbatoi.

Le macrofite acquatiche comprendono numerose specie di categorie molto diverse di vegetali: Dicotiledoni e Monocotiledoni, felci, muschi, epatiche, alghe formanti aggregati macroscopici.

Esistono principalmente due tipologie di impianti:

- a **flusso superficiale**;
- a **flusso subsuperficiale orizzontale oppure verticale**.

Impianti di fitodepurazione a flusso superficiale

Negli impianti **a flusso superficiale** o, secondo la traduzione inglese, a superficie libera, il liquame deve subire prima un pretrattamento con grigliatura e sedimentazione primaria in modo da ridurre la concentrazione dei solidi presenti. Nel caso di impianti progettati per una singola o poche abitazioni è sufficiente anche una vasca Imhoff. Successivamente il liquame è convogliato in un bacino a profondità variabile ma comunque non superiore al metro, in cui si trovano le macrofite che hanno il compito soprattutto di assorbire nitrati e fosfati che provengono dai processi di mineralizzazione operati da batteri aerobici e anaerobici, che si trovano in sospensione, sul fondo del bacino o sulla rizosfera. Nell'acqua del bacino si crea una zona aerobica in superficie e una anaerobica sul fondo che facilita i processi di denitrificazione con produzione di N_2 gassoso che si libera in atmosfera. Questi impianti liberano anche ammoniaca. La maggior quantità di fosforo e metalli precipita sul fondo per reazioni di tipo chimico, fisico e biologico. Gli eventuali microrganismi patogeni sono eliminati da fenomeni ossidativi, esposizione alla componente ultravioletta della luce solare, predazione da parte dei microrganismi che vivono nel bacino come protozoi e nematodi. La superficie del bacino necessaria per il processo, rapportata agli abitanti equivalenti, è considerevole, 20-40 m²/AE per trattamenti secondari, 4-20 m²/AE per trattamenti terziari.

Nel bacino possono essere immesse diverse tipologie di macrofite: piante acquatiche galleggianti, piante radicate sul fondo sommerse, piante radicate sul fondo

[Glossary](#)



a flusso superficiale:
free water surface
(FWS)

ma che emergono dal bacino con la maggioranza del fusto. Il sistema funziona in continuo e le acque in uscita sono scaricate in un fiume o canale recettore.

Impianti di fitodepurazione a flusso superficiale con macrofite galleggianti

I manuali tecnici suggeriscono per questo tipo di funzione alcune specie che con alte dosi di nitrati presentano una crescita rigogliosa, con conseguente elevato assorbimento di nutrienti, tra cui però ci sono piante esotiche invasive che possono facilmente sfuggire dal bacino tramite il corpo idrico in cui si scarica l'effluente (Figure 7 e 8). Queste piante esotiche invasive, introdotte in ambienti naturali o seminaturali, interferiscono poi con le reti alimentari e minacciano la biodiversità autoctona. Nella Tabella 1 seguente, riportiamo alcune di queste piante indicate dai manuali tecnici, sconsigliando quelle invasive, e indicando la preferenza per le specie autoctone che si inseriscono facilmente nella rete alimentare e nel paesaggio.

