



Commissione Europea

**GUIDA**

# PROCESSI ESTENSIVI DI DEPURAZIONE DELLE ACQUE REFLUE



## SPECIFICI PER PICCOLI E MEDI INSEDIAMENTI

(500 - 5.000 abitanti  
equivalenti)

Applicazione della direttiva  
del Consiglio n° 91/271  
del 21 maggio 1991  
in merito al trattamento  
delle acque reflue urbane



Quale cavallo di battaglia delle politiche ambientali europee, lo sviluppo sostenibile richiede all'uomo una gestione degli scarichi domestici e urbani che si avvalga di tecniche naturali e che consumino la minor quantità di energia possibile.

La direttiva "acque reflue urbane" del 21 maggio 1991 e, recentissimamente, la direttiva quadro sulle acque, hanno sottolineato la necessità di un trattamento degli scarichi adeguato, al fine di garantire una buona qualità ecologica delle nostre acque.

Negli anni '70, la Francia ha investito in un'ambiziosa politica di risanamento urbano e rurale, finanziata dalle Agenzie delle acque.

Oggi conta 15.500 centrali di trattamento, oltre 6.000 delle quali hanno dimensioni inferiori ai 2000 AE (abitanti equivalenti), si avvalgono spesso di processi estensivi di trattamento sfruttando vincoli tecnici e finanziari contenuti e hanno un impatto positivo sull'ambiente. Data la varietà dei suoi territori, la Francia vanta una grande esperienza in quasi tutte le situazioni reperibili in Europa, sul piano climatico e geografico come in termini di caratteristiche del suolo.

Da parte sua, da simili esperienze realizzate attraverso l'Unione, alcune delle quali organizzate nel quadro di operazioni Life-Ambiente, la Direzione generale ambiente della Commissione europea desiderava trarre insegnamenti e, se possibile, strumenti di scambio e consigli per i piccoli insediamenti.

In questo ambito la valorizzazione delle esperienze nate dalla collaborazione tra la Direzione generale ambiente della Commissione europea e, da parte francese, la Direzione acque del Ministero dell'Ecologia e dello Sviluppo Sostenibile e le Agenzie delle acque, è un'idea che ha preso corpo durante la recente presidenza d'oltralpe. La presente guida è il frutto del lavoro intrapreso fin da allora.

Ci auguriamo che questa guida si riveli di grande utilità nell'assistere le amministrazioni cittadine ed i responsabili dei servizi tecnici dei piccoli e medi insediamenti europei durante un processo decisionale fondato su solidi fondamenti tecnici e finanziari e con un particolare riguardo all'integrazione ecologica e allo sviluppo sostenibile. Questa guida, insieme alle altre, potrà inoltre illustrare lo spirito del 6° Programma d'Azione Europeo "Ambiente 2001-2010, il nostro futuro, la nostra scelta".



**Prudencio PERERA**  
*Direttore*  
Qualità dell'ambiente  
e delle risorse naturali  
Commissione europea



**Bernard BAUDOT**  
*Direttore acque*  
Ministero dell'Ecologia e dello  
Sviluppo Sostenibile  
FRANCIA

Ulteriori informazioni sull'Unione Europea sono disponibili su Internet e si possono consultare tramite il server Europa (<http://europa.eu.int>).

Una scheda bibliografica è riportata alla fine della guida.

Lussemburgo: Ufficio delle Pubblicazioni Ufficiali delle Comunità Europee, 2001.

ISBN 92-894-1690-4

© Ufficio Internazionale dell'acqua, 2001. (<http://www.oieau.org>)

È vietata la riproduzione integrale o parziale, senza l'autorizzazione dell'editore.

È vietata la traduzione integrale o parziale, senza l'autorizzazione dell'editore.

Stampato in Francia - STAMPATO SU CARTA SBIANCATA SENZA CLORO.

	<i>Page</i>
<b>▶ LO SCOPO DI QUESTA GUIDA</b>	<b>2</b>
<b>▶ IL QUADRO NORMATIVO E L'INCENTIVO DELL'UNIONE EUROPEA PER LA REALIZZAZIONE DI INFRASTRUTTURE DI RACCOLTA E DI TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE URBANE</b>	<b>3</b>
→ <i>Le scadenze</i>	<b>3</b>
→ <i>Gli obiettivi da raggiungere per soddisfare le disposizioni della direttiva</i>	<b>3</b>
<b>▶ LE TECNICHE APPLICABILI PER RISPETTARE LE PRESCRIZIONI DELLA DIRETTIVA</b>	<b>4</b>
→ <i>Le tecniche intensive classiche</i>	<b>4</b>
▲ Letti percolatori	
▲ Dischi biologici	
▲ Fanghi attivi	
▲ Vantaggi ed inconvenienti delle varie tecniche intensive	
→ <i>Le tecniche estensive</i>	<b>8</b>
<b>▶ PROCESSI ESTENSIVI: SCHEDE TECNICHE</b>	<b>9</b>
→ <i>Colture su supporto fine</i>	<b>9</b>
▲ Funzionamento: i meccanismi in atto	
▲ Infiltrazione-percolamento su sabbia	
▲ Filtrazione con piante a deflusso verticale	
▲ Filtrazione con giunchi a deflusso orizzontale	
→ <i>Colture libere</i>	<b>16</b>
▲ Funzionamento: i meccanismi in atto	
▲ Lagunaggio naturale	
▲ Lagunaggio aerato	
<b>▶ CONCLUSIONI: ALCUNI ELEMENTI PER LE SCELTE TECNICHE</b>	<b>23</b>
→ <i>Riepilogo delle tecniche estensive</i>	<b>23</b>
→ <i>Qualità degli scarichi</i>	<b>23</b>
→ <i>Vantaggi ed inconvenienti: riepilogo</i>	<b>24</b>
→ <i>L'importanza del fattore climatico</i>	<b>25</b>
→ <i>Albero decisionale</i>	<b>25</b>
→ <i>I costi</i>	<b>26</b>
→ <i>Il vantaggio dei processi estensivi: il contributo ambientale</i>	<b>26</b>
<b>▶ ALLEGATI: LO STUDIO DEI CASI</b>	<b>27</b>
→ <i>Infiltrazione percolamento:</i>	<b>27</b>
un caso particolare, l'impianto di Mazagon (Spagna)	
→ <i>Infiltrazione percolamento:</i>	<b>29</b>
un impianto classico, il caso di Souillac Paille-Basse (Francia – Dipartimento del Lot)	
→ <i>Filtri con piante a deflusso verticale:</i>	<b>30</b>
il caso di NEA Madytós – Modi (Grecia)	
→ <i>Sistema ibrido:</i>	<b>32</b>
(filtri con piante a deflusso verticale e filtri con piante a deflusso orizzontale):	
il caso di Oaklands Park, Newnham-on-Severn, Gloucestershire (Regno Unito)	
→ <i>Lagunaggio naturale:</i>	<b>34</b>
il caso dell'impianto di Vauciennes (Francia – Oise)	
→ <i>Lagunaggio aerato:</i>	<b>36</b>
il caso dell'impianto di Adinkerke (Belgio)	
<b>▶ GLOSSARIO</b>	<b>38</b>
<b>▶ BIBLIOGRAFIA</b>	<b>40</b>

Jean-Marc BERLAND (OIEau), Catherine BOUTIN (CEMAGREF), Pascal MOLLE (CEMAGREF) e Paul COOPER (Consulente indipendente) hanno curato la redazione della presente guida.

Jean-Antoine FABY (OIEau), Pascal MAGOAROU (Commissione Europea) e Jean DUCHEMIN (Commissione Europea) hanno curato la sezione scientifica e tecnica e apportato contributi precisi.

Luca MARNO (Commissione Europea – DG Ambiente) ha convalidato la versione italiana di questa guida.



## LO SCOPO DI QUESTA GUIDA

Uno dei ruoli della Commissione consiste nell'aiutare i responsabili tecnici degli insediamenti tra i 500 e i 5.000 abitanti equivalenti (AE) ad applicare la direttiva del Consiglio n° 91/271 del 21 maggio 1991 in merito al trattamento delle acque reflue urbane (cfr. glossario) entro il 2005. **In realtà, gli agglomerati urbani che registrano meno di 2000 abitanti equivalenti e sono provvisti di un sistema di raccolta devono, a loro volta, applicare un trattamento appropriato [Articolo 7 della direttiva "acque reflue urbane" (cfr. glossario)].** Un'azione di sensibilizzazione e di informazione si impone in particolar modo per quegli enti ed autorità locali meno strutturati, organizzati e dotati, ma pur sempre responsabili della realizzazione di impianti.

La Direzione generale dell'ambiente della Commissione contribuisce allo sviluppo e alla produzione di dispositivi estensivi adatti per tali insediamenti, soprattutto tramite lo strumento finanziario LIFE-Ambiente. Tale strumento ha lo scopo di semplificare l'applicazione della direttiva tramite lo sviluppo di azioni dimostrative e di tecnologie innovative specifiche per ogni tipo di problema ambientale. La Direzione generale dell'ambiente sostiene inoltre la diffusione di queste tecniche tramite iniziative di consulenza e scambio di informazioni tecniche. Questo documento costituisce lo sviluppo di alcuni altri contributi quali i fondi strutturali e di coesione.

Dopo aver citato le tecniche intensive, la guida si soffermerà soprattutto sulle tecniche di trattamento estensivo. Queste ultime sono, per definizione, applicate a superfici più estese, rispetto ai processi intensivi classici sviluppati invece per i grandi agglomerati. Tuttavia i costi di investimento nel caso dei processi estensivi sono generalmente inferiori e la loro applicazione meno dispendiosa, più flessibile e a più basso consumo energetico: questo tipo di tecniche necessita inoltre di una mano d'opera meno numerosa e meno specializzata rispetto a quella impiegata per le tecniche intensive.

**In Europa le tecniche estensive sono applicabili nei casi di insediamenti che non superano qualche migliaio di abitanti equivalenti. Per una giusta interpretazione del contenuto di questa guida, si ricorda che le tecniche che vi verranno descritte potranno essere impiegate soltanto eccezionalmente per agglomerati con più di 5.000 AE.**

Dopo un riepilogo degli obiettivi da soddisfare nell'ambito dei piccoli e medi insediamenti (cfr. glossario) e dopo una rapida presentazione dei vari tipi di impianti cosiddetti intensivi, verranno descritte più dettagliatamente le varie tecniche di trattamento estensivo.

# IL QUADRO NORMATIVO E L'INCENTIVO DELL'UNIONE EUROPEA PER LA COSTRUZIONE DI INFRASTRUTTURE DI RACCOLTA E DI TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE URBANE

## Le scadenze

La direttiva del Consiglio del 21 maggio 1991 in merito al trattamento delle acque reflue urbane (cfr. glossario) costituisce uno dei punti chiave della politica ambientale dell'Unione europea.

Una delle disposizioni principali del testo prevede l'obbligo per gli insediamenti (cfr. glossario) di costruire un sistema di raccolta delle acque reflue urbane (cfr. glossario) obbligatoriamente combinato ad un sistema di depurazione delle stesse.

Il rispetto di tali obblighi potrà tuttavia essere garantito in modo graduale. Si tratterà infatti di intervenire:

- entro il 31 dicembre 1998, sugli agglomerati di più di 10.000 AE che scaricano i loro effluenti in zone particolarmente sensibili;
- entro il 31 dicembre 2000, sugli agglomerati di più di 15.000 AE che non scaricano i loro effluenti in zone particolarmente sensibili;
- entro il 31 dicembre 2005, sugli agglomerati che registrano da 2.000 a 10.000 AE oppure da 2.000 a 15.000 AE non ancora interessati dalle scadenze degli anni 1998 e 2000.

Per quanto riguarda la scadenza del 2005, la direttiva obbliga gli insediamenti tra 2.000 e 10.000 AE che scaricano in aree sensibili e quelle fino a 15.000 AE che non scaricano in aree sensibili, a sviluppare un sistema di raccolta e di trattamento secondario (cfr. glossario) (per gli scarichi in acqua dolce o in estuario) oppure un sistema di raccolta e di trattamento appropriato (per gli scarichi che avvengono in acque costiere).

Tuttavia, nel caso in cui - in assenza di un vantaggio reale per l'ambiente o per via di costi troppo elevati - non si giustifichi l'installazione di un sistema di raccolta, la direttiva consente di realizzare sistemi di depurazione singoli o altri sistemi appropriati che garantiscano un medesimo livello di protezione ambientale.

Del resto l'obbligo in questione non è limitato esclusivamente agli insediamenti di più di 2.000 AE. Il testo della direttiva precisa infatti che per gli scarichi prodotti da agglomerati di dimensioni più modeste occorre prevedere, oltre al sistema di raccolta, anche un trattamento specifico. Si ricordi infine che questo testo impone agli insediamenti con meno di 2.000 AE che già possiedono tale sistema di raccolta, di sviluppare, entro il 31 dicembre 2005, un metodo specifico di trattamento degli effluenti prodotti.

## Gli obiettivi da raggiungere per soddisfare le disposizioni della direttiva

Nelle due tabelle seguenti sono riassunte le disposizioni previste dalla direttiva "acque reflue urbane" per gli agglomerati urbani con abitanti equivalenti compresi tra 2.000 e 10.000.

**Tabella n°1: Prescrizioni relative agli scarichi provenienti dalle centrali di depurazione di acque reflue urbane, a seguito delle disposizioni della direttiva del 21 maggio 1991<sup>(1)</sup>**

Parametri	Concentrazione	Percentuale minima di riduzione <sup>(2)</sup>
Domanda biochimica di ossigeno [DBO <sub>5</sub> a 20°C (cfr. glossario)] senza nitrificazione <sup>(3)</sup>	25 mg/l O <sub>2</sub>	70-90 %
Domanda chimica di ossigeno [DCO (cfr. glossario)]	125 mg/l O <sub>2</sub>	75 %
Quantità totale di solidi sospesi (cfr. glossario)	35 mg/l <sup>(3)</sup> 35 mg/l in zone di alta montagna per gli insediamenti con oltre 10.000 AE. 60 mg/l in zone di alta montagna per gli insediamenti tra i 2.000 e i 10.000 AE.	90 % <sup>(3)</sup> 90 % in zone di alta montagna per gli insediamenti con oltre 10.000 AE. 70 % in zone di alta montagna per gli insediamenti tra i 2.000 e i 10.000 AE.

(1) È possibile scegliere indifferentemente il valore di concentrazione o la percentuale di riduzione.

(2) Riduzione in funzione dei valori in entrata

(3) Dato facoltativo

Esclusa da queste disposizioni è la tecnica del lagunaggio. Le analisi degli scarichi provenienti da questo tipo di impianti infatti devono essere effettuate su campioni filtrati. Tuttavia la concentrazione della quantità totale di solidi sospesi all'interno dei campioni di acqua non filtrata non deve superare i 150 mg/l.

**Tabella n°2: Prescrizioni relative agli scarichi provenienti dalle centrali di depurazione di acque reflue urbane, realizzate in zone sensibili soggette ad eutrofizzazione (cfr. glossario) <sup>(1)</sup>**

Parametri	Concentrazione	Percentuale minima di riduzione <sup>(2)</sup>
Fosforo totale	2 mg/l (AE compresi tra 10.000 e 100.000) <sup>(4)</sup>	80 %
Azoto totale <sup>(3)</sup>	15 mg/l (AE tra 10.000 e 100.000) <sup>(4)</sup>	70-80 %

(1) In funzione delle condizioni locali è possibile applicare un solo parametro o entrambi. Inoltre, è possibile applicare il valore di concentrazione o la percentuale di riduzione.

(2) Riduzione in funzione dei valori in entrata.

(3) Comprende l'azoto dosato secondo il metodo Kjeldahl (cfr. glossario) e quello contenuto nei nitrati e nei nitriti.

(4) Questi valori di concentrazione rappresentano medie annuali. Tuttavia, nel caso dell'azoto, possono essere impiegati valori medi giornalieri qualora si dimostri che il livello di protezione ottenuto è lo stesso. In tal caso, se la temperatura dell'effluente nel reattore biologico è superiore o uguale a 12° C, la media giornaliera non potrà superare i 20 mg/l di azoto totale per tutti i campioni. Il limite legato alla temperatura può essere sostituito da una limitazione del tempo di funzionamento, tenendo tuttavia in considerazione le condizioni climatiche regionali.

## LE TECNICHE APPLICABILI

### → Le tecniche intensive classiche

Le tecniche di depurazione più sviluppate all'interno di impianti di trattamento delle acque reflue urbane consistono in processi biologici intensivi. Il principio alla base di tali processi consiste nel localizzare ed intensificare su superfici ridotte dei fenomeni di trasformazione e di distruzione di materia organica, proprio come avviene in natura.

I tre tipi di processi utilizzati sono:

- i letti percolatori e i dischi biologici;
- i fanghi attivi;
- le tecniche di biofiltrazione o filtrazione biologica accelerata

#### ▲ Letti percolatori

Il principio alla base del funzionamento di un letto percolatore consiste a fare scorrere le acque reflue, precedentemente decantate, su di una massa di materiale poroso o alveolare che funge da supporto ai microrganismi (batteri) depuratori (cfr. schema seguente).

L'aerazione avviene tramite tiraggio naturale oppure per mezzo di una ventilazione forzata ed è essenziale per apportare l'ossigeno necessario al mantenimento dei batteri aerobici. Le sostanze inquinanti contenute nell'acqua e l'ossigeno si diffondono (contro corrente) attraverso lo strato biologico fino ai microrganismi assimilatori. Lo strato biologico presenta infatti batteri aerobici sulla superficie e batteri anaerobi sul fondo. I sotto prodotti ed il gas carbonico provenienti dal processo di depurazione vengono evacuati sotto forma di fluidi liquidi e gassosi (Satin M., Belmi S – 1999).

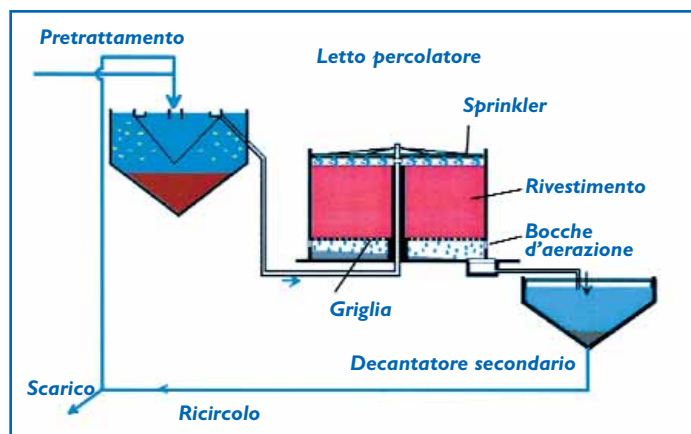


Figura n° 1: Schema generale di una centrale di depurazione con letto percolatore (dal sito Internet di Cartel - <http://www.oieau.fr/> rubrica guide des services - guida ai servizi)

**Tabella n°3: Il dimensionamento dei letti percolatori si esegue come di seguito indicato (Documento tecnico FNDAE - "Fondo nazionale per le risorse idriche" - n°22):**

Obiettivo residui	Tipo di rivestimento	Carico organico massimo (kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> .j)	Altezza minima del materiale (m)	Carico idraulico minimo (m/h)	Tasso minimo di ricircolo
≤ 35 mg DBO <sub>5</sub> /l	Tradizionale	0,7	2,5	1	2
	Plastica	0,7	4	2,2	2
≤ 25 mg DBO <sub>5</sub> /l	Tradizionale	0,4	2,5	0,7	2,5
	Plastica	0,4	5	1,8	2,5

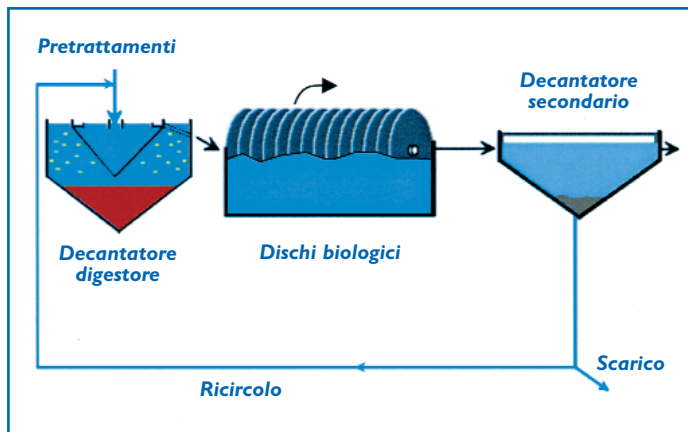
### ▲ *Dischi biologici*

Un'altra tecnica che fa appello alle colture fisse è rappresentata dai dischi biologici rotanti (cfr. schema seguente).

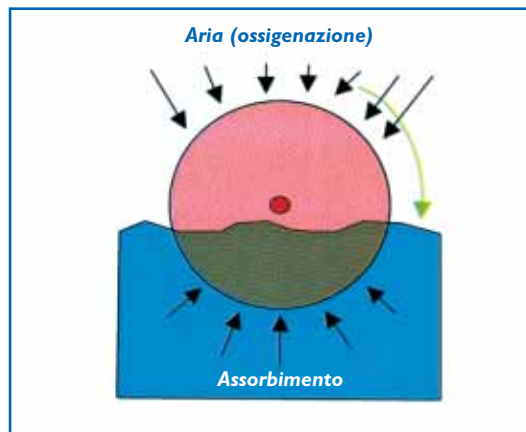
Lo sviluppo di microrganismi porta alla formazione di un biofilm dalle proprietà depuratrici sulla superficie dei dischi parzialmente sommersi. La rotazione di questi ultimi consente l'ossigenazione della biomassa adesa sul disco.

Su questo tipo di impianto è consigliato accertare:

- ➔ l'affidabilità meccanica della struttura di supporto (attivazione progressiva, buona stabilità del supporto all'asse);
- ➔ le dimensioni delle superfici dei dischi (per le quali occorre prevedere ampi margini di sicurezza).



