

AUTORI

Cap. 1 *Susanna Ferrari*

Cap. 2 *Roberto Spaggiari*

Cap. 3 *Gilberto Garuti*

Cap. 4,5,6,7 *Floriana Romagnolli*

Il presente lavoro è stato redatto e coordinato da:
Floriana Romagnolli

La responsabilità scientifica di quanto affermato nei testi è dei singoli Autori.

Riproduzione autorizzata citando la fonte.

Per informazioni rivolgersi a :

Comune di Reggio Emilia Assessorato Ambiente e Città Sostenibile

Via Emilia S. Pietro, 12 - 42100 Reggio Emilia

CentroEducazioneAmbientale-Infoambiente

Tel.0522/456566 E-mail: cea@municipio.re.it

Il testo completo e informazioni addizionali sono disponibili nei siti internet:

<http://www.municipio.re.it/ambiente/infoambsito.nsf/HOME?OpenForm>

nella sezione dedicata all'educazione ambientale

STAMPA

Tipografia S. Martino - S. Martino in Rio (RE) - aprile 2002

Stampato su carta ecologica

Pubblicato con il contributo di AGAC.

Si ringraziano:

Fabio Masi per la supervisione scientifica; Silvano Bruni, Paolo Mantovi, Mauro Pergetti e Salsi Annamaria per aver fornito il materiale per i casi studio di S. Giovanni in Persicelo, Faieto di Casina (RE) , Lugo di Baiso e Tabiano (Viano); Marco Caccianiga per la consulenza botanica; Massimo Domenichini per la revisione generale dei testi; Associazione MAG 6 Reggio Emilia per il supporto tecnico.

In copertina:

fasi di realizzazione di un impianto a flusso sommerso verticale (foto F. Romagnolli)

INDICE

Presentazione	pag. 7
Introduzione	pag. 9
1. ANALISI DELLE AREE DI TRASFORMAZIONE DEL PRG '99	pag. 10
2. LA QUALITA' DEI CORPI IDRICI	pag. 18
3. ACQUE METEORICHE E INQUINAMENTO DIFFUSO	pag. 20
4. RISPARMIO IDRICO DOMESTICO	pag. 36
5. DEPURAZIONE NATURALE	pag. 38
6. FITODEPURAZIONE	
6.1 Introduzione	pag. 41
6.2 Aspetti normativi	pag. 42
6.3 Tipologie impiantistiche	pag. 46
6.4 Stato dell'arte in Europa e in Italia	pag. 98
6.5 Vantaggi	pag. 52
6.6 Applicazioni	pag. 53
6.7 Meccanismi di rimozione degli inquinanti	pag. 55
6.8 Rendimenti di depurazione	pag. 61
6.9 Specie vegetali	pag. 63
6.10 Progettazione	pag. 72
6.10.1 guida alla progettazione	pag. 72
6.10.2 dimensionamento	pag. 80
6.11 Gestione, manutenzione e benefici ambientali	pag. 89
6.12 Aspetti sanitari	pag. 90
6.13 Costi	pag. 91
6.14 Le domande più frequenti sulla fitodepurazione	pag. 93
7. CASI STUDIO	
7.1 L'impianto a flusso sommerso orizzontale di Faieto di Casina (RE)	pag. 94
7.2 L'impianto a flusso sommerso verticale di Codemondo (RE)	pag. 97
7.3 Gli ecosistemi-filtro della Valtrebbia (PC)	pag. 98
7.4 Il sistema integrato di S. Giovanni in Persiceto (BO)	pag. 100
7.5 Gli impianti a flusso sommerso di Lugo di Baiso e di Tabiano (RE)	pag. 102
GLOSSARIO	pag. 107
BIBLIOGRAFIA	pag. 109

PRESENTAZIONE

Il grado di civiltà di una comunità si misura anche per la capacità di preservare il territorio e i beni naturali, quali risorse finite e preziose da consegnare intonse alle future generazioni. Il xx secolo si è caratterizzato per l'uso smodato delle risorse naturali e per la loro immorale contaminazione. Sono bastati pochi decenni per trasformare i nostri corsi di acqua e il principale fiume del paese in fogne a cielo aperto. Grande è stata l'opera culturale e di denuncia di quanti, coscienti, hanno alzato la loro voce chiedendo impegni e atti di governo concreti per risanare i guasti provocati da tanta incuria. Da queste sensibilità, anche in modo non sempre coerente, sono scaturite scelte politiche che nella nostra provincia hanno portato progressivamente al pressoché totale "condottamento" delle acque luride provenienti dagli agglomerati urbani e alla loro successiva depurazione. Per la verità ancora molto rimane da fare sia per affinare e completare la tecnologia depurativa, ma soprattutto per quanto riguarda la gestione delle reti scolanti. Quest'ultimo aspetto reclama per l'immediato, consistenti investimenti finalizzati all'adeguamento strutturale della rete. Soprattutto si dovrà perseguire con rigore la netta separazione funzionale delle reti, pena il collasso dell'impiantistica depurativa esistente. Accanto a politiche forti e coerenti in campo infrastrutturale, occorre sempre più affiancare scelte tecnologiche "dolci" applicabili su larga scala e in grado di garantire risultati nelle situazioni dove non sia proponibile il convogliamento alla rete scolante. Mi riferisco, in particolar modo, alla tecnica della fitodepurazione quale soluzione ottimale per le situazioni più delicate: presenza di case sparse o insediamenti ubicati in aree vulnerabili e particolarmente pregiate dal punto di vista paesaggistico e territoriale.

La tecnica della depurazione naturale, caratteristica comune a tanti ecosistemi, viene ripresa e sviluppata con rigorose tecnologie nella fitodepurazione che rappresenta, quindi, una scelta fondamentale per migliorare le performance depurative delle metodologie tradizionali. La fitodepurazione rappresenta, quindi, una soluzione in grado di garantire risultati efficaci anche nelle situazioni più difficili; una tecnica, in grado di dare risposte credibili al bisogno di depurazione così impellente soprattutto nelle aree del forese. Questo manuale vuole essere un importante strumento di lavoro per i tecnici e i progettisti che dovranno "pensare" e realizzare la "città nuova". Il testo riveste anche un importante segnale di cambiamento, nel segno della sostenibilità, che l'Amministrazione Comunale vuole consegnare all'intera città. I tempi sono maturi per puntare in modo sistematico e diffuso ad una migliore e più alta qualità del costruire; la fitodepurazione è un tassello fondamentale in questo panorama di forte innovazione.

Luciano Gobbi

Assessore all'Ambiente e al Verde

INTRODUZIONE

Questo manuale nasce dalla volontà dell'amministrazione pubblica di fornire uno strumento operativo/gestionale semplice e di immediata applicazione sia per le funzioni proprie dell'Amministrazione Comunale sia per gli organi di tutela del territorio (ARPA, AUSL, ecc.).

Il primo capitolo affronta, con un nuovo approccio metodologico, la concreta attuazione delle previsioni urbanistiche nel nuovo piano regolatore, con particolare riguardo alle aree di nuova trasformazione. Vengono prioritariamente evidenziate le problematiche legate ad una corretta gestione sia delle acque piovane che degli scarichi fognari. Il lavoro, che ha avuto carattere interdisciplinare, è frutto di una collaborazione tra l'Assessorato all'Ambiente e l'Assessorato all'Urbanistica ed ha prodotto specifiche carte tematiche di sintesi, utilizzabili in sede di avvio dei piani particolareggiati, per la scelta delle strategie urbanistiche più idonee.

Nei capitoli successivi oltre ad un *report* sullo stato dell'arte dei corpi idrici comunali vengono riportate le possibili soluzioni per la gestione delle acque meteoriche, per il contenimento dell'inquinamento diffuso e per incentivare il risparmio idrico domestico.

Un'intera sezione è dedicata alla fitodepurazione quale metodo naturale per la depurazione delle acque di scarico. L'argomento viene affrontato dal punto di vista normativo e applicativo; si entra poi nello specifico dei criteri di progettazione, gestione e manutenzione delle varie tipologie impiantistiche. Da ultimo viene riportato anche un raffronto tra i costi di realizzazione e gestione degli impianti di fitodepurazione e i sistemi tradizionali a fanghi attivi .

1. ANALISI DELLE AREE DI TRASFORMAZIONE DEL PRG '99

di Susanna Ferrari*

Introduzione

Il nuovo Piano Regolatore del Comune di Reggio Emilia approvato nel 2001 prevede 191 aree urbane interessate da interventi di trasformazione urbanistica ("Aree di Trasformazione"). Tale trasformazione è relativa sia al riuso e recupero di aree già edificate, sia alla previsione di nuovi insediamenti su aree libere e può prevedere una nuova destinazione finale dell'area o prevalentemente residenziale o produttiva.

Le Aree di Trasformazione che riguardano il recupero e riuso di insediamenti già esistenti sono situate prevalentemente all'interno dei tessuti urbani, ad eccezione delle trasformazioni relative ad insediamenti agricoli - produttivi dismessi, localizzate all'interno del territorio extra - urbano in ambiti prevalentemente agricoli. Le trasformazioni relative ai nuovi insediamenti, invece, sono collocate prevalentemente ai margini della città edificata, in adiacenza o prossimità dei tessuti già esistenti.

Il differente assetto urbanistico - territoriale in cui sono collocate le Aree di Trasformazione determina ovviamente anche "situazioni" molto differenziate dal punto di vista ecologico - ambientale ed, in particolare modo, relativamente alla possibilità di collegamento alla rete delle infrastrutture ecologiche .

La necessità, espressa in fase pianificatoria, di attuare una trasformazione del territorio "ambientalmente sostenibile", ha posto in evidenza il tema di prevedere un approccio progettuale particolarmente attento non solo ai problemi legati alla depurazione ed allo scarico delle acque, ma più in generale alla "gestione sostenibile del ciclo delle acque", prevedendo anche una riduzione dei consumi e tecniche di depurazione naturali a basso impatto ambientale.

Tale compito non può essere lasciato solo alla semplice progettazione edilizia (per esempio attraverso l'introduzione di norme e/o indirizzi specifici nei nuovi Regolamenti), ma richiede anche e soprattutto una "progettazione urbanistica", come livello intermedio tra il PRG e il progetto edilizio, che permetta di progettare in modo unitario porzioni consistenti di città, riuscendo a coordinare i singoli interventi di trasformazione sia dal punto di vista urbanistico che ambientale, valutando preliminarmente i "problemi" comuni alle aree e gli "impatti" cumulativi che l'attuazione determinerà sull'ambiente e sul territorio.

* Comune di Reggio Emilia - Assessorato Ambiente.
E-mail: susanna.ferrari@municipio.re.it

Gli obiettivi del progetto

Sulla base di tale indirizzo programmatico nel maggio 2001 si è costituito un gruppo di lavoro intersettoriale con il compito di analizzare, preliminarmente alla fase attuativa del Piano Regolatore, lo “stato di fatto” in cui si trova ciascuna Area di Trasformazione relativamente alle principali problematiche ecologico - ambientali del contesto “acque”, con particolare riferimento alla:

- possibilità di collegamento e all’accesso ai principali servizi tecnologici pubblici di smaltimento delle acque reflue (rete fognaria acque nere);
- possibilità di scarico delle acque bianche in un ricettore “idoneo” ad accoglierle, sia dal punto di vista ambientale che idraulico;
- vulnerabilità ecologico - ambientale del territorio (evidenziando eventuali “criticità/sensibilità” da governare in fase di attuazione).

Gli obiettivi generali (ed in parte anche strategici) di tale progetto possono essere, quindi, così sintetizzati:

1. fornire, per ciascuna area esaminata, indicazioni per la “progettazione urbanistica” e la progettazione edilizia della fase attuativa, finalizzate ad indirizzare verso obiettivi di “sostenibilità economico – ambientale” la trasformazione prevista, offrendo all’Amministrazione pubblica uno strumento di supporto interno che sia progettuale e gestionale insieme;
2. definire criteri generali di “sostenibilità” da valutare per la redazione dei Programmi Pluriennali di Attuazione (PPA);
3. individuare statisticamente le casistiche prevalenti a livello locale - che dovranno essere affrontate in fase di attuazione e stimare l’impatto globale delle trasformazioni al fine di orientare le politiche/azioni dell’Amministrazione;
4. evidenziare la “necessità” di alcuni interventi progettuali “generali” a scala territoriale sia per lo scarico delle acque nere che per le acque bianche, in risposta alle principali “criticità” rilevate;
5. indirizzare la redazione di norme e di regolamenti tecnici specifici per la “Gestione sostenibile del ciclo delle acque” realmente rispondenti alle casistiche ed alle problematiche più ricorrenti a livello locale.

E’ nell’ambito di attuazione di questo ultimo obiettivo che si inserisce la redazione del presente manuale che vuole fornire, quindi, uno strumento operativo/gestionale semplice e di immediata applicazione sia all’interno dell’ amministrazione così come per gli ordini professionali e gli organi di tutela del territorio (ARPA, AUSL, ecc.)

L'ambito di analisi

Gli ambiti territoriali esaminati dal progetto riguardano essenzialmente le 191 "Aree di Trasformazione" previste dalla Variante Generale del Piano Regolatore del Comune di Reggio Emilia - PRG 1999 . In fase di analisi si è ritenuto opportuno estendere l'analisi anche alle aree destinate a "Servizi per la mobilità ed attrezzature", aventi funzioni strategiche per l'accessibilità delle persone e delle merci alla città, e soggette a Piani urbanistici attuativi.

Come riportato nelle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del PRG '99, per "Aree di Trasformazione" si intendono specifici ambiti urbani interessati da interventi di trasformazione urbanistica (da attuare prevalentemente attraverso i Piani Urbanistici Attuativi PUA), in cui si prevede un'area di cessione pubblica (Vp) e l'applicazione del principio di perequazione urbanistica.

Il PRG prevede quattro tipologie di Aree di Trasformazione a destinazione prevalentemente residenziale, nonché tre tipologie di Aree a destinazione prevalentemente produttiva.

Le Aree di Trasformazione sono di norma ripartite in tre zone funzionali (tripartizione):

La "*Superficie edificabile(Se)*" comprende oltre alla superficie fondiaria, la viabilità al servizio degli insediamenti, il verde privato, i parcheggi P1 di pertinenza degli edifici , nonché parcheggi pubblici P2 ed altri eventuali standard.

Il "*Verde privato con valenza ecologica(Ve)*" è relativo alla zona destinata a verde privato , attrezzata a verde (prato, arbusti, alberi) all'interno delle Aree di Trasformazione, nonché alle infrassrtutture ivi consentite dalle presenti norme.

Il "*Verde pubblico di compensazione(Vp)*" corrisponde, invece, ad una zona da cedere interamente al Comune in cui possono essere comprese tutte le attrezzature relative agli standard urbanistici ed in particolare i servizi di quartiere (quali parchi naturali, giardini ed aree attrezzate per il gioco dei ragazzi e dei bambini e per il tempo libero degli adulti). In queste zone possono essere realizzate costruzioni funzionali alla fruizione del verde pubblico, quali chioschi, punti di ristoro, servizi igienici, attrezzature tecnologiche di servizio nonché le piste ciclo-pedonali.

La metodologia

Lo schema metodologico proposto dal gruppo di lavoro ha previsto vari *step* indicati nel diagramma di flusso di fig.1, articolati in due fasi principali: una prima fase analitica ed una seconda fase contenente proposte progettuali.

Queste ultime sono relative non solo agli interventi di progettazione delle singole aree ma soprattutto riguardano indicazioni/proposte a scala di "progettazione urbanistica" evidenziando sia la necessità di interventi progettuali coordinati tra le varie aree sia l'opportunità di realizzare nuovi collettori "principali" per lo scarico delle acque nere o bianche di rilevanza comunale.

Tutti gli elementi di analisi rilevati e le proposte progettuali emerse dal gruppo di lavoro sono state riportate, attraverso una opportuna codifica, in un database appositamente creato al fine di permettere la catalogazione delle informazioni ed "interrogazioni" dello stesso per l'analisi statistica dei dati.

Inoltre, gli elementi principali, sia relativi all'analisi che alle proposte progettuali, sono stati rappresentati simbolicamente in una cartografia informatizzata (a scala 1:10.000) di tutto il territorio comunale.

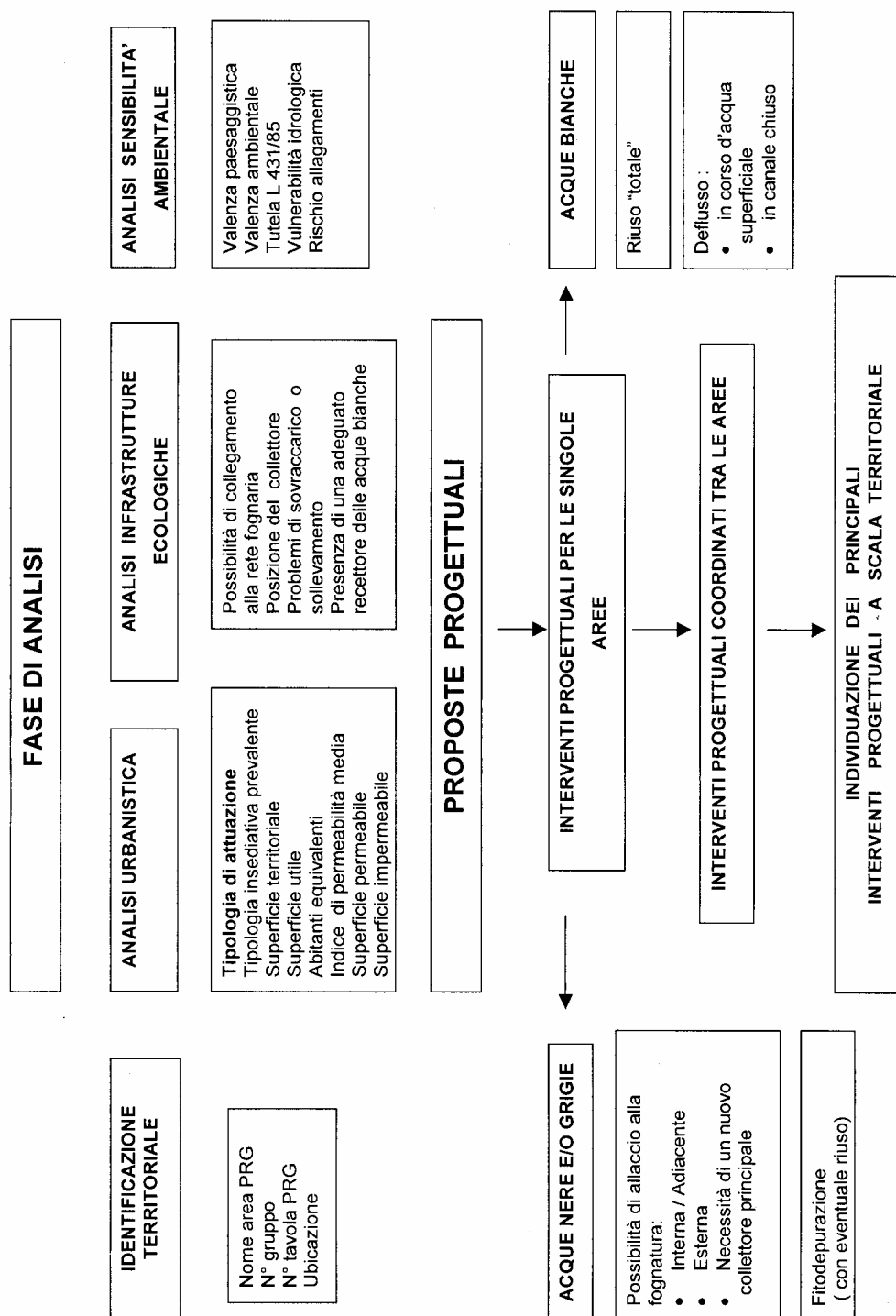


Fig. 1 - Diagramma di flusso: schema metodologico

La fase di analisi dello stato di fatto ha previsto l'individuazione, per ogni area esaminata, di una serie di elementi raggruppati in una matrice contenente le seguenti categorie:

1. *identificazione dell'area* (nome area; numero gruppo; tavola PRG; ubicazione topografica);
2. *analisi urbanistica* (tipo di attuazione previsto dal PRG '99; tipologia insediativa prevalente; superficie territoriale; superficie utile; indice di permeabilità media; superficie impermeabile massima prevista dalle NTA; superficie permeabile minima prevista dalle NTA);
3. *analisi delle infrastrutture ecologiche* (possibilità di collegamento alla rete fognaria per acque nere; posizione collettore fognario (interno, adiacente, esterno); problemi di sollevamento o collettore sovraccarico; presenza di adeguato recettore acque bianche e sua posizione (interno, adiacente, esterno);
4. *analisi delle sensibilità ambientali* (valenza paesaggistica; valenza ambientale; tutela L. 432/85; vulnerabilità idrogeologica ; rischio allagamento).

A seguito dei dati e delle considerazioni emerse dalla prima fase analitica, il Gruppo di lavoro ha formulato ipotesi progettuali relative a ciascuna area esaminata .

Tali proposte, riportate sia nel database che in cartografia, sono relative al recapito delle acque nere/grigie e al recapito e riutilizzo delle acque bianche.

Dall'analisi territoriale sono emerse, inoltre, in modo chiaro, alcune indicazioni/proposte a scala di "progettazione urbanistica" che evidenziano sia la necessità di progettare in modo coordinato gli interventi di trasformazione (in risposta per alcune criticità locali specifiche), sia la "necessità" di alcuni interventi progettuali "generali" (in risposta alle principali "criticità" rilevate a scala territoriale).

Le proposte progettuali indicate per ciascuna area sono le seguenti:

1. *acque nere / grigie* :
 - allaccio alla rete fognaria;
 - fitodepurazione (con eventuale riuso acque depurate per aree verdi)
2. *acque bianche* :
 - necessità di riuso totale (se non è presente un recettore adeguato);
 - deflusso (in acque superficiali o in un canale chiuso)
3. *interventi progettuali coordinati*:
 - nel caso sia necessario prevedere una "progettazione urbanistica" precedente alla fase attuativa dei singoli piani che permetta di coordinare le singole trasformazioni;
4. *progettazione nuovi collettori principali per acque bianche e nere.*

Risultati

Dall'elaborazione ed interrogazione del database è stato possibile estrarre alcuni dati di sintesi. Partendo dalla individuazione statistica delle casistiche e problematiche prevalenti a livello locale e dalla stima dell'impatto globale delle trasformazioni, si ricavano indicazioni per orientare le politiche/azioni dell'amministrazione indirizzando, anche, la redazione di norme e di regolamenti tecnici specifici per la "gestione sostenibile del ciclo delle acque", realmente rispondenti alla realtà del territorio.

Partendo dalle informazioni relative alla fase di analisi dello stato di fatto sono emersi come significativi i seguenti dati:

- 1) le aree analizzate sono state in totale 198 di cui la maggior parte riguarda interventi soggetti a PUA ancora da attuare.
- 2) la *trasformazione urbanistica relativa alle aree esaminate riguarda una superficie territoriale totale* (St) di 953 ha pari al 4% della superficie totale del territorio comunale.
- 3) su un totale di 198 aree analizzate un'alta percentuale - 83% - risultano servite da fognatura pubblica.
Tra queste, inoltre, il 78% risultano potersi allacciare direttamente ad un collettore interno o adiacente, mentre il 22% dovranno allacciarsi ad un collettore "esterno" passando attraverso altre proprietà. In tale ultimo caso occorre considerare che in alcune situazioni il collegamento dovrà necessariamente avvenire attraverso proprietà di altri soggetti.
- 4) per quanto riguarda, invece, i recettori di acque bianche si è riscontrato che nel 38% dei casi non possono essere considerati "adeguati". Inoltre, tra le aree dotate di un ricettore idoneo nel 37 % dei casi tale ricettore è esterno e, quindi, implica l'attraversamento di altre proprietà.

Relativamente, invece, alle proposte progettuali formulate a seguito dei dati emersi dalla fase di analisi si riportano i seguenti dati:

1. Per lo scarico delle acque nere, a fronte del 63% delle aree in cui non si prevedono problemi significativi di allaccio (essendo dotate di un collettore interno o adiacente), si segnala una significativa percentuale (18%) che dovrà prevedere un allaccio esterno. In merito alle aree non servite da rete fognaria, per la maggiore parte dei casi (considerata la posizione territoriale prevalente di frangia alla città edificata e la politica di estensione della rete fognaria per consentire l'allaccio anche agli interventi edilizi diretti) si è ritenuto opportuno suggerire la realizzazione di nuovi collettori per l'allaccio alla rete fognaria esistente dei nuovi insediamenti. Nel 2% dei casi si è indicata espressamente solo la necessità di impianti di fitodepurazione (con eventuale riuso delle acque). Comunque, la possibilità di realizzare interventi di fitodepurazione è stata indicata (anche in alternativa all'estensione della rete fognaria) nel 9% del totale delle aree esaminate.
2. Considerata la significativa percentuale di aree in cui si prevedono, in fase di attuazione dei singoli interventi, "problemi" di scarico delle acque bianche (o per mancanza di un ricettore idoneo o per necessità di attraversamento di aree esterne), si è suggerito in circa il 40% dei casi di "pensare", in fase di progettazione, ad una reale "gestione sostenibile del

ciclo delle acque” che preveda il riuso “più spinto possibile delle acque bianche” al fine di ridurre al massimo la loro immissione nella rete fognaria mista e, nel contempo, prelievi da falda tramite pozzi privati per irrigazione delle aree verdi.

3. Dall’analisi sono emerse, inoltre, in modo inequivocabile la necessità per circa il 40% delle aree esaminate di progettare in modo coordinato gli interventi di trasformazione tramite una progettazione a scala urbanistica.
4. In risposta alle principali criticità rilevate a scala territoriale, è stata suggerita, inoltre, (nella sola cartografia) la realizzazione di alcuni nuovi interventi “general” a scala territoriale, sia relativamente a nuovi collettori principali delle acque nere o miste, sia relativamente a collettori di raccolta delle sole acque bianche per il loro convogliamento diretto nel reticolo idrografico principale (al fine di contribuire anche al ripristino del deflusso minimo vitale).

Conclusioni

Alla luce dei risultati sopra esposti, emerge chiaramente la necessità di orientare le politiche ambientali e territoriali della comunità locale, nonché l’azione programmatica e gestionale dell’Amministrazione verso una “gestione integrata del ciclo delle acque” che preveda una difesa quali- quantitativa della risorsa in *toto* attraverso le seguenti azioni:

- Interventi che mirino a soluzioni di trattamento dei reflui compatibili con i corpi idrici ricettori in conformità con il D.lg. 152/99 e succ. modifiche.
- Interventi di estendimento ed adeguamento della rete fognaria a servizio delle nuove aree da urbanizzare tramite azioni di pianificazione urbanistica anche concertate con i soggetti privati, come d’altronde previsto dalla L.R. 4/2000.
- Diffusione di interventi appropriati, a basso impatto ambientale, di facile gestione e manutenzione finalizzati ad una depurazione locale e decentrata delle acque reflue (lagunaggio e fitodepurazione) relativamente sia ai singoli interventi edilizi di nuova edificazione o di ristrutturazione-recupero dei vecchi fabbricati agricoli in aree non servite dalla rete fognaria, sia nelle aree di trasformazione dove questa sia la situazione considerata più opportuna ambientalmente.
- Diffusione degli interventi di risparmio idrico ed energetico su piccola scala (installazione nelle nuove urbanizzazioni e ristrutturazioni di contatori individuali per la misura dei consumi idrici, sciacquoni intelligenti, aeratori rompigitto ecc.) e su grande scala (manutenzione della rete idrica per evitare perdite sul tracciato a monte dell’erogazione, reti duali di approvvigionamento idrico per acque potabili e non potabili, ecc..).
- Diffusione degli interventi mirati alla raccolta e al riutilizzo (per es. per l’irrigazione di aree verdi) delle acque piovane e delle acque depurate (dove possibile) con vasche di stoccaggio temporaneo dell’acqua piovana e/o depurata.
- Convogliamento degli scolmatori di piena a forte criticità, (individuati nella tavola Pr5 del PRG) nel sistema fognario collegato al sistema di depurazione.

Dato che il sistema di fognature nel territorio del Comune di Reggio Emilia è attualmente di tipo misto, la raccolta e lo smaltimento delle acque meteoriche costituisce un problema da affrontare con urgenza, in considerazione della attuale ampiezza del territorio urbano, della situazione già critica di alcuni tratti di rete (che vedono la frequente entrata in funzione degli

scolmatori di piena) e, in previsione, della prossima estensione del territorio urbanizzato e delle superfici edificate (comportanti un incremento dei coefficienti udometrici delle preesistenti aree agricole).

A tale proposito gli interventi/azioni dovrebbero orientarsi verso:

- la realizzazione nei nuovi interventi di reti separate di convogliamento delle acque bianche e delle acque nere;
- la predisposizione di specifiche misure tecniche finalizzate ad escludere, il più possibile, il recapito finale delle acque bianche entro la fognatura comunale anche attraverso la realizzazione di nuovi collettori a scala territoriale per acque bianche o al in riuso locale delle stesse ;
- la realizzazione di interventi edilizi volti a limitare l'impermeabilizzazione delle superfici edificate.

Il lavoro è stato svolto nell'ambito del progetto "Gestione sostenibile del ciclo delle acque: analisi aree di trasformazione PRG '99".

Gruppo di lavoro:

Susanna Ferrari - Comune di Reggio Emilia (coordinatrice)
Floriana Romagnoli - consulente esterno
Aldo Cavatorti - Comune di Reggio Emilia
Rossana Capiluppi - Comune di Reggio Emilia
Andrea Anceschi - Comune di Reggio Emilia

Collaborazioni:

Domenico Vizzari - Comune di Reggio Emilia
Mirko Lasagni - Comune di Reggio Emilia
AnnaMaria Salsi - AGAC

2. LA QUALITÀ DEI CORPI IDRICI

di Roberto Spaggiari*

Lo scenario nazionale ed europeo in materia di tutela delle acque si è negli ultimi anni evoluto, andando da una visione solo funzionale, alla osservazione del danno ambientale provocato dagli agenti inquinanti e dalle modificazioni strutturali dell'ambiente fluviale.

Si è passati perciò da un approccio tecnico amministrativo legato a valutazioni di "limiti" e di "conformità" ad una gestione sistemica che analizza la qualità ambientale mediante la pesatura delle pressioni, dello stato, del trend evolutivo e degli impatti.

Se quindi il territorio è lo spazio amministrativo dove avvengono le trasformazioni, l'ambiente diventa lo spazio necessario per l'espressione della funzionalità degli ecosistemi in cui si attuano i fenomeni di interazione tra le componenti abiotiche e quelle biotiche. Questa nuova filosofia richiede l'affermarsi di una mentalità, di competenze e di metodiche in grado di sostenere le nuove procedure di conoscenza, controllo, prevenzione e gestione dell'integrità ecologica e della capacità portante degli ecosistemi.

In tale ottica ecosistemica si inserisce perfettamente il decreto legislativo 11 maggio 1999 n°152, come corretto ed integrato dal D.Lgs. 258/00, che definisce la disciplina generale per la tutela delle acque, perseguendo gli obiettivi di prevenire e ridurre l'inquinamento, risanare e migliorare lo stato delle acque, proteggere le acque destinate ad usi particolari, garantire gli usi sostenibili delle risorse e mantenere la capacità naturale di autodepurazione dei corpi idrici, necessaria a sostenere comunità animali e vegetali ampie e ben diversificate.

Il raggiungimento di questi risultati è affidato ad una molteplicità di strumenti e tra questi, gli obiettivi di qualità ambientale e i piani di tutela.

La qualità ambientale deve raggiungere lo stato "sufficiente" entro il 2008 e quello di "buono" entro il 2016, mentre i piani di tutela, necessari per il raggiungimento degli obiettivi qualitativi e quantitativi fissati dal decreto e che si configurano come piani stralcio di settore relativamente al piano generale di bacino, devono essere elaborati e adottati dalle Regioni e Province autonome entro il 31 dicembre 2003.