NOME SCIENTIFICO	NOMI ITALIANI	NOTE SU CARATTERISTICHE E UTILIZZO
<i>Azolla filiculoides</i>	azolla maggiore	Felce acquatica natante annuale, originaria della fascia tropicale, utilizzata come ornamentale nei giardini acquatici, invasiva, diffusa in gran parte d'Italia.
<i>Eichhornia crassipes</i>	giacinto d'acqua, aicornia	Idrofito natante annuo e perenne, originaria della fascia tropicale, utilizzata come ornamentale nei giardini acquatici. Nell'Italia centrale e settentrionale generalmente non supera l'inverno ma si è spontaneizzata in Sicilia. Specie invasiva di rilevanza unionale.
<i>Pistia stratiotes</i>	pistia, lattuga acquatica, vela d'acqua	Idrofito natante e radicante, stolonifera, annuale e perenne, originaria dell'America tropicale, utilizzata anche per i giardini acquatici. Si è spontaneizzata in Lombardia, Veneto ed Emilia, di norma non supera la stagione fredda ma si è riscontrata recentemente la sopravvivenza di alcuni individui per cui potrebbe anche adattarsi a superare inverni miti.
<i>Lemna minuta</i>	lenticchia d'acqua minuscola	Idrofito natante annuale, originaria del Nord America, invasiva, in forte espansione in tutta Italia a danno delle altre <i>Lemnoideae</i> autoctone.
<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	soldinella reniforme	Idrofito e geofito radicante perenne, originaria dell'America Centrale e Meridionale, diffusa in Italia Centrale, Sicilia e Sardegna, invasiva di rilevanza unionale.
<i>Lemna gibba</i>	lenticchia d'acqua spugnosa	Idrofito natante annuale, pianta subcosmopolita, autoctona e diffusa in tutta Italia con l'eccezione della Valle d'Aosta.
<i>Lemna minor</i>	lenticchia d'acqua comune	Idrofito natante annuale, pianta subcosmopolita, autoctona e diffusa in tutta Italia.
<i>Spirodela polyrhiza</i>	lenticchia d'acqua maggiore	Idrofito natante annuale, pianta subcosmopolita, autoctona e diffusa nella maggioranza delle regioni italiane.
<i>Trapa natans</i>	castagna d'acqua	Idrofito natante annuale, diffusa nelle regioni italiane settentrionali, pianta euroasiatica e della fascia tropicale, autoctona.

Tabella 1 • Macrofite galleggianti utilizzate per la fitodepurazione. In rosso le piante esotiche invasive fortemente sconsigliate.

I bacini che ospitano piante di questo tipo hanno il fondo impermeabilizzato con strati di argilla e/o geomembrane in PEAD spesso 2 mm, per impedire contaminazioni della falda superficiale (Figura 9); le piante colonizzano rapidamente la superficie nei mesi estivi dopodiché sono rimosse e avviate al compostaggio.



Figura 7
Azolla maggiore che ha completamente ricoperto la superficie di un canale di scolo e irrigazione, ostacolando la crescita dell'autoctono nannufero (*Nuphar lutea*).



Figura 8
Lattuga acquatica o pistia, nel Lago Superiore di Mantova.

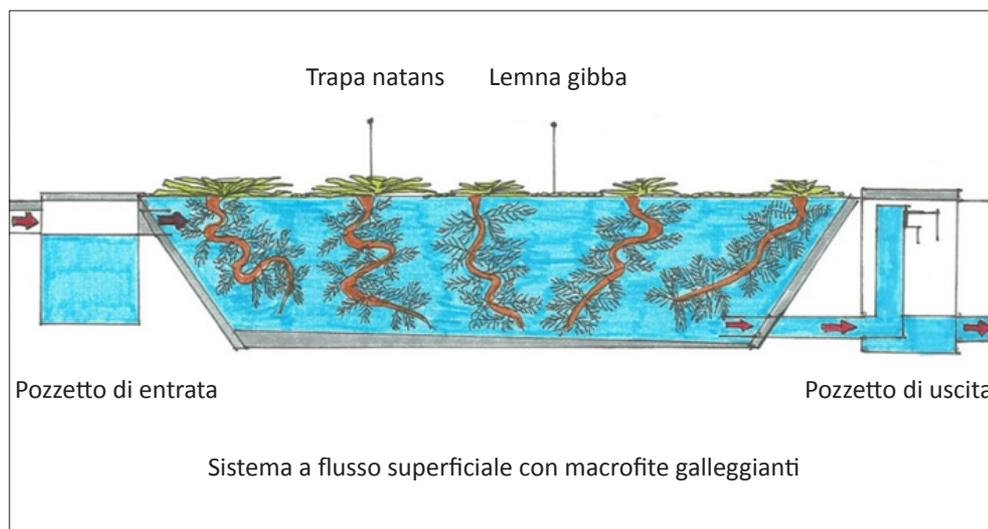


Figura 9
Impianto a flusso superficiale con macrofite galleggianti.