**Figura n° 2: Schema generale di una centrale di trattamento a disco biologico (da sito Internet di Cartel - <http://www.oieau.fr/> rubrica guide des services - guida ai servizi)**



**Figura n° 3: Funzionamento di un disco biologico**

**Tabella n°4: Il dimensionamento dei dischi biologici avviene come riportato qui di seguito (Documento tecnico FNDAE - "Fondo nazionale per le risorse idriche" n°22):**

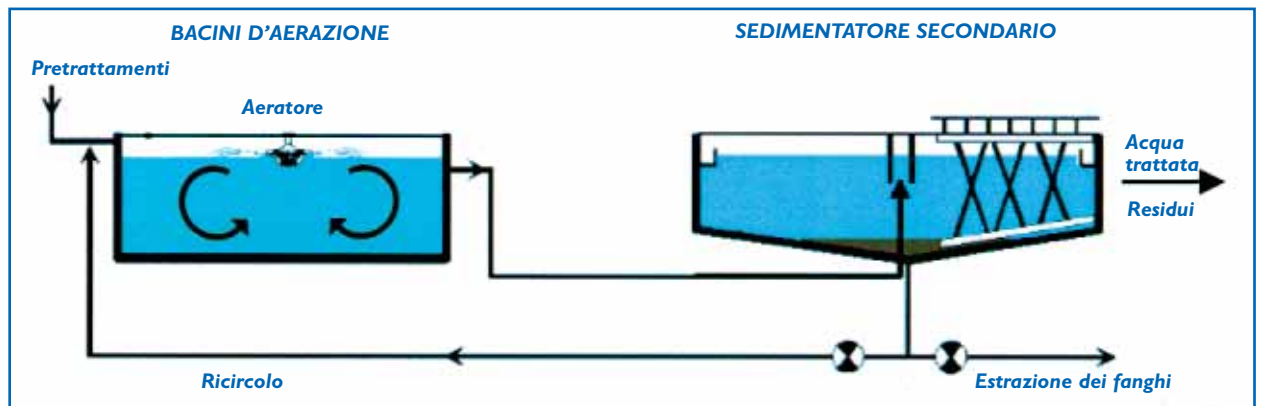
Obiettivo residui	Carico organico da applicare (dopo decantazione primaria)
≤ 35 mg DBO <sub>5</sub> /l	9 g DBO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> .giorno
≤ 25 mg DBO <sub>5</sub> /l	7 g DBO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> .giorno

Di conseguenza, per un impianto da 1.000 AE, applicando un carico organico di 9 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup> giorno, la superficie utile ottenuta è di 3900 m<sup>2</sup>.

Altri processi che sfruttano le colture fisse, ad esempio i biofiltri, si prestano maggiormente alle comunità più estese che godono di risorse tecniche ed umane più consistenti e che accusano un'elevata pressione del terreno. Tali tecniche verranno quindi ulteriormente approfondite.

## ▲ Fanghi attivi

Il principio di funzionamento dei fanghi attivi consiste in un'intensificazione dei processi di auto-depurazione che si osservano in natura (cfr. schema seguente).



**Figura n° 4: Schema generale di un impianto di fanghi attivi**  
(dal sito Internet di Cartel - <http://www.oieau.fr/> rubrica guide des services – guida ai servizi)

Questo processo prevede il mescolamento e l'agitamento delle acque reflue con fanghi liquidi altamente attivi dal punto di vista batteriologico. La degradazione aerobica della massa inquinante avviene grazie alla miscelazione dei microrganismi depuratori con l'effluente da trattare. In un secondo momento, le 'acque trattate' vengono separate dai "fanghi depuratori" (Agences de l'Eau – 1999).

Un impianto di questo tipo prevede:

- ➔ trattamento preliminare ed eventuale trattamento primario;
- ➔ la presenza del bacino di attivazione (o bacino di aerazione);
- ➔ decantatore secondario che consenta il recupero di una parte dei fanghi;
- ➔ evacuazione delle acque trattate;
- ➔ digestori per i fanghi in eccesso prodotti dai decantatori.

Il dimensionamento del bacino di aerazione si effettua sui seguenti parametri (Documento tecnico FNDAE - "Fondo nazionale per le risorse idriche" n°22):

- ➔ Massa: < 0,1 kg DBO<sub>5</sub>/kg SS.giorno;
- ➔ Carico volumetrico: < 0,35 kg DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.giorno;
- ➔ Concentrazione di fanghi: da 4 a 5 g MS/l;
- ➔ Tempi di decantazione: 24 ore circa;
- ➔ Domanda di O<sub>2</sub>: dell'ordine di 1,8 kg O<sub>2</sub>/kg DBO<sub>5</sub> eliminata;
- ➔ Potenza di mescolamento:
  - da 30 a 40 W/m<sup>3</sup> per i dispositivi di aerazione di superficie a turbina;
  - da 3 a 10 W/m<sup>3</sup> per i mescolatori;
  - 10-20 W/m<sup>3</sup> per i sistemi di aerazione a fini bolle d'aria

Un impianto di fanghi attivi ad aerazione prolungata consente di eliminare fino al 95 % della DBO<sub>5</sub>.



## ▲ Vantaggi ed inconvenienti delle varie tecniche intensive

**Tabella 5: Vantaggi ed inconvenienti delle varie tecniche intensive**  
(dal sito Internet di Cartel - <http://www.oieau.fr/> rubrica guide des services – guida ai servizi)

Tecniche	Vantaggi	Inconvenienti
Letti percolatori e dischi biologici	<ul style="list-style-type: none"> <li>● basso consumo energetico;</li> <li>● funzionamento semplice che richiede meno interventi di manutenzione e di controllo rispetto agli impianti a fanghi attivi;</li> <li>● buona capacità di sedimentazione dei fanghi;</li> <li>● minore sensibilità alle variazioni di carico e agli agenti tossici rispetto ai fanghi attivi;</li> <li>● solitamente adatti ai piccoli insediamenti;</li> <li>● resistenza alle basse temperature (i dischi biologici sono sempre protetti da coperture o da strutture di protezione).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● rese generalmente minori rispetto alla tecnica dei fanghi attivi. Ciò è dovuto in gran parte a tecniche di progettazione ormai sorpassate. Uno studio più realista deve consentire di ottenere acque di qualità più soddisfacente;</li> <li>● costi di investimento abbastanza elevati (possono superare di circa 20% quelli di un impianto di fanghi attivi);</li> <li>● necessità di processi di pretrattamento efficaci;</li> <li>● elevati rischi di ostruzione;</li> <li>● qualora si imponga la necessità di eliminazione dell'azoto, gli impianti risulteranno di grosse dimensioni.</li> </ul>
Fanghi attivi	<ul style="list-style-type: none"> <li>● adatti ad insediamenti di qualsiasi dimensione (ad eccezione di quelli molto piccoli);</li> <li>● buon livello di eliminazione di tutti i parametri di inquinamento (solidi sospesi, DCO, DBO<sub>5</sub>, N tramite nitrificazione e denitrificazione);</li> <li>● si presta alla protezione degli ambienti recettori sensibili;</li> <li>● fanghi (cfr. glossario) leggermente stabilizzati;</li> <li>● semplicità di eseguire simultaneamente una eliminazione dei fosfati (defosfatazione).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● costi di investimento piuttosto elevati;</li> <li>● elevato consumo energetico;</li> <li>● necessità di personale qualificato e di sorveglianza regolare;</li> <li>● sensibilità al sovraccarico idraulico;</li> <li>● sedimentazione dei fanghi non sempre facile da gestire;</li> <li>● produzione elevata di fanghi che occorre concentrare.</li> </ul>

**N.B.:** Lo scarso rendimento microbiologico dei sistemi di trattamento intensivo (riduzione di un coefficiente compreso tra 10 e 100, contro quello di 1000 a 10 000 nel caso dei filtri e delle lagune estensive), può costituire un problema in caso di utilizzo sanitario delle acque a valle (acqua potabile, irrigazione, balneabilità, coltura di conchiglie ecc). In questi casi conviene talvolta orientarsi su tecniche estensive o impiegare uno di questi metodi in fase di affinamento (cfr. albero decisionale a pag. 25).

I vantaggi offerti da questo tipo di tecnica costituiscono una delle ragioni che ne giustificano l'utilizzo da parte di tutti gli insediamenti. Inoltre, soprattutto nel caso dei fanghi attivi, queste tecniche sono oggetto di ricerche approfondite intraprese dai grandi enti di gestione delle risorse idriche e numerose sono le pubblicazioni dettagliate relative alla progettazione degli impianti e alle innovazioni che consentono di migliorare le rese in base a determinati parametri. Tuttavia, se si considerano i principi di progettazione precedentemente evocati, sia la tecnica dei letti percolatori sia quella dei dischi biologici restano tecniche particolarmente adatte ai piccoli agglomerati urbani dati i costi di attivazione ridotti (consumo energetico molto più basso - fino a cinque volte minore rispetto agli impianti di fanghi attivi - necessità di personale meno numeroso per la gestione di questo tipo di impianto, ecc.).

Queste tecniche possono essere combinate a tecniche estensive; in particolare le centrali costituite da un disco biologico o da un letto percolatore combinati ad una laguna per il processo di affinamento consentono di ottenere scarichi di eccellente qualità (eliminazione dei nutrienti, forte riduzione della presenza di germi patogeni).

Le tecniche intensive non verranno tuttavia affrontate ulteriormente in questo testo. Al contrario ci si occuperà della descrizione delle tecniche meno conosciute, vale a dire delle tecniche di trattamento estensivo.

Del resto, volendo analizzare in particolar modo la depurazione delle acque prodotte dagli agglomerati urbani e dai relativi insediamenti industriali, un'attenzione relativa sarà invece riservata alle tecniche specifiche di trattamento autonomo (fosse settiche, decantazione, letti percolatori, fosse di raccolta, ecc.).

### ▲ Tecniche da sviluppare

Le tecniche cosiddette estensive, che verranno descritte più dettagliatamente in seguito, sono processi di trattamento delle acque che sfruttano colture su un supporto fine oppure colture libere che utilizzano l'energia solare per produrre ossigeno tramite fotosintesi. Questo tipo di impianto può funzionare senza energia elettrica, ad eccezione del lagunaggio aerato, i cui dispositivi di aerazione o i materiali di insufflazione d'aria necessitano di alimentazione elettrica.

Queste tecniche si distinguono dai metodi precedentemente citati anche per via dei carichi di superficie applicati, molto ridotti.

Queste tecniche sono state sviluppate in diversi paesi per insediamenti urbani di dimensioni normalmente inferiori ai 500 AE; in particolare per il territorio francese con le sue lagune naturali e per la Baviera che, con i filtri orizzontali, sfrutta un tipo di lagunaggio naturale concettualmente molto diverso rispetto a quello francese o inglese (zone umide artificiali).

La diffusione di queste tecniche in insediamenti di dimensioni maggiori di 500 AE è possibile unicamente con determinate precauzioni che verranno prese in considerazione in seguito.

Questa guida si propone dunque di promuovere l'utilizzo di tale tecnica e di contribuire a dimostrare che il trattamento estensivo riveste un ruolo ben definito nell'ambito del rispetto delle disposizioni della direttiva "acque reflue urbane".

Dopo un'indicazione generale del loro funzionamento, le tecniche a colture fisse e a colture libere verranno affrontate ulteriormente nei dettagli in base al seguente schema:

- Colture fisse:
  - Infiltrazione-percolamento;
  - Filtri con piante a deflusso verticale;
  - Filtri con piante a deflusso orizzontale.
- Colture libere:
  - Lagunaggio naturale;
  - Lagunaggio con macrofiti;
  - Lagunaggio aerato.
- Sistemi misti.

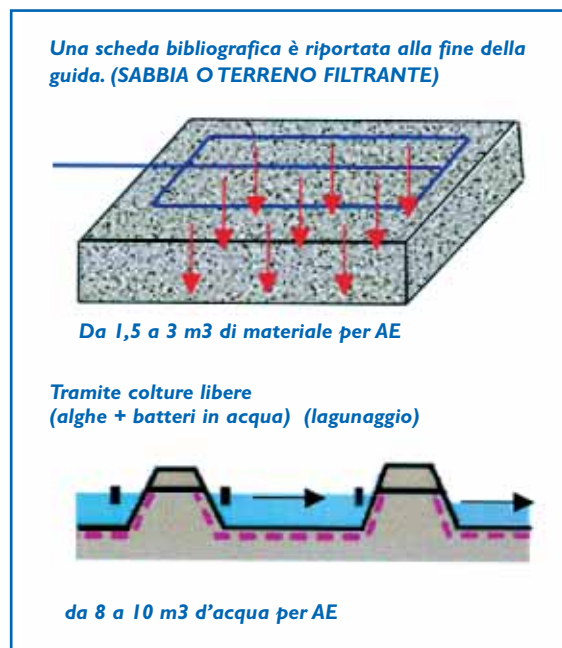


Figura n° 5: Trattamento "naturale" estensivo delle acque reflue

### La depurazione e il ruolo dei vegetali nelle zone umide artificiali

I sistemi di trattamento che sfruttano zone umide artificiali riproducono i processi di depurazione degli ecosistemi (Wetzel, 1993). La grande eterogeneità e diversità delle piante, dei terreni e delle tipologie di deflusso delle acque comportano una grande varietà di soluzioni possibili:

- sistemi di deflusso al di sotto della superficie del terreno (filtrazione con piante a deflusso orizzontale o verticale);
- sistemi di deflusso di acque libere di superficie (cfr. lagune naturali);
- più raramente, irrigazione di sistemi dotati di vegetazione (salici per esempio), di boschi cedui a breve rotazione, per completare il trattamento tramite filtrazione.

I meccanismi di depurazione utilizzabili per l'insieme delle zone umide artificiali, sono invece i seguenti:

#### Meccanismi fisici:

- filtrazione attraverso strati porosi e apparati radicali (cfr. meccanismi a colture fisse);
- sedimentazione dei solidi sospesi e dei colloidali nelle lagune o nei terreni paludosi (cfr. meccanismi a colture libere),

#### Meccanismi chimici:

- precipitazione di composti insolubili o co-precipitazione con composti insolubili (N, P).
- assorbimento all'interno del substrato, in base alle caratteristiche del supporto scelto o tramite le piante (N, P, metalli);
- decomposizione tramite fenomeni di radiazione U.V. (virus), di ossidazione e di riduzione (metalli).

#### Meccanismi biologici:

- Lo sviluppo di batteri in colture fisse o libere dà luogo a meccanismi biologici quali la degradazione della materia organica, la nitrificazione nelle zone aerobiche e la denitrificazione (cfr. glossario) nelle zone anaerobiche. Per i sistemi con sezioni di acque libere, il trattamento biologico avverrà tramite processi aerobici che si svolgono vicino alla superficie dell'acqua oppure tramite processi anaerobici che si scatenano invece in profondità, vicino ai depositi. Lo sviluppo di alghe fisse o sospese nell'acqua (fitoplancton) comporta, tramite fotosintesi, la produzione dell'ossigeno necessario ai batteri aerobici e contribuisce a fissare una parte delle sostanze nutritive (effetto "lagunaggio").

### ▼ *Funzionamento: i meccanismi in atto.*

I processi di depurazione a colture su supporto fine consistono nel fare scorrere l'acqua da trattare su numerose masse filtranti indipendenti.

**I due meccanismi principali sono:**

- **Filtrazione superficiale:** i solidi sospesi vengono trattenuti sulla superficie della massa filtrante e così anche una parte delle sostanze organiche inquinanti (DCO particolare);
- **Ossidazione:** il materiale granulare costituisce un reattore biologico, un supporto di superficie specifica estesa sul quale si stabiliscono e si sviluppano i **batteri aerobici** responsabili dell'ossidazione dell'inquinamento disciolto (DCO disciolta, azoto organico e ammoniacale).

L'aerazione avviene tramite:

- una convezione dovuta allo spostamento degli strati d'acqua;
- una diffusione dell'ossigeno dalla superficie dei filtri e dalle condotte d'aerazione, verso la zona porosa.

L'ossidazione della materia organica è accompagnata da uno **sviluppo di batteri** che necessita di essere regolato al fine di evitare la formazione di sostanze biologiche in eccesso all'interno della massa filtrante e lo sgretolamento episodico della biomassa; tali fenomeni sono infatti inevitabili in presenza di grossi carichi. L'auto regolazione della biomassa si ottiene grazie all'impiego di **numerosi masse filtranti** alimentate in modo alternato. Durante le fasi di riposo (o di non alimentazione) lo sviluppo dei batteri ormai scarsi si riduce al minimo per predazione, essiccazione ecc.. Queste fasi di riposo infatti non devono durare troppo a lungo in modo che i processi di depurazione possano riprendere rapidamente, a partire dalla fase di alimentazione successiva. Nella maggior parte dei casi, gli impianti a "colture su supporto fine" comprendono 3 vassoi alimentati, ciascuno, per 3 - 4 giorni consecutivi.

**La gestione ed il controllo dello sviluppo di batteri evita la necessità di creare un impianto specifico di separazione delle acque dai fanghi. Gli impianti a colture su supporto fine vengono progettati sprovvisti di chiarificatore.**

Il **dispositivo di alimentazione** dei moduli di infiltrazione deve garantire una distribuzione uniforme dell'affluente (in modo da utilizzare l'intera superficie disponibile) e l'omogeneità dei carichi idraulici unitari (cfr. glossario). L'alimentazione può avvenire tramite immersione temporanea (o tramite irrigazione) a partire da un serbatoio che deve essere possibile svuotare rapidamente in diversi modi (sifoni, pompe). Queste fasi di alimentazione sequenziale permettono anche di mantenere un'elevata concentrazione di ossigeno all'interno del filtro tramite la diffusione d'aria tra le due mandate.

La **massa filtrante** è solitamente costituita da sabbia (di riporto o dunale). La sabbia deve rispondere ad alcuni requisiti precisi al fine di poter trovare un compromesso tra il rischio di ostruzione (a causa di sabbie troppo fini) e una filtrazione troppo rapida (sabbie troppo grosse). Le sabbie che possiedono le seguenti caratteristiche costituiscono ad oggi la soluzione migliore. In nome di una migliore conservazione degli impianti, è consigliato mantenersi entro i limiti qui di seguito riportati:

#### Caratteristiche delle sabbie:

- sabbia silicea;
- sabbia lavata;
- $d_{10}$  compreso tra 0,25 mm e 0,40 mm;
- CU [coefficiente d'uniformità, (cfr. glossario)] compreso tra 3 e 6;
- contenuto di sabbie fini inferiore al 3 %.

**N.B.:** Il mezzo filtrante può essere costituito anche da terreno qualora la granulometria corrisponda a quella di un terreno sabbio-ghiaioso e sabbio-limoso.

### ▼ *Infiltrazione-percolamento su sabbia*

#### Principio di funzionamento

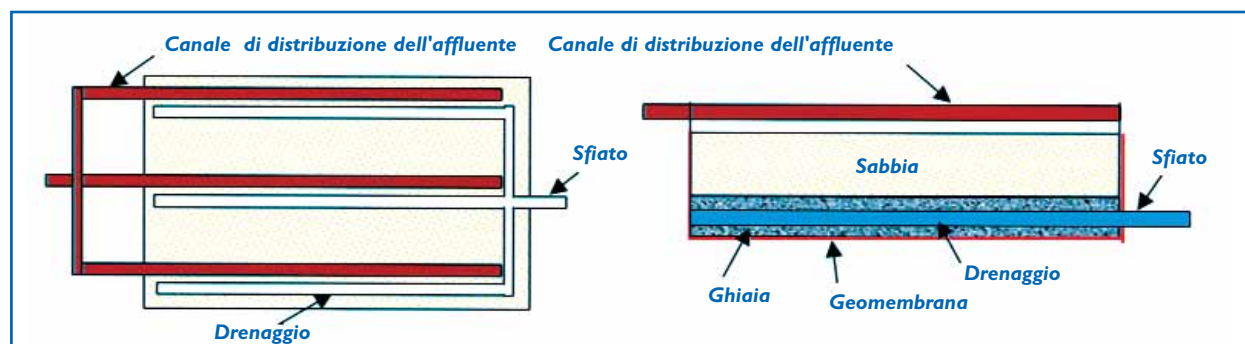


Figura n° 6: Infiltrazione-percolamento stagna e drenata (Agences de l'Eau, 1993)



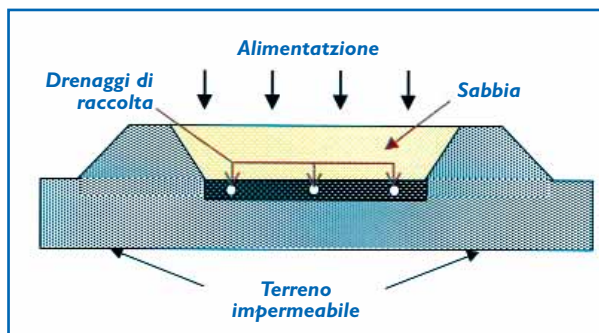


Figura n° 7: Sistema di drenaggio su terreno impermeabile (Agences de l'Eau, 1993)

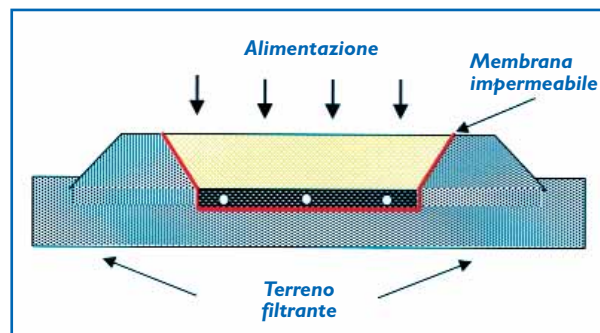


Figura n° 8: Sistema a massa drenante a tenuta garantita da una membrana impermeabile (Agences de l'Eau, 1993)

L'infiltrazione-percolamento delle acque reflue è una tecnica di depurazione tramite filtrazione biologica aerobica in ambiente granulare fino. Le acque da trattare vengono distribuite su varie superfici di infiltrazione. I carichi idraulici ammontano a diverse centinaia di litri per metro quadrato di massa filtrante al giorno. Le acque si distribuiscono in modo uniforme sulla superficie scoperta del filtro: la superficie di distribuzione delle acque è infatti mantenuta ben visibile e all'aria aperta.

Un'altra variante interessante della depurazione delle acque reflue attraverso il terreno è costituita dai filtri a sabbia interrati verticali o orizzontali. Queste tecniche, impiegate soprattutto per le situazioni legate allo smaltimento autonomo, sono interessanti anche per lo smaltimento autonomo raggruppato su agglomerati di qualche centinaio di AE. Un filtro a sabbia interrato verticale si presta per un minimo 3,5 m<sup>2</sup>/abitante e necessita di un'alimentazione a bassa pressione.

### Parametri per il dimensionamento

Un impianto che sfrutta la tecnica di infiltrazione-percolamento per la depurazione delle acque reflue comporta: un pretrattamento, un dispositivo di decantazione (per gli insediamenti di qualche centinaio di AE è possibile usare una fossa settica grande), una zona di raccolta, un sistema di distribuzione tra i vari bacini, un dispositivo di alimentazione, masse filtranti e un sistema di restituzione alla falda o di scarico.

Le dimensioni dei letti d'infiltrazione-percolamento a sabbia si calcolano in questo modo (Documento tecnico FNDAE - "Fondo nazionale per le risorse idriche" n°22): superficie = 1,5 m<sup>2</sup>/AE



Impianto di Mazagon (Francia)  
Capacità di 1.700 AE (Foto di F.Brissand)

*N.B.: i filtri a sabbia verticali interrati e con drenaggio possono rivelarsi interessanti per gli impianti di dimensioni più ridotte (autonomi singoli e raggruppati) che necessitano di una superficie di 3 m<sup>2</sup>/abitante invece di 1,5 m<sup>2</sup>/abitante come la filtrazione ad aria aperta.*

### Determinazione dello spessore

Qualora la decontaminazione non costituisca un obiettivo dell'utilizzo dell'impianto, sarà sufficiente una massa filtrante dello spessore di 80 cm.