La definizione del piano di tutela richiede la preventiva elaborazione e realizzazione di programmi mirati alla conoscenza dello stato qualitativo e quantitativo dei corpi idrici e all'acquisizione delle necessarie informazioni sulle caratteristiche fisiche, naturali e socio-economiche dei bacini per valutare le pressioni e gli impatti da essi subiti.

Nel contesto conoscitivo si inseriscono i programmi di monitoraggio delle acque superficiali attivati per la nostra provincia a partire dal 1979 e che interessano per il territorio comunale con frequenza mensile le sole acque del torrente Crostolo nelle sezioni di ingresso ed uscita dal comune stesso.

Tali monitoraggi interessano le analisi chimiche, microbiologiche e biologiche che interpolate tra loro permettono di esprimere giudizi sintetici della qualità ecologica.

* Responsabile Servizio Sistemi Ambientali ARPA Emilia – Romagna, sezione di Reggio Emilia.
E-mail: rspaggiari@re.arpa.emr.it

Negli ultimi anni la stima dello stato ecologico/ambientale nel tratto comunale del torrente Crostolo può essere ascritta, così come previsto dalla normativa, al livello di “sufficiente”. Questo livello non deve però essere inteso come obiettivo accettabile, ma solo una tappa verso il ripristino della integrità ambientale. Le cause vanno ricercate oltre che negli apporti di origine diffusa che gravitano nel bacino e nello stato funzionale degli alvei (traverse, casse d’espansione, cementificazione) soprattutto negli scarichi del depuratore di Puianello (Vezzano e Quattro Castella). Questi scarichi infatti, mescolati ad una scarsissima portata, non riescono nello scendere a valle ad essere autodepurati a sufficienza prima di congiungersi con le acque del Modolena che veicolano gli scarichi del depuratore di Roncocesi a servizio di parecchi agglomerati urbani (Ciano, S. Polo, Montecchio, S. Ilario, Cavriago, Bibbiano, Reggio Ovest) peggiorando ulteriormente la qualità delle acque del Crostolo oltre i confini comunali.

Diversa la situazione del reticolo minore che si trova in uno stato di sofferenza a causa delle scarsissime portate non potendo essere alimentato da copiose sorgenti e subendo l’impatto, nel periodo estivo, di numerosi prelievi volanti per usi irrigui.

Alcuni dei numerosi corsi d’acqua minori che si distendono a ventaglio da est ad ovest e che originano il torrente Rodano in destra idraulica e il torrente Modolena in sinistra sono stati oggetto negli anni di ripetuti monitoraggi biologici che utilizzano la comunità dei macroinvertebrati bentonici per esprimere giudizi di qualità.

Nonostante la scarsa portata le acque a monte degli agglomerati, che insistono sui citati corpi idrici minori, sono state classificate in un monitoraggio biologico del 1994 di “*buona qualità*” in quanto non si sono riscontrati evidenti alterazioni della comunità zoobentonica rispetto ad un ecotipo di riferimento per quel determinato ambiente, mentre subiscono via via un impatto sempre più marcato nel loro cammino verso valle fino a raggiungere condizioni di “*alterazione*” più o meno evidente fino alla “*degradazione*”. Tale giudizio di ambiente degradato può essere esteso anche a tutti i canali di scolo che drenano dal territorio sotteso gli scarichi diffusi.

Una più attenta gestione dei fossi e degli ambienti di pertinenza dei corsi d’acqua, insieme ad un migliore governo degli scarichi nell’ottica della sostenibilità, sono gli strumenti che la Pubblica Amministrazione deve mettere in campo per elevare lo stato di qualità dell’ecosistema idrico e fornire il contributo locale alla lotta contro l’eutrofizzazione dell’Adriatico.

3. ACQUE METEORICHE E INQUINAMENTO DIFFUSO

di Gilberto Garuti *

Negli ultimi anni il quadro normativo nazionale e regionale riguardante la gestione del ciclo dell'acqua si è rapidamente evoluto, assumendo via via i principi, già più volte sanciti a livello internazionale, dello sviluppo sostenibile, ovvero di quel particolare tipo di sviluppo economico i cui benefici devono essere equamente distribuiti e che è basato su un uso delle risorse che non pregiudichi le possibilità di beneficio da parte delle generazioni future. Se consideriamo l'acqua in quest'ottica, è evidente che essa non deve più essere vista esclusivamente come un bene da sfruttare, bensì come una risorsa da tutelare sia sotto l'aspetto quantitativo che qualitativo, sottraendone la minor quantità alla circolazione naturale, consumandone la minima parte e restituendola il più vicino possibile al punto di prelievo, con caratteristiche qualitative simili a quelle di partenza.

Al fine di applicare questi principi e di rendere consapevoli gli utenti che la risorsa idrica di elevata qualità non è inesauribile, la normativa si è evoluta cercando di sostituire alla prassi consolidata, secondo cui la disponibilità idrica rappresenta un diritto che deve essere soddisfatto comunque, e a spese della collettività, un nuovo principio di tutela, basato sul concetto che chiunque usa o inquina l'acqua deve anche sostenerne i costi relativi. Il nuovo D. Lgs. 152/99 si inserisce in questo contesto puntando, tra l'altro, a ridurre l'artificializzazione del ciclo dell'acqua, favorendo il riutilizzo di quest'ultima e sottolineando il ruolo dei processi naturali di abbattimento dell'inquinamento, soprattutto quello di origine puntiforme. L'inquinamento diffuso, invece, in molti casi è più complesso e difficile da gestire e produce carichi inquinanti superiori a quello puntiforme, ma non può essere gestito con gli stessi strumenti.

Inquinamento diffuso

Il termine inquinamento diffuso nasce nei primi anni '70 quando attraverso i primi modelli di calcolo della qualità delle acque e dei bilanci di massa emergeva che esistevano delle fonti di inquinamento diverse dalle sorgenti normalmente conosciute. Il problema è andato via via sempre più manifestandosi con l'adeguamento dei sistemi di trattamento delle acque e con la constatazione che ciò non comportava un sostanziale miglioramento dei corsi d'acqua e dei fiumi. Maggiori esigenze della qualità delle acque richiedono quindi un maggiore intervento sugli aspetti legati all'inquinamento diffuso, che d'altra parte è normalmente più complesso e difficile rispetto alla gestione dell'inquinamento da fonti ben circoscritte. Infatti, in pratica, invece di intervenire direttamente sulle emissioni di inquinanti diffusi è possibile intervenire direttamente soltanto sulle attività responsabili dell'inquinamento nell'ambito di bacino.

* ENEA, dipartimento Ambiente Settore Tecnologie e Ingegneria Ambientale Sezione Depurazione e ciclo dell'acqua.
E-mail: garuti@enea.it

Il controllo dell'inquinamento diffuso è legato intimamente al ciclo dell'acqua e alle sue modificazioni legate alla trasformazione dei terreni in seguito all'urbanizzazione "sviluppo" degli stessi .

In figura 2 si evidenzia come cambiano le percentuali di infiltrazione, scorrimento ed evaporazione in relazione alla percentuale di terreno urbanizzato. Luoghi ricoperti dalla vegetazione, quali alberi, prati o campi agricoli normalmente presentano delle ottime capacità di ricarica, bassi fenomeni di ruscellamento ed elevate traspirazioni a differenza delle aree urbanizzate che presentano al contrario superfici di cemento ed asfalto altamente impermeabilizzate.

Il controllo dell'inquinamento diffuso è legato intimamente al ciclo dell'acqua ed alle sue modificazioni legate alla trasformazione dei terreni in seguito all'urbanizzazione "sviluppo" degli stessi.

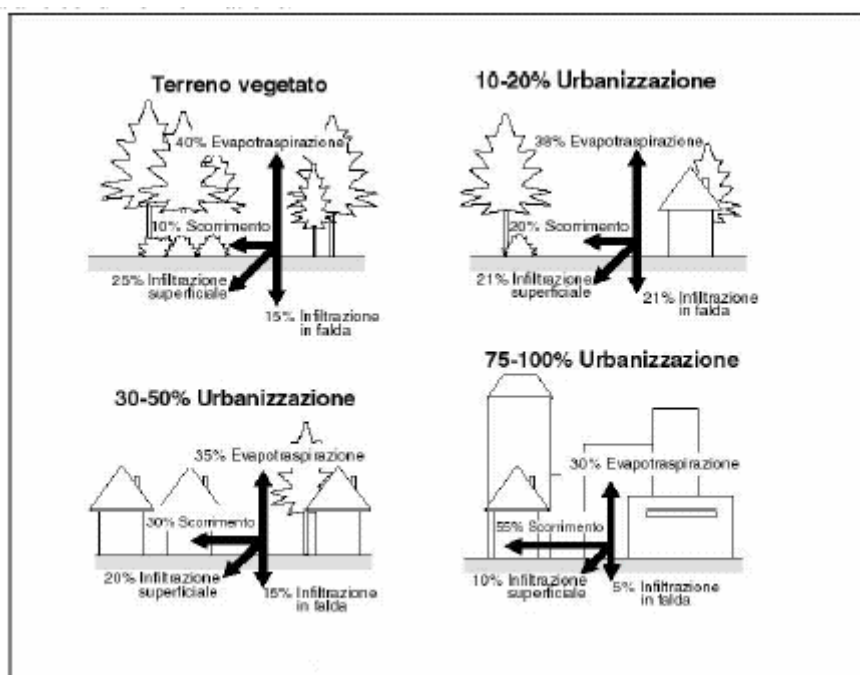


Fig. 2 - Il ciclo dell'acqua in un terreno vegetato e in un terreno in parte o totalmente urbanizzato.

Il ciclo dell'acqua

Il ciclo dell'acqua comincia con le precipitazioni di acque meteoriche o neve sul terreno; quindi le acque o la neve disciolta: infiltrano o percolano nel terreno, in un processo chiamato percolazione; vengono assorbite dalle piante e dalla vegetazione e ritornano all'atmosfera attraverso la traspirazione, oppure per evaporazione superficiale; oppure ruscellano sulla superficie del terreno. L'acqua che si infiltra nel terreno percola fino a raggiungere eventualmente una falda acquifera e quindi un corpo recettore quale un fiume un lago oppure il mare stesso. Questo processo chiamato ricarica della falda, aiuta a mantenere stabile la portata dei corsi d'acqua ed a preservare il livello delle falde che vengono poi attinte per i diversi usi (irrigazione, industriali o potabili). La capacità di ricarica di una falda è legata alle caratteristiche del luogo: pendenza, tipo di suolo, vegetazione o altre coperture come pure

ovviamente alle precipitazioni e ai ratei di evapotraspirazione legati a loro a volta alle condizioni climatiche. Luoghi ricoperti dalla vegetazione, quali foreste, prati o campi agricoli normalmente presentano delle ottime capacità di ricarica, bassi fenomeni di ruscellamento ed elevate traspirazioni a differenza delle aree urbanizzate che presentano elevate percentuali di cemento e asfalto.

Influenza della urbanizzazione sulle caratteristiche delle acque di pioggia

Quando un area agricola o incolta viene destinata a “sviluppo” urbano, si ha come effetto un drammatico sconvolgimento dal punto di vista idrogeologico. L’urbanizzazione modifica l’idrologia del bacino interessato aumentando il fenomeno del “*run off*” (scorrimento superficiale) e diminuendo i fenomeni di evapotraspirazione e infiltrazione superficiale e profonda. Le acque di pioggia che normalmente infiltravano nel terreno ora vengono incanalate nei canaletti delle strade, nei pozzetti delle aree asfaltate e raccolti dalle fognature miste o separate.

Il risultato di queste modificazioni è tipicamente l’aumento in volume e velocità delle acque di pioggia con tempi sempre più brevi di tale acque a livello di bacino. Conseguenza di tutto ciò è l’aumento delle portate dei fiumi che raccolgono gli scarichi di tali acque accompagnato da un aumento anche delle sostanze inquinanti trasportate dalle acque di scorrimento.

Le acque di pioggia sono da sempre considerate un problema, per cui si è cercato in tutte le maniere di provvedere ad una loro rapida e completa raccolta e rimozione dai centri abitati. Sfortunatamente questo approccio ha causato una serie di alterazioni al ciclo idrogeologico nelle aree interessate, che hanno comportato modificazioni negative ai corpi recettori come quantità (portate eccessive e concentrate) e come qualità (acque sempre più inquinate da inquinamento diffuso).

Tale approccio ha insinuato negli abitanti l’idea dell’acqua come nemica storica del benessere e della salute. La maggior parte della popolazione, infatti, non accetta di buon grado la presenza di un ristagno d’acqua in vicinanza della propria casa dopo una pioggia. Eppure esiste la possibilità di un approccio diverso alla gestione delle acque meteoriche, un approccio di tipo integrato che vede le strutture di contenimento e trattamento delle acque inserite nel contesto urbano in modo da valorizzarlo. Infatti dove tali sistemi sono stati realizzati questi sono presto diventati motivo di aggregazione e rivitalizzazione dell’area, mentre similmente nelle regioni più secche, con tali accorgimenti, le acque di pioggia da impiccio cui liberarsi al più presto, possono diventare una fonte potenziale di acqua di buona qualità.

Acque di pioggia e fognature miste

Recenti studi hanno inoltre dimostrato come le acque di pioggia raccolte in fognature miste sono tra le maggiori cause di degrado dei corsi d’acqua o bacini urbani. I solidi che si depositano nelle fogne miste nei periodi secchi sono causa di inquinamento qualora queste aumentano repentinamente le portate per gli eventi atmosferici e scarichino direttamente, attraverso gli sfioratori, nei corsi d’acqua. Soprattutto questo succede quando le pendenze

sono esigue e le velocità di scorrimento molto basse. L'accumulo di solidi sul fondo dei tubi inoltre riduce la portata effettiva e può creare dei problemi di corrosione e di cattivi odori.

Considerando che in una fogna mista si deposita dal 5 al 30% del carico inquinante, calcolando che una pioggia intensa di due ore può ripulire completamente la fogna, possiamo stimare che: dopo 4 giorni di periodo secco, in due ore di pioggia si scarichi l'equivalente di un giorno di carico inquinante sul corpo recettore piuttosto che all'impianto di depurazione.

Sistemi sostenibili per la gestione integrata delle acque di pioggia

Esistono diverse misure per contrastare e ridurre l'inquinamento derivante dalle acque di prima pioggia. Essenzialmente possiamo distinguere due tipi di approccio. Uno, di tipo preventivo, è costituito essenzialmente da sistemi di tipo non strutturato; mentre l'altro è costituito da sistemi di controllo di tipo strutturato, cioè installazioni, più o meno complesse, in grado di regimare i flussi e ridurre il carico inquinante delle acque drenanti.

Misure preventive

Per misure preventive possono intendersi quelle misure che sono atte a controllare l'eventuale fonte contaminante: sono perciò quelle tecniche gestionali atte a ridurre l'esposizione alla pioggia, limitando di conseguenza la quantità di inquinanti trasportabili dall'acqua. Tali pratiche implicano l'utilizzo di procedure di gestione innovative, l'educazione del personale tecnico e gestionale, o la riprogettazione di strutture al fine di ridurre il potenziale di inquinamento. Tali misure preventive presentano un elevato rapporto costi/benefici, in quanto normalmente non richiedono un impegno supplementare di superficie e di costi di costruzione e possono essere raggiunti con un modico sforzo.

Le pratiche seguenti possono essere interpretate come misure preventive:

- rimozione di detriti da aree impermeabilizzate
- programmi di educazione del personale impiegato in lavori di immagazzinamento
- riduzione dell'esposizione alle piogge di materiali stoccati in piazzali
- riduzione e conversione dei potenziali inquinanti chimici utilizzati in varie applicazioni industriali ed agricole
- pulizia delle strade e delle aree di parcheggio con macchine spazzatrici
- sistemi secondari per la deviazione e la raccolta provvisoria delle acque di pioggia.

Riduzione delle sorgenti di inquinamento

La riduzione delle fonti di inquinamento è la tipica pratica non strutturale per controllare il rilascio di inquinanti attraverso le acque di ruscellamento. La rimozione di questi inquinanti dal territorio urbano prima che avvengano le precipitazioni può effettivamente limitare la quantità di inquinanti contenuti nelle acque. La riduzione di tale fonti può essere realizzata utilizzando diversi processi quali: controllo nello spargimento di fertilizzanti, pesticidi o diserbanti; pulizia delle strade; raccolta degli sfalci; controllo degli scarichi abusivi di olii usati, detersivi, vernici nei collettori delle acque chiare; controllo dei possibili passaggi o infiltrazioni dalle fognature.

Misure di controllo

La scelta e l'applicabilità di queste misure di controllo della qualità dell'acqua è intimamente legata alle caratteristiche di qualità che si vogliono raggiungere ed alla natura e localizzazione del sito stesso. La pendenza, il tipo di terreno e la sua profondità uniti alla disponibilità prevista di acqua sono determinanti nella scelta del sistema da applicare.

Nel caso di fognature miste normalmente i reflui civili vengono raccolti, trasportati e trattati attraverso infrastrutture collettive. Queste possono essere costituite da fogne di tipo misto, dove il refluo viene raccolto assieme alle acque di pioggia nelle medesime condutture ed immesso in un depuratore previo passaggio in uno sfioratore di piena che controlla le portate scaricando in parte i liquami qualora le portate eccedano le capacità dell'impianto o delle condutture stesse.

Nel caso invece di fognature separate i reflui e le acque di pioggia vengono gestite separatamente. In questo caso le acque di pioggia vengono escluse dal trattamento pur essendo comunque veicolo di inquinamento diffuso.

Se si considera il sistema di trattamento delle acque costituito non solo dall'impianto vero e proprio ma anche dal sistema di collettamento e trasporto, si possono studiare delle eventuali soluzioni atte a migliorare le capacità depurative del sistema. A volte sorprendentemente semplici ed economiche soluzioni possono migliorare la capacità e la qualità del trattamento riducendo nel contempo i costi operativi.

Soluzioni migliorative applicabili alle fognature ed agli impianti

- Sistemi in grado di equalizzare i flussi
- Creazione di bacini di laminazione
- Trattamenti chimici aggiuntivi
- Controlli in tempo reale

Conversione di impianti dismessi in sistemi di accumulo e controllo delle portate

Sistemi strutturati per il trattamento delle acque di pioggia

I sistemi strutturati possono essere progettati adattandoli alla variabilità dei fini che si vogliono raggiungere e a seconda degli obiettivi che si vogliono perseguire. In aree urbanizzate preesistenti i sistemi strutturati possono essere realizzati per gestire i volumi e la qualità delle acque di pioggia; nel caso invece di nuove urbanizzazioni possono essere progettati al fine di limitare i flussi di picco e di inquinanti delle acque di pioggia verso i corpi recettori mantenendoli a dei livelli simili a quelli che erano presenti prima dello sviluppo urbanistico. Al fine di raggiungere tali obiettivi occorre predisporre dei sistemi in grado di agire sui seguenti parametri: controllo delle portate, riduzione e rimozione degli inquinanti.

1 - Controllo dei flussi di portata

Per controllo dei flussi di portata si intende la gestione sia delle portate che dei picchi di portata ai corpi recettori. L'urbanizzazione, si è detto, altera considerevolmente l'idrologia di un

bacino: riducendo la permeabilità del suolo si aumenta il volume delle acque di ruscellamento e nello stesso tempo si riduce il tempo di percorrenza delle stesse. Ovviamente tali fenomeni sono influenzati da numerosi fattori legati alle caratteristiche delle piogge, dei terreni e delle superfici interessate. In aree in corso di urbanizzazione la progettazione cercherà soprattutto di limitare la conversione di acque di pioggia in acque di *run off*, con strutture in grado di raccogliere l'acqua o di favorirne l'infiltrazione.

2 - Riduzione e rimozione degli inquinanti

Le aree urbane esportano un grande quantità di inquinanti durante gli eventi di pioggia. Gli inquinanti che si accumulano sulle strade, i tetti ed i piazzali vengono mobilizzati e trasportati nei sistemi di raccolta delle acque e scaricate infine nei canali. Occorre quindi provvedere con dei sistemi BMP affinché gli inquinanti contenuti nelle acque di gronda vengano ridotti prima del loro arrivo al corpo recettore. I meccanismi che occorre sfruttare al fine di ottenere tale risultato sono:

- sedimentazione
- flottazione
- filtrazione
- infiltrazione
- assorbimento
- assimilazione
- conversione biologica
- degradazione

Best Management Practices

Cosa sono le BMP?

Le BMP sono sistemi, tecniche e misure atte a prevenire o ridurre l'inquinamento delle acque di origine diffusa attraverso i mezzi più idonei ed efficienti per produrre un'acqua di qualità. Le BMP comprendono, ma non si limitano a questo, analisi di controllo, sistemi strutturati e non, pratiche di gestione e manutenzione.

Tipi di BMP strutturate per il trattamento di acque di pioggia

1 - Bacini di ritenzione (Detention Basins)

I bacini di ritenzione sono strutture progettate per intercettare le acque di prima pioggia, contenerle temporaneamente per poi rilasciarle lentamente al termine dell'evento meteorico. Il principale obiettivo di questi bacini è il controllo quantitativo attraverso la riduzione dei picchi di piena provocati dalle piogge. Possono venire progettati per mantenere all'interno permanentemente un certo volume di acque (bacini umidi) oppure possono essere disegnati in maniera da svuotarsi completamente nel giro di 24 – 48 ore (bacini di laminazione). La capacità di rimozione degli inquinanti normalmente si limita alla rimozione dei solidi sospesi associata alla sedimentazione all'interno del bacino. L'efficienza di rimozione può essere

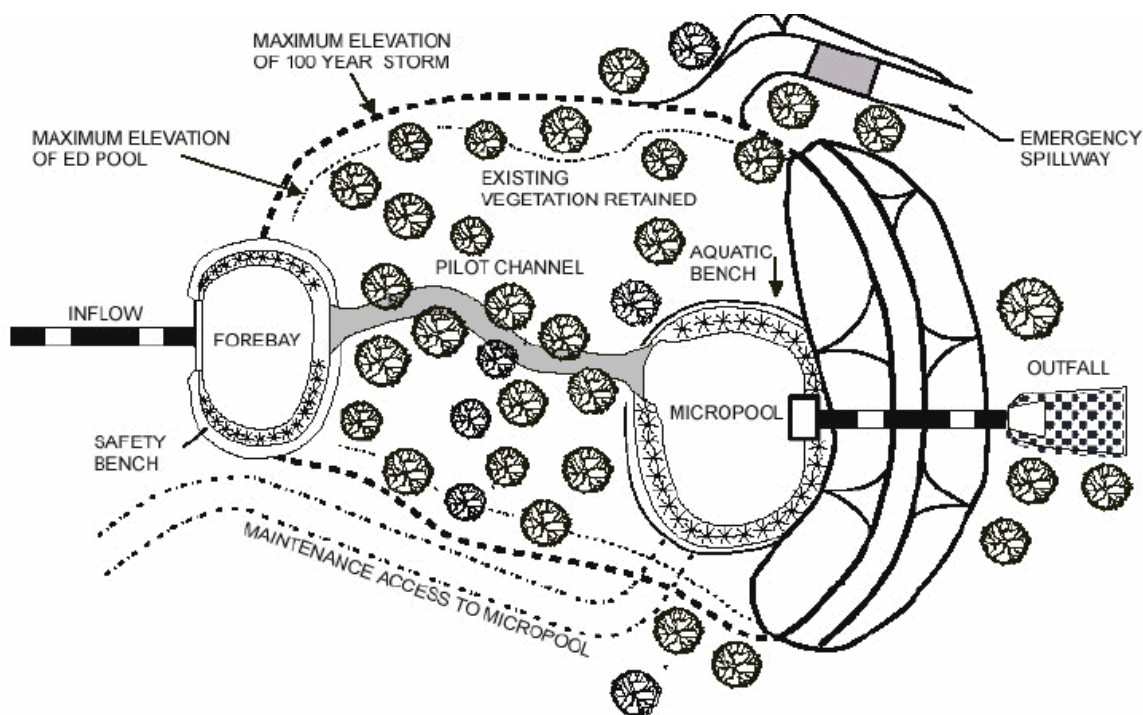
migliorata inserendo uno stagno di sedimentazione primaria all'ingresso del bacino che favorisca l'accumulo dei solidi più grossolani.

2 - Bacini di laminazione (Dry Detention Basins)

I bacini di laminazione vengono normalmente utilizzati per rimuovere sostanze inquinanti particolate e nel contempo ridurre le portate di runoff delle acque verso il corpo recettore finale. La qualità delle acque è migliorata dalla rimozione di sostanze sedimentabili e galleggianti e delle sostanze inquinanti ad esse associate. Il controllo delle portate di runoff serve a ridurre le portate dei canali di dreno riducendo i fenomeni di erosione e le possibili esondazioni. Sebbene le strutture per il controllo delle portate abbiano esigenze progettuali diverse da quelle disegnate per il miglioramento delle caratteristiche delle acque è possibile con un adeguato disegno raggiungere contemporaneamente questi due obiettivi. Tale sistema richiede un'area ed un battente idraulico sufficienti per poter funzionare propriamente

3 - Bacini a ritenzione prolungata (Extended Detention Basins)

I bacini a ritenzione prolungata sono bacini in grado di raccogliere le acque di pioggia scolanti e rilasciarle attraverso un sistema d'uscita a portata fissa. Questi bacini sono progettati per non avere acqua che ristagni all'interno, per cui sono asciutti per la maggior parte del tempo. Sono in grado di controllare i flussi di portata e come conseguenza riducono i problemi di erosione e di straripamento. Attraverso la sedimentazione dei solidi sospesi sono pure in grado di ridurre i carichi inquinanti, anche se le piogge successive possono provocare la risospensione dei solidi accumulati.



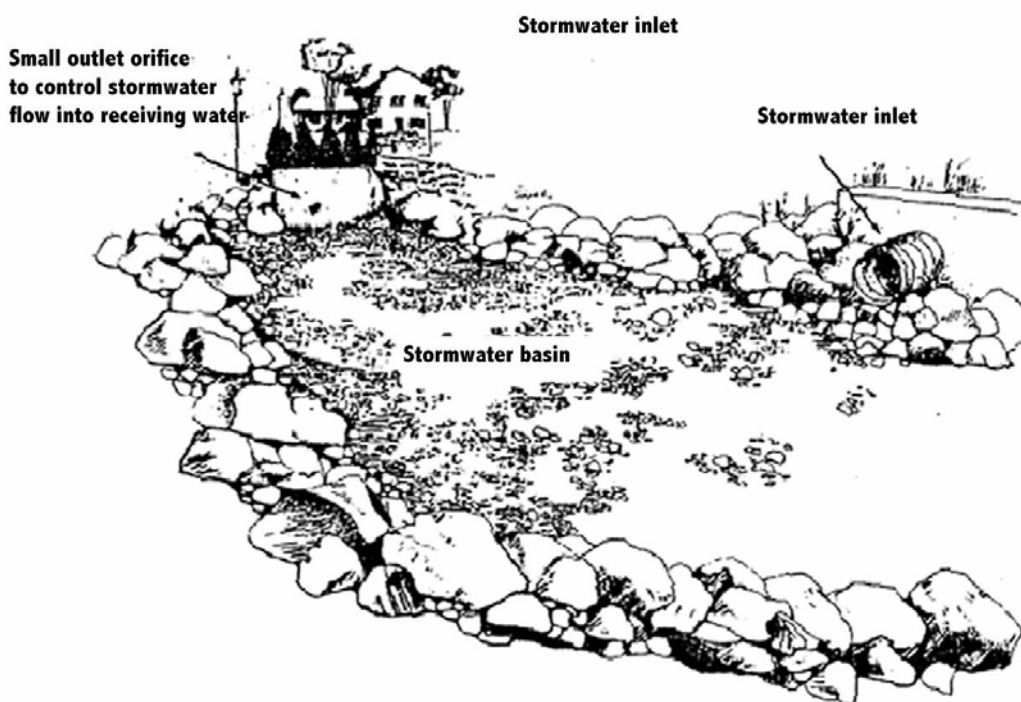
4 - Stagni (Ponds)

Sono dei bacini che rimangono sempre pieni di acqua che vengono dimensionati e configurati per permettere una significativa rimozione di inquinanti provenienti da acque di prima pioggia. La capacità del bacino viene calcolata in funzione della concentrazione di solidi che si vogliono rimuovere e della superficie del bacino di raccolta delle acque.

Stagni permanenti (Wet Pond)

Uno stagno permanente è un sistema per il controllo delle acque di pioggia costituito da un bacino permanentemente allagato soprattutto nel periodo piovoso. Il volume di questo bacino viene dimensionato in base alla capacità di ritenzione dei particolati inquinanti richiesta. Qualora si voglia provvedere ad una rimozione aggiuntiva di sostanze inquinanti, si prevede un'area umida all'interno del bacino stesso. Il controllo dei flussi viene realizzato controllando l'altezza del pelo libero del bacino attraverso particolari apparati di scarico.

Stagni temporanei (Dry Ponds)



Gli stagni temporanei sono quei bacini che non hanno una vasca per la ritenzione permanente ma ricevono le acque di pioggia e le trattengono per un breve periodo per poi rilasciarle lentamente. Questi bacini possono avere diverse sistemazioni in quanto, non essendo permanenti, possono essere inclusi in aree adibite per altre soluzioni quali parcheggi, campi sportivi o spazi aperti, ecc. Questa soluzione ha soprattutto una valenza idraulica, in quanto lo stoccaggio temporaneo delle acque di prima pioggia limita i flussi di piena. D'altra parte questi stagni hanno la tendenza a risospingere i solidi depositatisi all'interno con le piene e quindi non sono la soluzione migliore per quanto riguarda l'abbattimento degli inquinanti. Se si vuole

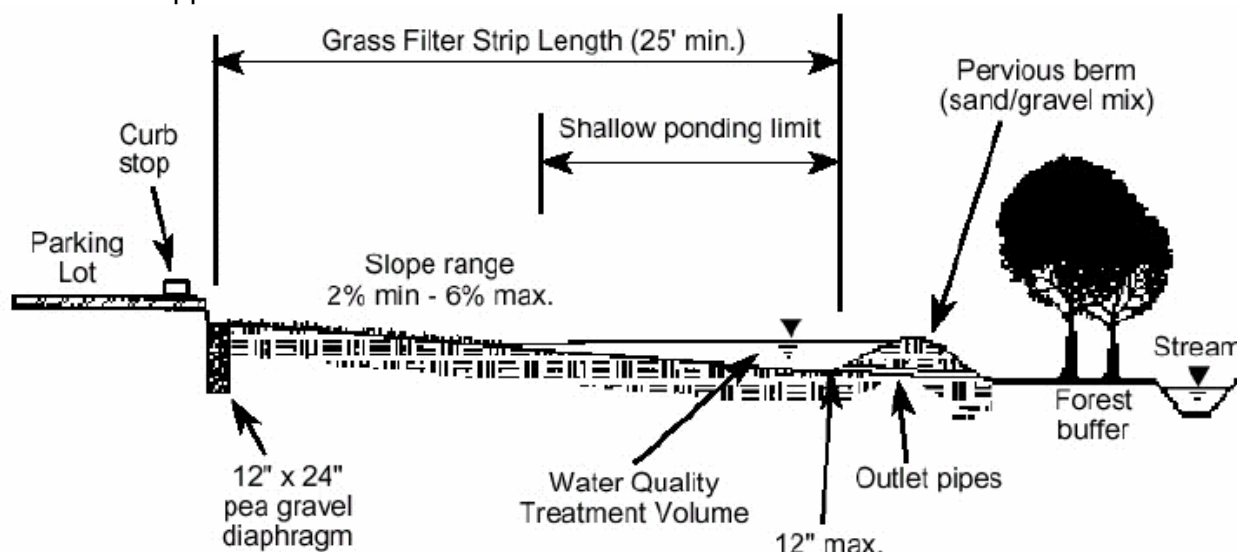
migliorare anche questo aspetto occorre utilizzare soluzioni quali a bacini a ritenzione prolungata.