Impianti di fitodepurazione a flusso superficiale con macrofite radicate

Anche in questi bacini il fondo è impermeabilizzato con membrane ma sopra si deposita uno strato di argilla, sabbia, ghiaia, alto circa 40 cm, chiamato *medium*, che deve ospitare gli apparati radicali delle piante utilizzate (Figure 10 e 11). Si utilizzano in genere specie che hanno fusti completamente sommersi insieme ad altre in cui la maggioranza del fusto è emersa. La rimozione dei microrganismi patogeni è migliore perché la superficie dell'acqua è maggiormente esposta all'insolazione, l'azione depurativa per assorbimento radicale dei nutrienti avviene per la maggior parte dell'anno essendo le piante utilizzate perenni, si pratica uno sfalcio annuale con destinazione dei residui al compostaggio, evitando che si accumulino sul fondo dove restituirebbero i nutrienti assorbiti.

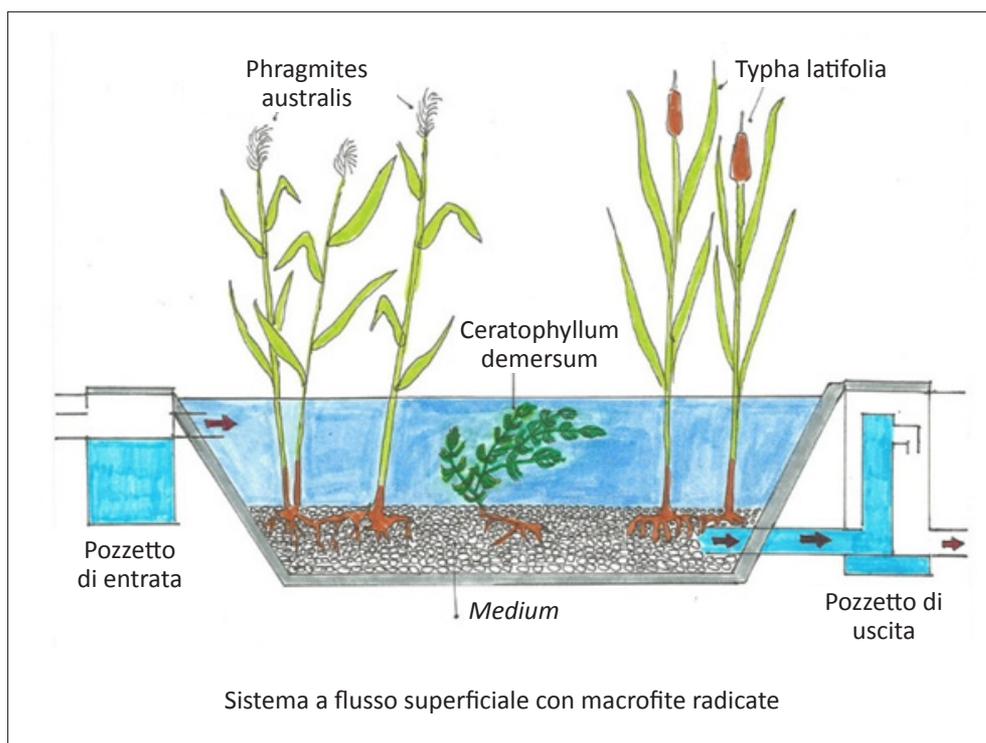


Figura 10
 Impianto a flusso superficiale con macrofite radicate.



Figura 11
 Impianto francese a flusso superficiale con cannuccia di palude.

Anche per questo tipo di bacini si sconsigliano le piante esotiche invasive riportate nella **Tabella 2**.

Le specie di seguito indicate come **elofite**, cioè quelle piante perenni che hanno la maggior parte del fusto che emerge dall'acqua, sono indicate anche per gli impianti di fitodepurazione a **flusso subsuperficiale** che non prevedono bacini con acqua libera. Alcune di queste specie, oltre ad avere un comportamento da elofita, sono anche **geofite**, cioè possono svilupparsi bene in terreni non inondati, sono sempre piante erbacee perenni e svernano con organi vegetativi sotterranei, come rizomi, radici, bulbi.