Nel caso in cui il processo di infiltrazione-percolamento venga utilizzato anche per eliminare germi patogeni, lo spessore della massa filtrante dipenderà dal livello di decontaminazione desiderato. Il grafico seguente mostra il livello di riduzione dei coliformi fecali in funzione del carico idraulico (H) e dello spessore di una massa filtrante composta da sabbia (Studio Inter Agences n°9, 1993).

Se la massa filtrante è costituita da sabbia, la relazione tra il suo spessore ed il livello di depurazione è più delicata da ottenere; si consiglia infatti di rivolgersi a laboratori per attestare chiaramente il tipo di materiale filtrante e la relativa capacità di depurazione.

Il numero di moduli varia in funzione:

- ➔ della superficie totale della massa filtrante;
- ➔ della superficie massima del modulo d'infiltrazione compatibile con una distribuzione uniforme dell'effluente sullo stesso modulo.

### Esecuzione

Le pareti degli scavi devono essere, se possibile, verticali in modo che, in ogni punto della massa filtrante, lo scorrimento dell'acqua in direzione verticale corrisponda allo spessore della massa.

I bordi liberi (al di sopra della superficie d'infiltrazione) devono misurare circa 30 cm in altezza. Per far fronte all'eventuale necessità urgente di evacuazione delle acque in eccesso verso un ambiente recettore o verso altri bacini meno carichi, occorre dotare l'impianto di sfioratori di sicurezza.

Le scarpe che formano le sponde dei bacini possono inoltre essere protette tramite lastre di cemento, paratie catramate, cemento spruzzato o vegetazione.

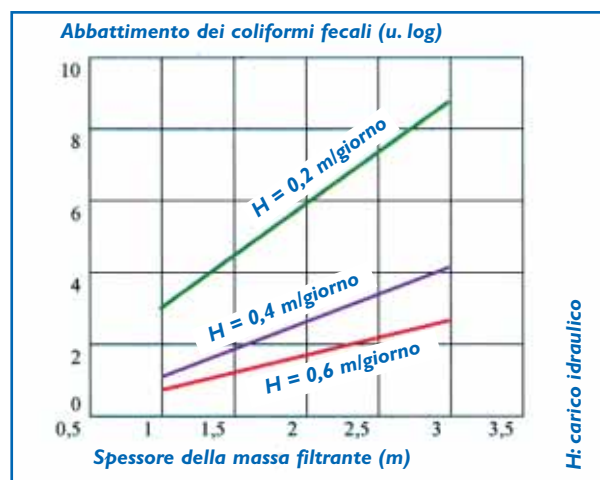


Figura n° 9: Abbattimento dei coliformi fecali in funzione del carico idraulico (H in m/giorno) e dello spessore della massa filtrante



Tabella n°6: Gestione di un impianto ad infiltrazione-percolamento

Interventi	Osservazioni
Manutenzione consueta (ogni 3 - 4 giorni)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Manutenzione delle valvole;</li> <li>● pulizia dello sgrigliatore;</li> <li>● verifica del grado di ostruzione della superficie dei moduli d'infiltrazione ed eventuale controllo del livello dell'acqua sopra la superficie d'infiltrazione;</li> <li>● tempo di scomparsa degli strati d'acqua;</li> <li>● negli impianti non gravitazionali, verifica della portata delle pompe;</li> <li>● compilazione di un libretto di manutenzione che raccolga tutti gli interventi effettuati, le misure di portata (canale di misurazione della portata, tempi di funzionamento delle pompe), per una accurata conoscenza dei flussi. Ciò consente inoltre di elaborare un bilancio per la valutazione del funzionamento dell'impianto.</li> </ul>
Monitoraggio regolare Verifiche mensili o bimensili	<ul style="list-style-type: none"> <li>● pozzetti d'ispezione, buon deflusso delle acque, aspetto degli effluenti;</li> <li>● rimozione dei galleggianti (decantatore-digestore), livello dei fanghi (vasca lagunare anaerobica o decantatore-digestore);</li> <li>● regolazione del livello massimo delle acque all'interno della vasca, dispositivi di alimentazione (sifoni, canali, ecc.);</li> <li>● valvole o dispositivi di distribuzione;</li> <li>● scavatura e mantenimento del livellamento della superficie d'infiltrazione;</li> <li>● dispositivo di sfiato dell'impianto (sistemi con drenaggio) e qualità degli scarichi;</li> <li>● funzionamento degli irrigatori e pulizia (ogni mese).</li> </ul>
Altri interventi di manutenzione	<ul style="list-style-type: none"> <li>● manutenzione dei dispositivi elettromeccanici (1 - 2 volte all'anno);</li> <li>● taglio delle erbe cresciute sulle sponde e sui terrapieni attorno alle masse filtranti;</li> <li>● la materia organica accumulata e ridotta in trucioli facilmente distaccabili dalle sabbie dovrà essere rastrellata ed evacuata con una periodicità da definire empiricamente; occorrerà comunque prevedere il ricambio dei primi 5-10 cm di sabbia ogni 3-4 anni;</li> <li>● svuotamento dei fanghi dal decantatore-digestore (1-2 volte all'anno), dalle lagune di decantazione (1-2 volte all'anno) o dalle fosse settiche (1 volta ogni 3-4 anni);</li> <li>● analisi periodiche del contenuto di nitrati negli scarichi che consenta di fornire un'indicazione sulle condizioni dell'impianto *.</li> </ul>

\* Un impianto con filtrazione a deflusso verticale in perfetto stato di funzionamento produce nitrati. Una qualunque riduzione nella loro concentrazione all'uscita (su base settimanale o mensile) è indice di una carenza di ossigeno e dunque di una degradazione del trattamento. Questo tipo di monitoraggio si realizza facilmente utilizzando cartine reattive.

### Resa

Questo sistema consente di ottenere ottimi risultati (a livello di riduzione della concentrazione delle sostanze):

- ➔ DBO<sub>5</sub> inferiore a 25mg/l;
- ➔ DCO inferiore a 90mg/l;
- ➔ Solidi sospesi inferiori a 30mg/l;
- ➔ Nitrificazione quasi completa;
- ➔ Denitrificazione limitata con questo tipo di impianto. Nella versione che prevede il processo di "smaltimento autonomo" la depurazione attraverso il terreno permette di raggiungere discreti livelli di eliminazione dell'azoto. Da uno studio condotto nel 1993 dalla Direzione del Dipartimento di Sanità e degli Affari Sociali della regione Loire-Atlantique si è constatata la possibilità di eliminazione del 40% (e oltre) dell'azoto tramite una filtrazione verticale a sabbia. Il livello di riduzione può effettivamente raggiungere il 50% se si utilizza una filtrazione orizzontale a sabbia (Cluzel F. - 1993);
- ➔ Fosforo: consistente riduzione nell'arco di 3-4 anni (60-70%) seguita da un'ulteriore diminuzione e dal raggiungimento di valori di concentrazione nulli dopo 8-10 anni (Duchemin J. - 1994);
- ➔ Possibilità di eliminazione dei germi responsabili di contaminazione fecale a condizione di disporre di materiale di spessore sufficiente e di un meccanismo idraulico privo di sistema di incanalamento secondario (x 1000 con uno spessore di 1 m).

### Vantaggi tecnici

- ➔ risultati eccellenti sui livelli di DBO<sub>5</sub>, DCO e sulla quantità di solidi sospesi;
- ➔ nitrificazione avanzata;
- ➔ superficie necessaria inferiore rispetto a quella impiegata nel lagunaggio naturale;
- ➔ buona capacità di decontaminazione.

### Inconvenienti tecnici

- ➔ necessità di un efficace impianto di decantazione primaria;
- ➔ rischio di ostruzione e conseguente importanza dell'utilizzo di sabbie lavate con buona granulometria;
- ➔ necessità di grandi quantità di sabbie con conseguenti investimenti notevoli qualora non se ne disponga nelle immediate vicinanze;
- ➔ limitata capacità di adattamento ai sovraccarichi idraulici.

## ▼ Filtrazione con piante a deflusso verticale

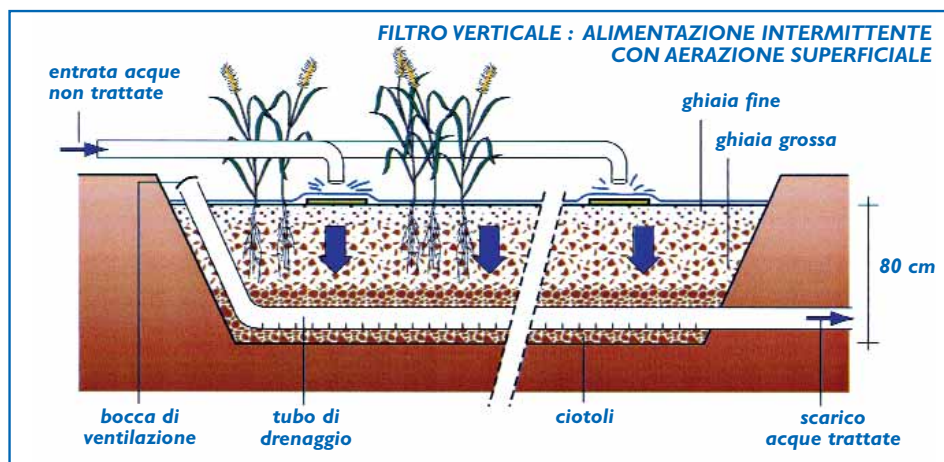
### Principio di funzionamento

I filtri sono scavi isolati dal terreno e contenenti strati di ghiaia o di sabbia la cui granulometria varia in base alla qualità delle acque da trattare.

Diversamente da quanto avviene nella tecnica di infiltrazione-percolamento già descritta, l'affluente allo stato grezzo viene distribuito direttamente sulla superficie del filtro, senza alcuna decantazione preliminare. Penetrando poi al suo interno, l'affluente subisce un trattamento fisico (filtrazione), chimico (assorbimento, complessazione...) e biologico (biomassa fissa su supporto fine). Le acque depurate vengono poi drenate. L'alimentazione di acque reflue ai filtri avviene tramite mandate dalle apposite vasche. Ad ogni singolo stadio la superficie filtrante è separata in diversi moduli che consentono così di alternare fasi di alimentazione a fasi di riposo.

Il principio di depurazione è basato sullo sviluppo di una biomassa aerobica fissa su un terreno rigenerato (cfr.: capitolo relativo alle colture su supporto fine). In questo caso l'apporto di ossigeno, che avviene tramite convezione e

diffusione, è trascurabile rispetto al fabbisogno (Armstrong; 1979).



L'impianto comprende:

- ➔ uno sgrigliatore;
- ➔ un primo stadio di filtri verticali;
- ➔ un secondo stadio di filtri orizzontali.

Figura n° 10: Principio di funzionamento dei filtri con piante a deflusso verticale (fonte: CEMAGREF)

### Parametri per il dimensionamento

Il dimensionamento dei filtri verticali è stato definito in modo empirico stabilendo i livelli massimi giornalieri di carico organico di superficie (da 20 a 25 g DBO<sub>5</sub> m<sup>2</sup>.giorno<sup>-1</sup> di superficie con vegetazione).

Il primo stadio è in grado di sostenere l'apporto di circa 40 g DBO<sub>5</sub> m<sup>2</sup>.giorno<sup>-1</sup> e costituisce infatti il 60% della superficie totale, vale a dire 1,2 m<sup>2</sup>/AE. Quando il sistema è unitario o parzialmente unitario, il primo stadio raggiunge gli 1,5 m<sup>2</sup>/AE (Agence de l'Eau, 1999). Questo stadio è suddiviso in un numero di filtri multiplo di tre; ciò consente di alternare fasi di riposo che equivalgono ai 2/3 del tempo di funzionamento.

La superficie del secondo stadio costituisce generalmente il 40 % della superficie totale vale a dire circa 0,8 m<sup>2</sup>/AE. A questo livello le fasi di riposo necessario equivalgono a quelle di attività; ciò comporta l'installazione di un numero di filtri multiplo di due e uguale ai 2/3 del numero di filtri impiegati per il primo stadio (cfr. schema seguente).

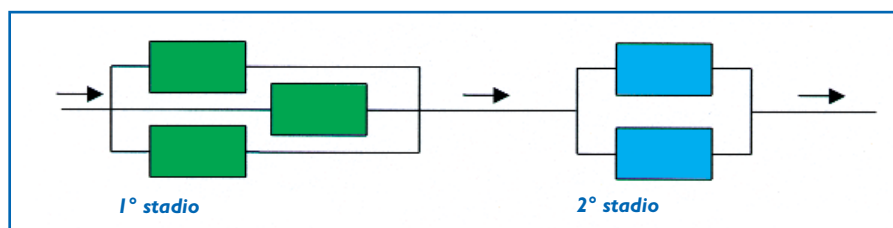


Figura n° 11: Schema del primo e del secondo stadio

### Esecuzione

#### Alimentazione

La velocità di alimentazione di acque reflue non trattate deve essere superiore rispetto alla velocità di infiltrazione in modo da permettere una distribuzione omogenea dell'effluente. I depositi che si accumulano sulla superficie filtrante contribuiscono a diminuire la permeabilità (cfr. glossario) interna del materiale, migliorando dunque la distribuzione dell'effluente. I vegetali invece limitano il fenomeno di ostruzione della superficie poiché gli steli perforano i depositi accumulati. L'alimentazione delle acque avviene da più punti diversi.

#### Materiali

Il materiale di riempimento del primo livello di filtri è composto da diversi strati di ghiaia. Lo strato attivo di ghiaia presenta una granulometria di 2–8 mm per uno spessore dell'ordine di 40 cm. Gli strati inferiori registrano invece una granulometria intermedia (10–20 mm) per poi arrivare ad uno strato drenante di ghiaia di 20–40 mm.

Il secondo strato serve per affinare la depurazione. A questo livello i rischi di ostruzione sono minori; qui si trova uno strato di sabbia (cfr. infiltrazione-percolamento) dello spessore di almeno 30 cm.

#### Evacuazione

Lo strato inferiore di ghiaia di 20–40 mm garantisce il drenaggio dell'effluente. E' preferibile utilizzare tubi drenanti sintetici, rigidi e dotati di ampie fessure, poiché maggiormente sensibili all'ostruzione. Ogni tubo è collegato ad una condotta di aerazione

## Piantagione

Teoricamente è possibile utilizzare diverse specie di piante (Scirpus spp, Typha, ecc.), ma i giunchi (del tipo Phragmites australis), sono quelli impiegati più frequentemente nelle zone a clima temperato, in ragione della loro resistenza a diverse condizioni di vita (lunghi periodi di immersione del filtro, periodi di secchezza, alto tasso di materiali organici) e per la crescita rapida delle radici e dei rizomi (Brix, 1987). La densità è di 4 piante per m<sup>2</sup>.

## Progettazione

### La scelta del terreno

Gli ostacoli naturali che si presentano sono:

- **Superficie interessata:** La superficie interessata a questo fenomeno rende talvolta impossibile la costruzione di impianti per insediamenti di medie dimensioni sottoposti a forti pressioni.
- **Dislivello:** Un dislivello dell'ordine di 3-4 metri tra la zona a monte e quella a valle consente di alimentare i filtri per gravità (i sifoni non avranno dunque alcun bisogno di apporto energetico). Per agglomerati di circa 3000-4000 abitanti equivalenti, può rivelarsi necessaria l'installazione di pompe.

## Gestione

La manutenzione di questi sistemi non necessita di alcuna qualifica particolare ma obbliga ad effettuare interventi frequenti e regolari.

### Tabella n°7: Gestione dei filtri con piante a deflusso verticale

Interventi	Frequenza	Osservazioni
Diserbatura	il primo anno	<ul style="list-style-type: none"><li>• Diserbatura manuale delle piante avventizie (Kadlec e al-2000). L'operazione non sarà più necessaria quando le piante saranno in eccesso.</li></ul>
Taglio	1/anno (autunno)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Taglio ed eliminazione dei giunchi. Questa procedura consente di evitarne l'accumulo sulla superficie dei filtri. Per ridurre la durata di questo intervento, è possibile bruciare i giunchi ma soltanto se l'isolamento non avviene tramite geomembrana e se i tubi di alimentazione sono in ghisa (Liénard e al, 1994).</li></ul>
Monitoraggio e manutenzione periodica	1/trimestre 1/settimana	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pulitura del sifone di alimentazione del primo stadio tramite getto d'acqua in pressione.</li><li>• Analisi regolari dei nitrati presenti nell'effluente consentono di fornire una valutazione sullo stato di funzionamento dell'impianto*.</li></ul>
Manutenzione consueta	1-2/settimana 1/settimana 2/settimana	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pulitura dello sgrigliatore.</li><li>• Verifica regolare del corretto funzionamento dei dispositivi elettromeccanici e rilevazione più rapida dei guasti.</li><li>• Manutenzione delle valvole.</li></ul>
Altri interventi di manutenzione	Ad ogni controllo	<ul style="list-style-type: none"><li>• Compilazione di un libretto di manutenzione che raccolga tutti gli interventi effettuati, le misure di portata (canale di misurazione della portata, tempi di funzionamento delle pompe), per una accurata conoscenza dei flussi. Ciò consente inoltre di elaborare un bilancio di funzionamento.</li></ul>

\* Un impianto con filtrazione a deflusso verticale in perfetto stato di funzionamento produce nitrati. Una qualunque riduzione nella loro concentrazione all'uscita (su base settimanale o mensile) è indice di una carenza di ossigeno e dunque di una degradazione del trattamento. Questo tipo di monitoraggio si realizza facilmente utilizzando cartine reattive.

## Resa

- $DBO_5 \leq 25$  mg/l
- $DCO \leq 90$  mg/l
- $SS \leq 30$  mg/l
- NTK (N organico +  $NH_4^+$ ):  $\leq 10$  mg/l in generale, con picchi che non superano i 20 mg/l
- Fosforo: riduzione normalmente bassa (poiché legata alla capacità di assorbimento del substrato e all'età dell'impianto)
- Germi patogeni: eliminazione media (da 1 a 2 unità log).

## Vantaggi tecnici

- Manutenzione semplice e a basso costo. Se la posizione geografica lo consente, nessun consumo energetico;
- Possibilità di trattare acque reflue domestiche;
- Gestione dei fanghi ridotta al minimo;
- Buona capacità di adattamento alle variazioni stagionali di popolazione.

## Inconvenienti tecnici

- Manutenzione regolare, taglio annuale della parte non sommersa dei giunchi, diserbatura di questi prima di una crescita eccessiva;
- L'utilizzo di questo tipo di impianto per capacità superiori ai 2.000 AE rimane molto delicato per questioni di conoscenza delle tecniche idrauliche e di costo, se paragonato agli impianti classici. La realizzazione di un modello adatto ad agglomerati di dimensioni superiori deve essere preceduta da uno studio accurato delle dimensioni e delle condizioni necessarie per garantire la capacità di gestione dei meccanismi idraulici;
- Rischio di presenza di insetti o roditori.





## ▼ Filtrazione con giunchi a deflusso orizzontale

### Principio di funzionamento

Nei filtri a deflusso orizzontale, la massa filtrante è quasi completamente immersa nell'acqua. L'effluente viene distribuito su tutta la larghezza e l'altezza del letto percolatore tramite un sistema situato ad una delle estremità del bacino; il fluido scorre poi in senso orizzontale attraverso il substrato. Nella maggior parte dei casi l'alimentazione si effettua in continuo data la quantità ridotta del carico organico. L'evacuazione degli scarichi invece avviene attraverso un canale di drenaggio posizionato all'estremità opposta del letto percolatore, sul fondo, racchiuso da un insieme di rocce drenanti. Il tubo è collegato ad un sifone che permette di regolare il livello di troppo pieno e quindi anche quello dell'acqua presente sulla superficie, in modo da mantenere la condizione di saturazione durante la fase di alimentazione. Il livello dell'acqua dovrà essere mantenuto circa 5 cm sotto la superficie del materiale. In realtà l'acqua non deve circolare al di sotto della superficie per evitare di bypassare la catena di trattamento; l'acqua non è mai libera di circolare.

### Parametri per il dimensionamento

Per definire la superficie necessaria occorre rifarsi ai seguenti valori empirici che garantiscono livelli di depurazione inaspettati (Vymazal e al, 1998):

- ➔ Per concentrazioni iniziali dell'ordine di 150 - 300 mg/l di  $DBO_5$ , le superfici sono dell'ordine dei **5 m<sup>2</sup>/AE in fase di trattamento secondario**,
- ➔ Per concentrazioni comprese tra 300 e 600 mg/l di  $DBO_5$ , **concentrazioni più rappresentative delle acque reflue urbane comunemente trattate**, sembrerebbe preferibile optare per la pratica danese che utilizza filtri di **10 m<sup>2</sup>/AE**;
- ➔ In caso di trattamento di effluenti di sistemi di raccolta delle acque piovane (Cooper - 1996) le dimensioni sono di **0,5 m<sup>2</sup>/AE**.

La **sezione del filtro** deve essere definita da un laboratorio di studi; essa varia in funzione della permeabilità iniziale del materiale scelto (da 1 a  $3 \cdot 10^3$  m/s).

La **profondità** del filtro, invece, sarà uguale alla profondità massima di penetrazione delle radici, vale a dire 60 cm per le canne palustri (Marsteiner, 1996).

L'ipotesi di un miglioramento notevole della conduttività idraulica iniziale, a seguito del consistente sviluppo di radici dei giunchi in profondità e in termini di densità, non è ancora stata confermata (Boon - 1986). In effetti tale aumento è compensato in parte dall'accumulo di solidi sospesi e di materia organica (Cooper - 1996). E' quindi importante

che il livello di permeabilità del supporto impiegato sia tra 1 e  $3 \cdot 10^3$  m/s. La maggior parte dei terreni è quindi da escludere.

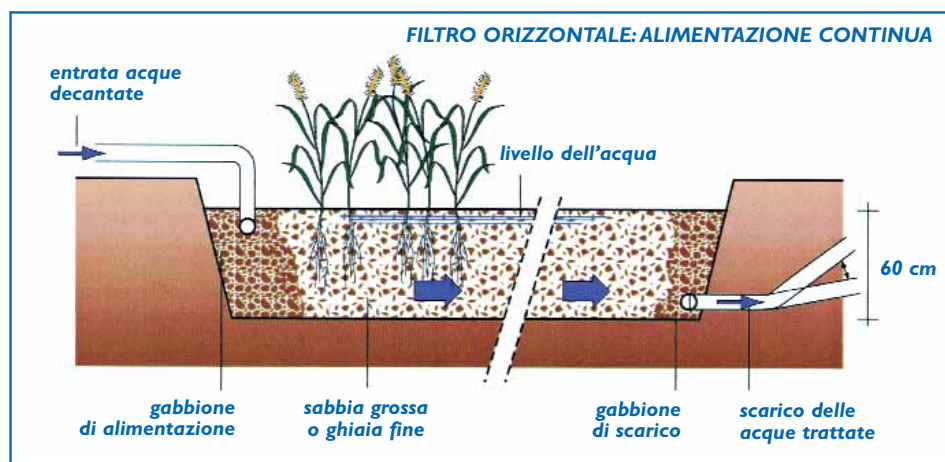


Figura n° 12: Sezione trasversale di un letto filtrante orizzontale (Fonte: Cooper - 1993)

### Esecuzione

#### Suddivisione in moduli

Per impianti di dimensione superiore ai 500 m<sup>2</sup> una suddivisione in diversi moduli più piccoli faciliterà la manutenzione oltre a migliorare la distribuzione delle acque.