5 - Sistemi vegetati (Vegetated devices)

Fasce filtro (Vegetated Filter Strips)

Le fasce filtro sono sezioni di terreno densamente vegetate progettate per convogliare le acque di pioggia in maniera laminare da un'area urbanizzata adiacente. Particolari sistemi di distribuzione possono venire impiegati per favorire la distribuzione delle acque sull'intera superficie interessata. Le fasce filtro provvedono essenzialmente al miglioramento della qualità delle acque e non hanno alcuna funzione di ritenzione o infiltrazione al fine di ridurre i picchi di portata.

Le fasce filtro, come da figura, indirizzano le acque da trattare in maniera laminare attraverso superfici alberate o solamente inerbite. La riduzione della velocità di flusso risultante dal passaggio attraverso una superficie densamente vegetata determina la rimozione delle sostanze particolate inquinanti attraverso la sedimentazione, favorisce l'infiltrazione nel suolo e riduce la potenziale erosione dei canali. Per cui le fasce filtro possono contribuire anche alla riduzione dei volumi delle acque di pioggia ed alla ricarica delle falde. I migliori risultati in termini di qualità delle acque, vengono ottenuti con fasce che contengono vegetazione autoctona sviluppatasi in maniera naturale.



Aree tampone (Vegetated Natural Buffers)

Le aree tampone sono delle "barriere" naturali o artificiali costituite da una vegetazione perenne e gestite in modo da ridurre l'impatto di aree potenzialmente inquinanti sulla qualità delle acque in aree adiacenti. Sono utili nel separare utilizzi di territorio incompatibili tra loro, e nel ridurre l'impatto di attività che rappresentano una potenziale fonte di inquinamento per dei corpi recettori vicini. Le superfici possono essere costituite da strisce lineari oppure avere forme libere che seguono il territorio. Le aree tampone servono soprattutto a migliorare la qualità delle acque e normalmente non provvedono ad una adeguata ritenzione in grado di ridurre i picchi di flusso. Sono in grado invece di ridurre le velocità di scorrimento delle acque e favorirne l'infiltrazione nel terreno. La riduzione delle velocità di flusso contribuisce alla

rimozione di particolato inquinante attraverso la sedimentazione e riduce nel contempo la potenziale erosione o degradazione dei canali. Le aree tampone contribuiscono alla ricarica delle falde.

Canale inerbito (Grassed swales)

I canali inerbiti sono canali rivestiti da erba o piante resistenti all'erosione, costruiti per far defluire le acque di pioggia in maniera regolare, sfruttando la capacità della vegetazione di ridurre le velocità di flusso. Non vengono di norma progettati per controllare i picchi di portata; per fare questo vengono spesso utilizzate in combinazione con altri sistemi BMP. In applicazioni con pendenze eccessive, i canali inerbiti possono presentare sul fondo del letto delle depressioni o delle piccole paratoie in grado di rallentare ulteriormente i flussi e aumentare la capacità di ritenzione idraulica. I canali inerbiti sono comunque soprattutto dei sistemi di convogliamento delle acque di prima pioggia studiati per trasportare le acque senza associare quei fenomeni di erosione presenti con elevate velocità di flusso. La riduzione dei flussi risultante dalla laminazione su una vegetazione compatta comporta una riduzione nei picchi in uscita. Gli inquinanti possono essere rimossi dalle acque attraverso processi di filtrazione legati alla vegetazione, per deposizione, oppure in alcuni casi per infiltrazione nel terreno dei nutrienti in forma solubile. Il grado di depurazione raggiungibile dipende soprattutto dal tempo di residenza delle acque nel canale e dal grado di contatto di queste con la vegetazione e con la superficie del terreno. La presenza di strutture come paratoie o depressioni, all'interno del letto, possono migliorare la capacità di rimozione aumentando i tempi di residenza.

6 - Filtri (filter systems)

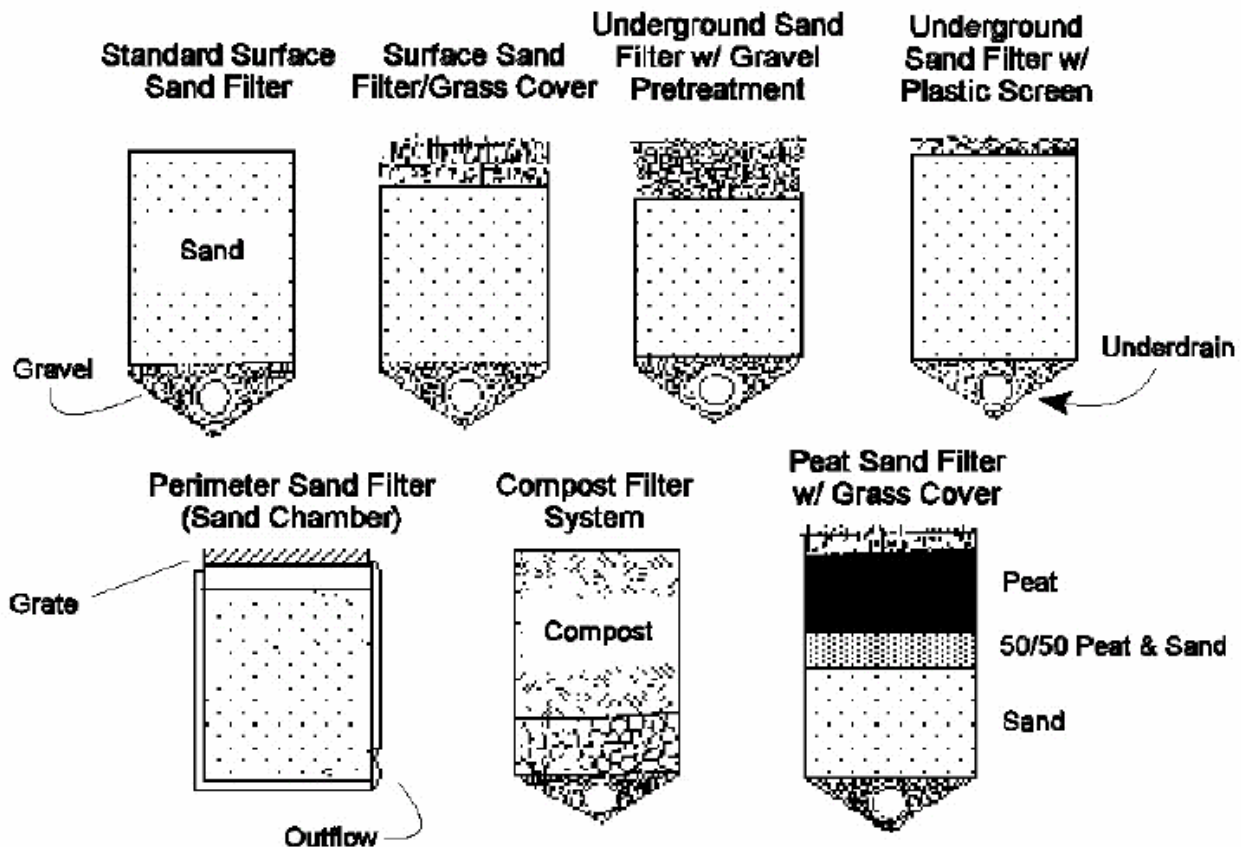
Un sistema di filtrazione è una struttura che usa una matrice filtrante quale sabbia, ghiaia o torba in grado di rimuovere una quota dei composti inquinanti presenti nelle acque di pioggia. Ci sono numerose varietà di sistemi filtranti in commercio. Come esistono, soprattutto negli U.S.A., un'estrema variabilità di progetti e di matrici filtranti.

I filtri sono soprattutto dei dispositivi di controllo della qualità delle acque, progettati per rimuovere gli inquinanti particolati. Possono includere pure un controllo quantitativo dei flussi, attraverso un sistema aggiuntivo di stoccaggio costituito da uno stagno o da un bacino, da una vasca posta al di sopra del filtro stesso, oppure trasformando un'area adiacente al filtro, come potrebbe essere un parcheggio, in bacino di stoccaggio prima del trattamento. I filtri vengono utilizzati per trattare acque provenienti da piccoli superfici, quali parcheggi o piccole aree urbanizzate, in aree industriali a rischio, e comunque dove il costo del terreno non permette l'utilizzo di sistemi strutturati a superfici elevate. I filtri vengono studiati per trattare solo le prime acque di pioggia, i primi 15 – 30 mm, mentre il resto dell'acqua di pioggia viene fatta bypassare dal filtro stesso. Un beneficio nell'utilizzo di questi filtri nelle aree estremamente urbanizzate, è che questi possono essere piazzati sotto il livello stradale limitando o eliminando completamente i costi del terreno. Tuttavia piazzare queste strutture lontano dalla vista può creare poi problemi conseguenti alla mancata manutenzione o gestione del dispositivo stesso. Per aumentare la capacità e la vita del filtro si tende normalmente di dotarlo in testa, di un sistema di sedimentazione in grado di rimuovere i solidi più grossolani prima della filtrazione.

I tipi di filtro comunemente utilizzati comprendono:

- i filtri a sabbia superficiali
- i filtri tricamerali
- i filtri delaware

Questi filtri comprendono a loro volta un numero impressionante di variabili come estremamente variabili sono i profili delle matrici che li compongono.



Filtri a sabbia superficiali (Sand Filters)

I filtri a sabbia superficiali sono stati sviluppati in Florida nel 1981 per posti dove non fosse possibile infiltrare le acque di scorrimento in falda e dove non era possibile prevedere un bacino di ritenzione. Questo tipo di filtro normalmente è costituito da 2 camere. L'acqua penetra in una vasca di sedimentazione dove il materiale più grossolano precipita per gravitazione. L'acqua quindi attraverso uno stramazzo arriva al filtro vero e proprio. Il letto di filtrazione è costituito da sabbia e ghiaia con un tubo perforato sul fondo per il drenaggio delle acque trattate. La superficie del letto può essere inerbita. La configurazione a due camere serve a prevenire i pericoli di intasamento prematuro del letto dovuto ad un accumulo eccessivo di sedimenti. Come già detto in precedenza esistono numerose varianti di questo dispositivo.

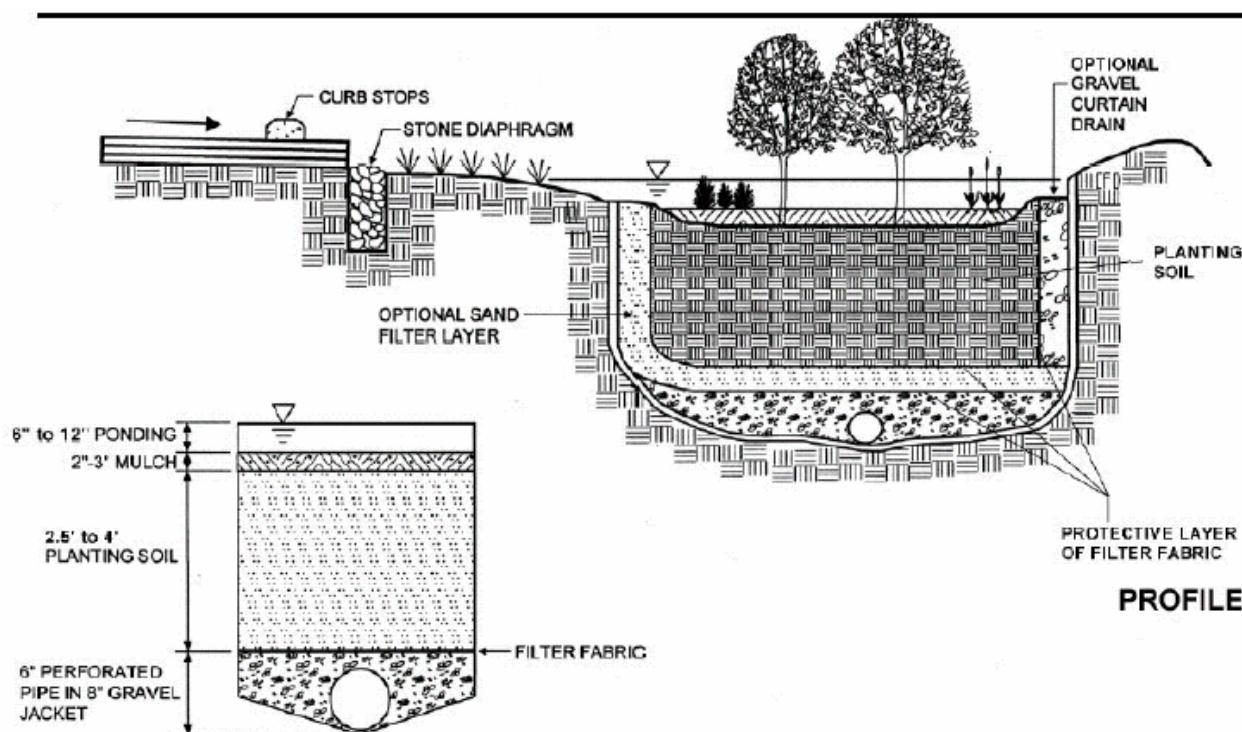
I filtri a sabbia tricamerale (Vault sand filters)

I filtri tricamerale sono costituiti da due camere iniziali di sedimentazione e filtrazione collegate con un passaggio a gomito per permettere anche la separazione di sostanze oleose e flottanti. Tale sistemazione limita il passaggio di sostanze sedimentabili e grasse nel filtro prolungandone la capacità e la durata. L'acqua filtrata viene convogliata nella terza camera attraverso un tubo di drenaggio rivestito di ghiaia, la terza camera è poi collegata al sistema di dispersione.

Come per tutti i sistemi di filtrazione a sabbia anche in questo caso è preferibile una sistemazione off-line del sistema.

Per quanto riguarda i flussi eventualmente eccedenti: questi possono essere direttamente convogliati attraverso uno sfioratore nella terza camera.

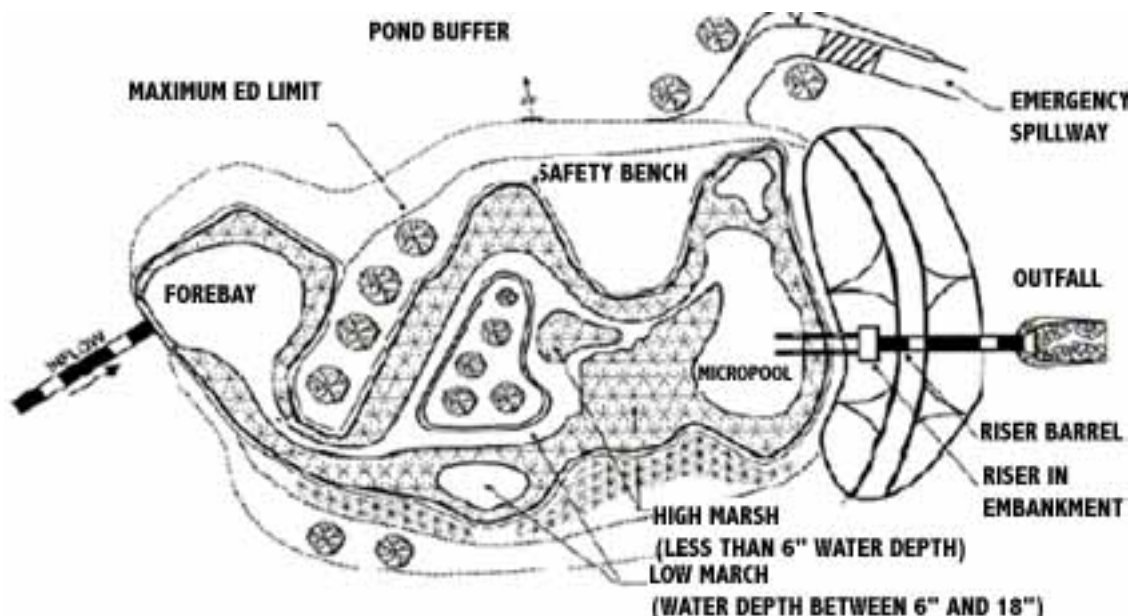
Sistemi vegetati (Bioretention)



Questi sistemi sono studiati per simulare l'ecosistema di un bosco con una combinazione di filtrazione del suolo e assorbimento da parte della vegetazione. La superficie vegetata nel sottosuolo comprende un sistema di drenaggio per la raccolta delle acque che hanno attraversato il terreno e lo strato radicale ed è progettata per apparire il più naturale possibile. Questo conferisce all'area un aspetto estremamente attraente. L'acqua di pioggia penetra nel sistema e viene momentaneamente stoccata in uno stagno poco profondo posto all'interno dell'area. Da questo stagno l'acqua in parte filtra lentamente attraverso il terreno ed in parte viene assorbita dalle piante.

7 - Aree umide (wetland)

Sistemi di fitodepurazione estensivi (Constructed wetland)



Questi sistemi di fitodepurazione a flusso superficiale sono semplicemente dei bacini di laminazione che comprendono all'interno degli stagni e delle aree vegetate in grado di trattare le acque e migliorarne la qualità. Questi sistemi sono costituiti da appropriati bacini di sedimentazione ed altre soluzioni progettuali, associate a soluzioni idonee ad un adeguato sviluppo della vegetazione all'interno del bacino.

Tale sistema di vasche così articolato è in grado di rimuovere o trattare grossi volumi di acqua a basso carico inquinante con portate estremamente variabili e discontinue quali le acque di pioggia o di sfioratori, oltre a consentire l'affinamento di acque trattate.

La sedimentazione ed un'intensa attività biologica all'interno del bacino sono in grado inoltre di rimuovere una considerevole quota di sostanze nutrienti. Per quanto, come per la fitodepurazione tradizionale, occorre fare una certa attenzione nella progettazione e nella gestione di tali sistemi.

8 - Sistemi ad infiltrazione (infiltration devices)

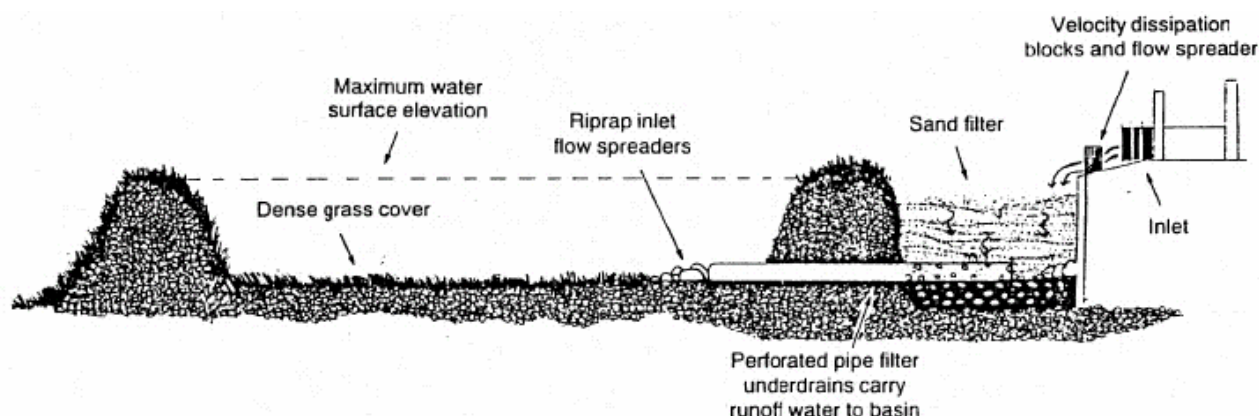
I sistemi di infiltrazione comprendono: i bacini, le pavimentazioni porose, i canali e ed i pozzi. Un sistema di infiltrazione è progettato per trattenere un certo volume di acqua di pioggia e rilasciarla poi lentamente nel sottosuolo. La pratica dell'infiltrazione presenta sia vantaggi che svantaggi. Tra i vantaggi dobbiamo considerare il fatto che è una pratica che al controllo della quantità unisce pure quello della qualità. Il controllo della quantità viene esercitato raccogliendo le acque superficiali ed infiltrandole nel sottosuolo. Questo riduce le portate che vengono scaricate nei corpi recettori riducendo alcuni dei potenziali impatti causati da un flusso eccessivo. I sistemi di infiltrazione possono essere progettati per raccogliere le acque ed infiltrarle in falda con dei tempi che vanno da alcune ore ad alcuni giorni a seconda della capacità drenante del suolo. La pratica dell'infiltrazione presenta poi anche dei vantaggi secondari quali la ricarica delle falde sotterranee e il conseguente incremento dei flussi di

portata minimi dei corsi d'acqua. Inoltre la percolazione dell'acqua nel suolo comporta una rimozione degli inquinanti presenti: le sostanze particolate vengono intrappolate dal terreno mentre i microrganismi in esso presenti contribuiscono alla rimozione delle sostanze organiche.

Ai già citati benefici bisogna però affiancare anche alcuni svantaggi. Innanzitutto la pratica dell'infiltrazione non è opportuna in quelle zone dove l'approvvigionamento idrico viene effettuato utilizzando le acque di falda, in quanto esiste la possibilità di un potenziale inquinamento. Questo è soprattutto da valutare quando le acque di pioggia provengono da aree commerciali o industriali ricche di sostanze inquinanti quali metalli pesanti o composti organici.

Inoltre è evidente come la pratica dell'infiltrazione non possa essere applicata in presenza di terreni scarsamente permeabili. Inoltre all'avviamento degli impianti bisogna tenere conto dell'eventuale presenza di terreno di risulta, proveniente dalla costruzione del sistema stesso o di aree adiacenti, in quanto questo potrebbe causare un prematuro intasamento del letto stesso. Al fine di evitare questo inconveniente è opportuno avviare l'impianto quando la superficie del bacino di raccolta presenta una copertura erbosa diffusa e densa.

Bacino di infiltrazione (Infiltration basin)

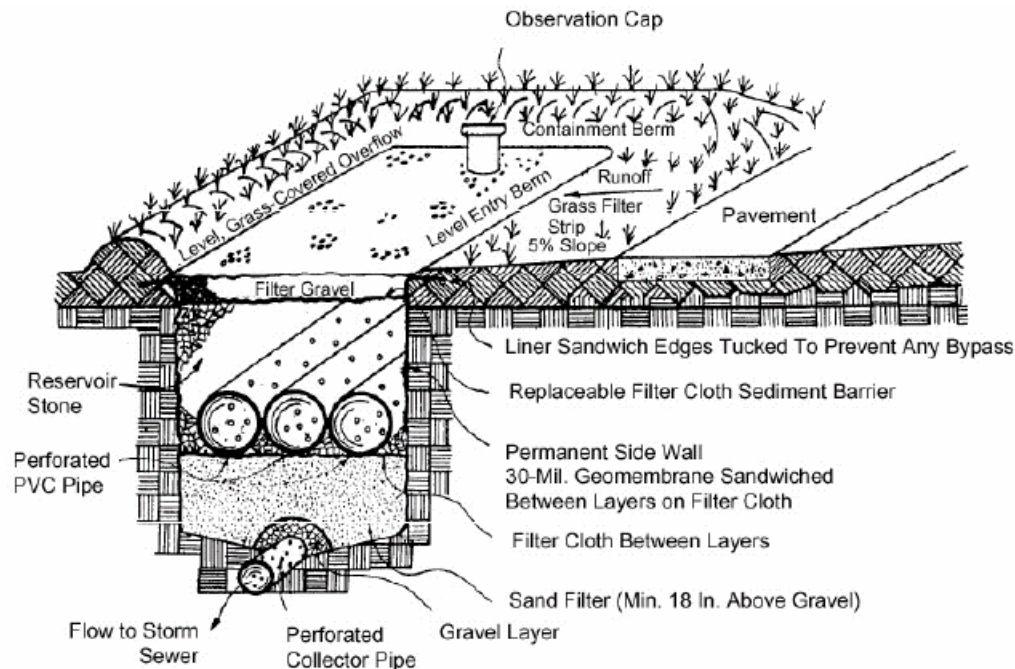


I bacini di infiltrazione sono progettati per raccogliere un certo volume di acque di pioggia e di infiltrarlo poi nella falda nell'arco di alcuni giorni. Queste strutture sono generalmente off-line e quindi in grado di intercettare solo una quota delle acque di scorrimento di un bacino. Il volume in eccesso viene bypassato. Il bacino può essere ricoperto di vegetazione. Le piante aiutano il sistema a trattenere gli inquinanti mentre le radici favoriscono la permeabilità del suolo, per cui contribuiscono ad aumentare l'efficienza del bacino stesso. I bacini di infiltrazione non sono progettati per contenere acqua in maniera stabile. Il loro scopo principale è quello di trasformare un flusso d'acqua da superficiale

a sotterraneo e di rimuovere gli inquinanti attraverso i meccanismi legati alla filtrazione, l'adsorbimento e la conversione biologica mentre l'acqua percola attraverso il suolo. Normalmente si prevede uno svuotamento completo di questi bacini nell'arco delle 72 ore per prevenire lo sviluppo di zanzare e di odori molesti e nel contempo per preparare il bacino ad accogliere un nuovo volume di acqua. Oltre a rimuovere gli inquinanti tale sistema migliora le

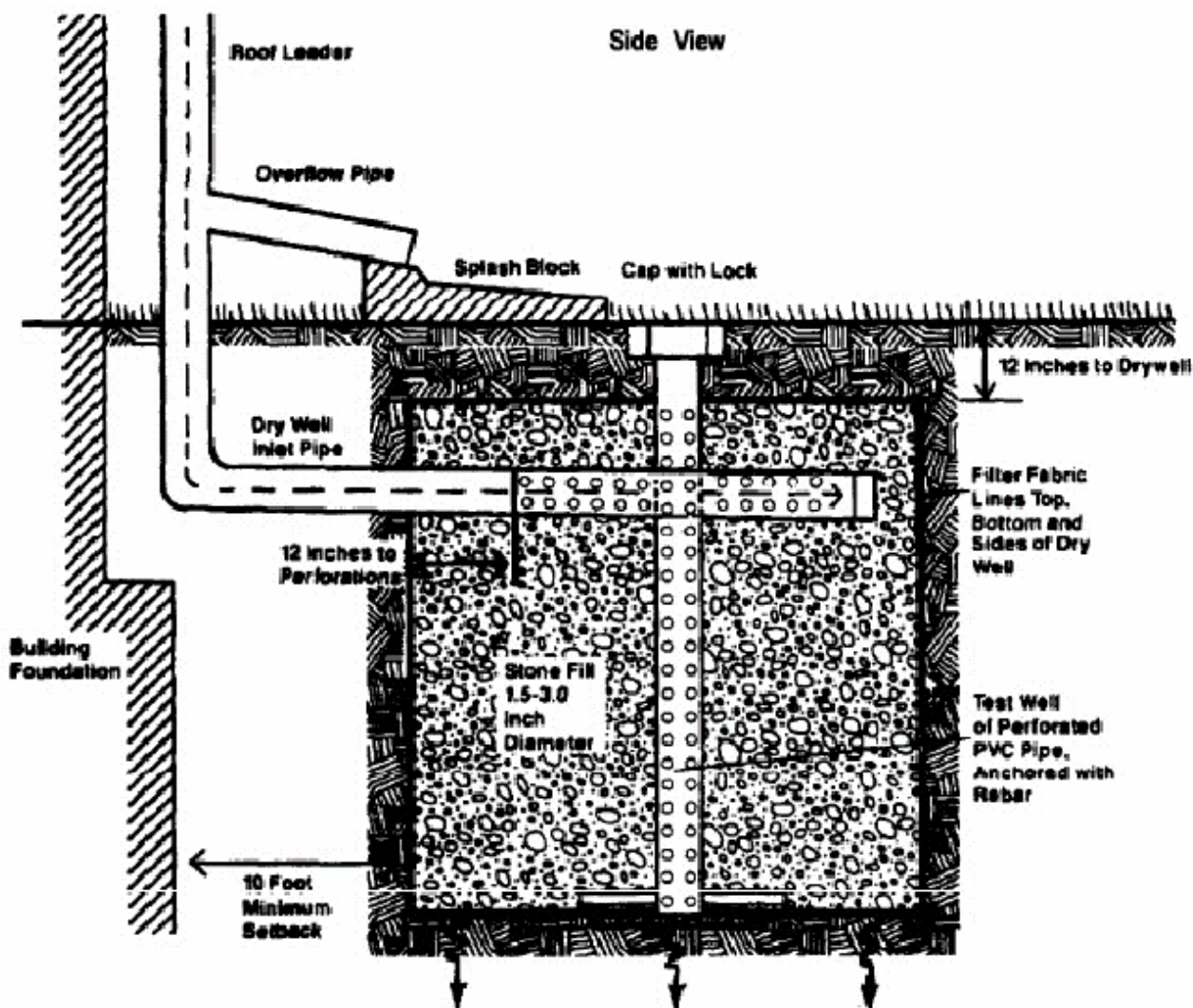
condizioni idrologiche del bacino, favorendo i flussi minimi dei corsi d'acqua ed evitando i picchi di piena, inoltre promuove l'innalzamento della falda sotterranea.

Canali infiltranti (Infiltration trenches)



Il canale filtrante è una trincea in grado di contenere temporaneamente le acque di pioggia .Le acque contenute nella trincea possono infiltrare dal fondo nel sottosuolo mentre la quota che non infiltra può essere convogliata attraverso la trincea verso l'uscita e affluire in un altro sistema di ritenzione o trattamento. I canali di infiltrazione vengono normalmente impiegati nella raccolta temporanea e successiva infiltrazione delle acque di pioggia di aree urbanizzate. Queste soluzioni possono ridurre i picchi di afflusso e riprodurre le condizioni idrologiche presenti prima dell'urbanizzazione, e nel medesimo tempo rimuovere sostanze particolate fini e solubili attraverso lo stoccaggio e l'infiltrazione nel terreno. I processi di rimozione sono legati ai fenomeni di adsorbimento, filtrazione e decomposizione microbica presenti nel terreno. Tale soluzione come per i bacini di infiltrazione è in grado di ridurre il flusso di piena e i problemi di erosione ad esso collegati, mantenendo un flusso di portata minimo più elevato e più stabile nel tempo.

Pozzi asciutti (Dry wells)



I pozzi asciutti sono delle cavità utilizzate principalmente per raccogliere le acque di pioggia provenienti dai tetti di edifici residenziali o commerciali, anche se talvolta vengono utilizzati anche per raccogliere le acque di drenaggio di parcheggi. Questi pozzi hanno le caratteristiche costruttive simili a quelle dei canali di infiltrazione e sono caratterizzati da uno strato di tessuto non tessuto riempito di ghiaia. L'interno della struttura che normalmente è in cemento, viene riempito con ghiaia per favorire una certa resistenza strutturale. Alcuni pozzi sono dotati di un sistema di scarico collegato ad un sistema di drenaggio esterno. Tale soluzione è in grado di ridurre notevolmente l'ammontare dei volumi delle acque di pioggia che fluiscono in corpi idrici superficiali e che sono utilizzabili soprattutto quando le acque raccolte si presumono relativamente pulite.

I pozzi asciutti favoriscono l'infiltrazione e perciò aiutano a ricaricare le falde, mantengono i flussi minimi nei corsi d'acqua e riducono i picchi di portata e gli effetti erosivi ad essi associati.

4. RISPARMIO IDRICO DOMESTICO

di Floriana Romagnolli*

L'acqua non è una fonte inesauribile, il cambiamento degli stili di vita ha portato a sprechi incalcolabili, all'esaurimento o all'inquinamento delle risorse sotterranee, e a costi collettivi crescenti.

La media italiana per il consumo di acqua potabile è di 250 litri al giorno per persona. Quest'acqua è, soprattutto nelle città, potabile anche quando non sarebbe necessario. Sarebbe infatti più intelligente utilizzare acque poco pregiate, come quelle depurate, per lo sciacquone del water, per lavare la macchina o innaffiare il giardino.