NOME SCIENTIFICO	NOMI ITALIANI	NOTE SU CARATTERISTICHE E UTILIZZO
Idrofite sommerse		
<i>Egeria densa</i>	peste d'acqua maggiore	Idrofita radicata perenne invasiva di origine sudamericana. Attualmente è rara e localizzata in pochi siti.
<i>Elodea canadensis</i>	peste d'acqua comune	Idrofita radicata perenne invasiva di origine nordamericana. Diffusa nelle regioni italiane settentrionali e centrali, attualmente sembra in regresso, soppiantata dalla peste d'acqua di Nuttall.
<i>Elodea nuttallii</i>	peste d'acqua di Nuttall	Idrofita radicata perenne invasiva di origine nordamericana. Attualmente è in forte espansione in pianura padana e nelle Prealpi.
<i>Lagarosiphon major</i>	peste d'acqua arcuata	Idrofita radicata perenne invasiva di origine africana. Diffusa nelle regioni settentrionali.
<i>Myriophyllum aquaticum</i>	millefoglio d'acqua brasiliano	Idrofita radicata perenne invasiva di origine sudamericana. Introdotta come pianta da acquario e per giardini acquatici si sta diffondendo rapidamente nelle regioni settentrionali e centrali.
<i>Myriophyllum spicatum</i>	millefoglio d'acqua comune	Idrofita radicata perenne autoctona.
<i>Ceratophyllum demersum</i>	ceratofillo comune	Idrofita radicata perenne autoctona.
Elofite		
<i>Juncus</i> spp.	giunco	Genere di geofite perenni tipiche di terreni umidi, anche salati e salmastri. Sono poche le specie invasive esotiche, una in particolare, <i>Juncus tenuis</i> , giunco americano, nativo del Nord America che ovviamente si sconsiglia.
<i>Cyperus longus</i>	zigolo nero	Elofita e geofita rizomatosa, quindi perenne. È una delle poche specie di questo genere a essere autoctona, molte infatti sono esotiche invasive.
<i>Carex</i> spp.	carice	A questo genere appartengono numerosissime specie, è in assoluto il genere con più specie nella flora italiana, tutte autoctone ad eccezione di <i>Carex vulpinoidea</i> , carice di origine nordamericana a tendenza invasiva ma ancora limitata nella sua diffusione, per cui si sconsiglia fortemente l'utilizzo. Non tutte le carici si comportano però da elofite, tra le più indicate c'è <i>Carex acutiformis</i> , carice tagliente.
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	lisca lacustre, giunco da stuoie	Elofita e geofita rizomatosa, autoctona.
<i>Limniris pseudacorus</i>	giaggiolo acquatico, spadone	È soprattutto una geofita rizomatosa, autoctona.
<i>Glyceria maxima</i> subsp. <i>maxima</i>	gramignone maggiore	È una geofita rizomatosa autoctona ma può comportarsi anche da elofita e da idrofita parzialmente sommersa.
<i>Phalaris arundinacea</i> subsp. <i>arundinacea</i>	scagliola palustre	Elofita autoctona rizomatosa.
<i>Phragmites australis</i> subsp. <i>australis</i>	cannuccia di palude	Elofita e geofita rizomatosa autoctona. Si sviluppa bene anche nei terreni salmastri. È una delle specie più indicate e più utilizzate nella fitodepurazione sia negli impianti a flusso superficiale sia in quelli a flusso subsuperficiale.
<i>Typha latifolia</i>	lisca maggiore	Si comporta soprattutto da geofita rizomatosa. È molto utilizzata negli impianti a flusso subsuperficiale.
<i>Typha angustifolia</i>	lisca a foglie strette	Rispetto alla lisca maggiore ha un comportamento più da elofita, sviluppandosi a profondità maggiori e formando fitti popolamenti.
<i>Typha domingensis</i>	lisca tropicale	A dispetto del nome è considerata specie autoctona. Molto simile nella morfologia e nell'ecologia alla lisca a foglie strette, di cui è considerata da alcuni botanici una sottospecie e dalla quale è difficilmente distinguibile; ha un comportamento più termofilo.