#### Pendenza

La pendenza del fondo del letto filtrante deve consentire lo svuotamento completo del filtro, senza tuttavia provocare l'asciugamento delle radici a livello dell'uscita. Una variazione di profondità uguale al 10% dell'altezza del materiale in entrata può considerarsi sufficiente (Kadlec, R.H. e al - 2000).

#### Materiali

Inizialmente il processo comportava l'utilizzo di suolo reperito in loco benché si prevedesse già di ottenere a breve termine una conducibilità idraulica di  $3 \cdot 10^3$  m/s. Numerosi filtri sono infatti stati costruiti ipotizzando un aumento della conduttività dovuto allo sviluppo delle radici.

A seguito di alcune esperienze negative, si fa ormai utilizzo di ghiaia lavata e di granulometria variabile in base alla qualità delle acque da trattare (3-6, 5-10, 6-12 mm) (Vymazal - 1998).

#### Vegetali

La varietà di giunchi più diffusa è la *Phragmites Australis* per via della velocità di crescita, dello sviluppo di radici e della resistenza alle condizioni di saturazione del suolo. E' possibile piantare semi, giovani germogli o rizomi con una densità pari a 4 per m<sup>2</sup>.



## Progettazione

### La scelta del terreno

Gli ostacoli naturali che si presentano sono:

- Elevata superficie interessata;
- Dislivello: Un dislivello di alcuni metri tra la zona di alimentazione dell'impianto e quella valle consente di alimentare i filtri per gravità. Il dislivello richiesto non è notevole per via della direzione orizzontale di deflusso.
- Caratteristiche del suolo sul fondo del letto filtrante: se il suolo è argilloso, l'impermeabilità naturale può essere ottenuta tramite semplice compattamento del terreno (conduttività richiesta:  $1 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ ). In caso contrario si renderà necessaria la posa di una geomembrana.

## Gestione

La manutenzione di questi sistemi non necessita di alcuna qualifica particolare ma obbliga ad effettuare interventi frequenti e regolari. All'interno della categoria di popolazione presa in considerazione bisogna anche prevedere una manutenzione degli impianti di decantazione primaria (eliminazione dei fanghi) e di quelli dello stadio di depurazione biologica (nel caso in cui il filtro preveda una terza fase di trattamento).

**Tabella n°8: Manutenzione dei letti filtranti con piante a deflusso orizzontale**

Interventi	Frequenza	Osservazioni
Manutenzione delle apparecchiature per il pretrattamento	1/settimana	Lo scopo di questo intervento è quello di garantire il corretto funzionamento e di controllare il deposito di materiale solido in superficie suscettibile di provocare ostruzioni.
Regolazione del livello in uscita	1/settimana	La regolazione periodica del livello dell'acqua in uscita permette di evitare il deflusso superficiale. Per impianti di grosse dimensioni ( $> 500 \text{ m}^3/\text{g}$ ) questa verifica potrebbe richiedere anche un intervento quotidiano. La gestione dell'idraulica di questo tipo di processi costituisce un'operazione chiave. Si consiglia di verificare l'omogeneità di distribuzione dell'effluente sul filtro. In fase di progettazione occorre inoltre prevedere la pulizia del dispositivo di alimentazione.
Vegetazione Diserbatura	1° anno	Durante il primo anno (e anche il secondo) è utile diserbare manualmente le piante avventizie perché non impediscano la crescita dei giunchi (Kadlec R.H. e al, 2000). Questa operazione può anche essere eseguita allagando leggermente la superficie del filtro (10 cm) a scapito dei risultati del trattamento (Cooper - 1996). L'operazione non sarà più necessaria quando le piante utili saranno predominanti.
Taglio	inutile	L'assenza di deflusso in superficie permette di evitare il taglio: i vegetali morti non compromettono in alcun modo l'idraulica dei filtri e inoltre consentono di isolarli termicamente.
Altri interventi di manutenzione	Ad ogni controllo	Compilazione di un libretto di manutenzione che raccolga tutti gli interventi effettuati, le misure di portata (canale di misurazione della portata, tempi di funzionamento delle pompe), per una accurata conoscenza dei flussi. Ciò consente inoltre di elaborare un bilancio per la valutazione del funzionamento dell'impianto.

## Resa

In termini di risultati relativi all'abbattimento di  $\text{DBO}_5$  presente in concentrazioni iniziali comprese tra 50 e 200 mg/l, in impianti di dimensioni comprese tra 3 e 5  $\text{m}^2/\text{AE}$ , con i sistemi a deflusso orizzontale dotati di filtro di ghiaia, le rese ottenute sono dell'ordine del 70-90%. Queste concentrazioni restano comunque troppo basse per essere considerate in quanto rappresentative delle acque reflue urbane; appare dunque più prudente seguire il modello danese.

Infatti, da 80 impianti danesi di dimensioni di 10  $\text{m}^2/\text{AE}$  circa si ottengono rese dell'ordine dell'86% sulla concentrazione di  $\text{DBO}_5$  e di solidi sospesi, del 37% sui livelli di azoto totale e del 27% sulla concentrazione di fosforo totale (Cooper - 1996).

In linea generale, in fase di trattamento secondario, si registra una scarsa nitrificazione e un'ottima denitrificazione.

I risultati ottenuti sui livelli di fosforo dipendono dal tipo di suolo utilizzato ma restano relativamente scarsi.

## Vantaggi tecnici

- Basso consumo energetico;
- Nessuna necessità di qualifica particolare per la manutenzione;
- Buona reazione alle variazioni di carico.

## Inconvenienti tecnici

- Utilizzo di grandi quantità di terreno;
- La realizzazione di un impianto di circa 4.000 AE deve essere preceduta da uno studio accurato delle dimensioni e dalla garanzia di gestione dei meccanismi idraulici.

### ▲ Funzionamento: i principi in atto.

Il processo di trattamento tramite "colture libere" si basa sullo sviluppo di una coltura batterica principalmente di tipo aerobico. L'ossigeno necessario viene fornito da diverse fonti in base al tipo di impianto. La coltura batterica viene poi separata dall'acqua trattata mediante un meccanismo di decantazione all'interno di un'apparecchiatura, il più delle volte, specifica (chiarificatore, laguna di decantazione, ecc.).

### ▲ Lagunaggio naturale

#### Principio di funzionamento

La depurazione avviene grazie ad una lunga fase di permanenza all'interno di numerosi bacini impermeabili disposti in serie. Nella maggior parte dei casi il numero di vasche è 3; la presenza di più di tre bacini (4 o 6) consente di ottenere una disinfezione più accurata.

Il meccanismo da cui muove la tecnica delle lagune naturali è la fotosintesi. La massa d'acqua che staziona sulla superficie del bacino è a contatto con la luce; le alghe così formate producono l'ossigeno necessario allo sviluppo e al mantenimento dei batteri aerobici che sono i responsabili della degradazione della materia organica. L'anidride carbonica prodotta dagli stessi batteri, così come i sali minerali contenuti nelle acque reflue, permettono alle alghe di proliferare. Si assiste così allo sviluppo di due popolazioni interdipendenti: batteri e alghe, entrambi detti "microfiti". Fino a quando verrà fornita energia solare e materia organica, questo ciclo sarà in grado di autoalimentarsi.

Sul fondo del bacino, invece, dove la luce non penetra, la degradazione dei sedimenti prodotti dalla decantazione della materia organica ha luogo grazie all'attività di batteri anaerobici. Il processo genera anidride carbonica e metano.

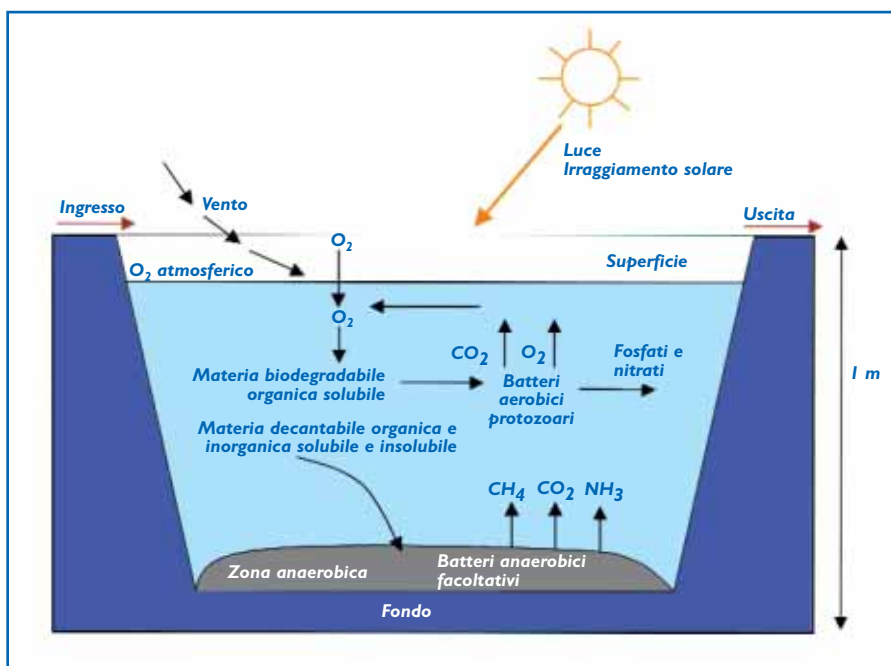


Figura n° 13: I meccanismi in gioco nel funzionamento dei bacini di lagunaggio naturale (da Agences Financières de Bassin, CTGREF - 1979)

#### Parametri per il dimensionamento

Un impianto per il lagunaggio naturale è quasi sempre composto da più bacini impermeabili, o "lagune a microfiti", che funzionano in serie.

#### Numero di lagune

L'installazione di tre lagune è il caso più frequente e consente di garantire un buon livello di eliminazione della materia organica. Le rese migliori, relativamente al grado di disinfezione, vengono ottenute soltanto in presenza di un numero di lagune più elevato (fino a sei funzionanti in serie).

I rispettivi ruoli dei bacini sono i seguenti:

- il primo consente, innanzitutto, la riduzione del residuo carbonioso inquinante;
- il secondo contribuisce all'abbattimento dei livelli di azoto e fosforo;
- il terzo serve per il trattamento di affinamento, oltre a costituire un supporto di sicurezza in caso di mal funzionamento o guasto di uno dei bacini a monte oppure durante un intervento di manutenzione.

Il carico di superficie giornaliero è dell'ordine di 4,5 g di DBO<sub>5</sub> per m<sup>2</sup> di superficie totale, che corrisponde ad una superficie d'acqua di 10-15 m<sup>2</sup>/AE (Vuillot et al - 1987).

Il basso carico applicato comporta un lungo periodo di stazionamento degli effluenti all'interno dei bacini di decantazione. In assenza di apporto di acqua piovana la durata del processo di sedimentazione si aggira attorno ai 70 giorni. In presenza di clima caldo e secco (è il caso dei paesi dell'Europa del sud), queste superfici possono essere ridotte della metà poiché la temperatura accelera i processi biologici e l'evaporazione, con un conseguente protrarsi della fase di decantazione (cfr. Radoux M., Cadelli D., Nemcova M., Ennabili A., Ezzahri J., Ater M. - 2000).

E' per questo motivo che, in uno stesso arco di tempo, i volumi d'acqua da trattare sono totalmente diversi dai volumi scaricati nell'ambiente naturale. Al fine di garantire il buon funzionamento idraulico degli impianti (e di rilevare le eventuali infiltrazioni o perdite d'acque attraverso la falda) conviene essere sempre in grado di poter confrontare i livelli di portata a monte e a valle tramite dispositivi adeguati (misuratori di portata o misuratori dei tempi di funzionamento delle pompe).

### Progettazione della prima laguna

Il valore di  $6\text{ m}^2/\text{AE}$  risulta essere efficace; corrisponde infatti ad un carico di superficie nominale dell'ordine di  $8,3\text{ g DBO}_5/\text{m}^2/\text{giorno}$ .

Per gli impianti costruiti per agglomerati di popolazione variabile e in presenza di sole ed alte temperature, il dimensionamento può essere studiato basandosi sul livello di frequentazione di quella zona durante un mese di punta.

La forma della laguna non dovrà favorire la crescita batterica a discapito di quella delle alghe. L'equilibrio tra le due colture dovrà essere rispettato in modo che l'apporto di ossigeno sia sempre sufficiente. A tal fine si tende a preferire bacini di forma più raccolta rispetto a quelli di forma troppo allungata. In Francia si considera il rapporto  $L/l < 3$  (cfr. schema seguente).

La profondità del bacino dovrà consentire:

- di evitare la crescita di piante superiori;
- la penetrazione della luce e l'ossigenazione di una frazione massima del volume.

Il livello dell'acqua dovrà dunque essere di 1 metro (+ 0,2 m). Tuttavia per facilitare la pulizia del cono di raccolta dei depositi (che vengono normalmente prodotti a livello del punto di alimentazione) è possibile realizzare una zona più profonda. Questa zona, che potrà essere al massimo di 1 metro più profonda, può occupare qualche decina di  $\text{m}^2$  di superficie e dovrà essere accessibile dalla sponda o attraverso un'apposita passerella.

### Progettazione della seconda e della terza laguna

Questi due bacini devono essere di dimensioni quasi uguali al primo e la superficie totale dei due specchi d'acqua deve misurare  $5\text{ m}^2/\text{AE}$ .

Il livello dell'acqua dovrà essere pari a 1 metro (+ 0,2 m). La forma dei bacini potrà variare in funzione dei vincoli topografici e delle regole da rispettare per poter ottenere una buona integrazione ambientale.

### Pretrattamento delle acque non trattate

Negli impianti più grossi occorrerà installare uno sgrigliatore prima del trattamento. Per dimensioni inferiori ai 500 AE si può anche utilizzare una paratia a sifoide galleggiante e mobile. All'entrata del primo bacino poi una simile parete a sifoide (degrassatore), se immersa di 30-40 cm, consente di trattenere i corpi galleggianti.

### Spazio necessario

La scelta del terreno è condizionata dalla quantità di suolo richiesta per la realizzazione del sistema di lagune. La superficie di lagunaggio comprende gli specchi d'acqua e gli accessi di ispezione che occorre creare per consentire una più facile manutenzione. A titolo di esempio bisogna calcolare all'incirca  $15\text{ m}^2/\text{AE}$  di terreno per costruire  $4.400\text{ m}^2$  di bacini necessari per trattare le acque reflue prodotte da 400 AE, vale a dire 0,6 ettari di terreno (cfr. schema seguente).

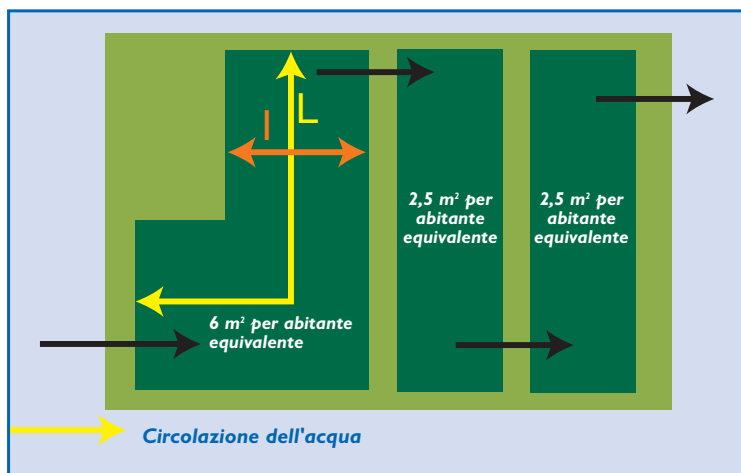


Figura n° 14: Quantità di terreno necessaria per un impianto di lagunaggio naturale (Agence de l'Eau della regione Seine-Normandie, CEMAGREF - 1998)

### Topografia

Il terreno selezionato dovrà permettere il deflusso gravitazionale fino all'ambiente recettore. A questo scopo è consigliabile ricercare una posizione che comporti un minimo di lavori di terrazzamento. Inoltre i terreni troppo ripidi dovranno essere proscritti a causa dei rischi di smottamento, di erosione e di alimentazione tramite il bacino versante (un bacino versante troppo ripido comporta infatti un aumento consistente ed immediato della portata delle acque in seguito a piogge).

### Collocazione

L'impianto dovrà essere situato in un punto basso, in una posizione in cui i venti dominanti contribuiscano all'aerazione delle acque di superficie.

Non dovranno esserci alberi piantati a meno di 10 metri di distanza poiché le radici potrebbero formare canali di deflusso preferenziali a livello delle dighe. Inoltre la caduta di foglie all'interno dei bacini è suscettibile di generare un sovraccarico organico ed il rischio di ostruzione dei condotti.

Il terreno dovrà essere di tipo argilloso-limoso ed il sottosuolo non potrà assolutamente essere carsico o screpolato.



## Esecuzione

### Il terrazzamento

La pendenza delle dighe impermeabilizzate naturalmente deve rispettare un rapporto di H/l di almeno 1/2,5 allo scopo di:

- limitare l'azione erosiva dovuta allo sciabordio;
- facilitare la manutenzione regolare;
- consentire l'accesso dei dispositivi di pulitura all'interno di tutti i bacini.

Allo scopo di prevenire il fenomeno di erosione dovuta allo sciabordio e l'eventuale degrado dovuto alla presenza di animali roditori, è utile ricoprire d'erba gli argini prima di fornire acqua all'impianto oppure utilizzare lastre autobloccanti, griglie o qualunque altro materiale di protezione degli argini. Le dighe devono inoltre essere costruite tramite successive fasi di costipamento di blocchi di 15-20 cm in modo da garantire un assetamento omogeneo fino al "centro del terrapieno".

**Il compattamento del rivestimento protettivo deve essere realizzato allo stesso modo di quello delle dighe.**

Un'altra soluzione consiste nella posa di una geomembrana, il cui inconveniente è però rappresentato da un aumento dei costi di investimento dell'impianto. In tal caso la pendenza delle dighe potrà essere maggiore (fino a 1/1,5), facendo così diminuire le dimensioni totali dell'impianto.

Occorre dotare l'impianto di collegamenti a sifone tra i bacini per bloccare gli idrocarburi e lenti d'acqua.

È preferibile installare una sorta di by-pass fisso su ogni bacino al fine di semplificare le operazioni di svuotamento e pulizia.

**L'ultima tappa della realizzazione dell'impianto consiste nell'alimentazione rapida di acqua chiara ai diversi bacini in modo da verificarne ed assicurarne l'impermeabilità ottenuta evitando ogni rischio di disseccamento dell'impianto ed infine per favorire l'attivazione dell'ecosistema.**

Durante i cambi di stagione, se l'effluente contenuto all'interno della prima laguna è troppo concentrato, potrebbero prodursi cattivi odori, dovuti ad un fenomeno di anaerobiosi. Una soluzione a questo problema consiste nel far ricircolare l'acqua del primo bacino o nel diluire l'effluente per mezzo di un dispositivo di cacciata del sistema.

Per evitare le lagune non impermeabili è assolutamente necessario effettuare prima uno studio pedologico ed idrogeologico.

## Gestione

La tabella seguente elenca in modo dettagliato i vari interventi da effettuare.

**Tabella n°9: Gestione delle lagune**

Interventi	Frequenza	Osservazioni
Verifica generale per appurare: <ul style="list-style-type: none"><li>● presenza di roditori;</li><li>● ostruzione dei condotti;</li><li>● sviluppo di lenti d'acqua;</li><li>● corretto deflusso delle acque;</li><li>● assenza di corpi galleggianti;</li><li>● colore delle acque;</li><li>● assenza di odori;</li><li>● condizione delle dighe.</li></ul>	1/settimana	Questa verifica deve essere effettuata sull'intero sistema di dighe; tale metodo ha il vantaggio di dissuadere l'insediarsi di animali roditori.  I metodi volti ad evitare la <b>formazione di lenti d'acqua</b> sono sia di carattere preventivo - insediamento di anatre - sia curativo - rimozione dei vegetali (per esempio tramite tavolame galleggiante).
Manutenzione dei dispositivi di pretrattamento	1/settimana	Si tratta di evitare il carico del sistema o il by-pass degli effluenti e la formazione di cattivi odori;
Falciatura delle dighe, degli argini e della cintura di vegetazione (o utilizzo di bestiame per la brucatura)	da 2 a 4 volte/anno	Lo scopo consiste a mantenere l'accesso alle sezioni d'acqua, di limitare l'insediamento di animali roditori e lo sviluppo di larve di insetti, oltre a controllare lo stato degli argini.
Pulitura parziale del cono di sedimentazione (entrata del primo bacino)	da 1 a 2 volte/anno	Deve essere effettuata tramite pompaggio liquido.
Pulitura dei bacini	Ogni 5-10 anni in base al carico reale del primo bacino; ogni 20 anni per gli altri bacini	Da effettuarsi quando il volume dei fanghi raggiunge il 30% del volume del bacino. Abitualmente si utilizzano due metodi di pulitura: <ul style="list-style-type: none"><li>● tramite macchinari da cantiere dopo lo spurgo del bacino (ciò implica la presenza di un by-pass fisso su ogni bacino);</li><li>● tramite pompaggio e senza alcuna operazione di spurgo precedente. Si tratta di un processo di 'spurgo in immersione'.</li></ul>



## Resa

La resa calcolata sui flussi di materia organica supera il 75%, che corrisponde ad una concentrazione di DCO filtrata di 125 mg/l. Inoltre la portata, e quindi il flusso di scarico, è spesso ridotta (del 50%) durante la stagione estiva tramite evapo-traspirazione.

I livelli di concentrazione di azoto totale negli scarichi sono molto bassi in estate ma possono raggiungere diverse decine di mg/l (esprese in N) durante l'inverno.

L'abbattimento del livello di fosforo è invece notevole durante i primi anni di attività dell'impianto (> 60%) per poi diminuire e raggiungere rese quasi nulle dopo circa 20 anni. Questa riduzione è imputabile ad una perdita del fosforo dalla vasca di fondo. Le condizioni iniziali verranno però ristabilite tramite la pulitura dei bacini (qualora l'ambiente sia sensibile al fosforo, la pulitura dovrà essere effettuata ogni 10 anni e non più ogni 20).

La disinfezione è poi ugualmente importante, soprattutto in estate: le rese dipendono infatti dai lunghi periodi di decantazione dell'effluente (70 giorni circa per un trattamento completo).