Questi sono alcuni esempi di consumi:

- da un rubinetto aperto escono di media 12 litri di acqua al minuto
- da un rubinetto che perde si possono sprecare dai 30 ai 100 litri di acqua al giorno
- quando schiacciamo il tasto dello sciacquone dei servizi igienici escono 10 litri
- per una doccia di 5 minuti occorrono 60 litri
- per un bagno 100 litri...

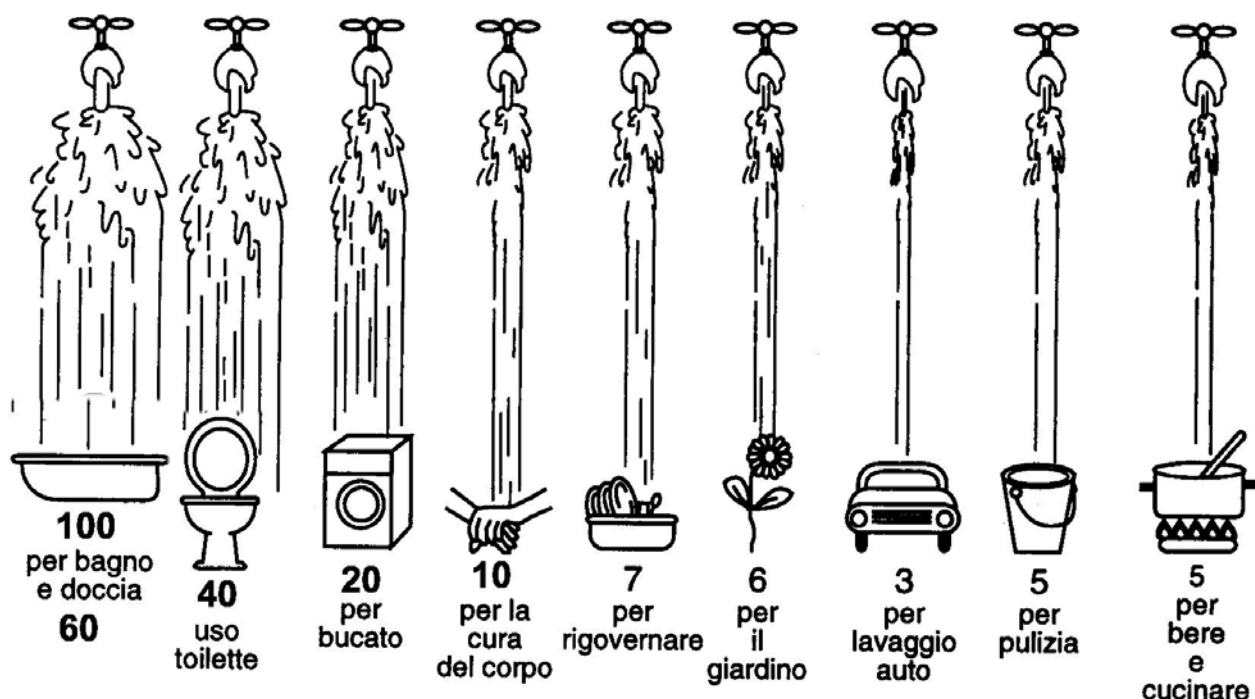


Fig. 3 - Esempio di ripartizione media del consumo giornaliero pro-capite di acqua potabile in una casa

Ma è proprio dalle tecnologie, da nuove regole “ecologiche” applicate in primo luogo nel campo dell’edilizia e da comportamenti più consapevoli che si può partire per invertire la tendenza allo spreco.

* Consulente ambientale esperta in ecologia delle acque interne e sistemi naturali di depurazione delle acque.
E-mail: fromagnolli@fitodepurazionevis.it

Esistono apparecchiature molto semplici che consentono di risparmiare fino al 50% sul consumo di acqua fredda e acqua calda: dimezzare i consumi di acqua consente di risparmiare non solo acqua potabile ma anche il combustibile per riscaldarla, con un conseguente risparmio energetico (ed economico) e una diminuzione dell'inquinamento dell'aria e dell'effetto serra.

Queste apparecchiature, definite **acceleratori di flusso**, sostituiscono gli erogatori delle docce e i frangi-getto dei rubinetti. Il funzionamento è basato sul principio "Venturi" (vedi glossario) che consente di creare una miscela aria-acqua.

Questi sistemi evitano i depositi di calcare, riducono i costi di manutenzione migliorando la pressione degli impianti idrosanitari ed eliminano la mancanza di acqua calda nel caso di funzionamento contemporaneo di più docce. Inoltre l'installazione non necessita di interventi tecnici.

Di seguito sono riportati i prezzi unitari di alcune apparecchiature per il risparmio idrico.

Descrizione prodotto	Prezzo cad.
Doccia a Cornetta - L'acqua viene accelerata attraverso un ugello. 50% di risparmio	36,15 euro
Regolatore del flusso d'acqua - adattabile su soffioni docce a cornetta e rubinetti temporizzati.	9,81 euro
Rompigetto aerato - 8 litri al minuto contro i 14/16 litri al minuto normalmente usati.	5,16 euro

Come si può notare i prezzi non sono esosi ma sono anzi alla portata di tutti!

E' possibile acquistare queste apparecchiature presso rivenditori specializzati di materiali idraulici.



Fig. 4 - Cornette doccia e frangi - getto a risparmio

5. DEPURAZIONE NATURALE

di Floriana Romagnolli*

I sistemi naturali di depurazione rappresentano storicamente le prime soluzioni al problema dell'inquinamento delle acque reflue. L'uso fertirriguo delle acque di scolo delle grandi città era una pratica ancora attiva agli inizi del 1900 in grandi città come Parigi, Berlino e Milano.

Il termine "sistema naturale di depurazione" implica, nella sua accezione più rigorosa, che il processo avvenga senza l'utilizzo di macchine né di energie esterne, e ciò in effetti era nel passato. Nell'accezione più moderna (D.lg. 152/1999) non è più possibile ritrovare l'integrità totale di questo concetto (Vismara *et al.* 2000).

Oggi annoveriamo, più o meno propriamente, sotto la definizione di "sistema naturale di depurazione" sistemi quali:

- subirrigazione
- fertirrigazione
- vassoi fitoassorbenti
- lagunaggio biologico
- fitodepurazione in tutte le sue varianti (vedere cap. 6)

L'impiego di molte di queste tecniche, di origine così antica, è stato fortemente ridotto dopo gli anni 30, nei paesi economicamente sviluppati a causa della loro elevata estensività.

La dispersione negli strati superficiali del terreno (**sub-irrigazione**) dei reflui civili è un particolare sistema di trattamento e smaltimento dei liquami che può essere adottato qualora non siano disponibili corpi recettori idonei e qualora le caratteristiche del suolo e del sottosuolo non presentino controindicazioni (es. suoli argillosi o falde superficiali).

Consiste nell'immissione del liquame chiarificato, proveniente dalla fossa Imhoff, tramite apposite tubazioni, direttamente sotto la superficie del terreno ove viene assorbito e gradualmente assimilato e degradato biologicamente in condizioni aerobiche.

Ulteriori applicazioni quali la **fertirrigazione** obbediscono a schemi di processo spesso di vasta portata, ove sono richieste attrezzature civili e meccaniche (pompe, canali, vasche di accumulo, sistemi di distribuzione), che trovano ragione soprattutto in zone aride e carenti di acqua da destinare all'uso agricolo, soprattutto nel Mezzogiorno.

L'obiettivo principale dei **vassoi fitoassorbenti** (bacini ad evapotraspirazione completa) è il trattamento del refluo su basi fisico-biologiche: il risultato (e grande vantaggio) dovrebbe essere la scomparsa fisica del refluo ad opera dell'evapotraspirazione delle piante e quindi l'assenza di un effluente da scaricare. E' evidente che tali sistemi si prestano ad essere utilizzati soprattutto in climi caldi e poco piovosi, come alcune regioni del sud Italia.

* Consulente ambientale esperta in ecologia delle acque interne e sistemi naturali di depurazione delle acque.
E-mail: fromagnolli@fitodepurazionevis.it

Un' applicazione di "sistemi naturali" è relativa al **lagunaggio biologico** (o stagno biologico). In Italia questo sistema ha trovato applicazione soprattutto nel campo delle industrie di lavorazioni alimentari stagionali, in zone ove è relativamente facile trovare gli ampi spazi che il sistema richiede. Si ricorda in particolare il caso degli zuccherifici, che lavorano le bietole solo per i 3 mesi estivi e accumulano il refluo in lagunaggi per poi smaltirlo nei restanti 9 mesi dell'anno.

Nel campo dei liquami civili il sistema di lagunaggio, in Italia, non viene quasi mai adottato, salvo l'accoppiamento in serie con sistemi di fitodepurazione o altri sistemi. Si tratta però di casi isolati per realizzazioni abbastanza lontane dall'abitato da non dare problemi di odori o di insetti.

I sistemi a lagunaggio sono costituiti da vasti bacini al cui interno viene immesso periodicamente il liquame da trattare; questo subisce nel corso del tempo una biodegradazione da parte di una comunità microbica la cui composizione dipende principalmente dal sistema adottato.

Ci possono essere diverse tipologie di lagune:

- aerobiche: nelle quali l'ossigeno atmosferico viene immesso artificialmente tramite turbine o compressori.
- anaerobiche: nelle quali si instaura un metabolismo di tipo anaerobico.
- ossidative: nelle quali l'ossigeno necessario per la biomassa chemiotrofa è prodotto da Alghe ed altri microrganismi fotosintetici.

Il lagunaggio si avvale quindi di bacini idrici controllati e non contempla né l'adattamento alle condizioni locali, né l'aggiunta di nuovi elementi che possano accrescere la qualità ambientale dal punto di vista naturalistico, ecosistemico e paesaggistico.

Un discorso a parte meritano le applicazioni della fitodepurazione intese come **sistema di fitodepurazione artificiale ricostruito** (il termine inglese è *constructed wetland*), un'applicazione che vede congiunti gli obiettivi di miglioramento di qualità delle acque di scarico e la realizzazione di un'area che posseda anche valenze paesaggistiche, naturalistiche e, più raramente, ricreative. In tale caso i criteri di progettazione obbediscono ad esigenze diverse e più articolate rispetto al solo obiettivo della depurazione delle acque, e le realizzazioni che ne derivano risultano più estensive e "naturali". Il caso classico è l'applicazione nelle zone ripariali fluviali da rinaturalizzare.

Il recente D.Lgs. 152/99 introduce il concetto di "trattamento appropriato" (allegato 5, prgf 3) ove recita: "per tutti gli insediamenti con popolazione equivalente compresa tra 50 e 2000 a.e. si ritiene auspicabile il ricorso a tecnologie di depurazione naturale quali il lagunaggio o la fitodepurazione...".

Un'applicazione interessante anche per impianti di media dimensione è relativa al trattamento di finissaggio a valle dell'impianto tecnologico. Anche questa opportunità è esplicitata nel suddetto D.Lgs. espressamente indicata come adatta per "insediamenti con popolazione equivalente compresa tra i 2000-25000 a.e.".

Nel caso degli **ecosistemi-filtro** l'obiettivo è, invece, quello di ricostruire ecosistemi naturali a funzionamento autonomo ed in grado di autodepurarsi, riducendo così i problemi gestionali. Obiettivi complementari sono il massimo adattamento alle condizioni locali e l'aggiunta al territorio di nuovi elementi di qualità ecosistemica e naturalistica. Di fatto nella scelta dei filtri ambientali di questa natura si sono privilegiati finora gli ecosistemi di tipo palustre, facendo così avvicinare gli ecosistemi-filtro alle *constructed wetlands* anglosassoni (Malcevschi, 1995).

L'opportunità di ridurre fortemente gli impegni di tipo gestionale appare oggi di notevole rilevanza in quanto lo sconvolgimento dei meccanismi naturali di evoluzione del territorio sta provocando la scomparsa di ecosistemi naturali di elevato pregio naturalistico quali le zone umide, non più in grado di rinnovarsi (Knight, 1996). Diviene pertanto interessante individuare un nuovo obiettivo progettuale che consenta la realizzazione di ecosistemi-filtro a funzionamento autonomo in grado di rendere compatibili le acque usate con i corpi idrici ricettori.

L'uso di ecosistemi-filtro potrebbe essere particolarmente motivato nelle situazioni in cui si volesse abbattere un carico microbico o ridurre le concentrazioni di nutrienti o di solidi sospesi a valle di depuratori tecnologici. Quest'ultimi infatti spesso non sono in grado di far fronte a picchi stagionali di carico organico e di portata, in relazione anche agli inadeguati sistemi di raccolta delle reti fognarie poste a monte, con il rischio che il refluo non rispetti le tabelle di legge relative agli standard di scarico.

6. FITODEPURAZIONE

di Floriana Romagnolli*

6.1 Introduzione

La fitodepurazione è un processo naturale per depurare le acque reflue che sfrutta i processi di autodepurazione tipici delle aree umide.

L'etimologia della parola fitodepurazione (dal greco *phito* = pianta) può trarre in inganno nel far ritenere che siano le piante gli attori principali nei meccanismi di rimozione degli inquinanti. In realtà le piante hanno il ruolo di favorire la creazione di microhabitat idonei alla crescita della flora microbica, vera protagonista della depurazione biologica.

Gli impianti di fitodepurazione vengono definiti a livello internazionale con il termine "*constructed wetlands*" che si riferisce a sistemi umidi costruiti artificialmente in modo tale da ottimizzare gli effetti della depurazione sulle acque reflue.

Il trattamento naturale dei reflui di scarico di origine domestica ha origini antiche. A Roma, nel periodo imperiale, si usava scaricare la cloaca massima nelle paludi Pontine con il preciso scopo di sfruttarne il loro potere autodepurante. In Cina ancora oggi è comune l'usanza millenaria di creare stagni di lagunaggio destinati alla itticoltura nei quali, al fine di incrementare la produzione ittica, vengono immessi periodicamente in quantità opportuna liquami domestici, contenenti un'alta concentrazione di nutrienti (fosforo e azoto).

Le zone umide naturali sono caratterizzate da una estrema variabilità delle loro componenti funzionali. E' quindi praticamente impossibile prevedere le conseguenze dell'apporto di acque inquinate e la traslazione dei risultati da una zona geografica all'altra. Sebbene si osservino significativi miglioramenti nella qualità delle acque reflue durante il loro scorrimento in zone umide naturali, non si possono quantificare in modo preciso le capacità di trattamento (Brix 1993).

Le aree umide artificiali offrono invece un maggior grado di controllo, permettendo una precisa valutazione della loro efficacia sulla base della natura del substrato, delle tipologie vegetali e dei percorsi idraulici. Oltre a ciò le zone umide artificiali offrono vantaggi addizionali rispetto a quelle naturali, come ad esempio la scelta del sito, la flessibilità nelle scelte di dimensionamento e nelle geometrie, e, più importante di tutto, il controllo dei flussi idraulici e dei tempi di ritenzione. E' per questo motivo che a partire dalla metà degli anni '70 si sono sviluppate svariate esperienze di utilizzo pianificato e ben controllato del potere autodepurativo di alcune zone umide per il raggiungimento di precisi obiettivi di qualità delle acque e, soprattutto, di "ricostruzione" o "creazione" di sistemi umidi studiati proprio per il trattamento di acque reflue. La tendenza è infatti stata quella di preservare le aree naturali esistenti e di progettare e costruire apposite aree umide per il trattamento depurativo (Masi, 2000).

* Consulente ambientale esperta in ecologia delle acque interne e sistemi naturali di depurazione delle acque.
E-mail: fromagnolli@fitodepurazionevis.it

L'applicazione delle *constructed wetlands* per il trattamento delle acque reflue rappresenta ormai una scelta ampiamente diffusa nella maggior parte d'Europa e del mondo.

Da più di vent'anni molteplici attività di ricerca sono state effettuate da Università ed Enti inglesi, danesi, tedeschi, austriaci, svizzeri, francesi, statunitensi, australiani ecc.

La rapida diffusione di questa tecnica è legata alla possibilità di ottenere elevati standard qualitativi negli effluenti a costi di costruzione, e soprattutto di gestione, più bassi rispetto alle tecnologie tradizionali (Camuccio & Barattin, 2001).

In Italia solo da pochi anni sono stati realizzati sistemi naturali costruiti per la depurazione di acque reflue, dimensionati applicando modelli americani ed europei o, in alcuni casi, improvvisando senza porsi il problema di un corretto dimensionamento; si sono create quindi da una parte nuove prospettive di approccio al problema della depurazione delle acque ma d'altro canto gli impianti mal progettati hanno generato alcune perplessità causate da malfunzionamenti o basse rese depurative rispetto a quelle attese.

La sezione italiana dell'IWA (International Water Association), gruppo specialistico sull'utilizzo di macrofite per il controllo dell'inquinamento delle acque, ha recentemente svolto un'indagine sugli impianti di fitodepurazione italiani. Dall'analisi emerge l'assenza frequente di un approccio metodologico - scientifico in fase di progettazione e una scarsa documentazione dei dati di monitoraggio degli impianti. In futuro sarà quindi necessario, come di seguito riportato in questo testo, affrontare le scelte impiantistiche attraverso un approccio pluridisciplinare (chimico, biologico, idraulico e paesaggistico) evitando approssimazioni e standardizzazioni (vedere cap. 6.10 progettazione).

6.2 Aspetti normativi

La corretta gestione e la tutela dall'inquinamento della risorsa idrica in Italia sono garantite dalla legge n° 36 (Legge Galli) del 5 gennaio 1994 e dal Decreto Legislativo del 11.05.99 n. 152 e successive modifiche (D. Lgs. 258, 18 agosto 2000) che detta disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepisce la Direttiva n. 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane, e la Direttiva n. 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole.

Il D. Lgs. 11 maggio 1999, n°152, pubblicato nel supplemento ordinario n° 101/L alla Gazzetta Ufficiale 29 maggio 1999, n° 124, ed entrato in vigore il successivo 13 giugno, contiene una complessiva revisione della disciplina per la tutela delle acque, e si può a ragione intendere come una legge quadro per la tutela delle acque dall'inquinamento.

La principale innovazione apportata dal D. Lgs. 152/99 rispetto alla normativa previgente sta nell'aver spostato l'attenzione dal singolo scarico alla tutela dell'intero corpo recettore, in base ad obiettivi sia di carattere ambientale che di tipo più specifico, che dovranno essere applicati dalla Regione, dopo la ricognizione e la classificazione di tutti i corpi idrici recettori, entro il 31/12/2001.

Gli obiettivi minimi di qualità ambientale saranno definiti in funzione della capacità dei corpi idrici di mantenere i processi naturali di autodepurazione e di supportare comunità animali e vegetali ampie e ben diversificate.

Gli obiettivi specifici, invece, saranno individuati per assicurare l'idoneità del corpo idrico ad un particolare utilizzo da parte dell'uomo e/o alla vita dei pesci o dei molluschi.

Successivamente a questa definizione, la Regione potrà fissare, per i particolari corpi recettori individuati, limiti di emissione più restrittivi di quelli definiti dalla legge nazionale, al fine di raggiungere o mantenere gli obiettivi previsti.

Il D.L. n. 152 oltre a recepire le direttive comunitarie, aggiorna il quadro normativo sulla tutela delle acque abrogando diverse leggi precedenti tra cui la legge 319/76, nota come Legge Merli, che ha disciplinato questo settore per oltre 20 anni affidando alle Regioni il compito di programmare le opere per la depurazione attraverso il Piano Regionale di Risanamento delle Acque (PRRA).

Lo strumento pianificatorio introdotto dal D.L. n. 152 è il "Piano di Tutela", che si distingue dal PRRA perché non ha il compito di individuare le opere necessarie alla depurazione, compito che con la Legge 36/94 è di competenza di Autorità d'Ambito ed Enti gestori. Il Piano di Tutela, di competenza delle Regioni, che devono redigerlo di concerto con l'Autorità di Bacino, ha il compito di definire i seguenti aspetti:

- ❖ gli obiettivi di qualità per ciascun corpo idrico, in base ai criteri e ai parametri di cui all'allegato 1 (Monitoraggio e classificazione delle acque in funzione degli obiettivi di qualità ambientale);
- ❖ i carichi accettabili da ciascun corpo idrico, sulla base della sua capacità di diluizione e autodepurazione, perché sia garantito il raggiungimento dell'obiettivo di qualità;
- ❖ le concentrazioni ammissibili degli scarichi che insistono su un determinato corpo idrico, perché non sia superato il carico massimo accettabile;
- ❖ le eventuali strategie di interventi per ridurre l'impatto delle fonti inquinanti diffuse e aumentare la capacità autodepurativa dei corpi idrici e del territorio (rinaturalizzazione, fasce tampone o filtro (buffer zones), casse di espansione, stagni di depurazione naturale, gestione delle acque di prima pioggia, ecc.).

L'obiettivo principale del piano di tutela delle acque sarà quello di garantire il raggiungimento di obiettivi di qualità dei corpi idrici, attivando strategie differenti in ragione delle diverse caratteristiche ecologiche e degli eventuali usi: ad esempio, le acque sensibili all'eutrofizzazione, come i laghi, dovranno essere tutelate dall'eccesso di nutrienti, mentre quelle utilizzate per l'approvvigionamento idrico di acqua potabile richiederanno protezione dagli agenti patogeni.

Le finalità del decreto (elencate all'articolo 1, comma 1), sono quelle di prevenire e ridurre l'inquinamento e attuare il risanamento dei corpi idrici inquinati; conseguire il miglioramento dello stato delle acque ed adeguate protezioni di quelle destinate a particolari usi; perseguire usi sostenibili e durevoli delle risorse idriche, con priorità per quelle potabili; mantenere la capacità naturale di autodepurazione dei corpi idrici nonché la capacità di sostenere comunità ampie e ben diversificate.

Tecnologie di tipo naturale per la depurazione dei reflui ed il risanamento dei corpi idrici sono pertanto perfettamente compatibili per la corretta applicazione delle finalità del decreto.

Per ottenere quanto sopra specificato, vengono elencati alcuni strumenti sia di tipo generale (art. 1 comma 2), sia di tipo più specifico. Tra questi ultimi, ricordiamo la possibilità, per i consorzi di bonifica ed irrigazione, “anche attraverso appositi accordi di programma con le competenti autorità, di realizzare azioni di salvaguardia ambientale e di risanamento delle acque, anche al fine della loro utilizzazione irrigua, della rinaturalizzazione dei corsi d’acqua e della fitodepurazione” (art. 3 comma 6).

Tale strumento risulta essere di notevole importanza e di elevato impatto per le sinergie che comporterebbe.

Il D. Lgs. 152/99 (art. 31), definisce alcune scadenze per sottoporre a depurazione le acque reflue prima dello scarico. In particolare, le acque reflue urbane dovranno subire un trattamento secondario entro il 31/12/2000 se gli scarichi provengono da agglomerati con oltre 15.000 abitanti equivalenti, ed entro il 31/12/2005 se gli scarichi provengono da agglomerati con un numero di abitanti equivalenti compreso tra 10.000 e 15.000, o da agglomerati con un numero di abitanti equivalenti compreso tra 2.000 e 10.000, nel caso in cui gli scarichi recapitino in acque dolci e di transizione.

Si ricorda che per trattamento secondario si intende un sistema che garantisca le percentuali di abbattimento di BOD, COD e solidi sospesi rispettivamente del 80%, 75% e 90% (vedi la tabella 1 dell'allegato 5).

Sempre entro il 31/12/2005, gli scarichi provenienti da agglomerati con meno di 2.000 abitanti equivalenti e recapitanti in acque dolci e di transizione, nonché gli scarichi provenienti da agglomerati con meno di 10.000 abitanti equivalenti e recapitanti in acque marino-costiere, dovranno essere sottoposti ad un *trattamento appropriato*.

Per trattamento appropriato si intende un sistema che, dopo lo scarico, garantisca la conformità dei corpi idrici recettori ai relativi obiettivi di qualità.

I trattamenti appropriati devono essere individuati con l'obiettivo di sopportare adeguatamente forti variazioni orarie del carico idraulico ed organico, semplificare la manutenzione e la gestione e minimizzare i costi gestionali.

A questo scopo, nelle sue indicazioni generali (allegato 5, punto 3), il legislatore auspica il ricorso a tecnologie di depurazione naturale, quali il lagunaggio o la fitodepurazione, oltre che a tecnologie come i filtri percolatori o impianti a ossidazione totale. In particolare lo consiglia per:

- insediamenti con popolazione equivalente compresa tra 50 e 2.000 abitanti;
- insediamenti in cui la popolazione equivalente fluttuante è superiore al 30% della popolazione residente e laddove le caratteristiche territoriali e climatiche lo consentano;
- insediamenti di maggiori dimensioni con popolazione equivalente compresa tra i 2.000 e i 25.000 abitanti, anche in soluzioni integrate con impianti a fanghi attivi o a biomassa adesa, a valle del trattamento, con funzione di affinamento.

Quanto detto sin qui si riferisce ad acque di tipo domestico od urbano, ma per analogia si ritiene valido il ricorso a metodi naturali di depurazione anche per reflui di tipo industriale, come trattamento di depurazione unico, oppure integrato con altri, oppure ancora utilizzato come affinamento finale.

D'altra parte è importante ricordare che nell'applicazione della Legge n. 36 del 5 gennaio 1994 al fine di garantire una buona qualità dei servizi erogati, l'Autorità di Ambito Territoriale Ottimale, oltre a tenere presente parametri quali la qualità delle acque potabili, il grado di copertura del servizio, le riduzioni delle perdite, l'efficienza degli impianti di trattamento, le tariffe, è necessario operare in un'ottica di tutela della risorsa idrica in modo che gli equilibri idrologici e degli ecosistemi acquatici non siano danneggiati.

Infatti fra i principi generali della suddetta legge si sottolineano concetti come: *“qualsiasi uso delle acque è effettuato salvaguardando le aspettative ed i diritti delle generazioni future a fruire di un integro patrimonio ambientale”* (art. 1, comma 2) e *“gli usi delle acque sono indirizzati al risparmio e al rinnovo delle risorse per non pregiudicare il patrimonio idrico, la vivibilità dell'ambiente, l'agricoltura, la fauna e la flora acquatiche, i processi geomorfologici e gli equilibri idrologici”* (art. 1, comma 3).

In quest'ottica i sistemi di depurazione naturale, sia per il trattamento secondario che terziario (finissaggio) dei reflui, rappresentano delle valide soluzioni impiantistiche capaci, attraverso una gestione semplice e poco onerosa, di ottime rese depurative (soprattutto per parametri quali COD, BOD₅, solidi sospesi e sedimentabili e Azoto) con impatto ambientale e consumo energetico nettamente ridotti rispetto ad altri sistemi depurativi

La Regione Emilia – Romagna non ha ancora recepito *in toto* il Decreto 152/99. Esiste per ora solo una Delibera della Giunta regionale 651/2000, direttiva concernente i primi indirizzi per l'applicazione del D. Lgs 11 maggio 1999, n°152 e della L.R. 22/2000 (Norme in materia di territorio, ambiente e infrastrutture).

6.3 Tipologie impiantistiche

Le tecniche di fitodepurazione esistenti possono essere classificate in base all'ecologia delle piante acquatiche (vedere par. 6.9 specie vegetali) utilizzate (Brix, 1993):

- Sistemi a idrofite galleggianti (pleustofite)
- Sistemi a idrofite radicate sommerse
- Sistemi a macrofite radicate emergenti (elofite)
- Sistemi a microfite (alghe unicellulari)

I sistemi di fitodepurazione a macrofite radicate emergenti possono essere poi suddivisi in base alla direzione di scorrimento dell'acqua in:

a) sistemi a flusso superficiale (FWS- Free water surface)

Consistono in vasche o canali dove la superficie dell'acqua è esposta all'atmosfera ed il suolo, costantemente sommerso, costituisce il supporto per le radici delle piante.

La loro costruzione prevede la realizzazione di bacini idrici e/o canalizzazioni aventi il più lungo percorso possibile in relazione alla geometria dell'area a disposizione e aventi una profondità dell'acqua, per favorire i processi biologici utili, dai 40 ai 60 cm (fig. 5).

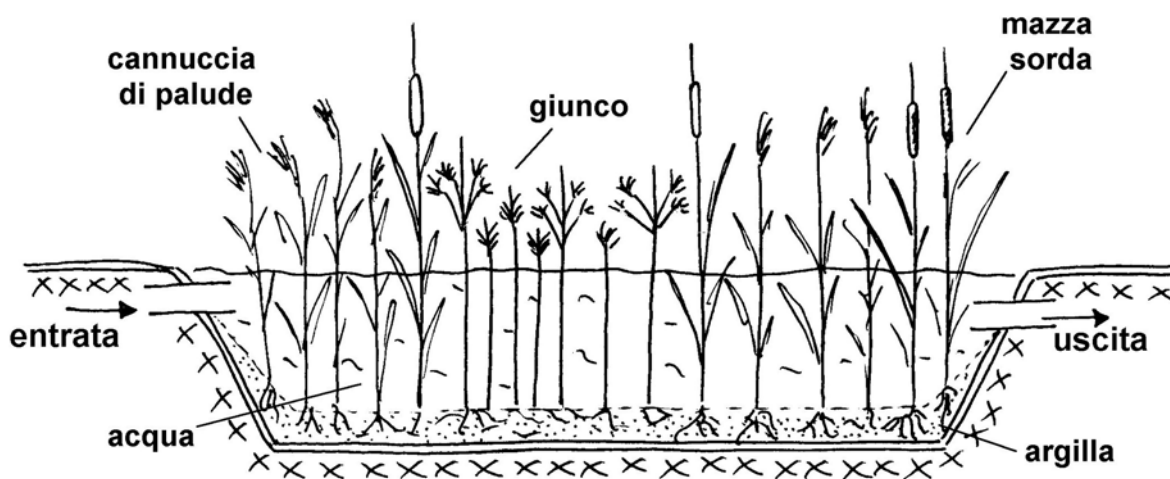


Fig. 5 - Schema impianto a flusso superficiale

Sono più adatti per il trattamento terziario dei reflui a valle di sistemi a flusso sommerso o di fanghi attivi.

L'ambiente in un sistema FWS è in genere aerobico vicino alla superficie dell'acqua e tende ad essere anossico fino a diventare anaerobico man mano che ci si avvicina al fondo. Il livello di aerazione raggiunto dipende da diversi fattori, alcuni controllabili (grado di miscelazione, stratificazione della colonna d'acqua, canalizzazioni, turbolenza, turn over, ecc.) altri non controllabili (temperatura, disponibilità e penetrazione della luce, velocità del vento, fauna).

Nei FWS la colonna di acqua è a contatto con diverse parti della pianta, a seconda delle specie presenti; il film biologico si svilupperà quindi su tutte le superfici delle piante disponibili e questo sarà il meccanismo principale di rimozione degli inquinanti: la rimozione diretta di alcuni specifici inquinanti attraverso le radici è limitata solamente alle specie galleggianti o sommerse. La mineralizzazione dei nutrienti e di altri componenti a carico della macrofite radicate emergenti può avvenire solo quando tali sostanze si ripartiscono nel sedimento in prossimità delle radici.

b) sistemi a flusso sommerso (SSF- Subsurface Flow)

In questi sistemi l'acqua scorre al di sotto della superficie e quindi non c'è un diretto contatto tra la colonna d'acqua e l'atmosfera. L'acqua scorre attraverso il medium di riempimento (ghiaia, sabbia, ecc.) in cui si trovano le radici delle piante radicate emergenti. Questi impianti stanno incontrando sempre più interesse rispetto ai FWS in virtù dell'aumento delle rese depurative a parità di superficie occupata.