Tabella 1 • Idrofite ed elofite utilizzate negli impianti di fitodepurazione. In rosso le piante esotiche invasive fortemente sconsigliate.

› Glossary



flusso superficiale:
subsurface flow (SSF)

Impianti di fitodepurazione a flusso subsuperficiale

Negli impianti di fitodepurazione a **flusso subsuperficiale** non esistono bacini con il liquame a contatto con l'atmosfera ma l'affluente viene immesso in un letto o in una trincea che ha una profondità da 20 a 80 cm riempita con il cosiddetto *medium*, una stratificazione di sabbia grossa, ghiaia e pietrisco, variabile per dimensioni e disposizione in base alla tipologia dell'impianto e che, oltre a permettere lo sviluppo dell'apparato radicale delle piante che assorbono i nutrienti, esercita un'azione filtrante e ospita sui materiali inerti un biofilm batterico che degrada la sostanza organica.

Questa tipologia di impianti si è diffusa maggiormente rispetto a quelli a flusso superficiale per più fattori migliorativi: richiede una superficie per abitante equivalente minore, svolge un'attività depurativa più efficace, si inserisce meglio nel paesaggio agricolo e suburbano, non rilascia cattivi odori dovuti all'ammoniaca e all'acido solfidrico, non permette lo sviluppo delle larve di zanzare e altri insetti molesti, l'azione depurativa permane anche nei mesi invernali. Tra i fattori invece peggiorativi si registra una minor ossigenazione nel *medium* e una minor azione disinfettante a causa del mancato contributo dei raggi ultravioletti. Il processo di depurazione avviene tramite meccanismi fisici, chimici, biologici come la filtrazione, la sedimentazione, l'adsorbimento, la degradazione biologica della sostanza organica, l'assorbimento dei nutrienti da parte delle piante. Anche in questo tipo di impianti avvengono i processi di nitrificazione e denitrificazione per l'alternanza degli strati aerobici e anaerobici ma lo strato aerobico è più ridotto rispetto ai sistemi a flusso superficiale e quindi la nitrificazione è meno efficiente. Anche per questo tipo di impianti il liquame in entrata deve essere preventivamente sottoposto a un trattamento di grigliatura e sedimentazione primaria che si può attuare con una vasca Imhoff. Le specie vegetali più utilizzate sono la cannuccia di palude, *Typha* spp., il giunco da stuoie; la frequenza di taglio e rimozione è ogni 1-2 anni.

Gli impianti a flusso subsuperficiale si dividono in due categorie:

- impianto a **flusso subsuperficiale orizzontale**;
- impianto a **flusso subsuperficiale verticale**.