## Vantaggi

- Se il dislivello è favorevole non è necessario alcun apporto energetico;
- Gli interventi di manutenzione sono semplici ma se la pulitura completa non viene effettuata con regolarità la resa si riduce sensibilmente;
- Eliminazione di gran parte dei nutrienti: fosforo e azoto (durante l'estate);
- Il livello di eliminazione dei germi patogeni durante la stagione estiva è ottimo (4-5 log) e buono durante l'inverno (3 log);
- Grande capacità di adattamento alle variazioni consistenti di carico idraulico;
- Nessuna costruzione in muratura necessaria; impianti di facile progettazione e realizzazione;
- Buona integrazione ambientale;
- Assenza di rumorosità;
- I fanghi ottenuti sono ben stabilizzati (fatta eccezione per quelli dell'entrata del primo bacino) e facili da distribuire su suolo agricolo.

## Inconvenienti tecnici

- Utilizzo di grandi superfici di terreno;
- Costo di investimento strettamente legato alla natura del sottosuolo. In presenza di un terreno sabbioso o instabile è sconsigliato orientarsi verso questo tipo di laguna;
- Rese minori rispetto a quelle ottenute attraverso i processi intensivi su materia organica. Tuttavia lo scarico di quest'ultima si effettua sotto forma di alghe, vale a dire in modo meno dannoso rispetto alla materia organica disciolta per l'ossigenazione dell'ambiente a valle. Lo scarico resta limitato durante l'estate (evapo-traspirazione) che è il periodo più favorevole per i corsi d'acqua.
- Qualità degli scarichi variabile in base alle stagioni.

## ▲ Lagune a macrofiti

Le **lagune a macrofiti** riproducono delle zone umide naturali che comprendono una **sezione di acque libere** e che tentano di valorizzare le caratteristiche degli ecosistemi naturali. Si tratta di una tecnica ancora poco diffusa in Europa ma spesso applicata per trattamenti di affinamento a seguito di un lagunaggio naturale, di lagune facoltative o di lagunaggio aerato negli Stati Uniti. Questo tipo di impianti viene generalmente utilizzato con lo scopo di migliorare i risultati del trattamento (soprattutto a livello dei parametri di  $DBO_5$  o di solidi sospesi) oppure per affinarlo (nutrienti, metalli ecc.). **L'utilizzo di lagune di affinamento a microfiti permetterà tuttavia di ottenere risultati migliori senza per questo comportare complicati interventi di manutenzione.**

## ▲ *Lagunaggio aerato*

### Principio di funzionamento

#### Descrizione generale

Nel caso del lagunaggio aerato l'apporto di ossigeno avviene meccanicamente attraverso un dispositivo di aerazione di superficie o tramite insufflazione d'aria. Questo principio si distingue da quello dei fanghi attivi esclusivamente per l'assenza di un sistema di riciclaggio o di estrazione continua dei fanghi. Il consumo energetico dei due sistemi, a parità di capacità, è praticamente equivalente (da 1,8 a 2 kW/kg di  $\text{DBO}_5$  eliminata).

#### I meccanismi in atto

Nello **stadio di aerazione** le acque da trattare contengono microrganismi che andranno a consumare ed assimilare i nutrienti costituiti dalle sostanze inquinanti da eliminare. Questi microrganismi sono principalmente batteri e funghi (paragonabili a quelli presenti all'interno degli impianti a fanghi attivi).

Nella **zona di decantazione**, invece, i solidi sospesi costituiti dall'accumulo di microrganismi e di altre particelle trattenute, sedimentano e vanno a formare i fanghi che vengono poi pompati regolarmente o rimossi dal bacino qualora presenti in un volume troppo elevato. La zona di decantazione comprende una semplice laguna di decantazione e, preferibilmente, anche due bacini la cui pulizia può essere effettuata tramite installazione di by-pass.

Nella tecnica del lagunaggio aerato la popolazione batterica che non entra in riciccolo comporta:

- ➔ una bassa densità batterica e dunque tempi di trattamento più lunghi per ottenere il livello di qualità desiderato;
- ➔ una scarsa flocculazione dei batteri con conseguente necessità di installazione di un'ampia laguna di decantazione.

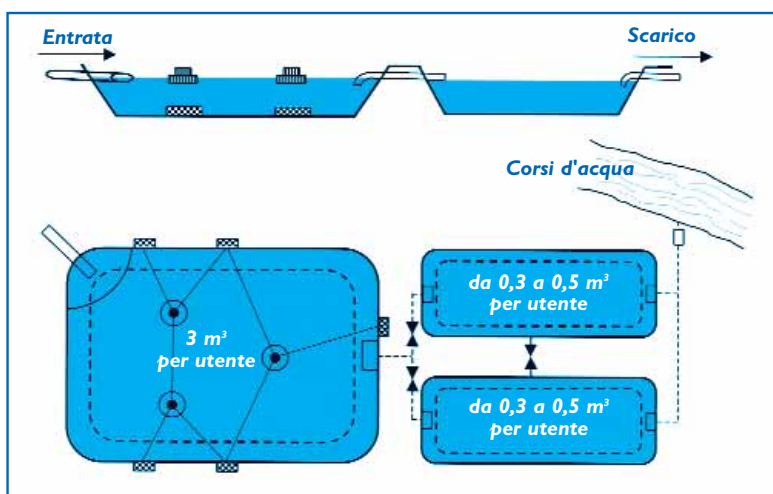


Figura n° 15: Schema raffigurante il principio di funzionamento di una laguna aerata

(da Agences Financières de bassin, CTGREF - 1979)

### Parametri per il dimensionamento

#### La scelta del terreno

La dimensione della superficie necessaria sarà compresa tra 1,5 e 3 m² per utente.

#### Lagune d'aerazione

Tabella n° 10: Parametri per il dimensionamento di lagune aerate

Parametro	Dimensionamento
Tempi di decantazione	20 giorni (tempo di decantazione ridotto in realtà ad una quindicina di giorni dopo diversi anni di funzionamento dell'impianto a seguito del volume occupato dai depositi di materia in sospensione => non bisogna quindi tentare di ridurre ulteriormente questa durata in fase di progettazione).
Volume	3 m³ per utente.
Profondità	Da 2 a 3,50 m con aeratori di superficie (le turbine rapide da 4 kW si adattano a profondità dell'ordine di 2,5 m; quelle da 5,5 kW sono invece impiegate con misure di profondità comprese tra 2,5 e 3 m) > 4 m possibile con insufflazione d'aria.
Forma del bacino	un quadrato attorno a ciascun aeratore
Potenza specifica d'aerazione	Il fabbisogno di ossigeno ammonta a circa 2 kg O <sub>2</sub> /kg DBO <sub>5</sub> . Per evitare l'accumulo di depositi fino al raggiungimento di un volume in grado di compromettere il trattamento ed anche per prevenire la formazione di alghe microscopiche, è necessario sovradimensionare gli aeratori ed utilizzare una potenza compresa tra 5 e 6 W/m³. In fase operativa resta comunque possibile ridurre i tempi di funzionamento degli aeratori di media potenza, limitando così eccessivi costi operativi.

## Laguna di decantazione

Tabella n°11: Parametri per il dimensionamento di lagune di decantazione

Parametro	Dimensionamento di base
volume	Da 0,6 a 1 m <sup>3</sup> per utente
profondità	Da 2 a 3 m con aeratori di superficie
forma del bacino	Rettangolare con un rapporto larghezza/lunghezza di 2/1 o 3/1
profondità	2 m per lasciare un metro di acque libere prima del travaso dei fanghi

L'utilizzo di due lagune di decantazione con tempi di stazionamento di 4 giorni (0,6 m<sup>3</sup>/AE x 2) e dal funzionamento alternato facilita l'estrazione dei fanghi che deve essere effettuata ogni due anni.

### Esecuzione

Al contrario di quanto avviene per il lagunaggio naturale, l'utilizzo di una geomembrana che garantisca l'impermeabilità sarà preferito al fine di limitare i rischi di degradazione degli argini dovuti al forte sciabordio dell'acqua in movimento. A questo scopo, nel caso sia possibile ottenere un'impermeabilità naturale, conviene installare sugli argini materiali di protezione (cemento spruzzato, griglie + giunchi) per prolungare la durata utile dell'impianto.

A prescindere dal metodo di costruzione adottato, la dotazione di lastre di cemento assicura la protezione contro l'erosione nel punto di installazione della turbina.

### Gestione

I vari interventi di manutenzione di questo tipo di impianto sono elencati nella seguente tabella:

Tabella n°12: Gestione delle lagune aerate

Intervento	Frequenza	Osservazioni
Pulitura dei dispositivi di pretrattamento (sgrigliatore + parete di separazione a sifoide)	1/settimana	
Ispezione generale dei bacini	1/settimana	
Estrazione dei fanghi dalle lagune di decantazione	1 volta ogni due anni in presenza di carico nominale	Il primo spurgo è necessario soltanto dopo i primi 3 o 4 anni di funzionamento
Regolazione, programmazione dell'aerazione	2 volte/anno	Si tratta dell'operazione più complessa che necessita di diverse settimane di tempo dopo ogni programmazione e una verifica del nuovo equilibrio biologico instauratosi all'interno del bacino.
Potatura, taglio	da 2 a 5 volte/anno	
Verifica e lettura dei contatori	1/settimana	
Compilazione del libretto di manutenzione	1/settimana	

### Resa

Dal punto di vista del contenuto di materia organica, la qualità dell'effluente è buona: il livello di riduzione raggiunge addirittura l'80%. Per quanto riguarda i nutrienti, invece, la loro eliminazione resta limitata all'assimilazione batterica ed è dunque dell'ordine del 25-30%.

Questo tipo di tecnica si presta facilmente all'apporto complementare di additivi fisico-chimici volti ad eliminare gli ortofosfati.

### Vantaggi tecnici

Si tratta di un processo in grado di tollerare numerosissimi fattori che, nei processi di trattamento classici, sono responsabili di difetti molto seri di funzionamento:

- grosse variazioni di carico idraulico e/o organico;
- effluenti altamente concentrati;
- effluenti con squilibrio nei nutrienti (causa dello sviluppo di filamenti nei fanghi attivi);
- trattamento congiunto di effluenti domestici ed industriali biodegradabili;
- buona integrazione ambientale;
- fanghi stabilizzati.

### Inconvenienti tecnici

- scarichi di qualità media rispetto alla totalità dei parametri;
- presenza di apparecchiature elettromeccaniche la cui manutenzione richiede l'intervento di personale specializzato;
- rumorosità legata alla presenza di un sistema di aerazione;
- consumo energetico elevato.



### *Sistemi misti [associazione di impianti estensivi (colture libere o fisse)]*

L'associazione di diversi sistemi naturali, a colture libere o fisse, in serie o in parallelo, viene talvolta adottata per consentire di adattare il trattamento ad uno scopo specifico (qualità degli scarichi, integrazione delle acque piovane, particolare affluente ecc.).

Nell'ambito del trattamento principale l'esperienza è ancora scarsa e le rese difficili da valutare. Alcuni studi (Radoux M. e al - 2000) su MHEA, (Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Artificiels - Mosaici Gerarchici di ecosistemi artificiali) mostrano potenzialità interessanti senza tuttavia definire parametri certi per di dimensionamento.

Il ricorso alla filtrazione verticale ed orizzontale in serie sembra costituire una soluzione interessante per garantire un trattamento più avanzato dell'azoto e del fosforo, in base al tipo di supporto utilizzato (Cooper - 1999). Un primo stadio di filtrazione verticale consente una notevole riduzione dei solidi sospesi, della  $DBO_5$  come pure una nitrificazione quasi totale. Un secondo stadio di filtrazione orizzontale, invece, serve per affinare il trattamento sui solidi sospesi e la  $DBO_5$ , oltre a consentire una denitrificazione ed un assorbimento del fosforo qualora il supporto scelto abbia buone caratteristiche (Fe, Al, Ca).

Configurazioni più complesse vengono poi impiegate per affinare trattamenti secondari o finali. Dopo tecniche come quella delle lagune aerate o del lagunaggio

naturale, impianti come quello di lagune a macrofiti d'acqua consentirebbero di eliminare il rischio di scarichi di cattiva qualità.

I sistemi a lagune facoltative combinate a lagune a macrofiti d'acqua vengono spesso utilizzati per il trattamento delle acque piovane (Strecker e al - 1992).

Nel caso in cui la popolazione si avvicini al valore di 4.000 AE, si consiglia di confrontare attentamente i costi di investimento e di gestione con quelli di processi considerati più intensivi. I problemi di gestione legati a superfici estese non sono da sottovalutare.

Naturalmente è possibile creare molteplici configurazioni diverse in base alla volontà di riprodurre i diversi sistemi naturali di zone umide. Tuttavia non bisogna nemmeno pensare che la complessità di un impianto vada sempre a scapito della sua semplicità di gestione - caratteristica per altro piuttosto ricercata. Inoltre le attuali conoscenze scientifiche relative al funzionamento delle zone umide induce, la maggior parte delle volte, a tentare di semplificare la configurazione in modo da poter meglio controllare il processo di depurazione.

# CONCLUSIONI: ALCUNI ELEMENTI PER LA SCELTA TECNICA

## Riepilogo delle tecniche estensive ←

In certi casi, le tecniche di trattamento fanno emergere la necessità di un trattamento primario (cfr. glossario) a monte e, in altri, si rivelano applicabili esclusivamente in fase di affinamento (o trattamento finale).

**Tabella n°13: le tecniche di trattamento estensivo**

Impianto classico	Trattamento primario	Trattamento secondario	Trattamento finale
Infiltrazione-percolamento	Decantatore digestore	Infiltrazione-percolamento	
Filtri con piante a deflusso verticale	Filtri con piante a deflusso verticale (1° strato), filtri con piante a deflusso verticale (2° strato)		
Filtri con piante a deflusso orizzontale	Decantatore digestore	Filtri con piante a deflusso orizzontale	
Lagunaggio naturale	1° bacino di lagunaggio, 2° bacino di lagunaggio e 3° bacino di lagunaggio		
Lagunaggio a macrofiti	Sconsigliato	Sconsigliato	Uno o più bacini
Lagunaggio aerato	Laguna aerata + laguna di decantazione		Laguna di affinamento
Sistemi misti, ad esempio...	1° bacino di lagunaggio, 2° bacino di lagunaggio		Infiltrazione-percolamento
	Laguna aerata + laguna di decantazione		Infiltrazione-percolamento
	Filtri con piante a deflusso verticale + Filtri con piante a deflusso orizzontale		

La maggior parte di queste tecniche garantisce un'eliminazione non indifferente di uno dei parametri caratteristici della fase di trattamento finale (azoto, fosforo, germi indicatori di contaminazione fecale) secondo livelli variabili e specificati qui di seguito in Tabella 14.

## Qualità degli scarichi ←

L'efficacia degli impianti estensivi secondo i relativi parametri è illustrata qui di seguito:

**Tabella n°14: Efficacia degli impianti estensivi in relazione ai relativi parametri**

Parametri	Materia organica	N-NK	N Globale	P totale	Contaminazione fecale
Infiltrazione-percolamento	Sì	Sì	No	No	Solo con dimensionamento specifico
Filtri con piante a deflusso verticale	Sì	Sì	No	No	No
Filtri con piante a deflusso orizzontale	Sì	Scarsa nitrificazione	Buona denitrificazione	No	No
Lagunaggio naturale	Livelli medi	Sì	Sì	Sì, durante i primi anni	Sì
Lagunaggio a macrofiti	Livelli medi	Sì	Sì	Sì, durante i primi anni	Sì
Lagunaggio aerato	Livelli medi	Livelli medi	No	No	No

## → Vantaggi ed inconvenienti: riepilogo

La scelta verrà dunque effettuata sulla base dei vantaggi e svantaggi che caratterizzano le varie tecniche e di cui è fornito un riepilogo nella tabella seguente.

**Tabella n°15: Riepilogo dei vantaggi e degli inconvenienti delle tecniche estensive**

Tecnica	Vantaggi	Inconvenienti
Infiltrazione-percolamento su sabbia	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Risultati eccellenti sui valori di DBO<sub>5</sub>, DCO, solidi sospesi; nitrificazione avanzata;</li> <li>● Superficie necessaria molto minore rispetto a quella richiesta per il lagunaggio naturale;</li> <li>● Capacità di decontaminazione interessanti.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Necessità di un impianto efficace di decantazione primaria;</li> <li>● Rischio di ostruzione;</li> <li>● Necessità di disporre di grandi quantità di sabbie;</li> <li>● Limitata capacità di adattamento ai sovraccarichi idraulici.</li> </ul>
Filtrazione con piante a deflusso verticale	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Manutenzione semplice e a basso costo. In presenza delle necessarie condizioni topografiche, assenza di consumo energetico;</li> <li>● Trattamento delle acque reflue domestiche;</li> <li>● Gestione minima dei depositi organici trattenuti sul primo stadio di filtri;</li> <li>● Buona adattabilità alle variazioni stagionali della densità di popolazione.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Manutenzione regolare, taglio annuale dei giunchi dalla zona aerata; operazione manuale prima della crescita eccessiva;</li> <li>● L'impiego per agglomerati di dimensioni superiori ai 2.000 AE resta un meccanismo delicato per ragioni di gestione dell'idraulica e di costi (in relazione agli impianti classici);</li> <li>● Rischio di presenza di insetti o roditori;</li> </ul>
Filtrazione con giunchi a deflusso orizzontale	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Basso consumo energetico;</li> <li>● Assenza di rumorosità e buon livello di integrazione ambientale;</li> <li>● Manutenzione che non richiede alcuna qualifica particolare;</li> <li>● Buona reazione alle variazioni di carico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Dimensioni estese, accessi compresi, dell'ordine di 10 m<sup>2</sup>/AE (equivalente alle dimensioni di una laguna naturale).</li> <li>● Impianti per 2.000-15.000 AE possono essere progettati previa riflessione accurata sulle condizioni di adattamento dei parametri di dimensionamento e previa garanzia di conoscenza dei meccanismi idraulici coinvolti.</li> </ul>
Lagunaggio naturale	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Apporto energetico non necessario in caso di dislivello favorevole;</li> <li>● Interventi di manutenzione semplici ma rese sensibilmente ridotte nel caso in cui la pulitura globale non venga effettuata con le dovute scadenze;</li> <li>● Eliminazione di una grossa parte dei nutrienti: fosforo e azoto (in estate).</li> <li>● Buon livello di eliminazione dei germi patogeni durante la stagione estiva;</li> <li>● Buona adattabilità alle variazioni consistenti di carico idraulico;</li> <li>● Assenza di costruzioni in muratura, progettazione semplice;</li> <li>● Buon livello di integrazione ambientale;</li> <li>● Assenza di rumorosità;</li> <li>● Fanghi ottenuti ben stabilizzati, fatta eccezione per quelli presenti sulla superficie del primo bacino.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Dimensioni estese (10 m<sup>2</sup>/AE);</li> <li>● Costi di investimento fortemente legati alla natura del sottosuolo. In presenza di un terreno sabbioso o instabile è preferibile non utilizzare questo tipo di lagunaggio;</li> <li>● A livello di materia organica, rese più scarse se paragonate a quelle dei processi intensivi. Tuttavia lo scarico di materia organica si effettua sotto forma di alghe, vale a dire in modo meno dannoso per l'ossigenazione dell'ambiente a valle, rispetto all'emissione di materia organica dissolta.</li> <li>● Qualità degli scarichi variabile in base alle stagioni;</li> <li>● La conoscenza e la capacità di gestione dell'equilibrio biologico e dei processi di depurazione restano limitate.</li> </ul>
Lagunaggio aerato	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Tolleranza a forti variazioni di carico idraulico e/o organico;</li> <li>● Tolleranza agli effluenti molto concentrati;</li> <li>● Tolleranza agli effluenti a scarso contenuto di nutrienti (all'origine di formazioni filamentose all'interno dei fanghi attivi);</li> <li>● Trattamento combinato di effluenti domestici ed industriali biodegradabili.</li> <li>● Buon livello di integrazione ambientale;</li> <li>● Fanghi stabilizzati.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Scarti di qualità media rispetto alla totalità dei parametri;</li> <li>● Presenza di apparecchiature elettromeccaniche la cui manutenzione richiede l'intervento di personale specializzato;</li> <li>● Rumorosità legata alla presenza di un sistema di aerazione;</li> <li>● Consumo energetico elevato.</li> </ul>



## L'importanza del fattore climatico ←

Il processo decisionale deve essere basato sull'adeguamento delle diverse caratteristiche dell'impianto di trattamento al contesto locale. In quest'ottica, è necessario approfondire l'adattabilità degli impianti di trattamento alle condizioni climatiche.

La filtrazione verticale è in grado di sopportare periodi di gelo senza subire un peggioramento consistente della qualità del trattamento. Tuttavia, dato che l'alimentazione è a fasi alterne, lunghi periodi di gelo senza protezione termica dalla neve possono compromettere l'idraulica del filtro e, di conseguenza, il trattamento. E' possibile isolare gli elementi con della paglia per evitare eccessive gelate (Wallace et al – 2000, Brix – 1998). Ciò nonostante, in vari impianti della Danimarca non si riscontra alcuna differenza di rendimento tra le diverse stagioni.

La filtrazione orizzontale sopporta facilmente lunghi periodi di gelo. Diversi fattori permettono di isolare termicamente le acque dalla temperatura esterna: la neve, i giunchi tagliati lasciati in superficie e, nel caso di periodi di gelo particolarmente critici, lo strato d'aria bloccato sotto la coltre di ghiaccio che si è formata sulla superficie del filtro. Tuttavia, la resa può essere inferiore rispetto al periodo estivo. In condizioni di clima estremo è quindi consigliabile prendere in considerazione un fattore di sicurezza in termini di dimensionamento.

Gli impianti di lagune a macrofiti sono sensibili alle condizioni di temperatura dell'acqua. Un abbassamento della temperatura riduce le cinetiche di degradazione. Per quanto riguarda le lagune a microfiti, la fotosintesi può continuare il suo processo sotto uno o due centimetri di ghiaccio.

Nel dimensionamento delle lagune a macrofiti, la costante di degradazione dipende dalla temperatura. Tuttavia, la variabilità delle portate e delle concentrazioni sulla base delle diverse stagioni rende difficile interpretare l'impatto effettivo della temperatura. Il ciclo dell'azoto è il più sensibile agli effetti delle temperature. Gli effetti sulla  $DBO_5$  sono curiosamente meno evidenti ed animano diverse discussioni (Kadlec, R.H. et al – 2000). Al contrario, i solidi sospesi non sono influenzati dalla temperatura.

Il tempo di stazionamento nei bacini varia secondo le condizioni climatiche e, pertanto, influenza indirettamente i rendimenti attesi. La forte evapo-traspirazione durante le stagioni calde possono aumentare notevolmente il tempo di soggiorno e, di conseguenza, il rendimento. Al contrario, il gelo di una sezione d'acqua superiore nel periodo invernale riduce il tempo di stazionamento.