Sono sistemi particolarmente adatti e utili per il trattamento secondario di reflui provenienti da situazioni lontane dalla pubblica fognatura a valle di una fossa settica o fossa Imhoff e/o per il trattamento di acque grigie e meteoriche.

A loro volta i sistemi a flusso sommerso si distinguono in:

- **orizzontale** (HF) in cui l'acqua si depura in una o più vasche della profondità di 70-80 cm contenenti materiale inerte su cui si sviluppano le radici delle macrofite. Il flusso dell'acqua rimane costantemente al di sotto della superficie del medium e scorre in senso orizzontale grazie ad una leggera pendenza del fondo del letto. Il flusso è continuo e l'ambiente è saturo d'acqua, perciò sono sistemi misti che funzionano soprattutto in anaerobiosi (fig. 6).

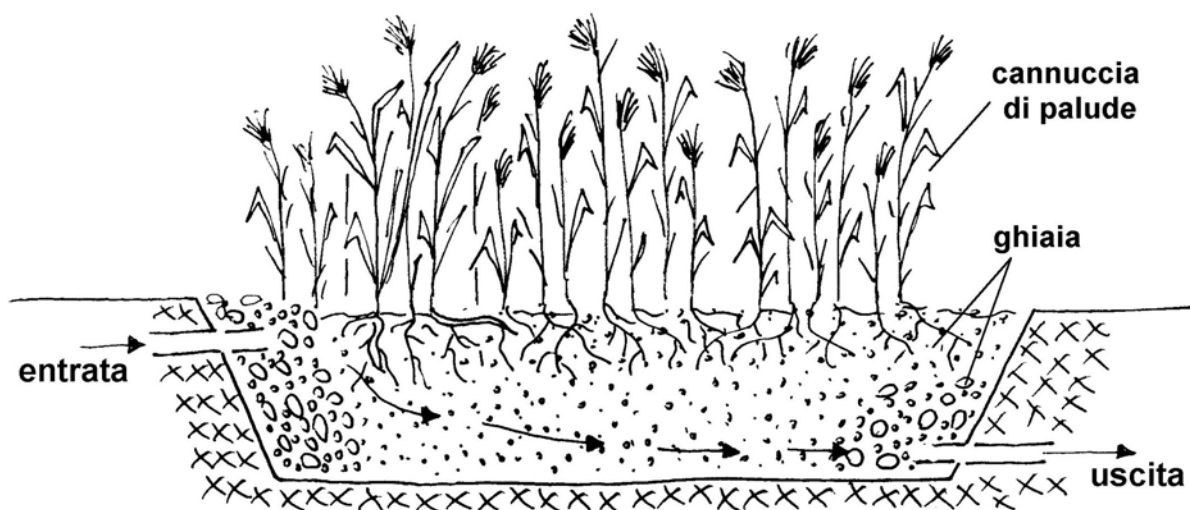


Fig. 6 - Schema impianto a flusso sommerso orizzontale

- **verticale** (VF) dove il refluo da trattare è immesso con carico alternato discontinuo e percola verticalmente in un filtro di materiali inerti profondo in genere 1 m in cui si sviluppano le radici delle macrofite. Sono sistemi prevalentemente aerobici (fig. 7).

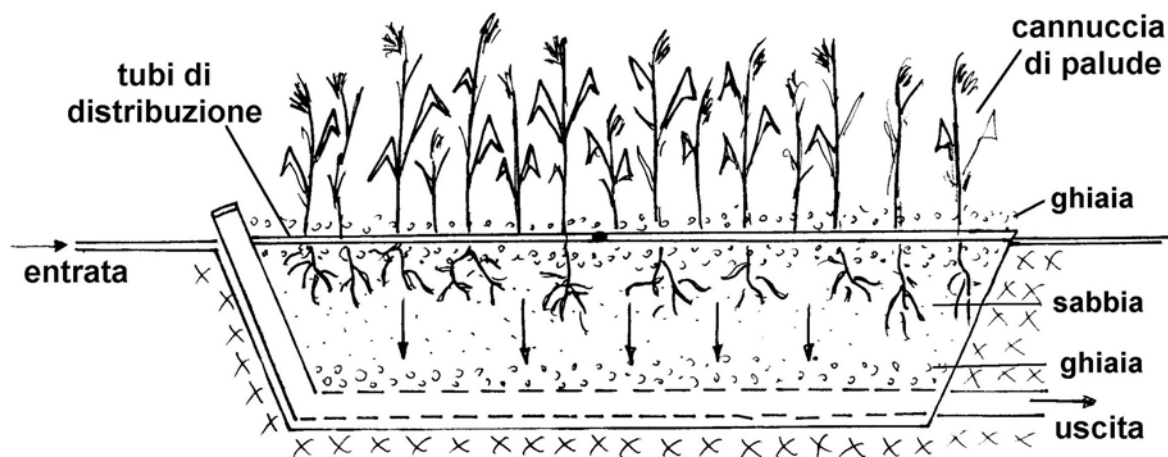


Fig. 7 - Schema impianto a flusso sommerso verticale

L'ambiente interno al letto dei sistemi SSF-h risulta essere prevalentemente anaerobico. Direttamente sulle radici e sui rizomi delle elofite tuttavia, si creano delle microzone ossidate, a cui aderisce il film batterico, che creano quindi microzone aerobiche che non si diffondono però lungo la colonna d'acqua. Nei sistemi orizzontali prevarranno quindi processi di denitrificazione mentre in quelli verticali (SSF-v), in cui il carico discontinuo favorisce un richiamo di ossigeno dall'ambiente esterno al medium di riempimento, prevarranno i processi di nitrificazione.

I Sistemi SSF progettati correttamente possono essere molto affidabili.

Nei sistemi SSF- h incorrono spesso però problemi di intasamento che causano un corto circuito del flusso e un allagamento della superficie dei letti.

I problemi sono dovuti soprattutto a :

1. insufficiente progettazione idraulica soprattutto nella fase di previsione delle quantità di reflui nella loro distribuzione temporale;
2. insufficiente distribuzione del flusso in ingresso
3. scelta inappropriata della dimensione del medium di riempimento all'ingresso e/o nell'intero sistema.

Anche nei sistemi SSF-v si possono riscontrare sul lungo periodo problemi di intasamento, in questo caso dovuti soprattutto all'erronea scelta del medium di riempimento o della portata idraulica o, infine, del carico organico distribuito su unità di superficie nell'unità di tempo (superando i 25 gr COD/m² per giorno si sono rilevati nelle esperienze tedesche ed austriache frequenti problemi di intasamento superficiale dovuto alla formazione di una crosta organica che può arrivare a diminuire di tre ordini di grandezza la quantità di ossigeno trasferita 30-40 cm al di sotto della superficie dei letti rispetto a letti non intasati, diminuendo di conseguenza le capacità ossidative caratteristiche dei sistemi verticali).

Esistono poi anche i sistemi multistadio che prevedono la combinazione delle tipologie sopra citate e i sistemi integrati o misti in cui le tecniche fitodepurative vengono affiancate ad impianti di depurazione tradizionali.

Gli Stati Uniti hanno da sempre preferito orientarsi verso i sistemi a flusso superficiale data la grande disponibilità di spazio. In Europa al contrario la tendenza è quella di usare una

combinazione dei due tipi con preferenza però per i sub-superficiali che richiedono minori superfici.

6.4 Stato dell'arte in Europa e in Italia

Attualmente esistono in Europa circa 5600 impianti di varie tipologie, la cui diffusione è visualizzata nel grafico di fig. 8 (Vymazal, 1998). Si tenga presente che per alcuni paesi europei, come la stessa Italia, insieme a Grecia, Spagna, Estonia ed Ucraina, si hanno pochi riferimenti bibliografici pur essendo certa la presenza di numerose esperienze applicative delle tecniche di fitodepurazione. Si noti che in Germania, soprattutto bassa Sassonia, si contano circa 8.000 impianti contro 150 censiti in Italia (Masi, 2000).

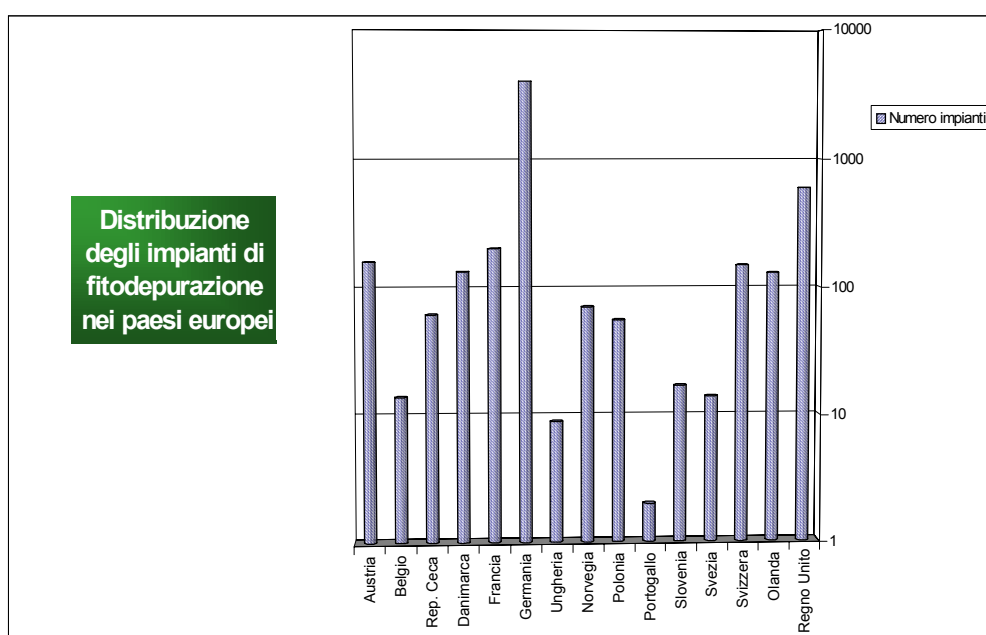


Fig. 8 - Distribuzione impianti di fitodepurazione nei paesi europei, (dati estratti da Vymazal *et al.* 1998)

Nella fig. 8 si può inoltre visualizzare la distribuzione delle varie tipologie impiantistiche in vari paesi europei: la tecnica più diffusa a livello europeo è il flusso sommerso orizzontale (SFS-h o HF), la cui conoscenza in termini di rendimenti risulta quindi adeguatamente approfondita in situazioni differenti. Nei paesi di lingua tedesca (Germania, Austria e Svizzera) si sono diffuse invece tipologie impiantistiche a flusso sommerso verticale con tecniche progettuali diverse da quelle del mondo anglosassone come sarà discusso nei prossimi paragrafi.

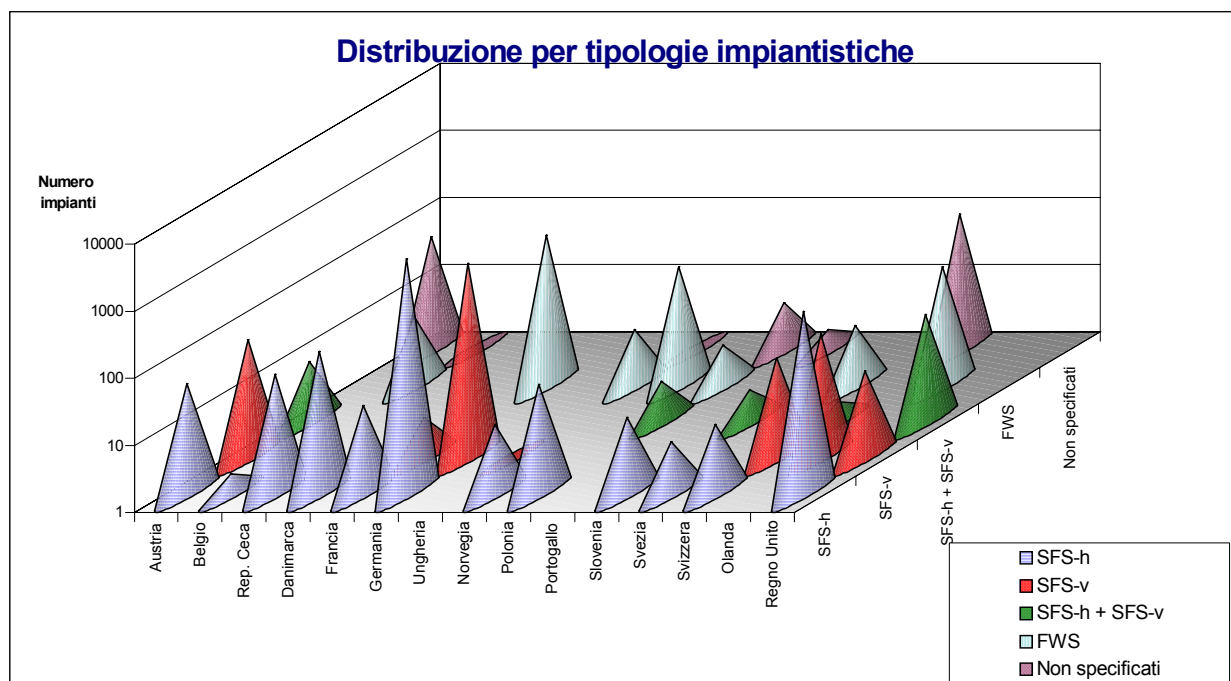


Fig. 9 - Distribuzione degli impianti di fitodepurazione in Europa suddivise per tipologie impiantistiche: flusso sommerso orizzontale (SFS-h), flusso sommerso verticale (SFS-v), SFS-h + SFS-v e flusso libero o free water (FWS)

In Italia ormai da una decina di anni gruppi di ricerca, enti pubblici e società private, hanno incominciato a verificare, sulla base delle esperienze europee e nordamericane, l'applicabilità della fitodepurazione per il trattamento delle acque. Nonostante una prima fase che ha portato, per mancanza di esperienze applicative, alla costruzione di impianti mal progettati e in alcuni casi scarsamente funzionanti, il ricorso a tali impianti non si è arrestato. L'azione coordinata di organismi come l'ANPA - Agenzia Nazionale Protezione Ambientale, l'ENEA Ente Nazionale per l'Energia e l'Ambiente, i gruppi di ricerca universitari (Ferrara, Bologna, Milano, Padova, Pavia, Firenze, Venezia, Catania, Roma, Torino, Pisa) alcune Agenzie per l'ambiente regionali, sta portando alla realizzazioni di criteri progettuali comuni e all'istituzione di una rete di controllo e monitoraggio estesa a tutto il territorio. Quest'ultimo passaggio risulta fondamentale per ottenere dati che potranno essere comparati ed elaborati per comprendere le dinamiche di funzionamento indispensabili per la redazione di linee guida progettuali mirate al bacino del Mediterraneo, evitando in questo modo il ricorso a modelli americani o nord europei.

Il censimento effettuato nel corso del 1999 – 2000 dall'Università di Torino, in sinergia con le attività del gruppo specialistico IWA (International Water Association), ha prodotto una lista di circa 150 impianti.

I dati raccolti riguardano l'ubicazione, i parametri progettuali e le rese depurative. Come è possibile visualizzare nel seguente grafico la loro distribuzione sul territorio è tutt'altro che regolare: la maggior parte è infatti concentrata nel nord del Paese.

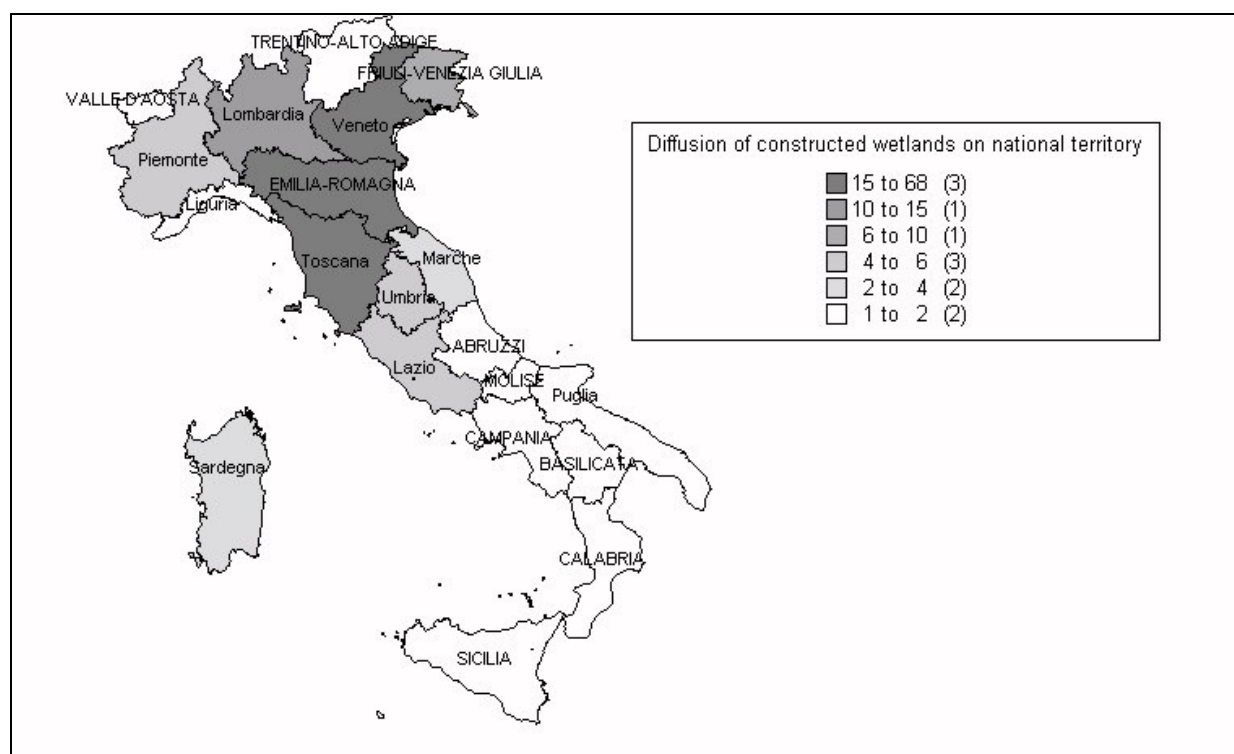


Fig. 10 - Distribuzione degli impianti di fitodepurazione sul territorio italiano

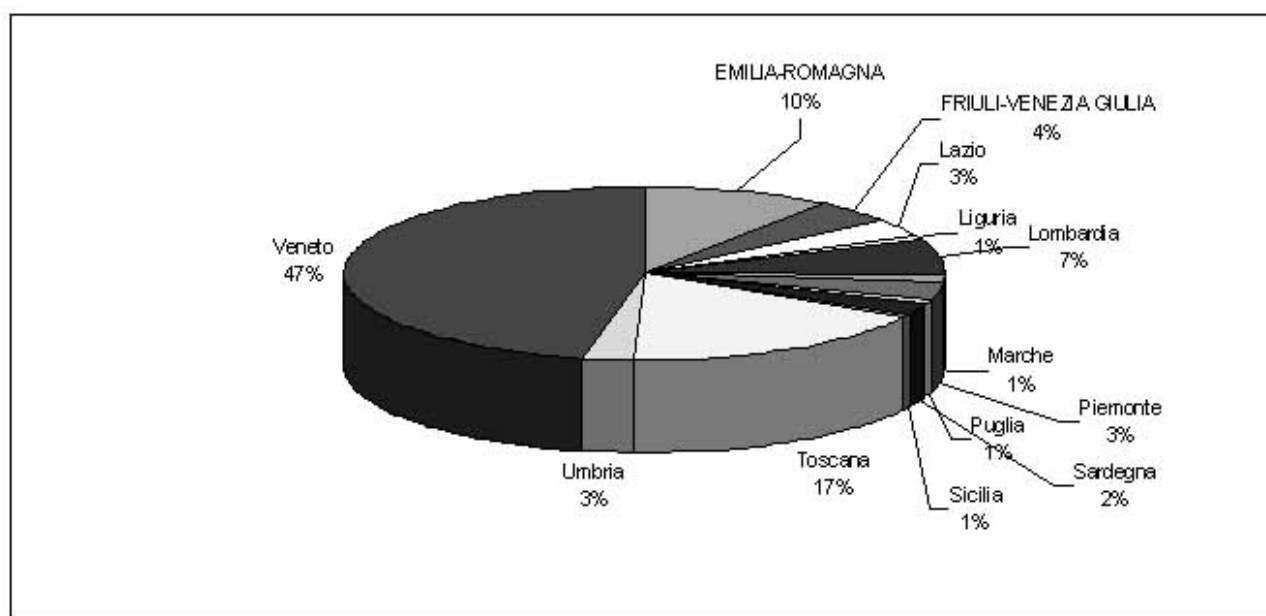


Fig. 11 - Presenza degli impianti sul territorio in percentuale

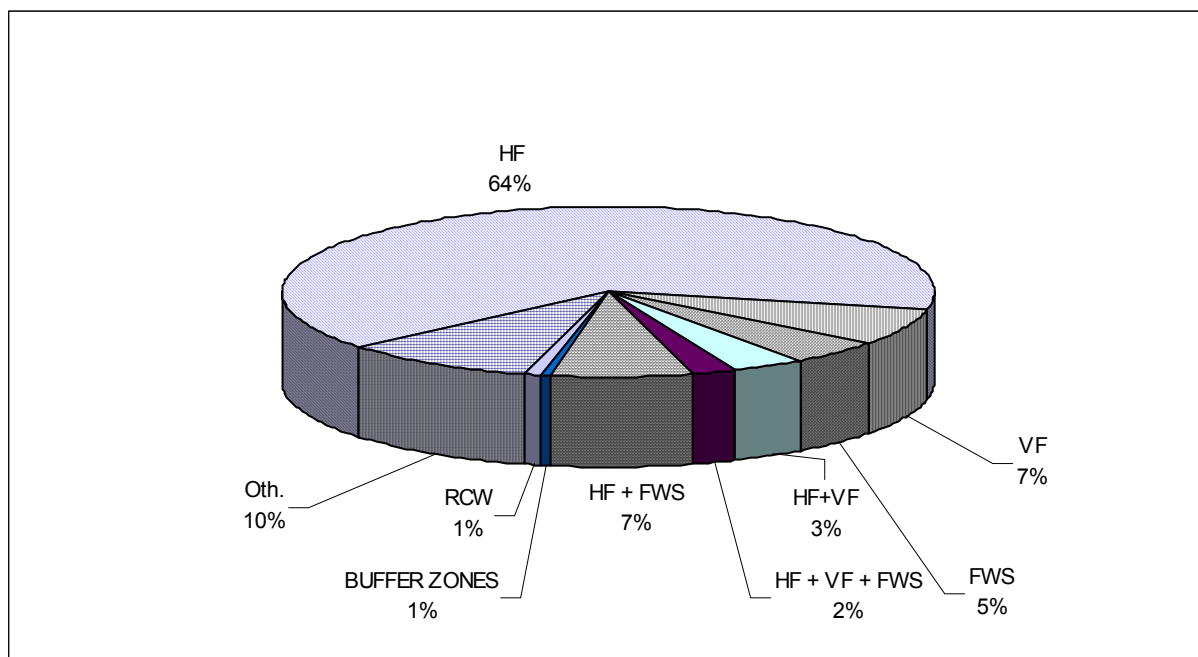


Fig. 12 - Tipologie impiantistiche adottate in Italia: flusso sommerso orizzontale (HF), flusso sommerso verticale (VF), flusso libero o free water (FWS), zone tampone (BUFFER ZONES), altre tipologie (Oth.)

Le tipologie impiantistiche adottate sono diverse, anche se prevalgono nettamente gli impianti a flusso sommerso orizzontale.

6.5 Vantaggi

Il successo dei sistemi di fitodepurazione è imputabile a fattori economici e pratici. Se non vi sono grandi differenze nei costi di realizzazione rispetto alla depurazione tradizionale lo stesso non si può dire per i costi di esercizio e manutenzione. Il funzionamento prescinde dal massiccio e costante impiego di energia elettrica e la manutenzione, limitata a periodici controlli, può essere eseguita da personale non specializzato. La sorgente esterna di energia è spesso solo quella solare (la tendenza è infatti quella di minimizzare al massimo l'utilizzo di pompe idrauliche). Sono sistemi molto flessibili che rispondono bene alle variazioni di carico organico e idraulico e possono essere concepiti come moduli aggregabili a seconda delle esigenze del caso. Il loro impatto paesaggistico non è nullo, ma addirittura positivo. Questo comporta la rapida accettazione, vista anche la funzionalità, da parte dell'opinione pubblica. In ultima analisi sono tecniche in grado di diminuire decisamente l'effetto antropico sull'ambiente, sia dal punto di vista dell'immissione di sostanze inquinanti sia come creazione di aree verdi (Masi *et al.* 2001).

Da quanto detto risulta evidente come i trattamenti di fitodepurazione rientrino perfettamente nei requisiti di "trattamento appropriato" enunciati nell'allegato 5 del D.L. 152/99 e successive modifiche: "gli scarichi provenienti da agglomerati con meno di 2000 abitanti recapitanti in acque interne e quelli provenienti da agglomerati con meno di 10.000 abitanti recapitanti in acque costiere, devono essere sottoposti ad un trattamento appropriato. I trattamenti

appropriati devono essere individuati con l'obiettivo di: a) rendere semplice la manutenzione e la gestione; b) essere in grado di sopportare adeguatamente forti variazioni orarie del carico idraulico e organico; c) minimizzare i costi gestionali.

In quest'ottica i sistemi di depurazione naturale dei reflui, sia per il trattamento secondario che terziario (finissaggio), rappresentano delle valide soluzioni impiantistiche capaci, attraverso una gestione semplice e poco onerosa, di ottime rese depurative (soprattutto per parametri quali COD, BOD₅, solidi sospesi e sedimentabili e Azoto) con impatto ambientale e consumo energetico nettamente ridotti rispetto ad altri sistemi depurativi.

Definizione di trattamento appropriato

D.Lg. 152/99, All. 5 "Limiti di emissione degli scarichi idrici", par. 3

I trattamenti appropriati devono essere individuati con l'obiettivo di:

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

Questa tipologia di trattamento può equivalere ad un trattamento primario o ad un trattamento secondario a seconda della soluzione tecnica adottata e dei risultati depurativi raggiunti.

Per tutti gli insediamenti con popolazione equivalente compresa tra 50 e 2000 a.e., si ritiene auspicabile il ricorso a tecnologie di depurazione naturale quali il lagunaggio o la fitodepurazione, o tecnologie come filtri percolatori od impianti ad ossidazione totale.

6.6 Applicazioni

La fitodepurazione rappresenta un metodo semplice di trattamento secondario delle acque di scarico applicabile sia a scarichi di tipo domestico, sia ad alcune tipologie di scarico industriali o produttive, compreso il percolato di discarica e le acque di lavaggio di strade e autostrade. Può inoltre rappresentare un sistema terziario di finissaggio per un'ampia varietà di acque reflue, già precedentemente trattate con metodi differenti.

I trattamenti terziari sono generalmente applicati a reflui, precedentemente depurati con impianti di tipo chimico-fisici e/o impianti ad ossidazione (impianti a fanghi attivi, impianti a biodischi con biomasse adese), le cui caratteristiche non soddisfano i limiti imposti dalla normativa italiana ed europea per quanto riguarda abbattimento del fosforo, dell'azoto, di metalli pesanti, di sostanze organiche che hanno tempi di biodegradabilità lenti e necessitano quindi di tempi di ritenzione più lunghi, azione tampone agli eventuali malfunzionamenti degli impianti tecnologici, affinamento della qualità microbiologica e chimica dei reflui.

La fitodepurazione può rappresentare un'efficiente ed economica tecnica depurativa sia dei reflui domestici, dalla casa singola fino a circa 2.000 abitanti, sia nelle attività agricole, zootecniche, di trasformazione alimentare o più in generale industriali, nelle quali comunque lo scarico sia caratterizzato da matrice prevalentemente organica e quindi richieda un trattamento di degradazione sostenuto essenzialmente da microrganismi.

Rappresenta inoltre la soluzione più vantaggiosa nel caso di scarichi discontinui o irregolari, come quelli derivanti da attività turistiche, campeggi, alberghi, agriturismi, o da produzioni agricole e di trasformazione di tipo stagionale, quali cantine e frantoi.

Rispetto ai sistemi di trattamento tradizionali, nella fitodepurazione può essere maggiormente assorbita la variabilità dei carichi idraulici, della temperatura, delle caratteristiche qualitative del refluo in entrata, raggiungendo comunque una discreta efficienza depurativa. Altra interessante applicazione di questa tecnica è quella di inserire bacini di fitodepurazione come fase di sicurezza rispetto ai possibili “sversamenti” accidentali di sostanze tossiche direttamente nei corpi idrici recettori (es. fenomeno di “bulking” negli impianti a fanghi attivi determinato da un improvviso deterioramento delle caratteristiche di sedimentabilità del fango che fa sì che questo tracimi copiosamente dall’impianto provocando danni ingenti nel corpo idrico nel quale si riversa).

La differenza sostanziale di questi sistemi rispetto alle tecnologie tradizionali, quali ossidazione prolungata, fanghi attivi, biodischi, è rappresentato principalmente dal fatto che nella fitodepurazione non è possibile “spegnere” il processo depurativo, per cui l’impianto funziona anche in situazioni accidentalmente sfavorevoli quali assenza di energia, sovraccarico idraulico ed organico, che al contrario inficerebbero i processi tradizionali (Camuccio & Barattini, 2000).

Tipi di refluo trattati in letteratura tramite la fitodepurazione (Cooper, 1996; Bowmer, 1985; Davies, 1993; Kadlec, 1996):

- scarichi urbani
- allevamenti zootecnici
- acque di ruscellamento delle autostrade
- acque meteoriche
- run-off agricolo
- scarichi “industriali”: percolato di discarica, acque acide di miniera, produzioni chimiche e farmaceutiche, raffinerie, cartiere, industria di trasformazione alimentare, tinture dalle industrie tessili

CAMPI D'IMPIEGO PER REFLUI DOMESTICI

1. in siti abitativi rurali dove non sia possibile o sia troppo costoso il collegamento con la fognatura pubblica
2. come smaltimento di reflui civili in campeggi, agriturismi o gruppi di case sparse
3. come trattamenti appropriati fino 2000 a.e., come stabilito dal D.lg. 152/99 e successive modifiche
4. in progetti di recupero e ristrutturazione di edifici rurali realizzati in un ottica di sostenibilità sfruttando i criteri della bioarchitettura
5. in progetti in cui si voglia inserire una gestione sostenibile del ciclo delle acque che prevede un risparmio idrico a monte, il riuso delle acque piovane e delle acque depurate con un trattamento naturale a impatto ambientale nullo e con scarso uso di tecnologie e di energia elettrica

6.7 Meccanismi di rimozione degli inquinanti

Le acque inquinate sono tali perché contengono in eccesso alcune sostanze, oppure si trovano in uno stato tale che il loro naturale equilibrio biologico e chimico-fisico risulta alterato, generando condizioni inconvenienti all'uomo e agli altri esseri viventi (tossicità, patogenicità, odori sgradevoli).

I sistemi umidi ricostruiti, o "constructed wetlands", sono capaci di rimuovere la maggior parte degli inquinanti compresi i metalli pesanti ed altri inquinanti tossici. La depurazione delle acque inquinate ha lo scopo di rimuovere le sostanze solide, sia sospese che disciolte, le sostanze chimiche sgradevoli o nocive, di eliminare o rendere inattivi i microrganismi patogeni e stabilizzare la sostanza organica. I meccanismi di rimozione riguardano la capacità autodepurativa tipica degli ambienti acquatici: gli inquinanti sono rimossi, trasformati o stoccati attraverso una combinazione di processi fisici, chimici e biologici. I sistemi acquatici forniscono infatti una diversità di nicchie e microambienti i quali giocano tutti un ruolo importante nei processi sopracitati.