› Glossary

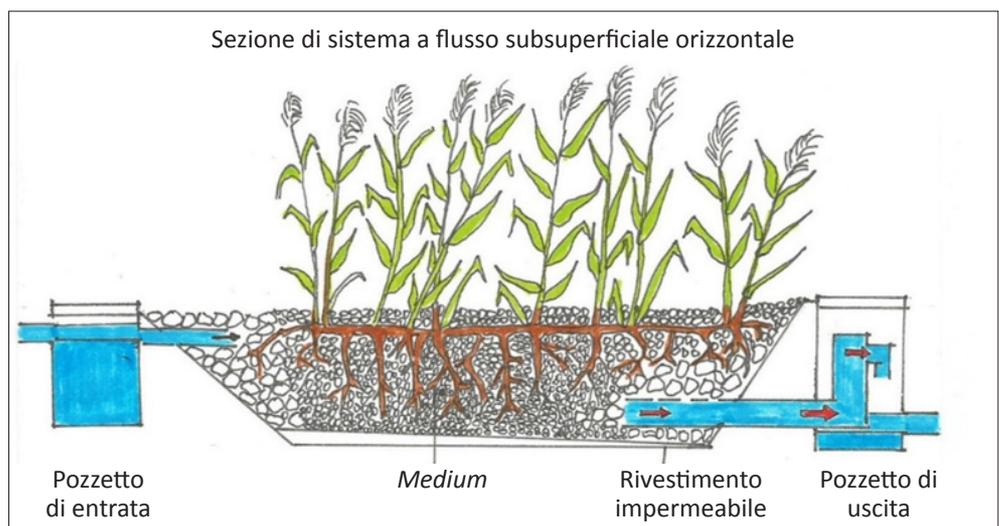


a flusso orizzontale:
horizontal subsurface flow (H-SSF)

a flusso verticale:
vertical subsurface flow (V-SSF)

Impianto a flusso subsuperficiale orizzontale

Il liquame già pretrattato entra in continuo nel *medium* e lo percorre orizzontalmente, alla fine del letto una tubazione forata lo raccoglie e lo convoglia in un pozzetto dal quale è successivamente riversato nel corpo idrico recettore. Nei punti di entrata e di uscita il *medium* è costituito da materiale inerte più grossolano come il pietrisco, invece nella parte centrale da un letto di ghiaia uniforme (**Figura 12**). La superficie utile ai fini della depurazione varia da 1 a 5 m²/AE.

**Figura 12**

Impianto a flusso subsuperficiale orizzontale.

Impianto a flusso subsuperficiale verticale

Le differenze rispetto al sistema precedente sono:

- il liquame viene immesso dall'alto su tutta la superficie del letto in modo uniforme attraverso tubi forati posizionati sopra il *medium* in mezzo alla vegetazione (**Figura 13**);
- il liquame percola dall'alto verso il basso incontrando un *medium* con materiali inerti le cui dimensioni aumentano con la profondità per facilitare il drenaggio sul fondo del letto;
- il liquame pretrattato viene immesso in maniera discontinua, riempiendo e svuotando il letto, con l'ausilio anche di una pompa elettrica;
- per ovviare alla discontinuità dell'immissione di liquame è necessario predisporre a monte una vasca di contenimento che può assolvere anche la funzione di sedimentatore primario.

I meccanismi di depurazione sono gli stessi del flusso subsuperficiale orizzontale ma l'operazione di svuotamento e successivo riempimento permette l'entrata dell'aria che migliora i processi ossidativi e di nitrificazione.

Per la migliore efficienza depurativa la superficie utile scende a 1-3 m²/AE.

Per migliorare l'efficienza nella rimozione dell'azoto si può associare in serie un impianto a flusso subsuperficiale orizzontale a valle che per effetto della maggior presenza di zone anaerobiche ha una denitrificazione più efficace.