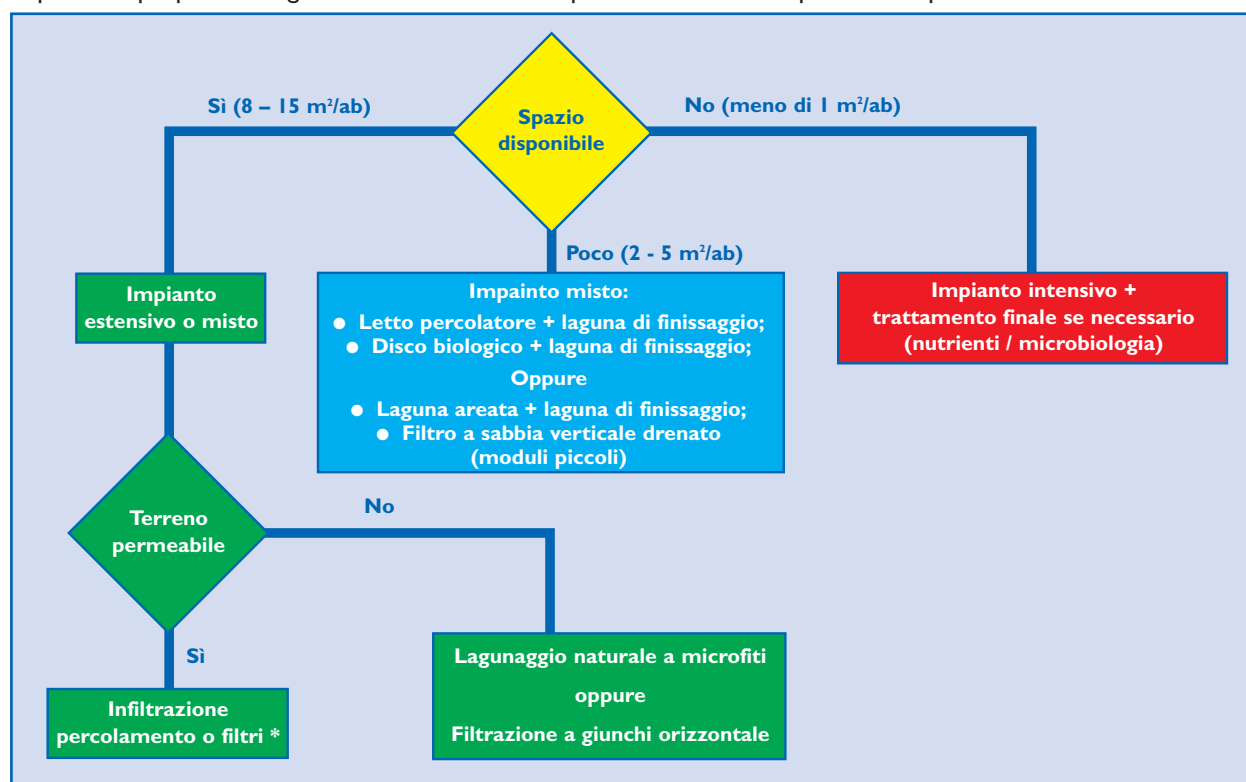
Si sconsiglia la creazione di lagune aerate in zone dal clima estremamente freddo.

Qualunque sia l'impianto di trattamento richiesto, nelle zone dai climi estremi è consigliabile prendere in considerazione un fattore di sicurezza in termini di dimensionamento. Si richiedono ulteriori studi per determinare in maniera più accurata tali fattori.

In realtà, più che il clima, i principali fattori da prendere in considerazione sono lo spazio disponibile e la permeabilità del terreno.

## Albero decisionale ←

E' possibile proporre il seguente albero decisionale per la scelta di un impianto di depurazione.



\* filtrazione verticale se si cerca di eliminare l' $NH_4^+$  e i germi (senza azione sull' $NO_3^-$ ); filtrazione verticale + orizzontale oppure solo orizzontale se si cerca di effettuare la denitrificazione. In tal caso, il rischio di una concentrazione elevata di  $NH_4^+$  a livello dello scarico è maggiore.

Figura n° 16: Albero decisionale (Jean Duchemin – Commissione Europea - 2001)

I dati della seguente tabella sono frutto di esperienze francesi e restano validi e convalidati soprattutto per quest'area geografica.

**Tabella n°16: costi (in EURO) per un impianto di 1.000 abitanti (fonte: documento tecnico "Fondo Nazionale per le Risorse Idriche" n°22 - 1998)**

	Fanghi attivi	Letti percolatori	Dischi biologici	Lagune aerate	Lagune naturali	Decantatore-digestore + infiltrazione percolamento	Decantatore-digestore + letto con giunchi
Investimento	230.000 (± 30 %)	180.000 (± 50 %)	220.000 (± 45 %)	130.000 (± 50 %)	120.000 (± 60 %)	190.000 (± 50 %)	190.000 (± 35 %)
Funzionamento (di cui energia) => Costo annuale in EURO/anno	11.500	7.000	7.000	6.500	4.500	6.000	5.500

Un'altra fonte fornisce costi sensibilmente diversi per i processi intensivi, in quanto il costo di investimento per i fanghi attivi e per i letti percolatori si aggira intorno ai 155.000 EURO (cfr. Agence de l'Eau Seine-Normandie - 1999). Tuttavia, queste ultime cifre risultano da dati trasmessi dai costruttori, mentre i dati della tabella sopra riportata risultano da indagini effettuate su terreni in cui sono stati confrontati e analizzati i costi di 10-15 insediamenti di uno stesso impianto.

Una terza fonte (cfr. Alexandre O, Grand d'Esnon - 1998) fornisce cifre per una impianto di depurazione di dimensioni comprese tra 2.000 AE e 15.000 AE, di tipo ad areazione prolungata con trattamento dell'azoto ed eventualmente del fosforo. Il costo per la costruzione di questo tipo di impianto, dopo l'aggiudicazione di un buon appalto, equivale ad un importo di 120-140 EURO AE IVA esclusa. Il costo dell'operazione globale, che comprende la direzione dei lavori, i diversi studi preliminari, la procedura di autorizzazione allo scarico, gli studi di valorizzazione dei fanghi e dei rifiuti ammonta a quasi 150 EURO AE IVA esclusa. Se si considera l'ipotesi di un sovradimensionamento normale dal 15 al 20 %, il costo per la realizzazione di un impianto di depurazione con capacità compresa tra 2.000 e 15.000 AE ammonta a 185 EURO AE IVA esclusa. Il valore delle opere di ingegneria civile, stabilito su un importo di 92,5 EURO AE, si ammortizza nell'arco di 20 anni. Il valore degli interventi di elettromeccanica, stabilito su un importo di 92,5 EURO AE, si ammortizza nell'arco di 12 anni.

Le cifre, come risulta dai suddetti esempi, possono variare sensibilmente a seconda delle fonti, mentre l'oggetto esaminato rimane il medesimo (realizzazione di un impianto in Francia). Ciò conferma che realizzare un confronto tra i costi delle diverse tecniche estensive a livello europeo costituisce un'operazione molto delicata. Da diversi studi risulta che gli impianti di depurazione tedeschi con uguale capacità hanno un costo del 20-25% superiore rispetto alla Francia a causa del costo della costruzione, del materiale utilizzato e dei fattori di sicurezza impiegati (cfr. Berland J.M., 1994). Al contrario, i costi degli impianti in Grecia o in Portogallo saranno più bassi rispetto alla Francia essendo il costo della costruzione meno elevato. D'altra parte, il contesto locale può generare diversi sovraccosti a livello di investimenti (terrazzamento in una zona pietrosa, terreno permeabile che necessita di una posa di geomembrana, assenza di sabbia nelle vicinanze...). Enunciare regole generali in questo settore sarebbe a dir poco rischioso.

In compenso, si può affermare che la gestione dei diversi impianti di trattamento estensivo è meno problematica e, di conseguenza, meno costosa rispetto all'utilizzo delle tecniche intensive, in particolare se si considerano i costi di consumo energetico e quelli generati dalla gestione dei fanghi. E' questo il grande vantaggio di queste tecniche che non necessitano inoltre di manodopera specializzata. E' importante comprendere che tutti questi aspetti non vanno affatto sottovalutati per non assistere ad una vertiginosa degenerazione delle prestazioni dell'impianto (cfr. tabella 15).

Complessivamente, l'utilizzo di processi estensivi dovrebbe permettere, a pari capacità, di realizzare un risparmio medio dal 20 al 30% sui costi di investimento, e dal 40 al 50% sulle spese di funzionamento rispetto agli impianti di depurazione intensivi.

→ *Il vantaggio dei processi estensivi: il contributo ambientale*

Gli impianti di depurazione sono spesso costruiti in zone periferiche e, per questa ragione, si trovano di frequente nelle vicinanze di sobborghi. In questi luoghi il paesaggio urbano può essere soggetto a degrado a causa della concentrazione delle abitazioni e del suo aspetto talvolta troppo "cementato". In tal caso, la scelta di un impianto di trattamento estensivo, non nocivo dal punto di vista acustico né dell'alterazione del paesaggio, potrà essere percepito in modo più positivo rispetto alla scelta di un impianto compatto tradizionale, che può essere vissuta come un fattore ulteriore di disturbo.

Inoltre, le zone umide (bacini, canneti) ricreate in questi impianti di trattamento attirano spesso una fauna acquatica interessante, che permette di effettuare delle attività pedagogiche per gli studenti e gli abitanti dei dintorni.



Capacità di 28 000 AE (foto Ville de Rochefort-sur-Mer)

## Infiltrazione percolamento un caso particolare, l'impianto di Mazagon (Spagna) ←

### ▲ Cenni generali

L'impianto depura le acque reflue di Mazagon, un paesino turistico situato sulla costa atlantica nel sud della Spagna. La popolazione di questo paese è di 850 abitanti in inverno ed aumenta enormemente in estate fino a raggiungere i 20.000 AE. L'impianto di depurazione pilota tratta solo una parte di questo inquinamento ed è stato progettato per un agglomerato medio di 1.700 AE

Si noti che in questo caso si desidera ottenere solo una depurazione parziale; è questo il motivo di un sottodimensionamento rispetto al valore indicato in questa guida ( $1,5 \text{ m}^2 / \text{ab}$ ) convalidato anche su un certo numero di impianti esistenti.

### ▲ Descrizione del progetto

L'impianto è costituito da un'unità di sterratura idraulica da  $170 \text{ m}^3$ , da un bacino di deposito e da tre coppie di vasche di infiltrazione presenti nelle dune. Ciascun modulo di infiltrazione presenta una superficie di  $200 \text{ m}^2$ . Si tratta di un impianto senza drenaggio. La falda acquifera si trova ad una profondità compresa tra 5,1 e 6,6 metri a seconda dei bacini.

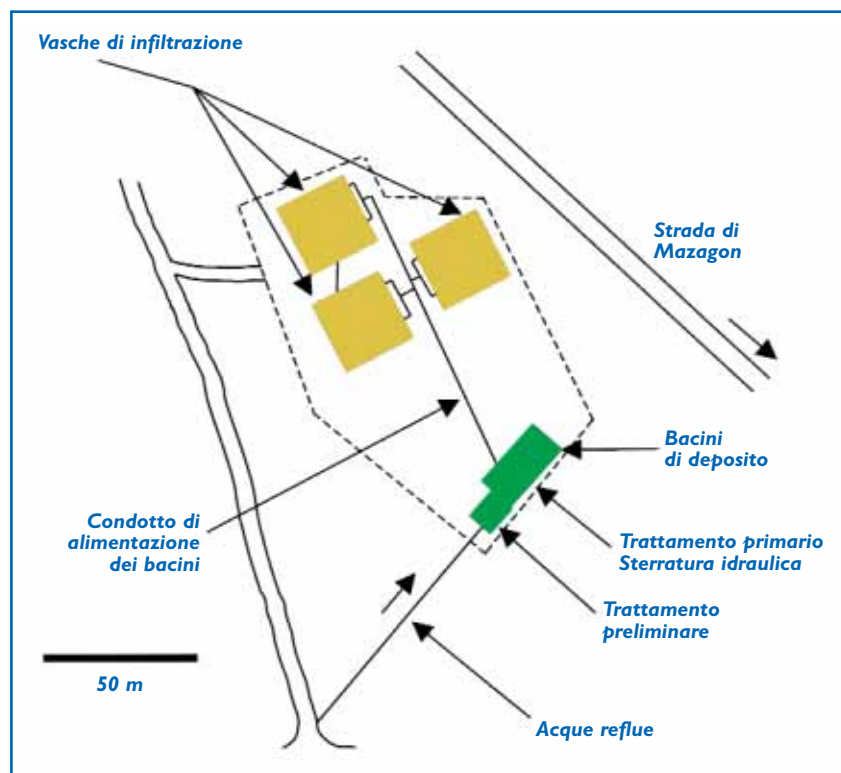


Figura n° 17:  
Schema dell'impianto  
(V. Mottier, F. Brissaud, P. Nieto  
and Z. Alamy – 2000)

Quando si effettua una mandata di travaso si spandono circa  $100 \text{ m}^3$  di acque reflue. Ciascuna sequenza si effettua su due vasche di infiltrazione. Le mandate avvengono tramite apertura di valvole manuali. Una sequenza di alimentazione di acque reflue di un modulo di infiltrazione dura dai 40 ai 50 minuti, per una portata di  $130 \text{ m}^3/\text{h}$ . Si effettua una sola mandata al giorno per modulo di infiltrazione.

Gli effluenti vengono ripartiti sui letti filtranti a sabbia tramite canali di distribuzione (condotti forati).

I prelievi di campionatura sono stati realizzati a 30, 60, 100, 150 e 200 centimetri di profondità tramite appositi pozzetti.



Impianto di Mazagon  
(Spagna)



## ▲ Risultati

Si noti che l'effluente non si distribuisce uniformemente sulla superficie di infiltrazione. La metà della superficie viene inondata dopo cinque minuti di distribuzione degli effluenti, il 75 % dopo 12 minuti ed il 90 % dopo 21 minuti.

Un'eterogeneità simile si osserva alla fine dell'alimentazione. Tale inconveniente è dovuto a:

- ➔ una distribuzione non uniforme dai condotti;
- ➔ una lunga durata dell'alimentazione in rapporto alla superficie di infiltrazione ed alla permeabilità della sabbia;
- ➔ delle disparità di altezza a livello della superficie di infiltrazione, nonostante le frequenti rastrellature.

Ne risulta una consistente eterogeneità del carico applicato effettivamente a livello della superficie della porzione di infiltrazione.

Il 95% del volume della mandata ha superato i due metri di profondità dopo due ore dall'inizio dell'alimentazione. La velocità di percolamento è compresa tra 1,1 e 2 m/h.

## ▲ Resa

### Parametri chimici tradizionali

La resa misurata sui diversi parametri chimici tradizionali è la seguente:

**Tabella 17: Resa dell'impianto**

Resa in primavera (1993) – valore medio su quattro mandate				
	DCO (mgO <sub>2</sub> /l)	NH <sub>4</sub> (mgN/l)	NO <sub>2</sub> (mgN/l)	NO <sub>3</sub> (mgN/l)
Effluente	279	31,5	0,02	2,3
Acqua depurata	36	0,5	0,08	28,2
Rendimento della depurazione	87 %	98 %		
Resa in estate (1993) – valore medio su tre mandate				
Effluente	408	53,8	0,02	3,0
Acqua depurata	35	0,3	0,14	32,4
Rendimento della depurazione	91 %	99 %		

La DCO è diminuita del 90% e più del 98% di N-NH<sub>4</sub> si è ossidato. Le prestazioni sulla DCO e l'NH<sub>3</sub> sono quindi eccellenti. Tuttavia, questi dati provengono da un'unica campagna di raccolta che è durata cinque mesi (da marzo ad agosto 1993) e non è perciò possibile verificare il mantenimento delle prestazioni nel lungo termine.

### La disinfezione

La resa in termini di disinfezione è stata misurata sui coliformi totali, i coliformi fecali e gli streptococchi fecali. Le medie sono state realizzate a partire da misurazioni effettuate su sette sequenze.

Il tasso di abbattimento è espresso come segue:

$$\Delta m = \log (C_i / C_0)$$

Il risultato è espresso in unità log (U log).

con  $C_i$  = numero di microrganismi nell'effluente

$C_0$  = numero di microrganismi nell'acqua filtrata

Questo tasso di abbattimento è di 1,2 U log per i coliformi totali, 1,6 U log per i coliformi fecali e 1,3 U log per gli streptococchi fecali.

La disinfezione resta quindi mediocre per un processo di infiltrazione su sabbia. Ciò è dovuto essenzialmente alla granulometria della sabbia utilizzata, che è relativamente grossa, ed all'irregolarità di questo materiale. La resa su questo tipo di parametro è anche inferiore rispetto a quella ottenuta dagli impianti di trattamento compatti "tradizionali" (fanghi attivi, letti percolatori...).

## ▲ Bibliografia relativa all'infiltrazione percolamento di Mazagon (Spagna)

V. Mottier, F. Brissaud, P. Nieto and Z. Alamy – 2000 wastewater treatment by infiltraton percolation: a case study, in Water Science and Technology, Vol. 41, P.P. 77-84.

## Infiltrazione percolamento: un impianto tradizionale, il caso di Souillac Paille-Basse (Francia – Dipartimento del Lot)

### ▲ Cenni generali

L'obiettivo della depurazione è la protezione dell'acquifero carsico. La popolazione servita al momento della misurazione delle prestazioni (1993) era di 900 AE ed era costituita essenzialmente da stagionali.

La rete di risanamento è una rete separata e la portata quotidiana è di 100 m<sup>3</sup> nei momenti di punta

### ▲ Descrizione del progetto

L'impianto è costituito dai seguenti elementi:

- Pretrattamento: pompa sminuzzatrice;
- Decantatore-digestore (portata: 1.200 AE);
- Alimentazione: tramite mandate da 17 o 34 m<sup>3</sup>, a seconda della portata del serbatoio in servizio:
  - Alimentazione tramite pompaggio a 40 m<sup>3</sup>/h. Le pompe sono comandate da dei galleggianti;
  - la distribuzione tra le vasche è comandata manualmente;
  - successivamente, la suddivisione sulle vasche è stata la seguente:
    - configurazione iniziale: 3 punti di alimentazione per vasca, con equidistribuzione tramite sfioratore;
    - configurazione definitiva: 2 punti di alimentazione tramite la parte inferiore del bacino.
- Bacini:
  - Configurazione iniziale: 2 bacini da 400 m<sup>2</sup> ciascuno;
  - Configurazione definitiva: compartimentazione dei bacini in sotto moduli da 130 o 200 m<sup>2</sup>.
- Massa filtrante:
  - Sabbia di riporto ( $d_{10} = 0,21$  mm; coefficiente di uniformità = 2,4), spessore: 0,80 m;
  - Strato drenante: da 20 a 40 cm di ghiaia.
- Scarico: infiltrato in loco verso la falda acquifera.
- Funzionamento:
  - Alimentazione tramite mandate da 0,13 m o 0,26 m, nella configurazione iniziale, e da 0,085 m o 0,17 m, nella configurazione definitiva;
  - La durata dei periodi di funzionamento è estremamente variabile, da 1 giorno a quasi un mese. Generalmente una sola vasca è in servizio;
  - Strato d'acqua quotidiano sulla vasca in funzionamento:  $h = 50$  cm.

### ▲ Resa

Tabella 18: Resa dell'impianto

	Effluenti decantati	Effluenti di percolamento
Solidi sospesi (mg/l)	117	da 20 a 36
DCO (mg/l)	580	da 201 a 282
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	263	da 54 a 120
NTK (mg/l)	112	da 53 a 75
N-NO <sub>3</sub> (mg/l)	< 1	da 70* a 1
Coliformi fecali / 100 ml	2.10 <sup>7</sup>	da 6.10 <sup>6</sup> a 2.10 <sup>7</sup>

\* media influenzata da alcuni valori eccezionalmente elevati.

Il carico inquinante degli effluenti decantati è tale che la loro ossidazione non è possibile se non applicando dei carichi idraulici quotidiani di un massimo di 15 cm. Dato che i carichi applicati sono almeno da 3 a 5 volte più elevati, l'ossidazione è solo parziale. La soluzione consisterebbe nel cambiare la parte inferiore del bacino ad ogni nuova mandata; per fare questo sarebbero necessarie delle attrezzature più sofisticate (valvole motorizzate telecomandate).

I carichi idraulici elevati o addirittura eccessivi su uno scarso spessore di massa filtrante non consentono di ottenere un livello elevato di decontaminazione.

### ▲ Bibliografia relativa all'infiltrazione percolamento di Souillac Paille-Basse

Brissaud F. - 1993, Epuration des eaux usées urbaines par infiltration percolation : état de l'art et études de cas, Etude Inter Agences n°9, Agences de l'Eau, Ministère de l'Environnement, Paris.

## ➔ Filtrazione con piante a deflusso verticale, il caso di NEA Madytos – Modi (Grecia)

### ▲ Cenni generali

Nel 1991, su iniziativa della Comunità europea, viene lanciato in Grecia, nei comuni di NEA MADYTOS – MODI, un programma di valutazione degli impianti di depurazione del tipo a filtrazione con piante a deflusso verticale. Il dimensionamento è stato effettuato sulla base di esperienze inglesi (Montgomery Watson, University of Portsmouth, Camphill Water) e francesi (Société d'Ingénierie Nature et Technique, SINT) e si pone i seguenti principali obiettivi al fine di dimostrare:

- ➔ l'efficacia del trattamento con un'attrezzatura elettromeccanica minima;
- ➔ la buona integrazione del processo nel suo ambiente;
- ➔ lo sviluppo di un interessamento e di una responsabilizzazione locale del risanamento;
- ➔ la riduzione dei costi d'investimento e di manutenzione;
- ➔ la possibilità di riutilizzo locale dei fanghi e dell'effluente trattato.

Questo è uno dei più grandi impianti del tipo a filtrazione con piante a deflusso verticale esistenti al mondo. La sua capacità è di 3500 AE. È stato inaugurato nel giugno 1995 ed è stato sottoposto ad una valutazione sul funzionamento e sulle prestazioni in un arco di tempo di 2 anni. Non è quindi possibile verificare il mantenimento delle prestazioni nel lungo termine.

### ▲ Descrizione del progetto

Tutto il flusso passa attraverso uno sgrigliatore automatico e può essere deviato verso uno sgrigliatore manuale.

#### Treatmento primario

Sono stati realizzati due trattamenti primari per testarne le prestazioni:

l'impianto di trattamento A riceve circa 2/3 del flusso da un decantatore-digestore. I fanghi vengono inviati su dei letti di essiccazione (filtrazione verticale secondo Liénard et al – 1995).

L'impianto di trattamento B riceve circa 1/3 del flusso. È costituito da 4 filtri verticali dimensionati a 0,6 m<sup>2</sup>/AE, per una superficie quindi di 620 m<sup>2</sup>. Funzionano due alla volta alternandosi settimanalmente.

#### Treatmento secondario

Questo trattamento è costituito da due stadi di filtrazione verticale.

Le acque decantate del flusso A vengono inviate ad un primo stadio di 8 filtri verticali, tramite un sifone, per una superficie totale di 1360 m<sup>2</sup> dimensionati a 0,6 m<sup>2</sup>/AE. Di questi 8 filtri, 6 ricevono le acque contemporaneamente mentre gli altri 2 sono a riposo.