L'efficienza di tutti questi processi varierà ovviamente con il tempo di residenza. Lunghi tempi di residenza hanno benefici effetti sulla rimozione degli inquinanti a patto però che non diventino troppo lunghi e cambino il potenziale redox dei sedimenti facendo in modo che i nutrienti e gli inquinanti ritornino nella colonna d'acqua. Normalmente esistono tempi di residenza ottimali che permettono al refluo di ottenere il massimo grado di depurazione (DLWC, 1998).

La parola fitodepurazione se vista dal punto di vista etimologico (dal greco *phito* = pianta) può trarre in inganno nel far ritenere che siano le piante gli attori principali nei meccanismi di rimozione. In realtà negli impianti di fitodepurazione gli inquinanti vengono naturalmente rimossi attraverso processi fisici, chimici e biologici tra cui filtrazione, adsorbimento, assimilazione da parte degli organismi vegetali, degradazione batterica ed antibiosi sono le maggiormente efficaci (Brix, 1993). Il refluo viene quindi depurato da una pluralità di meccanismi di tipo fisico, chimico - fisico e biologico in cui la parte predominante spetta alla flora microbica.

Le piante svolgono un ruolo importante trasferendo ossigeno dalle parti aeree a quelle sommerse: la penetrazione delle radici all'interno del substrato permette la creazione di microhabitat aerobici in ambiente anaerobico, che favoriscono lo sviluppo di una ricca e varia flora batterica, che esplica la vera azione degradativa. Con l'ampio apparato radicale esse consentono di mantenere costante la permeabilità idraulica del terreno, mentre la capacità di rimuovere i nutrienti per assimilazione diretta è da ritenersi minima (Adcock 1994; Brix, 1994).

PROCESSI BIOLOGICI

I principali processi biologici coinvolti nei processi di depurazione sono:

- fotosintesi (processo attuato da alghe e piante che apporta carbonio e ossigeno utili nei processi di nitrificazione e respirazione; le parti aeree delle piante trasferiscono ossigeno alle radici e quindi alla rizosfera);
- respirazione (l'ossidazione del carbonio organico è a carico degli organismi eterotrofi e porta alla formazione di biossido di carbonio e acqua);

- fermentazione (è la decomposizione della sostanza organica in assenza di ossigeno attuata da alcune specie di microrganismi che produce composti come metano, ammoniaca, acido solfidrico, alcoli e acidi grassi volatili);
- nitrificazione/denitrificazione (processo mediato da microrganismi che descrive il passaggio dell'azoto ammoniacale al massimo stato ossidato, come azoto nitrico, e quindi la rimozione per gassificazione con il successivo passaggio dei nitrati ad azoto elementare N_2);
- rimozione del fosforo a carico del biofilm e/o delle macrofite;

Le piante assumono i nutrienti e gli inquinanti disciolti dall'acqua per poi utilizzarli per la creazione di nuova biomassa. I nutrienti e gli inquinanti vengono poi trasferiti dal corpo della pianta agli organi di stoccaggio sotterranei per poi passare al sedimento attraverso l'accrescimento della lettiera quando la pianta muore.

I microrganismi, inclusi batteri e funghi, rimuovono la materia organica decomponendola in molecole più semplici utilizzando ossigeno. Diversi microrganismi hanno una specifica sensibilità per l'ossigeno disciolto, *range* di temperatura e nutrienti. Alcuni composti azotati vengono trasformati dall'attività microbica in altre molecole (nitrificazione - denitrificazione) e perse nell'atmosfera attraverso il processo di massificazione. Molti dei microrganismi che si riscontrano nelle aree umide sono gli stessi che si ritrovano nei sistemi tradizionali di trattamento delle acque.

PROCESSI CHIMICI

Le reazioni chimiche che avvengono tra determinate sostanze, in special modo i metalli pesanti, possono portare alla loro precipitazione come componenti insolubili, mentre l'esposizione alla luce e ai gas atmosferici possono invece rompere le molecole organiche dei pesticidi o uccidere organismi patogeni (EPA, 1995).

Certi componenti organici che entrano nell'area umida si disperdono direttamente nell'atmosfera per volatilizzazione. Questo effetto è molto importante nella fitodepurazione a flusso superficiale.

I meccanismi di ossido-riduzione che avvengono nell'acqua e nei sedimenti risentono della concentrazione di ossigeno. Il potenziale di riduzione, infatti, che è una misura del potenziale redox, determina la solubilità o l'insolubilità dei nutrienti e dei metalli. Il pH dell'acqua e dei sedimenti esercita una forte influenza sulla direzione di molte reazioni, incluse le trasformazioni biologiche, e sulla separazione delle forme ionizzate e non-ionizzate di acidi e basi, scambio cationico, solubilità di gas e parti solide.

PROCESSI FISICI

I processi fisici riguardano la filtrazione meccanica e la deposizione di sostanze per sedimentazione, dal momento che la velocità dell'acqua è sufficientemente bassa da permettere ai solidi sospesi, spesso associati a nutrienti ed altri inquinanti, di depositarsi.

INQUINANTI	MECCANISMI DI RIMOZIONE
Materia organica (misurata come BOD)	<i>Degradazione batterica aerobica e anaerobica</i>
microinquinanti organici (es. pesticidi, tricloroetano, cloroformio, PCB, ecc)	<i>Adsorbimento sedimentazione volatilizzazione evaporazione fotosintesi degradazione biotica / abiotica</i>
Solidi sospesi	<i>Sedimentazione Filtrazione</i>
Azoto	<i>Ammonificazione / nitrificazione / denitrificazione Assorbimento radicale Adsorbimento (assorbimento nel substrato)</i>
Fosforo	<i>Adsorbimento, assorbimento radicale Precipitazione</i>
Microorganismi patogeni	<i>Sedimentazione filtrazione predazione degradazione con UV adsorbimento, morte naturale azione degli antibiotici emessi dalle radici</i>
Metalli pesanti	<i>Adsorbimento Complessazione Precipitazione Assorbimento radicale Ossido – riduzione batterica</i>

Tab. 1 - Meccanismi di rimozione dei principali inquinanti in un impianto di fitodepurazione (da Cooper 1996, modificato)

Di seguito si riporta la descrizione dei principali inquinanti e relativi meccanismi di rimozione in un impianto di fitodepurazione (tab. 1):

Il **materiale particolato** rappresenta una componente significativa (circa il 25-30%) del carico inquinante presente nel refluo. La sua rimozione deve avvenire soprattutto nel pretrattamento (fossa settica, vasca di sedimentazione tricamerale, Imhoff, ecc.) per non occludere la porosità del medium di riempimento della vasca di fitodepurazione. Il particolato sospeso che non viene rimosso in questa fase preliminare è separato dalle acque mediante filtrazione e sedimentazione nello strato ghiaioso. La capacità di sedimentazione è relazionata alla velocità di flusso del refluo all'interno del medium ed agisce sinergicamente con il processo di filtrazione da parte del film biologico (pellicola batterica) adeso al materiale di riempimento.

La **sostanza organica** è costituita da sostanze quali carboidrati, grassi, proteine, saponi, detergenti, ecc. che possono trovarsi in forma solida, in sospensione, in soluzione, nel sedimento o parzialmente metabolizzate.

I composti organici disciolti presenti nel refluo subiscono un processo di decomposizione prevalentemente aerobica per opera dei microrganismi (batteri, funghi) adesi alla superficie dei rizomi delle elofite del substrato. L'ossigeno necessario per questi processi proviene sia direttamente dall'atmosfera per diffusione nel liquame sia indirettamente dalla piante attraverso il rilascio da parte delle radici delle elofite o dall'attività fotosintetica di microfite e pleustofite.

Nei sistemi a flusso sub-superficiale l'efficienza di rimozione risulta sensibilmente maggiore rispetto alle altre tipologie di fitodepurazione, per la presenza di un'elevata area di contatto tra liquame e il film batterico adeso alla superficie del medium.

La degradazione anaerobica predomina su quella aerobica quando la quantità di ossigeno viene ad essere limitante, ad esempio in presenza di alti carichi organici o in relazione all'elevata profondità del letto sommerso (Cooper, 1996).

Poiché questo processo è legato all'attività batterica, esso dipende fortemente dalle condizioni climatiche e quindi dalla temperatura del liquame. I sistemi a flusso sub-superficiale risultano essere, sotto questo aspetto, i più stabili in quanto lo strato di ghiaia e la lettiera sovrastante il flusso idrico agiscono da coibentante mantenendo la temperatura interna sempre superiore ai 0°C, anche quando all'esterno la temperatura dell'aria risulta di molto inferiore.

Nelle acque reflue l'**azoto**, pur potendo essere presente in varie forme chimiche che corrispondono a diversi stati di ossidazione dell'elemento, compare in percentuale maggiore sotto forma di ammoniaca. I composti azotati derivano dalla demolizione delle proteine presenti nei liquami ad opera della comunità batterica (ammonificazione). L'abbattimento dell'ammoniaca è legato principalmente ad un processo di ossidazione (nitrificazione) dello ione ammonio che avviene nei micrositi aerobici adiacenti alla superficie radicale delle elofite (Reed, 1995). I composti che si producono, i nitrati, diffondendo verso le zone anaerobiche, subiscono un processo di riduzione (denitrificazione) e vengono trasformati in azoto gassoso, che si libera nell'atmosfera.

Tutti i processi descritti si realizzano ad opera di alcune specie di batteri che utilizzano i composti azotati come fonte di energia (es. *nitrosomonas*, *nitrobacter*).

Nei sistemi a flusso sommerso verticale l'ambiente risulta essere prevalentemente aerobio a causa dell'alimentazione discontinua che provoca un richiamo di aria dall'esterno al mezzo: qui prevarranno i processi di nitrificazione. Nei sistemi a flusso sommerso orizzontale invece il medium è sempre saturo di acqua e quindi anaerobico tranne che nelle microzone ossidate aderenti alle radici delle elofite.

Oltre che per nitrificazione e denitrificazione la rimozione dell'azoto avviene ad opera di processi secondari quali la volatilizzazione dell'ammoniaca, l'assorbimento da parte delle piante e l'adsorbimento da parte del substrato. La liberazione dello ione ammonio sotto forma di gas (volatilizzazione) avviene a valori di pH superiori a 8 e l'entità del processo dipende da quanto azoto ammoniacale riesce a raggiungere la superficie dell'acqua (McIntyre, 1991). L'assunzione dell'azoto da parte delle piante avviene per assorbimento tramite l'apparato radicale mentre l'ammoniaca viene utilizzata nei processi metabolici di costruzione delle sostanze proteiche: l'entità di questo processo è comunque limitata (Brix, 1994). Il substrato, in virtù della sua capacità di scambio, può adsorbire ioni ammonio: si ritiene tuttavia che il processo sia rapidamente reversibile quando la nitrificazione fa diminuire la concentrazione degli ioni ammonio nella soluzione acquosa (Cooper, 1996).

Il **fosforo** è presente nei liquami sotto forma di ortofosfato, polifosfato oppure in forma organica, soprattutto negli scarichi industriali. L'ossidazione batterica converte in ortofosfato tutte le forme di fosforo presenti.

La rimozione dell'ortofosfato avviene principalmente attraverso fenomeni di adsorbimento da parte del substrato, in presenza di composti inorganici di ferro e alluminio e da parte del calcio e dei minerali presenti nell'argilla. Visto il ruolo importante svolto dal substrato sono soprattutto la qualità e la grandezza del materiale di riempimento che possono favorire una maggiore rimozione di fosforo. Per tale motivo la tipologia tedesca dei flussi sommersi verticali utilizza la sabbia come substrato per il filtro in cui naturalmente sono presenti tracce di ferro che permettono la precipitazione dei fosfati.

Secondo Cooper *et al.* (1996), oltre che con questi meccanismi la rimozione del fosforo avviene anche tramite la complessazione e la precipitazione.

Come per l'azoto l'assunzione da parte delle piante risulta generalmente piuttosto limitata e può essere significativa solo in sistemi progettati con un basso tasso di carico per superficie (Breen, 1990).

CICLO ORGANICO DEL FOSFORO

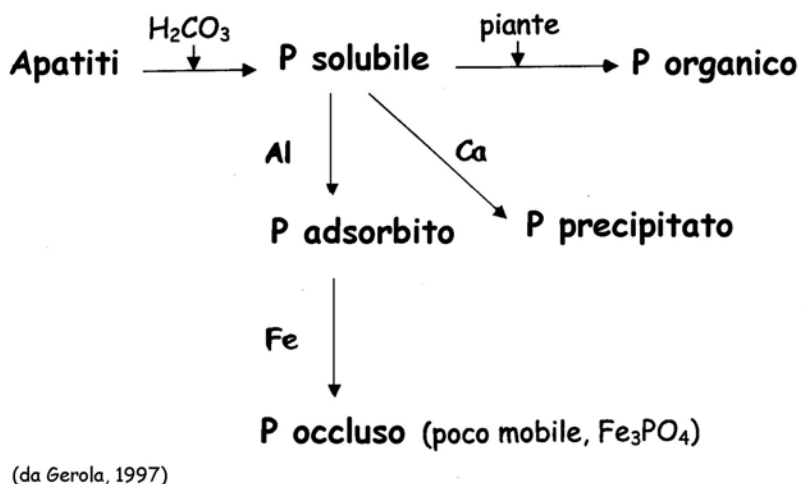


Fig. 13 Ciclo del fosforo (biociclo)

I **metalli pesanti** possono essere presenti in concentrazioni significative negli scarichi industriali, ma elevate concentrazioni di rame, nichel, zinco, piombo e cadmio si possono ritrovare anche nei reflui domestici ed urbani.

Tutti i microrganismi richiedono, per il loro normale metabolismo cellulare, la presenza, in concentrazioni molto basse, di alcuni metalli quali ad esempio potassio, magnesio, manganese, calcio, ferro, rame, zinco e molibdeno. Tuttavia, elevate concentrazioni di tali metalli risultano senz'altro tossiche per batteri e funghi.

La rimozione dei metalli è legata a processi di sedimentazione, filtrazione, precipitazione chimico-fisica, adsorbimento sulla parete cellulare dei batteri, nonché a reazioni biologiche, in particolare ossidazioni, operate dalla biomassa adesa sui rizomi e sul medium di riempimento.

I sistemi di pretrattamento e quelli di depurazione tradizionali delle acque reflue urbane e domestiche hanno un'efficienza inadeguata alla rimozione di questi elementi.

La fitodepurazione, in particolare quella sub-superficiale, ha invece una buona capacità di sequestro dei metalli. Si pensi che in un impianto a Santee in California, rame, zinco e cadmio sono stati rimossi con un'efficienza rispettivamente del 99, 97, 99% ed un tempo di ritenzione idraulico di 5,5 giorni (Gersberg, 1985).

Nei sistemi a macrofite natanti si è segnalata la capacità del giacinto d'acqua (*Eichornia crassipes*) di assimilazione e bioaccumulo con valori variabili dal 18% per l'arsenico al 68% per il rame.

Le piante possono assorbire una certa quantità di metalli, ma la loro assunzione si accompagna a danni strutturali del tessuto (Volterra *et al.*, 1994). Il substrato, invece, trattiene i metalli in funzione della sua capacità di scambio cationica (Cossu, 1984).

Di recente applicazione è la phytoremediation o fitodecontaminazione che prevede l'adozione di particolari specie di piante, utilizzate come bioaccumulatori, per risanare aree industriali dismesse, ex discariche o terreni contaminati da metalli pesanti o radionuclidi.

Le strategie impiegate nel biorecupero sono: rizofiltrazione, fitoestrazione, fitostabilizzazione, fitodegradazione. Alcune specie utilizzate sono: *Medicago sativa* (Cd, Ni, CU, Cr, Pb, Zn), *Silene vulgaris* e *Brassica juncea* (Zn, Cd), *Populus spp* (Cd, arsenico, tricloroetilene), *Helianthus annuus* (radioattività) (Brooks, 1998). Le piante "esauste" a fine ciclo vengono disidratate e trattate come rifiuto speciale: da esse è possibile riestrarre i metalli accumulati e utilizzarli come materia prima industriale.

Gli scarichi industriali ed urbani contengono in quantità variabile diversi **microinquinanti organici** provenienti da composti di sintesi (benzene, tricloroetano, PCP-pentaclorofenolo, cloroformio, ecc) che normalmente resistono alla depurazione nei sistemi tradizionali di trattamento e persistono nell'ambiente per lunghi periodi, accumulandosi nelle catene alimentari degli ecosistemi, ed in particolare nei predatori e nei superpredatori.

I sistemi naturali hanno una notevole capacità di rimozione di questi composti, soprattutto per degradazione biologica, anche se i processi chimico-fisici di adsorbimento, sedimentazione ed evaporazione e i processi chimici o fotochimici possono avere una rilevanza significativa (Giger, 1978).

Se nei sistemi di trattamento ipertecnologici si utilizzano particolari colonie batteriche in grado di degradare specifiche catene organiche stabili, nella fitodepurazione, dove la popolazione microbica risulta ecologicamente molto più complessa, si arriva, per via molto più naturale, ad un buon trattamento anche di composti molto stabili come il catrame.

I sistemi a flusso sub-superficiale hanno evidenziato una rimozione pari al 99% di composti organici, dal PCP(pentaclorofenolo) al cloroformio, anche se i sistemi con il giacinto d'acqua possono risultare altrettanto efficienti (Reed, 1987).

La rimozione dei **microrganismi patogeni** risulta particolarmente efficace con la fitodepurazione, fornendo valori di abbattimento del 99%. Il passaggio del liquame attraverso micrositi aerobici alternati agli anaerobici nella rizosfera comporta uno stress per i microrganismi non metabolicamente adattati a tenori diversi di ossigeno e quindi porta ad una loro elevata mortalità. A questo si devono aggiungere i processi fisici di filtrazione e

sedimentazione che avvengono durante il passaggio attraverso il substrato, la predazione da parte di nematodi e protozoi e la morte naturale (Gersberg 1987).

Il tasso di rimozione sembra essere legato con proporzione diretta non solo al tempo di residenza, che deve essere almeno superiore a 1 o 2 giorni, fino a 6 giorni, ma anche alle condizioni di umidità relativa dell'aria, con una maggiore efficienza di rimozione in ambiente secco (Green, 1997).

6.8 Rendimenti di depurazione

Si riportano di seguito i rendimenti di depurazione, per alcuni parametri chimico-fisici e microbiologici, delle principali tipologie impiantistiche situate nella regione Emilia-Romagna.

1. Lugo di Baiso (RE) - trattamento secondario reflui urbani, 50 ae (Pergetti, 1995).
2. Poggio Antico, Montespertoli (FI) - trattamento secondario reflui agro-industriali, 20 ae (Masi, 2000).
3. Moscheta, Firenzuola (FI) - trattamento secondario reflui domestici, 150 ae (Conte, 2000).
4. Az.S. Lucia, Casina (RE) - trattamento secondario reflui sala di mungitura + domestici, 38 ae (Mantovi, 2001).
5. A.M.G.A Cesena – trattamento secondario acque reflue urbane, 25 ae (Piraccini, 1998).
6. Az. La Collina, Codemondo (RE) – trattamento secondario reflui domestici, 30 ae (Romagnoli, 2001).
7. Gorizia – trattamento terziario reflui urbani, 1000 ae (Vecchiet, 2000) .
8. Bobbio (PC) – trattamento terziario reflui urbani, 6000 ae (Malcevschi, 1988).
9. Bentivoglio (BO) – trattamento terziario di reflui urbani, 3000 ae.
10. Viano (RE) – trattamento secondario reflui urbani, 100 ae (Pergetti, 2001).

			BOD₅			COD			NH₄			Pt			SST		
	1°	2°	in	out	%	in	out	%	in	out	%	in	out	%	in	out	%
1	I	H	96	30	69	267	102	62	52,9	42,3	20	4,3	2,4	46	93	16	83
2	ID	H	-	-	-	908	73	92	33	15	55	18	14	20	145	28	81
3	ID	H	64	30	53	543	30	95	52	8	85	11	6	44	308	5	98
4	I	H	505	32	94	105	1,4	99	22	23	-6	14	5	64	0,8	0,1	91
5	I	Vi	199	9	95	323	52	84	48	5	90	11	2	78	279	23	92
6	I	Vt	71	2	97	246	23	91	55	0,3	99	4,2	2,5	41	97	10	90
7	FA	Vi	260	12	95	633	34	95	13	0,9	94	-	-	-	-	-	-
8	FA	F	3	2	50	15	14	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	B	FH	-	-	-	335	44	87	39	8	80	5	1	80	56	20	64
10	I	HVi	178	3	98	421	44	90	44	7	84	6,3	0,91	85	250	16	94

Legenda tabella:

1° = Trattamenti primari

I - Fossa Imhoff

D - Degrassatore

FA - Fanghi attivi

B - Biodischi

2° = Trattamenti secondari

F - Sistemi a flusso superficiale

H - Sistemi a flusso sommerso orizzontale

Vi - Sistemi a flusso sommerso verticale tip. inglese

Vt - Sistemi a flusso sommerso verticale tip. tedesca

In = refuo ingresso

Out = refluo uscita

% = rimozione percentuale

Tab. 2 - Rendimenti di depurazione per alcuni parametri chimico -fisici (espressi in mg/l) in alcune tipologie impiantistiche.

Attualmente i limiti allo scarico degli impianti al servizio di piccoli agglomerati sono regolamentati dalla Tab. II della legge regionale vigente (L.R.7/83 dell'Emilia Romagna); si riportano i limiti degli inquinanti più significativi:

Parametri	u. m.	Tabella II L.R. 7/83
BOD ₅	mg/l	250
COD	mg/l	500
MST	mg/l	200
N-NH ₄	mg/l	50
N- NO ₂	mg/l	0.6
N – NO ₃	mg/l	30
P tot	mg/l	15

1. Lugo di Baiso (RE) - trattamento secondario reflui urbani (Pergetti, 1995)
2. Poggio Antico, Montespertoli (FI) - trattamento secondario reflui agro-industriali, 20 ae (Masi, 2000)
3. Moscheta, Firenzuola (FI) - trattamento secondario reflui domestici, 150 ae (Conte, 2000)
4. Borca di Cadore (BL) – trattamento secondario reflui urbani, 600 ae (Egaddi,
5. Pentolina (SI) – trattamento terziario reflui domestici, 500 ae (Conte, 2000)
6. Az. La Collina, Codemondo (RE) - trattamento secondario reflui domestici, 30 ae (Romagnoli, 2001)
7. Gorizia – trattamento terziario reflui urbani, 1000 ae (CETA Vecchiet, 2000)
8. Bobbio (PC) – trattamento terziario reflui urbani, 6000 ae (Malcevschi, 1988)

			BOD ₅			COD			NH ₄			Pt			SST		
1°	2°		in	out	%	in	out	%	in	out	%	in	out	%	in	out	%
1	I	H	96	30	69	267	102	62	52,9	42,3	20	4,3	2,4	46	93	16	83
2	ID	H	-	-	-	908	73	92	33	15	55	18	14	20	145	28	81
3	ID	H	64	30	53	543	30	95	52	8	85	11	6	44	308	5	98
4	I	H	505	32	94	105	1,4	99	22	23	-6	14	5	64	0,8	0,1	91
5	I	Vi	199	9	95	323	52	84	48	5	90	11	2	78	279	23	92
6	I	Vt	71	2	97	246	23	91	55	0,3	99	4,2	2,5	41	97	10	90
7	FA	Vi	260	12	95	633	34	95	13	0,9	94	-	-	-	-	-	-
8	FA	F	3	2	50	15	14	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	B	FH	-	-	-	335	44	87	39	8	80	5	1	80	56	20	64
10	I	HVi	178	3	98	421	44	90	44	7	84	6,3	0,91	85	250	16	94

Legenda tabella:

1° = Trattamenti primari

I - Fossa Imhoff

D - Degrassatore

FA - Fanghi attivi

B - Biodischi

2° = Trattamenti secondari

F - Sistemi a flusso superficiale

H - Sistemi a flusso sommerso orizzontale

Vi - Sistemi a flusso sommerso verticale tip. inglese

Vt - Sistemi a flusso sommerso verticale tip. tedesca

In = refuo ingresso

Out = refluo uscita

% = rimozione percentuale

Tab. 3 - Rendimenti di depurazione in alcune tipologie impiantistiche per alcuni parametri microbiologici espressi in mpn/100ml.

6.9 Specie vegetali

Le specie vegetali utilizzate in fitodepurazione sono piante acquatiche superiori e/o alghe (macrofite e microfite), che vivono normalmente nelle zone umide naturali (laghi, stagni, paludi, ecc.).

In un lago è possibile individuare in relazione alla profondità dell'acqua tre zone (Fig. 14):

- litorale
- pelagica (zona eufotica caratterizzata da organismi che fluttuano passivamente, plancton)
- bentonica (zona afotica, priva di luce, corrisponde al fondo del lago ed è popolata solo da specie animali come il macrobenthos).

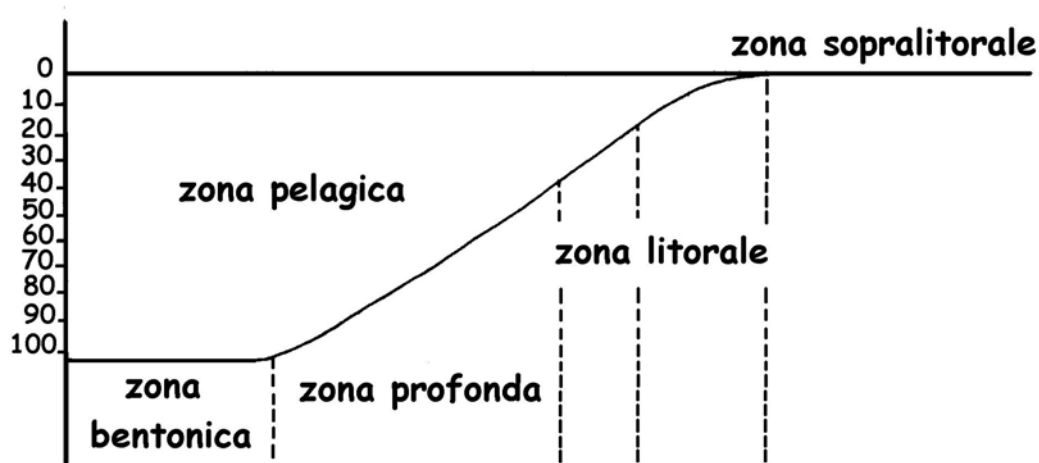


Fig. 14 - Sezione trasversale di un lago e sua zonazione in base alla profondità.

In un ecosistema lacustre le piante acquatiche tendono ad occupare diverse nicchie ecologiche a seconda della profondità dell'acqua. Nella zona litorale (Fig. 15) troveremo quindi a partire dall'esterno:

- **macrofite emergenti o elofite** (cariceto, fragmiteto, tifeto, giuncaia), radicate al fondo con fusto e foglie totalmente emergenti;
- **idrofite sommerse** (potameto e careto), radicate al fondo sommerso e presenti solo all'interno della massa d'acqua;
- **idrofite flottanti o pleustofite** (lemneto e nufareto), liberamente natanti sul pelo dell'acqua o radicate al fondo ma con le foglie in emersione.

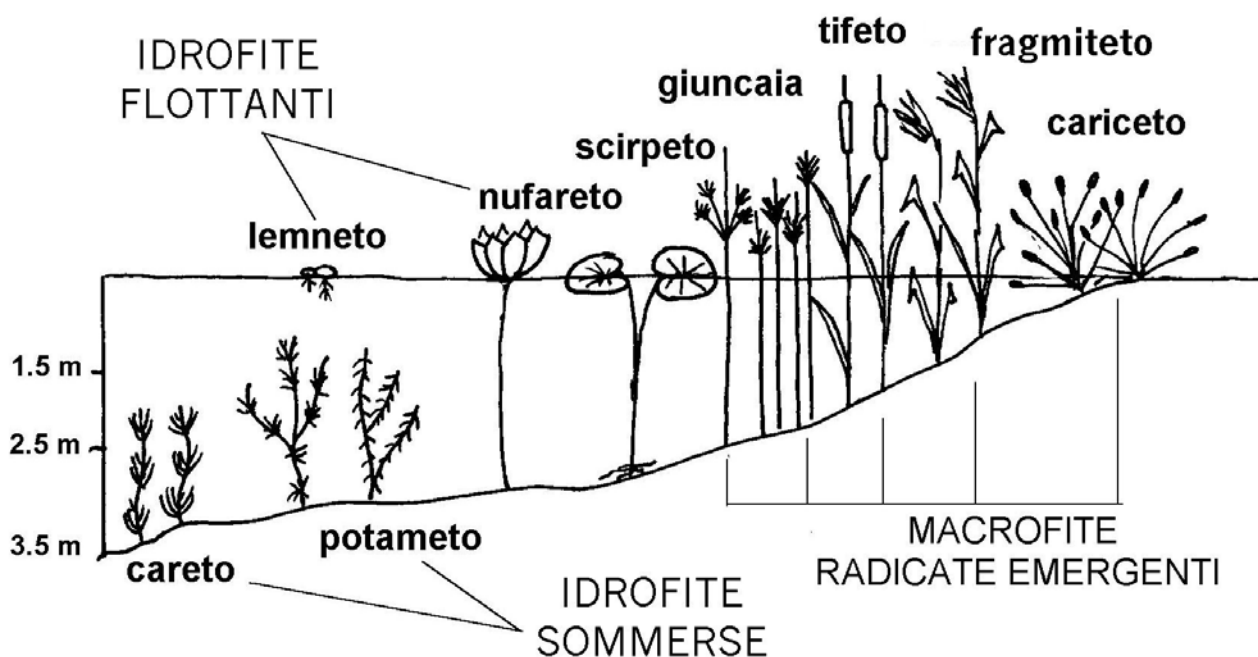


Fig. 15 - Colonizzazione della zona litorale di un lago

Nella zona pelagica vivranno specie fitoplanctoniche come le **microfite o microalghe**. Queste sono organismi unicellulari caratterizzati da un breve tempo di vita e da una rapida crescita. Possono formare colonie molto estese sulla superficie dell'acqua ed hanno una notevole capacità di assimilare nutrienti dalla massa idrica. Esigono però condizioni di temperatura elevata e costante per garantire una buona efficienza depurativa durante l'intero arco dell'anno.

Le microalghe che sono coinvolte nella fitodepurazione appartengono alla famiglia delle Cloroficee (o alghe verdi) come *Chlorella*, *Scenedesmus* e *Coelastrum*, alle Cianoficee (o alghe azzurre) come *Spirulina*, ed alle Diatomee (o alghe silicee) come *Dunaliella* (Camuccio & Barattin, 2001).

Nome scientifico	Nome comune
<i>Phragmites australis</i>	Cannuccia di palude
<i>Typha latifolia</i>	Mazza sorda
<i>Juncus effusus</i>	Giunco comune
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	Lisca lacustre o giunco da stuoie
<i>Carex elata</i>	Carice spondicola
<i>Trapa natans</i>	Castagna d'acqua
<i>Lemna</i> spp, <i>Spirodela</i> sp , ecc.	Lenticchie d'acqua
<i>Nymphaea alba</i>	Ninfea comune
<i>Nuphar lutea</i>	Ninfea gialla
<i>Potamogeton crispus</i>	Lattuga ranina

Tab. 4 - Nome scientifici e comuni delle più comuni piante acquatiche.

La funzione della vegetazione

Negli impianti di fitodepurazione le piante hanno un ruolo attivo e non puramente estetico ai fini della depurazione .

Il trattamento delle acque si basa infatti sulla crescita cooperativa delle macrofite e dei microrganismi ad esse associati, che svolgono una buona parte del processo di degradazione della materia organica. Le piante acquatiche rimuovono parte delle sostanze indesiderate attraverso l'assimilazione diretta nei tessuti e forniscono superficie e ambiente idoneo ai microrganismi che trasformano gli inquinanti e ne riducono la concentrazione.