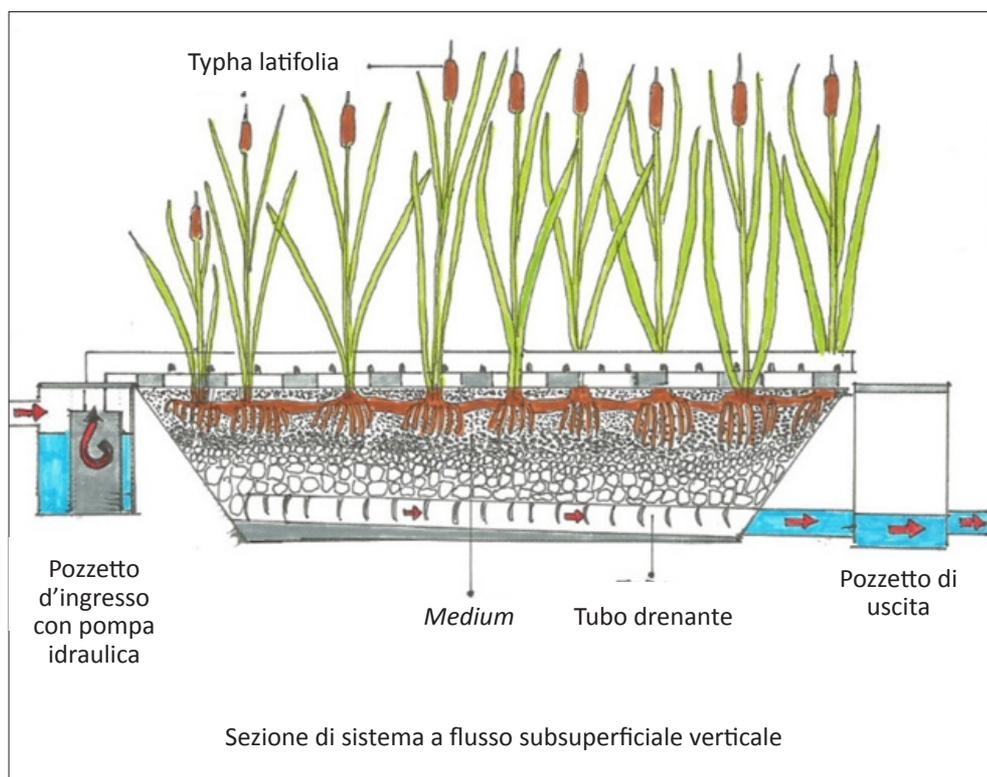


Figura 13
Impianto a flusso subsuperficiale verticale.

Lagunaggio

È un sistema di depurazione dei reflui civili di piccole comunità o strutture a popolazione variabile nel tempo, ma può essere utilizzato anche come trattamento terziario di impianti intensivi, per allevamenti animali, per industrie agroalimentari con produzione di reflui variabile nel tempo, ad esempio gli zuccherifici. Consiste in una serie di stagni biologici, a profondità variabile, disposti in serie o in parallelo, con alimentazione continua di liquame che deve subire preventivamente un pretrattamento di grigliatura e dissabbiatura. Il primo stagno è

quello anaerobico, più profondo, mediamente 5 metri, in modo che l'arrivo di elevate quantità di sostanza organica e l'elevata profondità inneschino reazioni di tipo anaerobico. Va considerata l'emissione superficiale di sostanze maleodoranti come l'acido solfidrico. Successivamente si dispone uno stagno di profondità tra i 2 e i 3 metri chiamato stagno facoltativo in cui si realizzano reazioni aerobiche nei pressi della superficie e anaerobiche nei pressi del fondo. L'ossigeno proviene dall'atmosfera e soprattutto dalle microfite, alghe che vivono nei pressi della superficie e lo producono per via fotosintetica. Il liquame che entra in questo stagno ha già subito una sedimentazione primaria, è chiarificato, per cui permette la penetrazione della luce solare. La zona facoltativa è quella che si interpone tra quella superficiale nettamente aerobica e ossidativa e quella profonda, anaerobica.

Dopo questo stagno facoltativo seguono uno o più stagni aerobici, a bassa profondità, variabile tra 50 cm e 1 m in cui possono crescere facilmente alghe microscopiche e quindi produrre l'O₂ necessario alle ulteriori reazioni ossidative e conseguente mineralizzazione della sostanza organica da parte dei batteri aerobici. Agli stagni aerobici può seguire uno stagno di maturazione profondo 1-1,5 m con compiti di finissaggio.

Allo stagno anaerobico potrebbe seguire un impianto di fitodepurazione.

Il lagunaggio prevede tempi di permanenza idraulica di alcune decine di giorni, fattore che permette un abbattimento notevolissimo dei microrganismi patogeni, maggiore rispetto ai trattamenti intensivi tradizionali che non prevedono disinfezione finale, e un possibile utilizzo agricolo irriguo delle acque in uscita. La superficie utile di depurazione è di circa 4-10 m²/AE per cui per realizzare questo tipo di impianti è necessario avere a disposizione adeguate superfici di terreno.

Per maggiori informazioni sulla **fitodepurazione** puoi consultare la Guida Tecnica per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione per il trattamento delle acque reflue urbane (<https://www.isprambiente.gov.it>).

DEPURAZIONE DELLE ACQUE REFLUE