Le acque del flusso B, provenienti dal primo stadio, vengono inviate a 2 filtri dimensionati a 0,3 m<sup>2</sup>/AE, per una superficie totale di 340 m<sup>2</sup>. Funzionano a fasi alterne settimanalmente.

Il secondo stadio riceve tutte le acque provenienti dalle tappe precedenti. Si tratta di 6 filtri verticali dimensionati a 0,35 m<sup>2</sup>/AE, per una superficie totale di 1170 m<sup>2</sup>. Di questi 6 filtri, 4 sono alimentati contemporaneamente mentre gli altri 2 sono a riposo.

Nella tabella seguente sono riassunte le caratteristiche dei filtri:

**Tabella 19: Prestazioni dell'impianto**

	Flusso B Primo stadio	Flusso B Secondo stadio fase I	Flusso A Secondo stadio fase I	Flusso A+B Secondo stadio fase 2
Dimensionamento (m <sup>2</sup> /AE)	0,6	0,3	0,6	0,35
Superficie totale (m <sup>2</sup> )	620	340	1360	1170
Numero di filtri	4	2	8	6
Superficie per filtri (m <sup>2</sup> )	(2x140) + (2x170)	170	170	195
<b>Altezza del substrato</b>				
Sabbia (m)	-	0,15	0,15	0,15
Ghiaia fine (m)	0,70	0,60	0,60	0,60
Ghiaia grossa (m)	0,10	0,10	0,10	0,10
Strato drenante (m)	0,15	0,15	0,15	0,15

#### Treatmento finale

Due lagune situate a valle dei filtri hanno lo scopo di ridurre il numero di organismi patogeni per poter riutilizzare le acque per l'irrigazione. Queste due lagune presentano caratteristiche identiche: ossia una profondità da 1,5 a 2 m per un volume di deposito complessivo da 4500 a 7000 m<sup>3</sup>.



## ▲ ® Esecuzione

### Impermeabilizzazione:

Dato che le caratteristiche del terreno non erano adeguate, è stato necessario effettuare un'impermeabilizzazione. Per questo impianto è stato utilizzato il cemento, meno costoso nel contesto locale greco rispetto ad una geomembrana.

### Materiali

I diversi materiali da rivestimento (ghiaie lavate, sabbie, ciottoli per il drenaggio) sono stati reperiti localmente.

## ▲ Resa

Le prestazioni ottenute in questi due anni di studio rivelano una notevole degradazione della DBO<sub>5</sub>, della DCO e solidi sospesi, oltre ad una nitrificazione attiva.

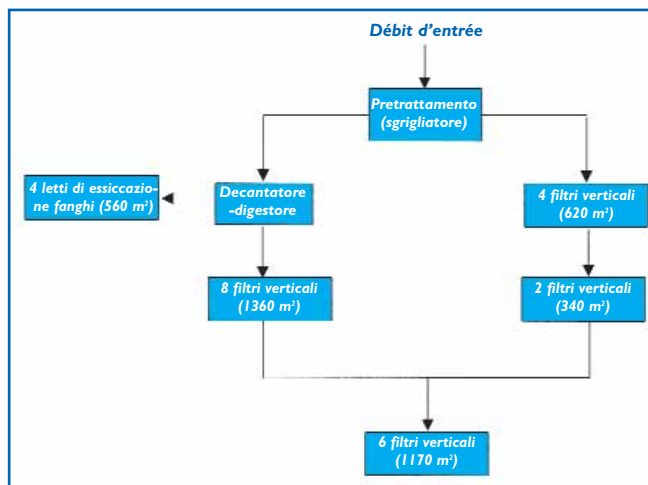


Figura n° 18: Schema dell'impianto di trattamento (Montgomery Watson - 1997)

### Tabella n°20: Resa media dei due anni di studio (Final report programme Life)

Parametri	Entrata	Uscita Filtri Verticali	Valori minimi
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	516	17	5,7
DCO (mg/l)	959	58	24,9
SS (mg/l)	497	5	1,1
NH <sub>4</sub> (mg/l)	80	4,7	0,75
N-NO <sub>3</sub> (mg/l)	2,6	44,9	24
P-PO <sub>4</sub> (mg/l)	66	44	18,8
Coliformi totali (cfu/100ml)	8,8.10 <sup>7</sup>	6,1.10 <sup>5</sup> (4,2.10 <sup>4</sup> nelle lagune)	689
Coliformi fecali (cfu/100ml)	2,3.10 <sup>7</sup>	2,1.10 <sup>5</sup> (8,6.10 <sup>3</sup> nelle lagune)	285

In particolare, per le diverse fasi del processo, possiamo proporre le seguenti osservazioni:

### Treatmento primario fossa Imhoff (A) e filtrazione verticale (B)

I rendimenti ottenuti sugli impianti A e B mostrano in che misura l'alimentazione delle acque reflue interessa i filtri verticali. Tali rendimenti, rispettivamente per i flussi A e B, vanno in media dal 74% al 90% per i solidi sospesi, dal 50% all'80% per la DBO<sub>5</sub> e dal 12,5% al 37,5% per l'NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Il funzionamento senza opera di decantazione consente di evitare i costi aggiuntivi generati dalla gestione dei fanghi e, nel nostro caso, la realizzazione di letti di essiccazione dei fanghi. Inoltre, l'effluente è ben ossigenato all'uscita dai filtri e ciò è molto vantaggioso per la continuazione del trattamento.

### Treatmento secondario, fase 1

L'efficacia del trattamento sulla materia organica e solidi sospesi induce concentrazioni in uscita di DBO<sub>5</sub> e di solidi sospesi dell'ordine di 20 mg/l. La concentrazione di O<sub>2</sub> disciolto aumenta nei due impianti mantenendo lo scarto indotto dalla prima fase.

### Treatmento secondario, fase 2

In questa fase i due flussi vengono mescolati. La riduzione dei solidi sospesi e della DBO<sub>5</sub> a livelli che si collocano tra i 5 e i 10 mg/l è accompagnata da una nitrificazione quasi totale (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>=0). Si rilevano concentrazioni di N-NO<sub>3</sub> dell'ordine di 45 mg/l. La denitrificazione resta quindi debole (40%).

## ▲ Conclusioni

La qualità dell'effluente in uscita dagli stadi di filtrazione in termini di DCO, DBO<sub>5</sub> e di solidi sospesi rispetta le raccomandazioni europee (< 25 mg/l di DBO<sub>5</sub> e 35 mg/l di solidi sospesi). L'alimentazione di acque reflue su un primo stadio di filtri è preferibile sia per la qualità del trattamento che per i costi di investimento. I filtri permettono un'ottima nitrificazione. Le variazioni nella qualità del trattamento (Montgomery Watson - 1997) sono correlate alle variazioni di carichi, temperature e attività di fotosintesi dovute alle stagioni. Tuttavia, i filtri svolgono egregiamente il ruolo di tampone e la qualità dello scarico è quasi sempre costante durante tutto l'anno. Questo tipo di impianto risponde molto bene alle variazioni di carichi e temperature.

### ▲ Bibliografia relativa alla filtrazione con piante a deflusso verticale dell'impianto di NEA Madytos - Modi (Grecia)

Montgomery W., (1997), Demonstration project in the treatment of domestic wastewater with constructed wetlands. Stage II - Monitoring of Maintenance. Final report. LIFE95\UK\A13\GR\181\THE.

Liénard A., Duchène Ph., Gorini D. (1995), A study of activated sludge dewatering in experimental reed-planted or unplanted sludge drying beds. Wat. Sci. Tech., 32 (3), pp 251-261.

➔ **Sistema ibrido (filtrazione con piante a deflusso verticale e con piante a deflusso orizzontale): il caso di Oaklands Park, Newnham-on-Severn, Gloucestershire (Regno Unito)**

▲ **Cenni generali**

L'impianto ibrido è stato costruito nel luglio 1989 per servire il sito di Camphill Village Trust, alla periferia di Newnham nell'estuario del fiume Severn (Inghilterra occidentale). Il movimento di Camphill è un'organizzazione caritatevole internazionale che costruisce e gestisce dei centri di accoglienza e di vita per le persone disagiate. Le comunità di Camphill praticano l'agricoltura biologica. In seguito alla costruzione di questo primo impianto nel 1989, molti altri impianti dello stesso tipo sono stati installati in altre comunità di Camphill e analoghe organizzazioni caritatevoli.

▲ **Descrizione del progetto**

L'impianto di Oaklands Park è stato progettato inizialmente per servire 98 AE, ma in realtà tratta solo gli scarichi di 65 AE. L'impianto, come si può osservare nello schema riportato in seguito, presenta due stadi di filtri verticali alimentati a intervalli, per una superficie complessiva di 63 m<sup>2</sup>, seguiti da due strati di filtri orizzontali alimentati in continuo, per una superficie complessiva di 28 m<sup>2</sup>. La superficie totale utilizzata è di 1,4 m<sup>2</sup> / AE soltanto. Lo spaccato di seguito riportato mostra la struttura dei filtri verticali utilizzati nel primo e nel secondo strato.

Ciascun filtro verticale è alimentato per 1-2 giorni e poi viene lasciato a riposo per circa 10 giorni. Ciò permette ai filtri di asciugarsi tra un'alimentazione e l'altra e di impedire l'intasamento con la biomassa di depurazione. L'alimentazione è comandata manualmente da membri della comunità. I filtri orizzontali sono alimentati in continuo.

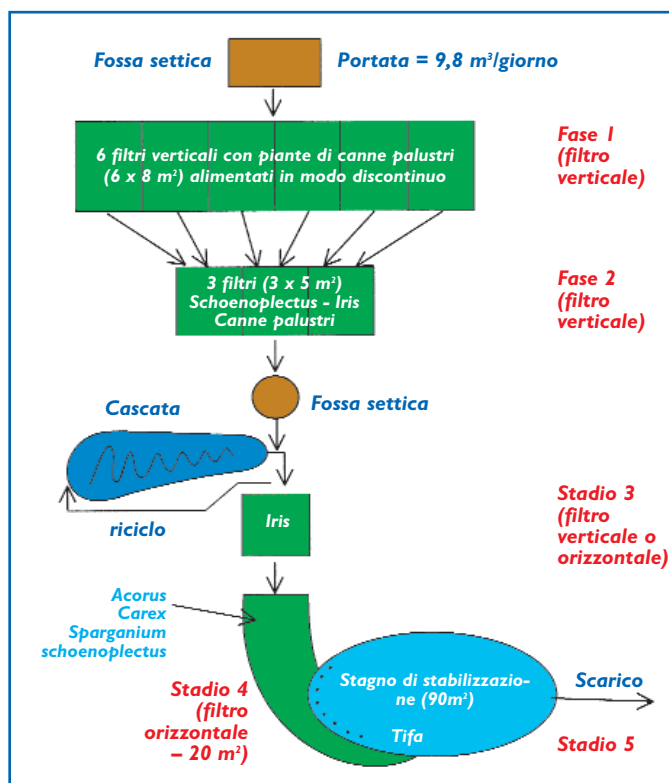


Figura n° 19: impianto misto di Oakland Park (Cooper et al, 1996)

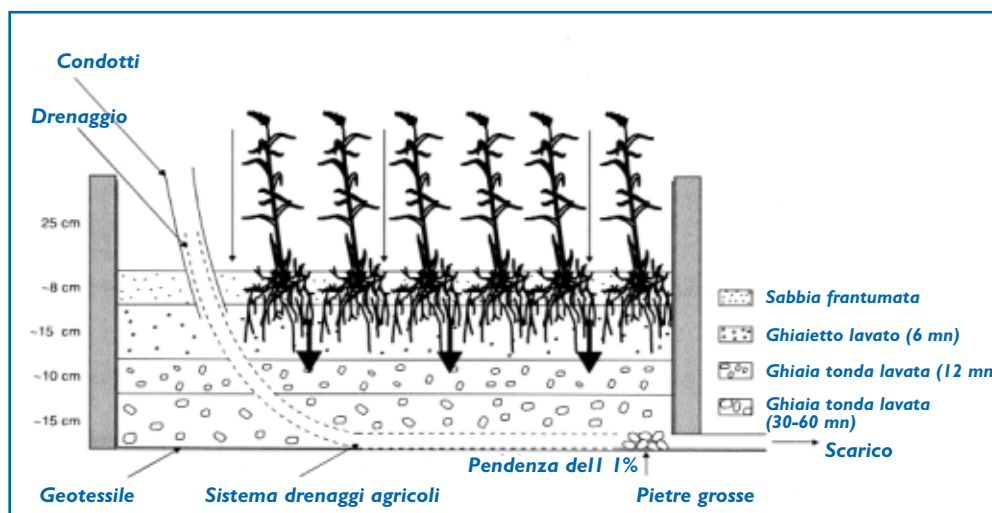


Figura n° 20: Sezione degli strati di filtri verticali

## ▲ Resa

Di seguito è riportata una sintesi della resa rilevata su 47 misurazioni effettuate nell'agosto 1989 e nel marzo 1990 (Bryan et Findlater / WRc – 1991, Cooper et al – 1996 et Cooper – 2001).

**Tabella 21: prestazioni dell'impianto misto di Oakland Park (valori medi rilevati su 47 misurazioni effettuate tra agosto 1989 e marzo 1990)**

Parametro, mg / litro	Affluente	Stadio I	Stadio II	Stadio III	Stadio IV	Stadio V
DBO <sub>5</sub>	285	57	14	15	7	11
Solidi sospesi	169	53	17	11	9	21
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	50,5	29,2	14,0	15,4	11,1	8,1
N-NO <sub>3</sub> +N-NO <sub>2</sub>	1,7	10,2	22,5	10,0	7,2	2,3
Ortofosfati	22,7	22,7	16,9	14,5	11,9	11,2

**Stadio I** : 6 filtri verticali utilizzati ad intervalli (rotazione => 1 in servizio 5 a riposo)

**Stadio II** : 3 filtri verticali utilizzati ad intervalli (rotazione => 1 in servizio 3 a riposo)

**Stadio III**: 1 filtro orizzontale

**Stadio IV**: 1 filtro orizzontale

**Stadio V** : Stagno di stabilizzazione

Una seconda serie di 17 misurazioni è stata effettuata nel periodo da dicembre 1990 ad agosto 1991. I risultati di questa serie confermano i dati indicati nella tabella precedente.

L'abbattimento della DBO<sub>5</sub> e dei solidi sospesi dagli stadi dotati di filtri verticali è soddisfacente e consente di rispettare le norme di scarico previste dalla direttiva "acque reflue urbane". Quanto alla DBO<sub>5</sub> ed ai solidi sospesi, si nota un certo deterioramento dell'acqua trattata a livello della laguna. Ciò è dovuto alla crescita delle alghe, che si aggiungono alla DBO<sub>5</sub> e producono solidi sospesi. Anche la riduzione degli ortofosfati e dell'NH<sub>4</sub><sup>+</sup> è molto debole in questo stadio.

La nitrificazione è molto forte negli strati dotati di filtri verticali. Lo si può osservare dalla riduzione degli NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e dal contemporaneo aumento degli NO<sub>3</sub>N + NO<sub>2</sub>. Tuttavia, lo stadio II non permette di raggiungere una nitrificazione completa.

Si possono osservare degli aumenti significativi dei composti azotati NO<sub>3</sub>N + NO<sub>2</sub> nei filtri verticali ed in seguito una riduzione a livello degli strati III e IV, nonostante la concentrazione relativamente scarsa di DBO<sub>5</sub>. Ciò sembra indicare l'esistenza di meccanismi di denitrificazione, a livello dei filtri orizzontali, amplificati dalla lunga permanenza che caratterizza questi stadi.

A livello dei due filtri verticali si verifica una denitrificazione, nel punto in cui la somma dei composti NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + NO<sub>3</sub>N + NO<sub>2</sub> è meno elevata (36,5 mg N / litro) rispetto alla concentrazione di NH<sub>4</sub><sup>+</sup> che viene introdotta nell'impianto (50,5 mg N / litro). La misurazione della concentrazione di NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dell'effluente probabilmente sottovaluta il carico reale di azoto dell'effluente. In effetti, le acque reflue contengono dell'urea (proveniente dall'urina), che può impiegare anche 20 ore per essere idrolizzata in NH<sub>3</sub> e non viene rilevata con il metodo analitico che permette di determinare gli NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Il carico reale di inquinamento azotato potrebbe quindi aggirarsi intorno ai 70 – 100 mg N / litro.

Questa prima esperienza di impianto misto è quindi stata un vero successo. Si è così dimostrato che l'utilizzo combinato di filtri orizzontali e filtri verticali permette di ridurre la DBO<sub>5</sub> a 20 mg / l, i solidi sospesi a 30 mg / l e ottenere una nitrificazione consistente.

## ▲ Bibliografia relativa all'impianto ibrido di Oaklands Park

Bryan D and Findlater B C, (1991), The modified Max Planck Institute Process- a review of the operation of a vertical flow Reed Bed Treatment System at Oaklands Park, WRc Report UC 1264, WRc Swindon, UK.

Burka U and Lawrence P C (1990), A new community approach to wastewater treatment with higher plants. pp 359-371 in P F Cooper and B C Findlater (Editors), Constructed Wetlands in Water Pollution Control, Pergamon Press, Oxford, UK.

Cooper P F, Job G D, Green M B and Shutes R B E (1996), Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. pp206 WRc Publications, Medmenham, Marlow, Buckinghamshire, UK.

Cooper P F (2001), Nitrification and denitrification in Hybrid Constructed Wetland systems. Chapter 12 in Transformations in Natural and Constructed Wetlands, Vymazal, J (Editor) to be published by Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands in February, 2001 from paper presented at workshop of the same name held at Trebon, Czech Republic.

Seidel K (1978), Gewässerreinigung durch höhere Pflanzen, Zeitschrift Garten und Landschaft, H1, pp9-17

## ➔ *Lagunaggio naturale: il caso dell'impianto di Vauciennes (Francia – dipartimento della Oise)*

### ▲ *Cenni generali*

Il lagunaggio naturale di Vauciennes è costituito da una serie di tre bacini. La successione dei bacini è la seguente:

- ➔ una laguna a microfiti;
- ➔ una laguna a macrofiti;
- ➔ una laguna mista.

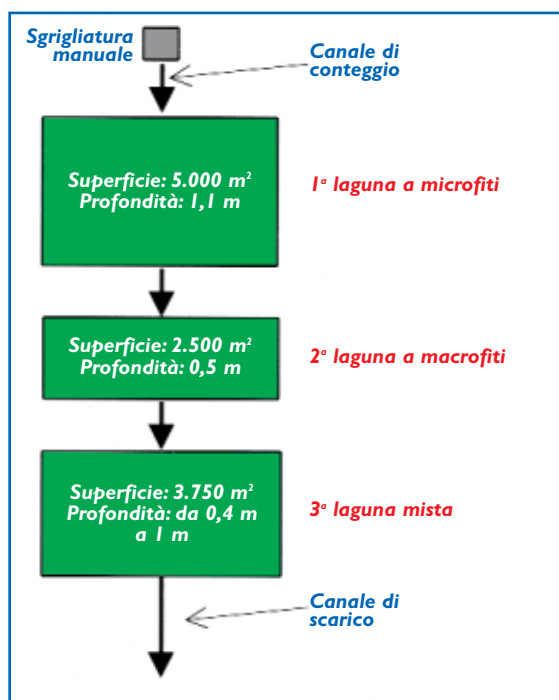
Le prestazioni di questo impianto sono state analizzate con molta precisione da ottobre 1981 a luglio 1991 tramite il SATESE della Oise ed il CEMAGREF, su richiesta dell'Agence de l'Eau Seine-Normandie (Schetrite S. – 1994).

### ▲ *Descrizione del progetto*

Il dimensionamento è caratterizzato dai seguenti parametri:

- ➔ portata nominale: 1000 AE;
- ➔ portate quotidiane: 150 m<sup>3</sup> / giorno;
- ➔ portata di punta: 24,5 m<sup>3</sup> / h;
- ➔ carico quotidiano: 54 kg DBO<sub>5</sub> / giorno.

La rete di raccolta delle acque reflue da un lato è pseudo-separativa (dotata di sfioratori di piena) e, dall'altro, è separativa.



**Figura n° 21: lagunaggio di Vauciennes**

### ▲ *Resa*

La resa, calcolata sui valori medi rilevati da 11 campagne di misurazione realizzate tra ottobre 1981 e luglio 1991, è la seguente:

**Tabella 22: Resa degli impianti**

	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	DCO (mg/l)	SS (mg/l)	Azoto Kjedhal (mg/l)	NH <sub>4</sub> (mg/l)	Fosforo totale (mg/l)
Concentrazioni medie delle acque reflue	175	546	302	55	38	20
Concentrazioni medie dell'effluente di uscita	- *	83,6	34,7	13,9	9	4,6

\* la DBO è stata misurata sui campioni di uscita dai tre bacini, fino alla 6<sup>a</sup> campagna di misurazione (aprile 85). A causa delle incertezze sul valore ottenuto (presenza di alghe, di erba laurina...), oltre tale data non è più stata misurata. E' proprio per evitare questo tipo di incidenti che la direttiva "acque reflue urbane" precisa che le analisi degli scarichi provenienti da questo tipo di impianti devono essere effettuate su campioni filtrati.



Dopo l'apertura dell'impianto, i rendimenti medi sulla DCO e i solidi sospesi aumentano progressivamente e si mantengono in una gamma di valori relativamente stabile fino oltre la 3<sup>a</sup> campagna di misurazioni, ossia tra il 60 e il 90% e dal 70 al 95% per i solidi sospesi. Le cattive prestazioni dei primi mesi sono dovute alla percentuale di carico particolarmente scarsa degli impianti (solo dal 15 al 20% alla 3<sup>a</sup> campagna).

I rendimenti sull'azoto globale (Azoto Kjeldhal + NH<sub>4</sub>), misurati nel periodo estivo, sono particolarmente stabili indipendentemente dal carico in ingresso (rendimento = 70%). Non si sono osservate degradazioni del trattamento nel corso dei 10 anni di monitoraggio.

In inverno, i rendimenti sull'azoto globale diminuiscono continuamente nel corso degli anni (dal 60 al 10%). Le concentrazioni in uscita dipendono dal carico ammesso dagli impianti. Tuttavia, nel gennaio 1990, il lagunaggio riceve ancora solo il 25% della sua portata nominale. In questa stagione, i rendimenti di eliminazione dell'azoto globale sono in media del 50 % per gli impianti generalmente sottoposti a dei carichi più consistenti. Si può quindi supporre che il trattamento del carico di azoto degradi progressivamente durante i mesi invernali.

I rendimenti di eliminazione del fosforo totale diminuiscono regolarmente a partire dalla prima campagna di misurazione. Sono passati dal 75 % nel 1981 al 30 % nel gennaio 1990, indipendentemente dalla stagione. Tuttavia, nel corso dell'ultima campagna di misurazioni, avvenuta nel luglio 1991, i rendimenti si sono rivelati eccezionalmente alti (81% nel luglio 1991 contro il 32% del gennaio 1990). L'ipotesi più credibile per spiegare questo aumento improvviso delle prestazioni è legata alla recente comparsa di una copertura di lenti d'acqua che, in fase di aumento, catturerebbe una grande quantità del fosforo presente nell'acqua.