Nell'ambiente acquatico naturale lo sviluppo eccessivo di formazioni vegetali, soprattutto se monospecifiche, è indice di una elevata condizione trofica (eutrofizzazione) generata da fenomeni di inquinamento soprattutto organico e da nutrienti (composti azotati e fosfati). Ciò che risulta essere uno stato di degrado dell'ecosistema si rivela per gli organismi vegetali una situazione vantaggiosa, che incentiva la crescita e la proliferazione di alghe e piante acquatiche. Queste si comportano da filtri biologici, rimuovendo le sostanze inquinanti dall'acqua e contemporaneamente rifornendola di ossigeno.

Alcune elofite come *Phragmites* e *Typha* , mediando il trasferimento di ossigeno dalle parti aeree alla rizosfera attraverso la perdita di ossigeno dalle radici stesse, incrementano la degradazione aerobica delle sostanze organiche e la nitrificazione. Particolarmente importante è *Phragmites australis* che non solo funziona come **pompa di ossigeno**, ma è anche in grado di costruire intorno ai suoi fusti un microecosistema molto efficiente in grado di eliminare gli elementi estranei (ad esempio microrganismi patogeni) (Brix, 1994; Vretare, 2000).

Le piante acquatiche hanno la caratteristica di possedere un tessuto spugnoso, il **parenchima aerifero**, particolarmente sviluppato nei fusti e nelle radici caratterizzato da grandi spazi intercellulari pieni d'aria. Le radici delle piante acquatiche sono infatti normalmente immerse nei sedimenti, cioè in un ambiente poverissimo di ossigeno che impedisce loro di respirare per procurarsi l'energia necessaria all'assorbimento degli ioni. La pianta quindi per sopravvivere trasporta l'ossigeno dagli organi aerei (fusto e foglie) attraverso la rete di canali del parenchima aerifero.

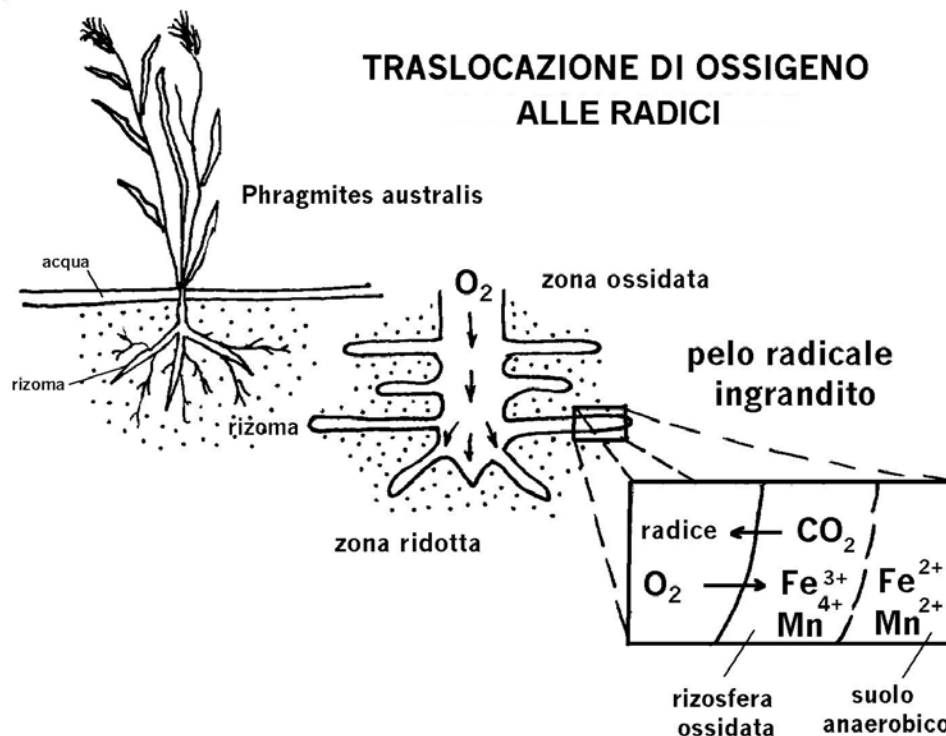


Fig. 16 - Trasferimento di ossigeno in *Phragmites australis*

Il trasferimento di ossigeno all'interno della pianta avviene per diffusione passiva secondo il gradiente di concentrazione del gas negli spazi interni (Fig. 16) e per flusso convettivo guidato dal gradiente di pressione che si genera per i diversi processi fisici presenti. Diversi autori indicano come cause del gradiente di pressione le differenze di temperatura e di tensione di vapore dell'acqua attraverso i setti porosi dei tessuti vegetali, oppure l'effetto Venturi-indotto (fig. 17) che si genera dal gradiente della velocità del vento attorno alla pianta (Armstrnong & Armstrnong, 1990; Brix, 1993). L'effetto Venturi-indotto consente il passaggio di ossigeno nelle piante danneggiate o morte anche durante l'inverno, e di notte, perché non dipende dalla temperatura esterna.

Sulla quantità di ossigeno trasferito alle radici non esistono valori uniformi in letteratura, probabilmente a causa delle differenti condizioni sotto le quali sono stati condotti gli esperimenti. In letteratura è segnalato un rilascio di ossigeno da parte delle radici di *Phragmites australis*, che oscilla da $0,02 \text{ g/m}^2/\text{d}$ a valori tra 5 e $45 \text{ g/m}^2/\text{d}$ (Reed & Brown, 1992), variabili secondo la densità delle piante, la richiesta di ossigeno da parte del suolo saturo e le caratteristiche di permeabilità delle radici.

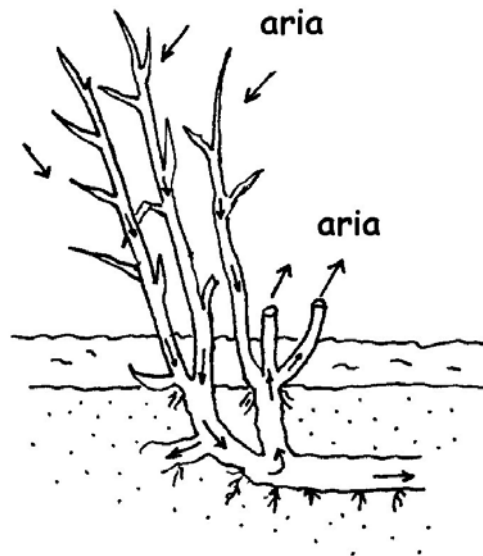


Fig. 17 - Flusso convettivo di gas in *Phragmites australis* (Brix 1993, modificato)

Le funzioni più importanti che le macrofite svolgono nella depurazione sono legate agli effetti fisici di trasferimento dell'ossigeno. Sviluppando un apparato radicale fitto e intrecciato esse stabilizzano la superficie del substrato garantendo delle buone condizioni per i fenomeni di filtrazione fisica prevenendo così l'intasamento del medium. Inoltre forniscono un'ampia superficie e un ambiente ideale per la crescita microbica; mediano il trasferimento di ossigeno negli spazi in prossimità delle radici, accelerando i processi di degradazione aerobica di sostanza organica e di nitrificazione; assorbono nutrienti; detossificano composti organici tossici e possono essere utilizzate per accumulare metalli pesanti. Infine, la lettiera che si deposita sulla superficie del substrato durante il periodo invernale, isola dal gelo il refluo, consentendo alla popolazione batterica di continuare la sua attività.

Giunto alle radici, l'ossigeno che non viene utilizzato dal metabolismo della pianta va ad ossidare i composti organici presenti nelle vicinanze delle radici, oppure viene usato dai batteri presenti nella rizosfera (Camuccio & Barattini, 2001).

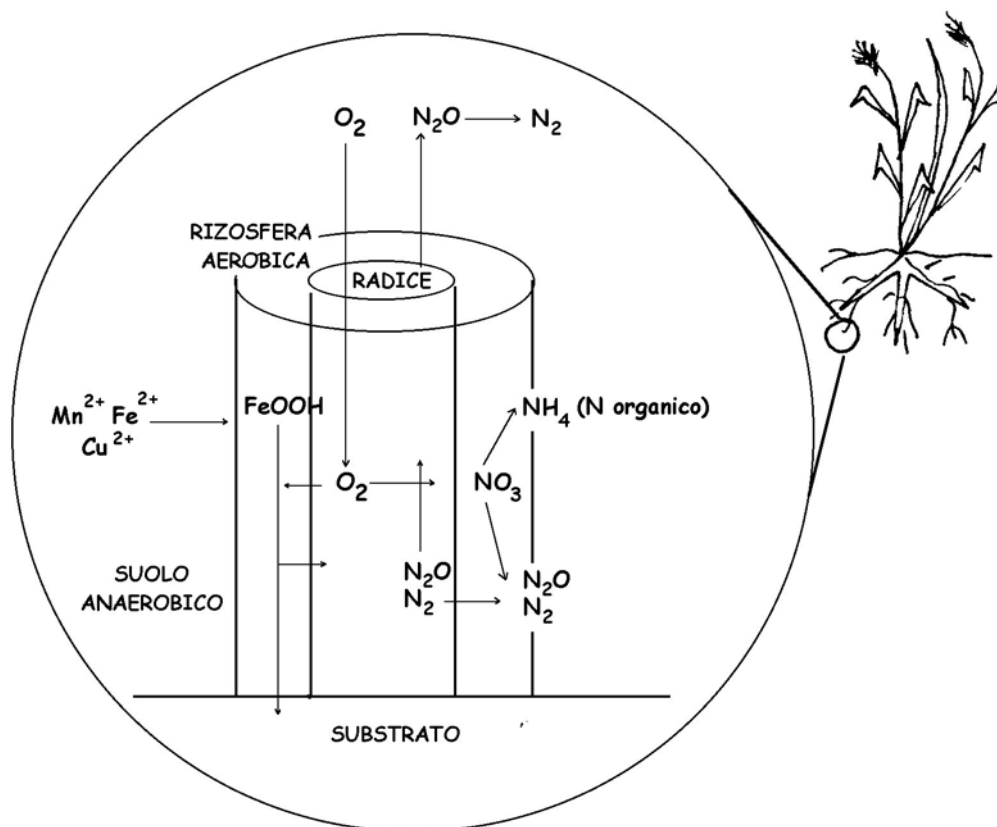


Fig. 18 - Ossidazione di composti organici nei pressi di una radice di *Phragmites australis*

Il tipo e l'estensione dello sviluppo radicale sono parametri importanti perché influenzano da un lato la profondità a cui può essere trasferito l'ossigeno e dall'altro la quantità di superficie di contatto tra acque reflue e rizosfera.

In particolare per *Phragmites australis* il processo di trasferimento dell'ossigeno risulta particolarmente efficiente perché i rizomi di questa macrofita penetrano in profondità, mediamente attorno ai 70 - 80cm (Gersberg, 1986).

Scelta della vegetazione

La scelta delle piante da utilizzare (macrofite galleggianti, sommerse ed emergenti) deve essere effettuata tenendo conto dell'efficacia depurativa delle differenti specie, della loro ecologia, della compatibilità con l'ambiente e della loro disponibilità sul territorio. Inoltre il tipo e l'estensione dello sviluppo radicale sono parametri importanti da tenere in considerazione in fase progettuale perché influenzano da un lato il trasferimento d'ossigeno e dall'altro la superficie di contatto tra il refluo e la rizosfera. Nei sistemi a flusso superficiale la scelta delle piante si baserà sull'altezza dell'acqua mentre su quelli a flusso sub-superficiale sulla penetrazione radicale (tab. 7).

Le piante più studiate per la depurazione dei reflui sono per lo più quelle largamente diffuse all'interno dei sistemi umidi adiacenti ai luoghi di realizzazione degli impianti. Esse sono

adatte a crescere in un suolo saturo di acqua, o direttamente a contatto con l'acqua stessa e tendono a popolare abbondantemente tali sistemi (Masi, 2000).

	Macrofite emergenti	Macrofite flottanti	Macrofite sommerse
PRINCIPALI SPECIE UTILIZZATE	<i>Carex elata</i> <i>Phragmites australis</i> <i>Typha latifolia</i>	<u><i>Eichhornia crassipes</i></u> <i>Lemna spp. (minor, major, trisulca, ecc.)</i> <i>Nymphaea alba</i> <i>Nuphar lutea</i>	<u><i>Elodea canadensis</i></u> <i>Potamogeton spp.</i>
ALTRE SPECIE UTILIZZABILI	<i>Alisma plantago-aquatica</i> <i>Bolboschoenus maritimus</i> <i>Caltha palustris</i> <i>Cladium mariscus</i> <i>Cyperus spp.</i> <i>Glyceria maxima</i> <i>Holoschoenus spp.</i> <i>Iris pseudacorus</i> <i>Juncus effusus</i> <i>Sagittaria spp.</i> <i>Scirpus spp.</i> <i>Schoenoplectus lacustris</i> <i>Sparganium erectum</i> <i>Typhoides arundinacea</i>	<i>Hydrocharis morsus ranae</i> <i>Salvinia natans</i> <i>Spirodela polirrhiza</i> <i>Trapa natans</i> <i>Wolffia arrhiza</i>	<i>Ceratophyllum demersum</i> <i>Ceratophyllum submersum</i> <i>Myriophyllum spicatum</i> <i>Myriophyllum verticillatum</i>

Legenda: specie = specie esotiche

Tab 5 - Principali specie di macrofite utilizzate in fitodepurazione.

	Macrofite emergenti	Macrofite flottanti	Macrofite sommerse
SPECIE ACCESSORIE (utilizzabili con valenza "ecologica" per la ricostruzione dell'ambiente umido)	<i>Berula erecta</i> <i>Butomus umbellatus</i> <i>Carex</i> spp. (<i>flava</i> , <i>fusca</i> , ecc) <i>Eleocharis</i> spp. <i>Hottonia palustris</i> <i>Mentha aquatica</i> <i>Menyanthes trifoliata</i> <i>Nasturtium officinale</i> <i>Oenanthe aquatica</i> <i>Juncus conglomeratus</i> <i>Rhynchospora alba</i> . * <i>Rhynchospora fusca</i> . * <i>Typha angustifolia</i> <i>Triglochin palustre</i> *	<i>Hydrocotyle vulgaris</i> <i>Nymphoides peltata</i> <i>Polygonum amphibium</i> <i>Sparganium minimum</i> * <i>Sparganium</i> . <i>angustifolium</i> *	<i>Apium nodiflorum</i> * <i>Berula erecta</i> * <i>Najas marina</i> <i>Ranunculus aquatilis</i> <i>Ranunculus tricophyllus</i> <i>Vallisneria spiralis</i> *

Legenda: * Specie oligotrofe (di acque pulite povere di nutrienti).

Tab.6 - Principali specie di macrofite accessorie utilizzabili in fitodepurazione.

Pianta acquatica	Profondità acqua	range ottimale	Penetrazione radici
<i>Phragmites australis</i>	1 m	5-15 cm	70 cm
<i>Typha latifolia</i>	1 m	15-60 cm	30 - 40 cm
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	1-1.5 m	-	76 cm
<i>Juncus effusus</i>	1-1.5 m	5-15 cm	60 - 90 cm
<i>Sparganium</i> spp	-	60-120 cm	-
<i>Scirpus acutus</i>	-	60-200 cm	-
<i>Carex elata</i>	50 cm	-	60 cm

Tab. 7 - Profondità dell'acqua tollerata in ambiente naturale, range ottimale e penetrazione delle radici nel substrato negli impianti di fitodepurazione per alcune piante acquatiche (Matthey, 1992; Nuttal 1997).

Le macrofite hanno una serie di proprietà intrinseche che le rendono una componente essenziale in relazione al trattamento delle acque di scarico:

- stabilizzano la superficie dei letti,
- forniscono buone condizioni per la filtrazione fisica,
- influenzano la conduttività idraulica del medium di riempimento,
- prevengono fenomeni di intasamento nei sistemi a flusso verticale,
- creano un sistema isolante contro il gelo delle stagioni invernali,
- forniscono un'enorme area superficiale come substrato per la crescita batterica.

Propagazione della vegetazione

Le piante presenti in un sistema di fitodepurazione possono provenire da aree umide dove crescono in modo spontaneo, oppure essere acquistate presso un vivaista. In generale il prelievo dovrebbe essere effettuato da zone naturali con caratteristiche ambientali simili alle aree di destinazione, così da utilizzare piante già adattate alle particolari condizioni ambientali che interessano, ovviamente nel rispetto della L.R. 2/77 di salvaguardia della flora regionale.

Nel caso specifico delle macrofite radicate come *Phragmites*, la tecnica d'impianto principale prevede l'interramento di una sezione di rizoma, con o senza l'apparato aereo, della lunghezza di circa 15-20 cm in modo che comprenda almeno un internodo e due nodi integri. I pezzi di rizoma vanno interrati ad una profondità di circa 20 cm, alla distanza di 25-30 cm uno dall'altro. Nel caso di *Carex elata*, che presenta una crescita cespitosa, si provvede a dividere il cespo in più parti, avendo cura di lasciare in ogni porzione un'adeguata quantità di radici.

La densità della messa a dimora è compresa tra 4-5 piante per mq. In genere vengono interrati rizomi in numero leggermente superiore al necessario, in modo da supplire un eventuale non attecchimento di parte delle piante messe a dimora. Successivamente il letto va inondato per stimolare la crescita dei germogli ed evitare la propagazione di specie infestanti non acquatiche.

Il migliore periodo per l'impianto è l'inizio della primavera (marzo-aprile); le gemme presenti sui rizomi possono così germogliare subito, evitando di andare incontro a marciumi o gelate riscontrabili nel caso in cui l'interramento avvenga in autunno.

La pianta impiega circa 3 anni per arrivare allo sviluppo completo e perché l'apparato radicale raggiunga la massima profondità. Una maggiore crescita delle radici può essere favorita da un regime idraulico con alternanza di secco/umido. Lo sviluppo di rizomi orizzontali consente la totale copertura dell'impianto di fitodepurazione già tra il secondo e il terzo anno vegetativo, sempre che il substrato venga periodicamente ripulito dalle erbacce e il carico idraulico sia attentamente controllato.

Gestione della vegetazione

Una volta cresciute, le macrofite radicate sono più resistenti ad eventuali periodi siccitosi rispetto alle altre piante considerate. Il problema maggiore è rappresentato dalla presenza di malerbe che competono con le macrofite per le risorse nutritive: la più frequente è l'ortica (*Urtica dioica*), ma possono insediarsi anche diverse specie di graminacee; il vilucchio comune (*Convolvulus arvensis*) è noto anche in agricoltura per essere una pericolosa infestante a causa della sua propagazione stolonifera. Per tale motivo si rende necessario provvedere

all'eliminazione manuale delle erbacce cresciute all'interno dell'impianto, operazione che andrebbe effettuata almeno ogni 6 mesi nei primi 3 anni e successivamente solo in caso di bisogno. Anche il perimetro dell'impianto deve essere mantenuto libero da erbe o alberi.

6.10 Progettazione

Guida alla progettazione

I trattamenti di fitodepurazione sono sistemi progettati per simulare una zona umida naturale allo scopo di depurare le acque reflue. Sono sostanzialmente sistemi di tipo biologico in cui avvengono complesse interazioni chimiche e microbiologiche.

Le soluzioni impiantistiche che possono essere adottate per il trattamento secondario e/o terziario di acque inquinate dipendono sostanzialmente dai seguenti fattori:

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

Sebbene gli impianti di fitodepurazione siano semplici da progettare da un punto di vista "ingegneristico", tuttavia sono ecosistemi complessi se considerati da un punto di vista ecologico e quindi il progettista dovrà possedere una certa familiarità non solo con nozioni di ingegneria idraulica ma anche con i processi fisici, chimici, biologici e con le interazioni ecologiche tipiche di questi ambienti.

Il ruolo del progettista varierà a seconda della scala del progetto. Piccoli progetti a basso budget non necessiteranno di un vero team di progettisti: un solo progettista si prenderà la responsabilità del progetto e in questi casi sarà soprattutto necessaria una buona esperienza. Progetti più grandi al di sopra dei 50 abitanti equivalenti richiederanno invece un approccio multidisciplinare di più esperti. E' importante sottolineare che la qualità dell'impianto di fitodepurazione (se funzionerà e soddisferà gli obiettivi del progetto) dipenderà strettamente dalle capacità del progettista, dalla sua esperienza e da una attenta direzione lavori.

Step importante, prima ancora del progetto preliminare è la definizione degli obiettivi. Obiettivo principale è quello di definire parametri qualitativi per la qualità dell'acqua (tab. 8). Per il trattamento di acque reflue civili o industriali gli obiettivi dipenderanno in primo luogo dal corpo idrico recettore nel caso di recapito in acque superficiali, dalla tipologia di suolo e della falda nel caso di sub-irrigazione e nel caso invece l'acqua finale voglia essere riutilizzata bisognerà considerare la destinazione d'uso (domestico, agricolo, industriale).

Principali parametri per la definizione degli obiettivi di qualità:

- Domanda di ossigeno (BOD e COD)
- Fosforo (Pt)
- Azoto (N-NH₄, N-NO₃, N-NO₂)
- Solidi sospesi (SSt)
- Patogeni (Coliformi fecali, Escherichia coli)

Tab. 8 - Principali parametri per la definizione degli obiettivi di qualità

Si procederà, quindi, come indicato in tab. 9 al dimensionamento (vedere paragrafo 6.10.2), al calcolo del tempo di residenza e alla scelta e valutazione dei dettagli costruttivi.

Guida alla progettazione	
1°	definizione degli obiettivi
2°	dimensionamento per un particolare afflusso, carico organico, % rimozione degli inquinanti (geometria, area, profondità dei letti)
3°	Tempo di ritenzione
4°	Scelta del medium di riempimento
5°	Scelta dell'impermeabilizzazione
6°	Struttura di ingresso ed uscita per il controllo del livello dell'acqua, riciclo dell'acqua, distribuzione e suddivisione del flusso
7°	configurazione del percorso dell'acqua (serie e/o in parallelo, ecc.)
8°	variazione della profondità dell'acqua entro e tra le celle per garantire biodiversità degli habitat (se richiesto), per migliorare la distribuzione del flusso e la rimozione degli inquinanti
9°	dettagli sulla piantumazione, inclusa la selezione delle specie, densità di piantumazione e spettro specie
10°	piano di avviamento, gestione e manutenzione

Tab. 9 - Guida alla progettazione

Di seguito vengono analizzati i criteri di progettazione riassunti in tab. 10

Criteri di progettazione
Idrologia
Tempo di ritenzione idraulica
Carico idraulico
Medium di riempimento
Condizioni aerobiche/anaerobiche
geometria
impermeabilizzazione
Strutture ingresso e uscita refluo
Configurazione letti
Vegetazione
Rimozione degli inquinanti

Tab. 10 - Criteri di progettazione

Idrologia

I fattori che influenzano l'idrologia sono: precipitazione, infiltrazione, evapotraspirazione, carico idraulico, tipologia del medium di riempimento, profondità dell'acqua. Essi possono influenzare la rimozione dei composti organici, dei nutrienti non solo variando i tempi di residenza ma anche agendo sulla concentrazione del refluo da trattare.

Tempo di ritenzione idraulica

I tempi di residenza possono variare da qualche ora a più giorni.

Nella progettazione degli impianti sarà importante massimizzare il contatto tra l'acqua da depurare e i vari componenti dell'ecosistema come biofilm, piante, inerti e così via. L'efficacia del contatto è in relazione al percorso dell'acqua nell'impianto che è strettamente legato al dimensionamento e al tempo di residenza (tempo di permanenza dell'acqua nel sistema). Il contatto del biofilm con il substrato (ghiaia e sabbia, steli di piante, radici e sedimento) è particolarmente importante perché la maggior parte della rimozione degli inquinanti è mediata dall'attività microbica. Quindi la progettazione dovrebbe mirare all'ottimizzazione del tempo di residenza teorico e poi assicurarsi che questo si avvicini il più possibile nella pratica al tempo di residenza reale (DLWC, 1998).

Il tempo di residenza è controllato dalla pendenza del letto, dalla vegetazione, dall'area e dalla forma del letto. In estate, l'evapotraspirazione può aumentare in maniera significativa i tempi di ritenzione, mentre il gelo invernale può diminuirli. In una fitodepurazione a flusso sommerso l'acqua si muove attraverso un medium di riempimento e il tempo di residenza è in funzione della percentuale di afflusso e della conduttività idraulica del medium stesso (Nuttal *et al.*, 1997).

Carico idraulico

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

Il carico idraulico è strettamente legato ai fattori idrologici del sito in cui verrà realizzato l'impianto (le condizioni climatiche, la conducibilità del medium, il carico organico, ecc.). Il regime di flusso, continuo o discontinuo, così come la durata tra un carico e l'altro e la perdita d'acqua dovuta all'evapotraspirazione può influenzare le performance durante il periodo estivo. Sono i fattori idraulici insieme alle percentuali di rimozione che si vuole ottenere a determinare, nella progettazione, la geometria e la profondità dell'impianto di fitodepurazione.

Questi fattori mettono in risalto l'importanza di conoscere esattamente le caratteristiche del refluo in entrata, e i relativi carichi di inquinanti, per un calcolo anche approssimato dei tempi minimi di ritenzione idraulica e quindi delle dimensioni dell'impianto.

Al fine di limitare gli effetti delle eventuali variazioni di portata, soprattutto in quei siti dove la probabilità di tali eventi è elevata, è frequente il ricorso alla disposizione in parallelo degli impianti a flusso sub-superficiale. La loro disposizione in serie è invece giustificata

dall'esigenza di aumentare l'efficacia di alcuni processi che traggono vantaggio dall'aumento del tempo di residenza e quindi di contatto fra liquame e microrganismi.

Medium di riempimento

Il substrato ha un ruolo importante nell'efficienza depurativa dell'impianto perché, oltre a fare da supporto alla vegetazione, rappresenta un filtro meccanico e chimico per alcune sostanze contenute nel refluo. Per questo la scelta del tipo di medium va valutata secondo le caratteristiche dello scarico che si deve depurare.

Viene comunemente utilizzato materiale inerte pulito e lavato (ghiaia e sabbia), così da eliminare i rischi d'intasamento del letto con conseguente deviazione del flusso sommerso verso la superficie. Per individuare le miscele più adatte vengono effettuate delle prove di porosità e di conducibilità idraulica, oltre al calcolo della curva granulometrica. Lo spessore del letto sarà ovviamente collegato alla profondità massima raggiungibile dalle radici delle essenze vegetali utilizzate (vedere tab. 7) .

Nei sistemi a flusso sommerso il medium di riempimento è il luogo principale in cui avvengono i processi di depurazione del refluo. Inizialmente il medium è costituito solamente da ghiaia, sabbia o altro materiale: ogni tipologia di materiale scelto avrà la sua propria conducibilità idraulica (vedi tab. 11). Trascorso un certo periodo dall'avviamento dell'impianto, il medium si arricchisce dei microrganismi, solidi sospesi e del particolato organico cosicché si ha un aumento delle dimensioni dei grani con una conseguente diminuzione degli spazi interstiziali. Sarà quindi opportuno scegliere in maniera oculata la dimensione di sabbia e ghiaia onde non incorrere in fenomeni di intasamento.

tipologia	dimensione grani (mm)	porosità (%)	conducibilità idraulica ($K_f = m \cdot d^{-1}$)
Sabbia	1-2	30-32	420-480
Ghiaia	8-16	35-38	500-800
Pietrisco	32-128	40-45	1200-1500

Tab. 11 - Caratteristiche di alcuni tipici medium di riempimento usati per impianti a flusso sommerso (da Nuttal *et al.*, 1997, modificato)

I primi impianti a flusso sommerso orizzontale venivano progettati usando la terra (conducibilità idraulica $0.86 m \cdot d^{-1}$) come medium di riempimento: si pensava che questa avrebbe, nel giro di 2 o 3 anni, aumentato la sua conducibilità idraulica col crescere delle piante e delle radici. Al contrario invece accadde che in questi impianti si creavano zone con un flusso superficiale e con ristagni d'acqua, proprio a causa della scarsa permeabilità, e zone prive di acqua in cui la vegetazione stentava a crescere (EC/EWPCA, 1990). Ora è internazionalmente accettato l'uso di ghiaia e sabbia come materiale di riempimento. In particolare negli impianti a flusso orizzontale è consigliabile usare del pietrisco di almeno 50 -100 mm per evitare fenomeni di intasamento in ingresso e in uscita.

Nei sistemi a flusso verticale di tipo anglosassone si utilizza ghiaia media (8–16 mm) mentre in quelli di tipo tedesco sabbia grossolana (0-3 mm) preferibilmente di fiume e lavata per evitare che le parti fini intasino gli interstizi. Nei sistemi anglosassoni viene spesso messo uno strato di sabbia (5-15 mm) proprio sulla superficie del letto per favorire la distribuzione

dell'effluente: in Galles al CAT (Center for Alternative Technology) è stato sperimentato però che questa sabbia nel tempo è percolata nello strato sottostante di ghiaia andando a bloccarne gli interstizi .

Come substrato possono essere utilizzati anche materiali artificiali come il LECA (*light expanded clay aggregate*), argilla espansa molto leggera con grani delle dimensioni 1- 32 mm creati ad alte temperature in forni specializzati, oppure i BIOBLOCK, matrici modulari di polietilene autopulenti e ad alta porosità in cui vengono piantumate le radici delle piante. Ancora poco sperimentato è invece l'uso di materiali di scarto come ceneri di combustione (PFA), segatura, scarti di miniera, scarti inerti dell'edilizia.

E' importante che la terra non entri mai all'interno dei letti durante la fase di realizzazione perché comprometterebbe la conducibilità idraulica del medium.

Condizioni aerobiche/anaerobiche

La differenza tra un suolo saturo e un suolo ben drenato è la disponibilità di ossigeno atmosferico. Nei suoli ben drenati gli interstizi tra le particelle di terreno sono riempite di aria con un determinato contenuto di ossigeno. Di conseguenza i microrganismi che vivono negli interstizi e attorno alle radici delle piante, in cui si creano microzone ossidate (vedere cap. 6.9), otterranno direttamente l'ossigeno a loro necessario per vivere in questi spazi: questi microrganismi sono detti aerobici (es. batteri aerobici).

Nei sistemi a flusso sommerso orizzontale come in quelli a flusso superficiale, che sono ambienti saturi, gli interstizi del sedimento e del medium sono riempiti dall'acqua e quindi in essi si instaureranno condizioni prevalentemente anaerobiche (prive di ossigeno), tranne che nelle microzone ossidate adiacenti alle radici delle macrofite.

Nei sistemi a flusso sommerso verticale gli interstizi del medium sono pieni d'aria a causa della distribuzione discontinua del refluo, di conseguenza in essi avremmo condizioni aerobiche (fig. 19).