Per quanto riguarda gli aspetti batteriologici, gli abbattimenti medi si collocano a livello di 4 unità log e non evidenziano significative tendenze al ribasso con la diminuzione dell'irraggiamento solare.

### ▲ *Bibliografia relativa al lagunaggio naturale di Vauciennes*

Collectif (1984), Synthèse du fonctionnement du lagunage naturel de Vauciennes (Oise), CEMAGREF, SATESE de l'Oise, Agence de l'Eau Seine Normandie, Paris.

Schetrite S. (1994), Etude synthétique du fonctionnement du lagunage naturel de Vauciennes (Oise) : Octobre 81 à juillet 91, CEMAGREF, SATESE de l'Oise, Agence de l'Eau Seine-Normandie, Paris.

## → Lagunaggio aerato: il caso dell'impianto di Adinkerke (Belgio)

### ▲ Cenni generali

Adinkerke si trova in Belgio, nella regione delle Fiandre. L'impianto di questo agglomerato urbano è una laguna aerata. L'areazione si effettua per insufflazione d'aria. Se i principi biologici in causa restano invariati, la progettazione di questo tipo di impianto è sensibilmente diversa rispetto a quella presentata nelle schede tecniche che fanno uso di aeratori. Da un punto di vista energetico, la differenza principale rispetto ad altri impianti di lagunaggio aerato è la scarsa capacità installata. Per questa ragione non presentiamo dettagliatamente il dimensionamento di questo impianto la cui tecnica non rappresenta la maggior parte degli impianti attualmente in funzione.

### ▲ Descrizione del progetto

L'impianto è costituito da una serie di tre bacini: i primi due sono aerati, il 3° è il bacino di finissaggio (laguna di decantazione). Lo schema di seguito riportato presenta i diversi bacini e le loro attrezzature.

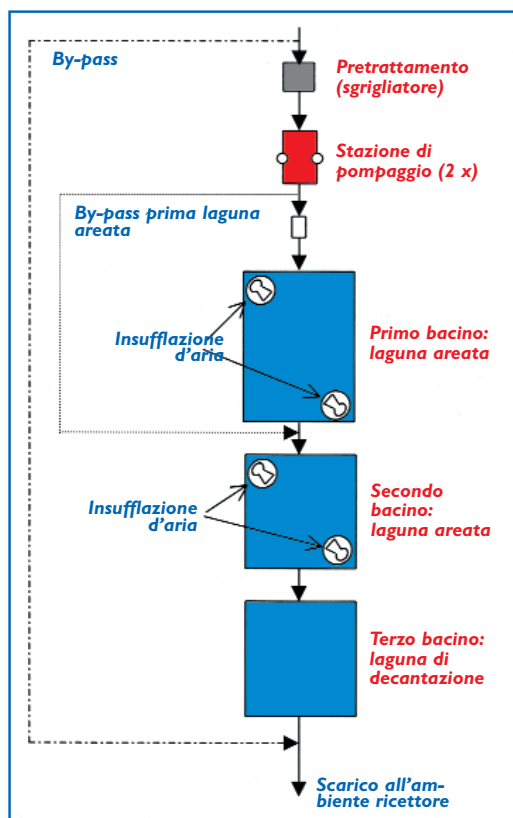


Figura n° 22: il lagunaggio aerato di Adinkerke

#### Caratteristiche delle attrezzature

Tabella 23: caratteristiche delle attrezzature

	Numero	Tipo	Dimensioni
Pompe per acque reflue	2	Pompe sommerse	Portata: 2 x 40 m <sup>3</sup> /h Portata: P1+ P2 60 m <sup>3</sup> /h
Bacini di lagunaggio	2	Lagunaggio aerato	Volume totale: 4000 m <sup>3</sup> Tempo permanenza: 100 ore Superficie totale: 1.812 m <sup>2</sup>
Dispositivo di areazione	4	Insufflazione (aeroconvettore)	/
Stagno di chiarificazione	1	Rettangolare	Superficie: 490 m <sup>2</sup> Volume: 490 m <sup>3</sup> Profondità: 1 m

## Progettazione

Il dimensionamento delle opere è caratterizzato dai seguenti parametri:

- carico di DBO<sub>5</sub> = 37 kg DBO<sub>5</sub> / giorno;
- portata idraulica = 300 m<sup>3</sup>/ giorno;
- portata massima = 1.400 m<sup>3</sup>/ giorno;

### ▲ *Resa*

La resa, calcolata su valori medi rilevati da 18 misurazioni effettuate nel 1999, è la seguente:

**Tabella 24: Resa degli impianti**

	DBO <sub>5</sub>	DCO	Solidi sospesi	Azoto totale	Fosforo totale
Acque reflue che entrano nell'impianto: valore medio nel 1999 in mg / l	245,7	744,9	409,5	76,5	11,1
Scarico dell'impianto nell'ambiente: valore medio nel 1999 in mg / l	12,6	76,7	22,3	50,2	1,5
Rendimento dell'impianto (en %)	94,9	89,7	94,6	34,4	86,5

Dai risultati, possiamo constatare che questo impianto di trattamento che utilizza l'insufflazione d'aria consente di soddisfare ampiamente le prescrizioni della direttiva "acque reflue urbane".

### ▲ *Bibliografia relativa all'lagunaggio aerato di Adinkerke*

Dati trasmessi dalla società AQUAFIN (Organismo della regione fiamminga che progetta, finanzia, realizza e gestisce l'infrastruttura sovracomunale per il trattamento delle acque reflue urbane).

## GLOSSARIO

<i>Abitante equivalente (AE)</i>	carico organico biodegradabile avente una richiesta biochimica di ossigeno a cinque giorni ( $DBO_5$ ) pari a 60 grammi di ossigeno al giorno.
<i>Acque reflue domestiche</i>	acque reflue provenienti dagli stabilimenti e dai servizi residenziali e derivanti prevalentemente dal metabolismo umano e dalle attività domestiche.
<i>Acque reflue industriali</i>	tutte le acque provenienti da locali utilizzati a fini commerciali o industriali che non siano acque reflue domestiche e acque di dilavamento.
<i>Acque reflue urbane</i>	acque reflue domestiche o il miscuglio di acque reflue domestiche con acque reflue industriali e/o acque di dilavamento.
<i>Agglomerato urbano</i>	zona in cui la popolazione e/o le attività economiche sono sufficientemente concentrate così da rendere possibile la raccolta e il convogliamento delle acque reflue urbane verso un impianto di depurazione od un punto di scarico finale.
<i>Azoto Globale (NTK)</i>	Somma dell'azoto organico e dell'azoto ammoniacale.
<i>Carico idraulico</i>	peso $h$ di una colonna d'acqua di altezza $H$ al di sopra di un livello di riferimento, espressa in metri di altezza d'acqua.
<i>Coefficiente di Uniformità (CU)</i>	$CU = d_{60} / d_{10}$ Con: $d_{10}$ = diametro sulla curva "cumulativa" da cui risulta che il 10% della sabbia è più fine; $d_{60}$ = diametro sulla curva "cumulativa" da cui risulta che il 60% della sabbia è più fine.  Il CU è quindi un indice di uniformità o, al contrario, di irregolarità nella distribuzione delle dimensioni delle particelle. Se il $CU < 2$ , la granulometria è detta uniforme; se il $2 < CU < 5$ la sabbia è eterogenea ma la granulometria è detta fitta perché appartiene ancora alla famiglia delle sabbie.
<i><math>DBO_5</math></i>	La domanda biochimica di ossigeno costituisce un indice di misurazione dell'inquinamento da materiali organici. Si esprime in milligrammi di ossigeno al giorno e per abitante. Corrisponde alla quantità di ossigeno necessaria per ossidare gli scarichi di effluenti inquinati effettuati in media per ogni abitante in un corso d'acqua o per un determinato agglomerato urbano. Questa misurazione è effettuata sulla base di test normalizzati dopo cinque giorni di ossidazione dei materiali organici, da cui il termine di $DBO_5$ .
<i>DCO</i>	La Domanda Chimica di Ossigeno o DCO rappresenta la quantità di ossigeno espressa in milligrammi consumata dalle materie chimicamente ossidabili contenute in un effluente. Secondo la metodologia standard, si tratta dell'ossidazione delle materie ossidabili contenute nell'effluente, dovuta ad un eccesso di dicromato di potassio ( $K_2Cr_2O_7$ ) in ambiente acido e ad ebollizione. La DCO rappresenta un utilissimo parametro indicatore della presenza di agenti inquinanti nei residui e mostra un quadro preciso della maggior parte dei composti organici e dei sali minerali ossidabili (zolfo, cloruri, O). Le acque reflue industriali possono raggiungere valori di domanda chimica di Ossigeno pari a diversi grammi per litro..
<i>Denitrificazione</i>	conversione dei nitrati in nitriti, poi in $N_2O$ o in azoto. La denitrificazione delle acque reflue urbane avviene sostanzialmente a livello del trattamento finale, dove si effettua in parte o totalmente tramite una depurazione microbiologica.
<i>Eutrofizzazione</i>	arricchimento dell'acqua di nutrienti, in particolare composti dell'azoto e/o del fosforo che provoca una proliferazione delle alghe e di forme superiori di vita vegetale, producendo un'indesiderata alterazione dell'equilibrio degli organismi presenti nell'acqua ed una degradazione della qualità dell'acqua in questione.
<i>Fanghi</i>	fanghi residui, trattati o non trattati, provenienti da impianti di depurazione delle acque reflue urbane;
<i>M.O.</i>	(materie ossidabili) = $(DCO + 2 \times DBO_5) / 3$ .
<i>NTK</i>	(Azoto Totale Kjeldhal) = N organico + $NH_4^+$
<i>N Globale</i>	= $NTK + NO_2^- + NO_3^-$
<i>P Totale</i>	= Ortofosfati $PO_4^{3-}$



## Permeabilità

capacità del terreno o di un substrato roccioso di lasciare l'acqua infiltrarsi negli strati più profondi

## Sistema di raccolta

impianto di canalizzazione che raccoglie e convoglia le acque reflue urbane

## Solidi sospesi

insieme delle particelle minerali e (o) organiche presenti in un'acqua naturale od inquinata.

## Trattamento appropriato

trattamento delle acque reflue urbane mediante qualunque processo e/o impianto di smaltimento che dopo lo scarico garantisca la conformità dei corpi idrici recettori ai relativi obiettivi di qualità e sia conforme alle relative disposizioni della presente direttiva e di altre direttive comunitarie.

## Trattamento primario

trattamento delle acque reflue urbane mediante un processo fisico e/o chimico che comporti la sedimentazione dei solidi sospesi oppure mediante altri processi nei quali la DBO<sub>5</sub> delle acque reflue in arrivo sia ridotta del 20% prima dello scarico e tutto il materiale solido in sospensione delle acque reflue in arrivo sia ridotto almeno del 50%.

## Trattamento secondario

trattamento delle acque reflue urbane mediante un processo che in genere comporta un trattamento biologico con decantazione secondaria oppure mediante un altro processo in cui vengano rispettate le condizioni di cui alla tabella 1, allegato I della direttiva 21 maggio 1991 (cfr. tabella di seguito riportata).

**Tabella 25: Prescrizioni relative agli scarichi provenienti dagli impianti di depurazione delle acque reflue urbane e assoggettate alle disposizioni degli articoli 4 e 5 della direttiva "acque reflue urbane". Si può applicare il valore della concentrazione o la percentuale di riduzione.**

Parametri	Concentrazione	Percentuale minima di riduzione (1)	Metodo di misurazione di riferimento
Domanda biochimica di ossigeno (DBO <sub>5</sub> a 20 °C) senza nitrificazione (2)	25 mg/l O <sub>2</sub>	70-90 40 a norma dell'articolo 4 paragrafo 2	Campione omogeneizzato non filtrato, non decantato. Determinazione dell'ossigeno disciolto prima e dopo un'incubazione di 5 giorni a 20°C ± 1°C, nell'oscurità completa. Aggiunta di un inibitore di nitrificazione.
Domanda chimica di ossigeno (DCO)	125 mg/l O <sub>2</sub>	75	Campione omogeneizzato non filtrato, non decantato. Bicromato di potassio
Materiale solido totale sospeso	35 mg/l (3) 35 a norma dell'articolo 4 paragrafo 2 (più di 10 000 AE) 60 a norma dell'articolo 4 paragrafo 2 (da 2 000 a 10 000 AE)	90 (3) 90 a norma dell'articolo 4 paragrafo 2 (oltre 10 000 AE) 70 a norma dell'articolo 4 paragrafo 2 (da 2 000 a 10 000 AE)	- Filtrazione di un campione rappresentativo su una membrana da 0,45 µm, asciugatura a 105°C e pesatura. - Centrifugazione di un campione rappresentativo (per almeno 5 minuti, con accelerazione media da 2.800 a 3.200 g), asciugatura a 105°C, pesatura.

(1) Riduzione rispetto ai valori in entrata.

(2) Questo parametro può essere sostituito da un altro: carbonio organico totale (COT) o domanda totale di ossigeno (DTO), se è possibile stabilire una relazione tra la DBO<sub>5</sub> ed il parametro di sostituzione.

(3) Questo dato è facoltativo.

Le analisi relative agli scarichi provenienti dal lagunaggio devono essere effettuate su dei campioni filtrati; tuttavia, la concentrazione di tutti i solidi sospesi nei campioni d'acqua non filtrata non deve superare i 150 mg/l.

## Trattamento finale

l'espressione "trattamento finale" può indicare diversi tipi di trattamenti o diverse funzioni aventi come obiettivo il raggiungimento di un livello di trattamento di qualità superiore rispetto a quanto ci si potrebbe normalmente aspettare da un trattamento secondario. Il trattamento finale può mirare ad una depurazione più approfondita per ottenere parametri convenzionali migliori (ad esempio in merito ai solidi sospesi), o per tendere al raggiungimento di certi obiettivi, come l'abbattimento del fosforo, per i quali vi è una scarsa resa durante il trattamento secondario.

# BIBLIOGRAFIA

- Agence de l'Eau Seine-Normandie (1999), Guides des procédés épuratoires intensifs proposés aux petites collectivités, Nanterre.
- Agences de bassins (1979), Lagunage naturel et lagunage aéré : procédés d'épuration des petites collectivités, CTGREF d'Aix en Provence.
- Agences de l'eau (1996), Conception des stations d'épuration : les 50 recommandations, Etude Inter Agences n° 45, 1996, 56 p.
- Alexandre O., Grand d'Esnon (1998), Le coût des services d'assainissement ruraux. Evaluation des coûts d'investissement et d'exploitation, in TSM n°7/8 - juillet-août 1998 - 93<sup>e</sup>année
- Almasi A., Pescod M. B. (1996), Wastewater treatment mechanisms in anoxic stabilisation ponds, Water Sciences and Technologies, 125-132.
- Armstrong (1979), aeration in higher plants, Adv. in Bot. Res. 4, 332-445.
- Berland J.M., (1994) Une évaluation du système d'assainissement des anciens Länder allemands, ENPC-LATTS, rapport réalisé à la demande de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Noisy-le-Grand
- Boon A.G. (1985), Report of a visit by members and staff of WRc to Germany to investigate the root zone method for treatment of wastewaters. WRc Report 376-S/1, Stevenage, UK.
- Boon G. (1986), Report of a visit by a boon to Canada and the USA to investigate the use of wetlands for the treatment of wastewater; Water Research Processes , 55.
- Boutin C., Duchène P., Liénard A. (1997), Filières adaptées aux petites collectivités, Document technique FNDAE n°22.
- Brissaud F. (1993), Epuration des eaux usées urbaines par infiltration percolation : état de l'art et études de cas, Etude Inter Agences n°9, Agences de l'Eau, Ministère de l'Environnement.
- Brix, H. (1987), Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants - the roots-zone method, Wat. Sci. Tech. 19, 107-118
- Brix H. (1998), Denmark experiences in Vymazal, J. et al, Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe. Backhuys Publisher, Leiden.
- Cluzel F. (1993), diagnostic comparé de système d'assainissement autonomes. Application aux systèmes semi-collectifs, DDASS de Loire-Atlantique, Ecole Nationale de la santé publique, Rennes.
- Cooper A. B., Findlater B.C. (1990), Constructed wetlands in water pollution control. Adv. Water Pollution Control n° 11. (Pergamon Press), Oxford. England.
- Cooper P. (1996), Reed beds & Constructed Wetlands for wastewater treatment. S.T.W.WRC, Ed.
- Cooper P., Griffin P. (1999), A review of the design and performance of vertical-flow and hybrid reed bed treatment systems; Wat. Sci. Tech. 40, 1-9.
- Crites R., Tchobanoglous G. 1998. Small and decentralized wastewater management systems. McGraw-Hill Series in Water Ressources and Environmental Engineering, pp.1084.
- Drizo A. (1997), Phosphate and ammonium removal by constructed wetlands with horizontal subsurface flow, using shale as a substrate. ; Wat. Sci. Tech. 35, 95-102.
- Duchemin J. (1994), Effluents domestiques et phosphore : le rendement des filière d'assainissement autonome, in Phosphore des villes... Phosphore des champs - journée d'échanges techniques du 13 décembre 1994, Ministère des Affaires Sociales de la Santé et de la Ville, DDASS d'Ille-et-Vilaine, DDASS de Loire-Atlantique, France, Derval.
- EC Life project (1997), Guidelines for constructing reedbeds for environmental improvement applications. Experience from the Somerset Levels and Moors, UK and the Parc des Marais du Cotentin et du Bessin, France. Life Project 92-1/UK/026.
- EPA (1988), Design Manuel. Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment, EPA/625/1-88/022.
- European Investment Bank (1998), Design Manual for Waste Stabilisation Ponds in Mediterranean Countries, Mediterranean Environmental Technical Assistance Programme.

- Jensen, P.D. et al (1994), Cold Climate constructed wetlands, 4th International Conference on Wetlands systems for water pollution control, Guangzhou, China.
- Johansson L. (1999), Industrial by-products and natural substrata as phosphorus sorbents; Env.Tech. 20, 309-316.
- Kadlec, R.H. Knight R.L., Vymazal J., Brix H., Cooper P., Haberl R. (2000) Constructed Wetlands for Pollution Control. Processes, Performance, Design and Operation. IWA Publishing, Scientific and Technical Report N°8.
- Lassus C et al (1998), Objectif Epuration - Le lagunage naturel : conception et réalisation - Les règles de l'art, Agence de l'Eau Seine-Normandie, CEMAGREF, UTC.
- Marsteiner (1996), The influence of macrophytes on subsurface flow wetland hydraulics, 5<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Vienna.
- Racault Y. et al. (1997), Le lagunage naturel : les leçons tirées de 15 ans de pratique en France, CEMAGREF, SATE-SE, ENSP, Agences de l'Eau.
- Radoux M., Cadelli D., Nemcova M., Ennabili A., Ezzahri J., Ater M. (2000), Optimisation of natural wastewater treatment technologies in the MHEA( experimental centre in M'Diq, Mediterranean coast of Morocco. 7<sup>th</sup> International Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control, Florida, USA.
- Strecker, E.W., Kersnar J.M., Driscoll, E.D., Horner R.R. (1992), The use of wetlands for controlling stormwater pollution, EPA/600 Washington D.C., The Terrene Institute.
- Vymazal, J. et al (1998), Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe, Backhuys Publisher, Leiden.
- Wallace, S. Parkin, G. Cross C. (2000), Cold climate wetlands : Design & Performance. 7<sup>th</sup> International Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control, Florida, USA.
- Wetzel, R.G. (1993), Constructed Wetlands : Scientific Foundations are Critical, G.A., Constructed Wetlands for Water Quality Improvement, Lewis Publishers.
- Zhu, T. Jensen, P.D. et al (1996), Phosphorus sorption and chemical characteristics of lightweight aggregates (LWA) - potential filter media in treatment wetlands, 5<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Vienna.

Commissione europea

**Processi estensivi di depurazione delle acque reflue, specifici per piccoli e medi insediamenti**

Ufficio delle pubblicazioni ufficiali delle comunità europee

2001 — 40 pp. — 21 x 29.7 cm

© Ufficio Internazionale delle Acque, 2001.

ISBN 92-894-1690-4

La Direzione Generale dell'Ambiente della Commissione desidera sostenere la diffusione dei processi estensivi di depurazione tramite iniziative di consulenza e scambio di informazioni tecniche. Questa guida, nonché lo sviluppo di contributi quali i fondi strutturali ed i fondi di coesione, ne sono un chiaro esempio.

La presente guida, elaborata nell'ambito di una collaborazione con la Francia (Direzione delle acque del Ministero dell'Ecologia e dello Sviluppo Sostenibile ed Ente per le acque), menziona solamente le tecniche intensive e si focalizza, prima di tutto, sulle tecniche estensive di trattamento delle acque residue urbane. Queste ultime sono, per definizione, applicate a superfici più estese rispetto ai processi intensivi tradizionali sviluppati per i grandi agglomerati urbani. Tuttavia, i costi di investimento nel caso dei processi estensivi sono generalmente inferiori e la loro applicazione meno dispendiosa, più flessibile e a più basso consumo energetico: questo tipo di tecniche necessita di una manodopera meno numerosa e meno specializzata rispetto a quella impiegata per le tecniche intensive.

In Europa le tecniche estensive sono applicabili nei casi di un insediamento che non superi qualche migliaio di abitanti equivalenti. Per una giusta interpretazione del contenuto di questa guida, si ricorda che le tecniche che vi verranno descritte potranno essere impiegate soltanto eccezionalmente per agglomerati con più di 5.000 AE.

Dopo un riepilogo degli obiettivi da soddisfare nell'ambito dei piccoli e medi insediamenti e dopo una rapida presentazione dei vari tipi di impianti cosiddetti intensivi, vengono descritte più dettagliatamente le seguenti tecniche:

- infiltrazione percolamento;
- filtri con piante a deflusso verticale;
- filtri con piante a deflusso orizzontale;
- lagunaggio naturale;
- lagunaggio aerato;
- associazione di diversi impianti estensivi.

Per fornire un supporto nella scelta di un impianto di trattamento, si effettua un confronto tra le diverse tecniche sulla base dei seguenti criteri:

- qualità degli scarichi;
- vantaggi e svantaggi;
- spazio disponibile;
- permeabilità del terreno;
- adattabilità degli impianti alle condizioni climatiche;
- costi.



Commissione Europea

<http://europa.eu.int>



Direction de l'Eau

<http://www.environnement.gouv.fr>



Agences de l'Eau

<http://www.eaufrance.tm.fr>



Ufficio Internazionale dell'acqua

<http://www.oieau.org>



<http://www.cemagref.fr>



Ufficio delle Pubblicazioni Ufficiali  
delle Comunità Europee, 2001.

L-2985 Lussemburgo

ISBN 92-894-1690-4



9 789289 416900 >