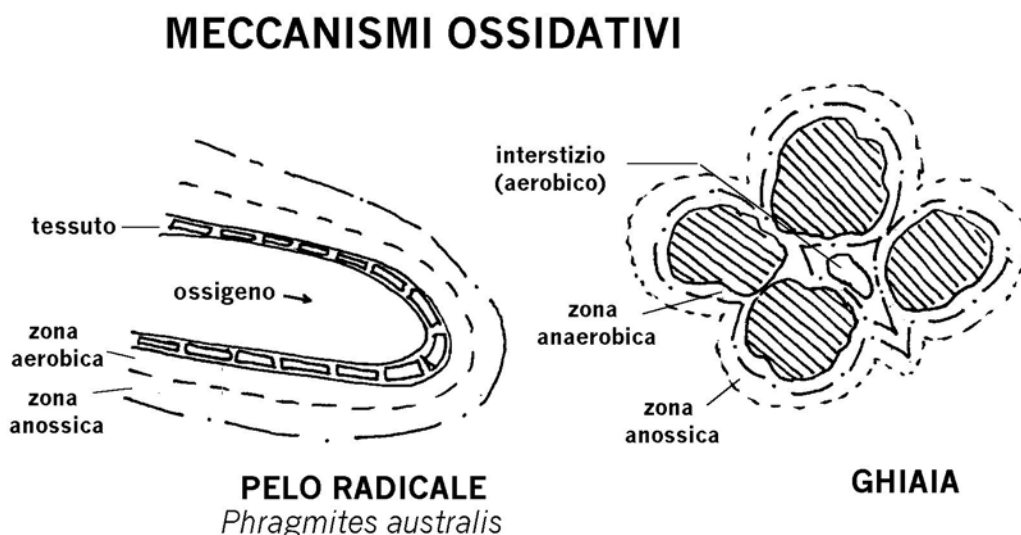


Fig 19 - Confronto tra i meccanismi ossidativi presenti in un impianto a flusso sommerso orizzontale e verticale

I sistemi a flusso superficiale e a flusso sommerso orizzontale riescono a mantenere le condizioni aerobiche necessarie al trattamento del refluo grazie allo scambio di ossigeno che avviene sulla superficie nell'interfaccia aria acqua e dal limitato (vedere cap. 6.9) apporto di ossigeno disciolto proveniente dalle radici e dai rizomi delle macrofite. Nei sistemi a flusso sommerso verticale le condizioni aerobiche sono mantenute, oltre che dalle piante, dalla alimentazione discontinua del refluo: quando l'acqua drena e fuoriesce dal filtro per "l'effetto Venturi" si ha un richiamo di aria dall'esterno che ossigena completamente il filtro. In questi sistemi si dovrà però porre attenzione ai problemi di intasamento del medium (*clogging*) (Nuttal *et al.*, 1997).

Trattamenti preliminari

Allo scopo di ridurre i rischi di intasamento del medium ad opera dei solidi grossolani o sedimentabili presenti nel refluo, è necessario inserire a monte dell'impianto un comparto per la sedimentazione, che non deve, però, permettere l'innescio di processi di degradazione anaerobica. Essi sono infatti difficilmente gestibili nell'impianto, a causa degli odori sgradevoli e degli animali che vi si possono sviluppare.

Mentre nelle vasche Imhoff tradizionali i processi di fermentazione anaerobica si instaurano sempre, a causa dell'elevato tempo medio di ritenzione, nelle vasche settiche a due o tre camere, nelle quali il tempo medio di ritenzione è più contenuto, è possibile ottenere un liquame fresco chiarificato in cui non sono ancora evidenti i segni del processo anaerobico.

Se la composizione degli scarichi lo richiede a monte della fitodepurazione possono essere adottati anche trattamenti di grigliatura, dissabbiatura e disoleazione.

Strutture di ingresso e uscita

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

In un sistema a flusso sommerso orizzontale il liquame in entrata può essere distribuito in diversi modi, quali una canaletta superficiale, un tubo superficiale con elementi a T, un tubo sommerso forato oppure a ingresso libero. Tutti questi elementi hanno lo scopo di garantire un flusso uniforme lungo la larghezza del letto. Generalmente sono preferiti i sistemi a distribuzione superficiale perché riducono il rischio di intasamento e sono più facili da pulire. In ogni caso, sia in testa che in coda alla vasca, deve essere realizzata una striscia trasversale di materiale inerte di grossa pezzatura, larga almeno 1 m, in modo che non si creino linee di flusso preferenziali all'interno del letto (Pergetti, 1994). Prima dell'uscita, sul fondo, viene posto un tubo di drenaggio microforato per raccogliere le acque trattate che vengono poi convogliate in un pozzetto regolatore di livello tramite una tubazione a gomito: questo dispositivo garantisce la regolazione del livello idrico all'interno del sistema, permettendo lo svuotamento totale della vasca o il suo allagamento, utile per eliminare le eventuali piante infestanti.

Nei sistemi a flusso sommerso verticale la distribuzione uniforme del refluo sulla superficie del letto è ottenuta tramite tubi in PVC o PE, forati, posti sotto l'ultimo strato di inerti o alzati dieci cm sopra la superficie. Normalmente in questi sistemi l'alimentazione è discontinua e controllata da una pompa o da un sifone.

Impermeabilizzazione

Per evitare fenomeni di inquinamento della falda, i bacini di depurazione devono essere impermeabilizzati, utilizzando a tale scopo manti bentonitici o sintetici ed escludendo, invece, i manufatti in cemento per una questione di costi e di sicurezza di tenuta.

La possibilità di utilizzare terreno argilloso, pur essendo la più economica, è limitata dalla permeabilità del terreno stesso che deve essere molto bassa, indicativamente pari a $K_s < 10^{-8}$ m/s, e con la quota di falda a non meno di un metro sotto la base del letto (Cooper, 1993).

In genere sono preferiti i manti sintetici come LDPE, HDPE (polietilene a bassa ed alta densità) o PVC, con spessore variabile da 0,5 a 2 mm, spesso protetti superiormente e inferiormente da un foglio di tessuto non tessuto. Le strisce di HDPE andranno saldate tra loro, garantendo un isolamento totale del fondo e delle pareti dell'impianto di fitodepurazione rispetto al suolo circostante.

Configurazione dei letti

La configurazione di un impianto di fitodepurazione si riferisce alla dimensione e alla forma dei singoli elementi o celle che dovranno essere progettati in modo tale da essere facili da costruire, minimizzare i lavori di scavo e favorire un facile accesso per la manutenzione.

Le singole celle possono essere disposte in serie o in parallelo o con una combinazione di queste due configurazioni.

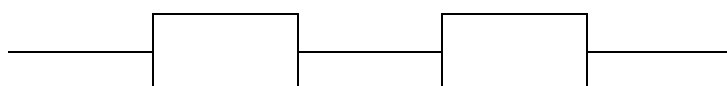
La configurazione scelta deve essere basata su una chiara comprensione degli obiettivi prescelti, sulla qualità dell'acqua in ingresso, sulla qualità dell'acqua che si desidera in uscita, sul regime idraulico e su una valutazione preliminare del sito.

Il principale vantaggio di una disposizione delle celle in parallelo è la flessibilità del funzionamento poiché ogni singola cella può facilmente essere esclusa dal flusso in caso di guasto.

In questi casi bisogna prestare attenzione durante la realizzazione che avvenga una adeguata suddivisione del flusso che in genere non deve essere complesso e sempre proporzionato alle dimensioni delle celle.

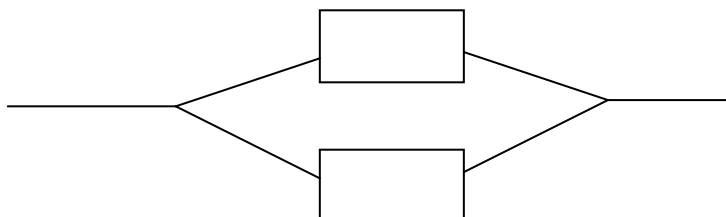
Il principale vantaggio di una disposizione delle celle in serie è la riduzione del corto circuito idraulico. Altri vantaggi includono il favorire il riciclo tra le singole celle e di separare fisicamente le zone di trattamento per ogni inquinante (es. rimozione della materia organica precede la rimozione dell'azoto e così via).

Le celle in serie possono essere progettate in modo tale che la rimozione della materia organica avvenga nel primo letto; poi il refluo può essere "riaerato" tra i due letti in modo da favorire la nitrificazione nel secondo letto, la denitrificazione nel terzo letto e così via.



CELLE IN SERIE

Una combinazione di percorsi di celle in serie e in parallelo è sicuramente la scelta ottimale; l'unico svantaggio è rappresentato dai costi aggiuntivi per gli scavi, per le strutture di ingresso e uscita e per la distribuzione.



CELLE IN PARALLELO

6.10.2 Dimensionamento

Nonostante la semplicità tecnologica degli impianti di fitodepurazione, le variabili da considerare per la loro corretta esecuzione sono varie e non sempre direttamente valutabili. Per la presenza di aspetti impiantistici, biologici e paesaggistici differenti è consigliabile che la progettazione venga condotta da professionisti provenienti da diversi settori (naturalistico, biologico, ingegneristico, chimico, geologico).

E' sempre molto riduttivo affidarsi completamente ad un approccio basato esclusivamente sul dimensionamento superficiale (m^2 per abitante equivalente). Tuttavia ciò può risultare utile per un primo dimensionamento di massima e come verifica finale. Inoltre non bisogna dimenticare che la prima domanda che dobbiamo porci quando iniziamo a progettare un impianto di fitodepurazione è: "Qual è l'obiettivo che voglio raggiungere?".

Si riportano di seguito le principali fonti internazionali a cui fare riferimento per il dimensionamento degli impianti di fitodepurazione in base alla quale sono stati estrapolati i dati di seguito riportati.

1. **Brix J., (1996)** - *"Design criteria for a two-stage constructed wetland"*, presented at the 5th International Conference on Wetland Systems for water pollution control (DK);
2. **Crites Tchobanoglous (1998)** - *"Small and decentralized wastewater management systems"*, McGraw-Hill (USA);
3. **EPA (Environmental Protection Agency) 832-R-93-001 (1993)** - *"Subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment: a technology assessment"* (USA);
4. **IÖV (Ingenieur oekologische Vereinigung Deutschland) (1994)** - *"Behandlung von haeuslichem abwasser in pflaenzenklaeanlagen"*, IÖV –Arbeitsblatt W1/94. 16 S., Augsburg (DE)
5. **Kadlec & Knight (1996)** - *"Treatment wetlands"*, Lewis publishers (USA);
6. **Önorm B2505 (1998)** - *"Bepflanzte Bodenfilter (Pflanzen Klaranlagen)"*(AU);
7. **Reed et al. (1995)** - *"Natural systems for waste management and treatments"* (USA);
8. **ATV-A-262E (1998)** - *"Principles for the dimensioning, construction and operation of plant beds for communal wastewater with capacities up to 1000 total number of inhabitants and population equivalents"*, (DE);
9. **Vymazal et al. (1998)** - *"Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe"*. Backhuys Publishers (UK);
10. **WRC (1996)** - *"Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment"*, P. F. Cooper, G. D. Job, M. B. Green, R. B. E. Shutes (UK).

Per i **sistemi a flusso superficiale** e pelo d'acqua libero i criteri da considerare durante la progettazione sono (Vismara, 2000 ; Borin & Marchetti, 1997):

- carico organico in entrata;
- portata idraulica media giornaliera in entrata;
- profondità delle vasche;
- rapporto tra lunghezza e larghezza delle vasche;
- tempo di ritenzione idraulica nel/nei bacino/i;
- numero di sistemi depurativi posti in serie o in parallelo;
- rapporto tra specchio di acqua e area vegetata.

A titolo indicativo è possibile riferire dei valori progettuali medi tratti dalla bibliografia (Vismara, 2000 ; Crites, 1994):

Fattore	Valore medio
Tempo di permanenza, in <i>giorni</i>	5-14
Carico organico massimo (BOD), in <i>kg/ha per giorno</i>	80
Profondità dell'acqua, in <i>metri</i> .	0,15 - 0,8
Superficie vasche, in <i>m²/abitante equivalente</i>	4- 40 m ² /ae (> 20 per tratt. 2°)
Rapporto lunghezza/larghezza vasche	2:1 – 10:1
Rapporto specchio d'acqua e area vegetata (%)	40-60

tab. 12 - Criteri per la progettazione di sistemi a flusso superficiale

Un' indicazione di massima utile a definire l'area complessiva necessaria per la depurazione di un refluo di tipo domestico, in cui gli obiettivi di qualità da raggiungere riguardano solo il BOD e i solidi sospesi oppure un finissaggio, è di 20 -100 mq per mc di effluente giornaliero, che corrisponde a 4 -20 mq/ abitante equivalente (Kadlec & Knight, 1996). Questo preliminare approccio non è idoneo ad esempio per la nitrificazione per cui sono necessarie superfici maggiori di 20 mq/ abitante equivalente ed un'analisi progettuale più approfondita (vedere box: dimensionamento sistemi a flusso superficiale con macrofite radicate).

DIMENSIONAMENTO SISTEMI A FLUSSO SUPERFICIALE CON MACROFITE RADICATE

Il dimensionamento dei bacini di trattamento viene effettuato secondo metodi diversi, alcuni di tipo empirico ed altri legati ad equazioni di reazione cinetica. Per una fase preliminare si devono considerare valori di 2,5-5 m²/ab eq quando il BOD ed i solidi sospesi rappresentano i fattori limitanti, e 6-15 giorni per la completa nitrificazione dell'effluente.

Dovendo giungere ad un dimensionamento più rigoroso si riportano alcune equazioni del metodo di Reed (Reed, 1995) rimandando alla bibliografia per un approfondimento completo dell'argomento.

Le equazioni che seguono si basano sulla rimozione biologica di alcuni principali parametri (BOD, ammoniaca e nitrati).

$$\ln\left(\frac{C_i}{C_0}\right) = K_T * t$$

$$K_T = K_R * \theta^{(T_W - T_R)}$$

$$t = \frac{V_f}{Q} = \frac{A_s * y * n}{Q}$$

$$A_s = L * W = \frac{Q * t}{y * n} = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_i}{C_0}\right)}{K_T * y * n}$$

Dove:

A_s= area del bacino (m²)

C₀= concentrazione in uscita (mg/l)

C_i= concentrazione in entrata (mg/l)

K_R= costante alla temperatura di riferimento

K_T= costante alla temperatura T_W

L= lunghezza del bacino (m)

n= porosità

t= tempo di residenza idraulico (in giorni)

T_W= temperatura dell'acqua nel bacino (°C)

T_R= temperatura di riferimento (°C)

V_f= volume effettivo del bacino (m³)

W= larghezza bacino (m)

y= profondità bacino (m)

q_R= coefficiente di temperatura (θ_R)

Q= portata

Valori delle costanti e coefficienti di temperatura (Reed, 1995)

Parametro	Rimozione BOD	Nitrificazione	Denitrificazione
T _R (°C)	20	20	20
K _R (d ⁻¹)	0,678	0,2187	1,000
q _R	1,06	1,048	1,15

Per i **sistemi a flusso sommerso**, invece, i criteri sono sostanzialmente più complessi. Gli elementi che dovranno essere considerati nell'analisi sono:

- determinazione del tipo di sistema idraulico (orizzontale, verticale o misto);
- scelta del pretrattamento;
- scelta del medium di riempimento e costante di permeabilità;
- scelta delle essenze vegetali;
- determinazione della profondità del letto;
- determinazione dell'area trasversale;
- determinazione dell'area superficiale necessaria alla rimozione del BOD₅;
- determinazione dell'area superficiale necessaria alla rimozione dell'azoto;
- carico idraulico superficiale;
- tempo di residenza;
- verifica idraulica.

Sistemi a flusso sommerso orizzontale con macrofite radicate emergenti

Anche in questo caso esiste la possibilità di un dimensionamento preliminare per approssimazione. Riportiamo nella tabella 13 le indicazioni contenute nelle principali linee guida e manuali internazionali.

parametri		Önorm	IÖV	Crites Tchob.	Vymazal	WRC Cooper	Brix
Area	$\geq 5 \text{ m}^2/\text{a.e.}$ valore minimo superficiale totale 20 m^2	$6 \text{ m}^2/\text{a.e.}$ per BOD	$5 \text{ m}^2/\text{a.e.}$		2°: $5 \text{ m}^2/\text{a.e.}$ 3°: $1 \text{ m}^2/\text{a.e.}$	2°: $5 \text{ m}^2/\text{a.e.}$ 3°: $0.5\text{-}1 \text{ m}^2/\text{a.e.}$	
Materiale riempimento (Substrato)	$U=d_{60}/d_{10} \leq 5$	Ghiaia ingresso 16-32 (4-8)mm principale 4-8 (2-4)mm		Ghiaia ingresso 50mm principale 3-32 mm	Ghiaia lavata 3-16 mm	Ghiaia lavata: 3-6 mm 5-10 mm 6-12 mm	$U=d_{60}/d_{10} \leq 4$ $d_{10} > 0.3 \text{ mm}$
Permeabilità substrato	$K_f \approx 10^{-4}\text{-}10^{-3} \text{ m/s}$				$K_f \approx 10^{-3} \text{ - } 3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$	$K_f \approx 10^{-3} \text{ m/s}$	$K_f \approx 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$
Carico idraulico superficiale	4 cm/d	5 cm/d				2°: $< 5 \text{ cm/d}$ 3°: $< 20 \text{ cm/d}$	
Carico organico		112 kg/ha*d			$< 80 \text{ kg/ha*d}$		
profondità	$\square 0.5 \text{ m}$			0.45-0.75m	0.6 - 0.8m	0.6 m	0.6

Legenda: 1° trattamento primario: filtrazione e sedimentazione

2° trattamento secondario: biologico

3° trattamento terziario: finissaggio (microbiologico, denitrificazione)

Tabella 13: criteri di dimensionamento preliminare di un sistema a flusso orizzontale

DIMENSIONAMENTO SISTEMI A FLUSSO SOMMERSO ORIZZONTALE CON MACROFITE RADICATE

Un criterio più preciso utilizza la seguente equazione per la determinazione dell'**area superficiale**, ampiamente diffusa in Europa, proposta inizialmente da Kickuth e consigliata dall'European Design and Operations Guidelines (EC/EWPCA, 1990).

$$A_h = Q_d (\ln C_o - \ln C_t) / K_{BOD}$$

Dove:

- A_h = area superficiale, m^2
 Q_d = portata media giornaliera del refluo, m^3/d
 C_o = valore medio del BOD_5 in entrata, mg/l
 C_t = valore medio del BOD_5 richiesto in uscita, mg/l
 K_{BOD} = costante, m/d

In letteratura sono proposti diversi valori di K_{BOD} , il quale varia anche a seconda della temperatura o del tipo di trattamento, ottenendo così, per gli stessi dati di partenza, superfici che variano da 0,5 a 5 $m^2/ab.eq.$ L'equazione di Kickuth rappresenta un tentativo di modellizzare i sistemi SF in modo da poterli dimensionare secondo criteri più o meno standard, utilizzando parametri fondamentali per le tecnologie depurative e valutabili oggettivamente.

$$K_{BODt} = K_{BOD20} (1,1)^{t-20}$$

Altro parametro di un certo significato è rappresentato dall'area trasversale che può essere calcolata con l'**equazione di Darcy**:

$$A_c = Q_s / [k_f \cdot dH/ds]$$

Dove:

- A_c = area trasversale, m^2
 Q_s = portata media del refluo, m^3/s
 k_f = conduttività idraulica, m/s
 dH/ds = pendenza della base del letto, m/m
(dH = profondità media del letto; ds = lunghezza del letto)

Nell'applicazione di questo calcolo, Cooper consiglia di utilizzare materiale di riempimento caratterizzato da conducibilità idraulica non inferiore ai $10^{-3} m/s$, per limitare la possibilità di intasamento, con una profondità media del letto di 0,6 m e con pendenza non superiore al 1% (Cooper, 1993).

Calcolata l'area trasversale, si può ottenere la **larghezza minima del letto** ($A_c/0,95 \cdot d_{min}$) così da definirne la geometria, ovvero il rapporto tra lunghezza e larghezza. Un valore adeguato di questo parametro elimina i rischi di corto circuito idraulico con possibile scorrimento in superficie del refluo, che comporta la riduzione dell'efficienza depurativa.

Il rapporto tra la profondità del letto e la sua lunghezza permette di individuare il massimo gradiente idraulico disponibile, necessario affinché ci sia un movimento netto del liquame dall'entrata verso l'uscita senza ritorni o ristagni di flusso.

Sulla base delle dimensioni reali ottenute dal progetto deve essere fatta una verifica del profilo idraulico (inteso come livello dell'acqua all'interno del letto, livello che deve essere sempre su una superficie orizzontale). Quest'ultimo aspetto è necessario per gestire in modo flessibile l'altezza dell'acqua, così da garantire, da un lato, la completa e uniforme immersione dell'apparato radicale lungo il letto e, dall'altro, la riduzione della possibilità che si instaurino condizioni di flusso superficiale all'inizio delle vasche.

Le dimensioni del sistema influenzano il tempo di ritenzione del liquame nell'impianto e quindi l'efficienza di rimozione degli inquinanti. In letteratura sono indicati tempi di ritenzione idraulica molto differenti, da 2 a 60 giorni, ma per ottenere una buona nitrificazione ne sono consigliati almeno 4,3 (Kemp, 1997).

Sistemi a flusso sommerso verticale con macrofite radicate emergenti

Come si evince dalla tab. 14 esistono due scuole di pensiero riguardo agli impianti a flusso verticale:

- la scuola di lingua inglese tende ad utilizzare questa tipologia impiantistica in sistemi a più vasche collegate in serie e/o in abbinamento con i sistemi a flusso orizzontale. I materiali di riempimento privilegiati sono ghiaia a granulometria decrescente con uno strato di sabbia sulla superficie.
- la scuola di lingua tedesca utilizza invece come prevalente materiale di riempimento sabbia media con tendenza al ricircolo, per piccoli impianti, per l'abbattimento dell'ammoniaca.

parametri	ATV	Önorm	IÖV	Reed	Vymazal	WRC Cooper
Area	2.5 m ² /ae valore minimo superficiale totale 10 m ²	5 m ² /a.e. per BOD	2-4 m ² /a.e.		2° sotto 100 ae: 1^vasca 0,8-2 m ² /ae 2^vasca. 50-60% della 1^ vasca 1 m ² /AE BOD 2-5 m ² /AE BOD+N 3° < 1-2 m ² /AE	2°: 1 m ² /ae BOD 2°: 2 m ² /ae BOD+N sotto 100 a.e.: 1^ vasca 3.5ae+0.6 a.e. 2^ vasca 50% della 1^
Materiale riempimento (Substrato)		Dall'alto al basso: 5 cm ghiaia 8/16 60 cm sabbia 0/4 15 cm ghiaia 40mm 20 cm ghiaia 16/32	sabbia	Dall'alto al basso: 8 cm sabbia 15 cm ghiaia 6mm 10 cm ghiaia 12mm 15 cm ghiaia 40mm	Sabbia e ghiaia (0-12 mm)	Dall'alto al basso: 8 cm sabbia 15 cm ghiaia 6 mm 10 cm ghiaia 12 mm 15 cm ghiaia 30-60mm
Permeabilità substrato			Sabbia Kf ≈ 10 ⁻³ -10 ⁻⁵ m/s d ₁₀ = 0.2- 0.3 mm		Kf ≈ 10 ⁻³ -10 ⁻⁴ m/s d ₆₀ /d ₁₀ < 4.	
Carico idraulico superficiale	60 mm/d		30-60 mm/d	30 mm/d	20-80 mm/d	
Carico organico			10-20g BOD/m ² *g			
T residenza						
profondità	□ 0.8 m	0.5-0.8 m	0.5-1.5 m			

Legenda: 1° trattamento primario: filtrazione e sedimentazione

2° trattamento secondario: biologico di ossidazione

3° trattamento terziario: finissaggio (per carico microbiologico, denitrificazione/nitrificazione)

Tabella14: criteri di dimensionamento preliminare di un sistema a flusso verticale

DIMENSIONAMENTO SISTEMI A FLUSSO SOMMERSO VERTICALE CON MACROFITE RADICATE

Una metodologia per il dimensionamento dei bacini a flusso verticale utilizza le seguenti procedure:

Si calcola il fabbisogno di ossigeno sulla base di 1.0 kg di O₂ per kg di BOD da rimuovere e di 4.3 kg di O₂ per kg di NH₃ da ossidare (Cooper, 1996);

Si dimensiona il letto verticale considerando un coefficiente di aerazione superficiale pari a 30 grammi di O₂ per m² di superficie (Brix, 1998) e si fissa la sua altezza pari ad 0.9 m. Conoscendo quindi il fabbisogno di ossigeno ed il coefficiente di aerazione superficiale si ricava una superficie poi aumentata del 25% come fattore cautelativo.

In riferimento alle Linee Guida tedesche per la realizzazione di sistemi verticali per utenze civili (ATV, 1997) si richiede il valore di 50 g/m² per giorno per il carico organico in ingresso al sistema espresso come COD.

(Platzer, 2000)

$$A_s = \frac{OD}{K_a} + \frac{OD}{K_a} \cdot 0.25$$

A_s= area superficiale

OD= domanda di ossigeno

K_a= costante

Richiesta di Ossigeno (OD) [g/d] = (0.85·0.7·COD_{inf} [g/d] + 4.3·TKN_{inf} [g/d] - 0.1x2.9xTKN_{inf} [g/d])
K_a = 30-56 gr O₂/m².d

Basata su:

Rimozione del COD dell' 85 %

Consumo di ossigeno di 0.7 g O₂/g COD.

Richiesta di ossigeno per la nitrificazione è calcolata con 4.3 g O₂/g TKN.

Recupero di ossigeno per denitrificazione di 2.9 g O₂/g NO₃-N_{denitr}
assumendo una denitrificazione del 10%

6.11 Gestione e manutenzione

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

Tale programma dovrà analizzare gli aspetti inerenti:

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

I casi di malfunzionamento dell'impianto possono essere dovuti a:

- Intasamenti del medium o delle tubazioni di alimentazione o di drenaggio;
- non funzionamento di pompe o sifoni, se presenti;
- fuga di solidi dal comparto di pretrattamento;
- sovraccarico idraulico;
- sovraccarico di solidi;
- sovraccarico organico;
- gestione scorretta delle macrofite.

Se l'impianto è dotato di un pretrattamento mal gestito, il refluo in ingresso al letto conterà una forte concentrazione di solidi sospesi che potrà intasare il substrato nei sistemi a flusso sommerso (con problemi di odori e di ridotta efficienza depurativa) o determinare cattivi odori nei sistemi a flusso superficiale. Trattamenti primari come una fossa settica tricamerale o tipo Imhoff devono essere svuotati una o due volte all'anno a seconda delle dimensioni, ed i fanghi smaltiti come prescritto dalle norme vigenti.

Nei sistemi a flusso superficiale la vegetazione deve essere periodicamente sfalciata e la biomassa smaltita altrove (in genere una volta l'anno). Negli altri sistemi non è necessario lo sfalcio né la rimozione della biomassa, salvo casi particolari.

Nei flussi sommersi e in particolar modo in quelli orizzontali è importante che il refluo non emerga mai sulla superficie creando ristagni: ciò indica infatti un corto circuito idraulico che può avvenire, soprattutto nella zona di ingresso, a causa di una non corretta progettazione. In questi casi è opportuno rivedere il dimensionamento dell'impianto.

Per ottenere un'adeguata depurazione delle acque reflue il filtro deve essere alimentato con una quantità d'acqua non superiore al valore delle persone collegate per cui l'impianto è stato dimensionato. Un temporaneo sovraccarico comunque non ne disturba il funzionamento.

Possibile **schema di controllo e manutenzione** che può essere adottato:

Operazioni	Frequenza minima
1. Controllo del sistema di distribuzione del refluo 2. Controllo del sistema di raccolta e scarico 3. Controllo del livello idrico delle vasche SSF-H 4. Verifica di funzionalità delle eventuali apparecchiature elettromeccaniche 5. Controllo della corretta funzionalità dei pretrattamenti 6. Controllo piante infestanti ed eventuale diserbo manuale nel primo anno nei sistemi SSF 7. Controllo cattivi odori anomali	quindicinale
Verifica di funzionalità, mediante l'analisi di campioni dei liquami e dei reflui depurati	mensile o stagionale
Controllo del livello del fango nel trattamento primario per decidere la sua rimozione	semestrale
Eventuale taglio della vegetazione (solo FWS). Rimozione del fango del fango nel trattamento primario	annuale

Sarebbe opportuno che chi gestisce l'impianto tenesse un libretto di conduzione dove riportare tutte le osservazioni, le particolarità, i risultati dell'analisi e i lavori eseguiti sull'impianto.

6.12 Aspetti sanitari

Spesso gli impianti di fitodepurazione sono stati in Italia associati ad ambienti maleodoranti ricchi di insetti, in special modo zanzare.

In realtà problemi di salubrità sono per lo più legati agli impianti a flusso libero usati come trattamenti secondari in cui il grosso carico di nutrienti porta a processi eutrofici e a condizioni di anossia che fanno sì che l'ecosistema si allontani dal suo equilibrio creando un restringimento della catena alimentare e selezionando solo le specie più resistenti. In più i fenomeni di anossia favoriscono reazioni anaerobiche che producono gas maleodoranti. E' a causa delle maggiori superfici, oltre che per i per i sopraccitati motivi, che gli impianti a flusso superficiale non sono praticamente mai usati nel nostro paese come trattamenti secondari, mentre lo sono molto negli Stati Uniti e in Australia (dove amano i cattivi odori).

6.13 Costi

Una valutazione dei costi di realizzazione e gestione, eseguita comparando impianti tradizionali a fanghi attivi e sistemi di fitodepurazione, risulta ancora difficile per la scarsa documentazione relativa a quest'ultima tipologia di impianti. Conseguentemente abbiamo raccolto alcune informazioni presenti in bibliografia, integrandole con le esperienze disponibili in provincia, costruendo un parziale quadro di indirizzo economico.

Il confronto che proponiamo riguarda una tipologia impiantistica classica, a fanghi attivi, ed un impianto di fitodepurazione a flusso sommerso composto sia di sistemi orizzontali (HF) che verticali (VF).

I requisiti di dimensionamento sono i seguenti:

- dotazione idrica pro-capite pari ad almeno 200 litri per abitante equivalente al giorno (l/a.e./d);
- coefficiente d'afflusso pari a 0,90;
- pretrattamenti presenti;
- trattamento primario presente, dotato di un'efficienza di rimozione pari ad almeno il 20% del BOD₅ e al 50% dei solidi sospesi;
- carico organico in entrata all'impianto primario pari a non meno di 60 g di BOD₅ per a.e./d.

Tipologia di Costi	Fanghi attivi	Fitodepurazione
1) Costi d'impianto		
- Acquisto aree	sì	sì
- Realizzazione	sì	sì
- Avvio impianto	sì	sì
2) Costi di gestione ordinaria		
- Manutenzione tecnica e programmata delle componenti edili	sì	No
- Smaltimento dei fanghi di supero	sì	No
- Manutenzione dell'area verde	sì	sì
- Analisi di laboratorio dei principali parametri di inquinamento	sì	sì
- Manutenzione tecnica e programmata delle componenti elettromeccaniche	sì	Minima eventuale
- Smaltimento dei fanghi primari	Eventuale	sì
- Consumo di energia elettrica	sì	Minima eventuale
- Controllo delle erbe infestanti nel processo depurativo	No	sì
- Sfalcio delle macrofite	No	sì
3) Costi di gestione straordinaria		
- Rigenerazione del substrato di riempimento alla perdita della funzionalità	No	sì
- Sostituzione delle componenti elettromeccaniche	sì	Minima eventuale
- Pulizia delle componenti soggette ad intasamento	sì	sì

Tab. 15 – Confronto tra i costi di gestione e manutenzione di un impianto a fanghi attivi e un impianto a flusso sommerso orizzontale (HF) e verticale (VF).

	50 a.e.	100 a.e.	250 a.e.	500 a.e.	1000 a.e.	2000 a.e.
tipologia						
Fanghi attivi	273.72	179.31	120.51	106.73	81.47	80.05
Fitodepurazione HF	260.05	234.05	203.78	183.26	164.93	148.44
Fitodepurazione VF	299.55	201.42	140.48	107.42	98.38	79.53

Tab. 16 - Confronto tra i **costi di costruzione** per diverse tipologie impiantistiche e diverse dimensioni (a.e.= abitante equivalente) espresse in euro/m² (Ceccon et al., 1999)

	50 a.e.	100 a.e.	250 a.e.	500 a.e.	1000 a.e.	2000 a.e.
tipologia						
Fanghi attivi	76.95	43.83	26.98	16.84	13.58	11.53
Fitodepurazione HF	22.31	12.24	5.76	3.32	1.98	1.21
Fitodepurazione VF	30.21	17.66	9.18	4.91	3.56	2.78

Tab. 17 - Confronto tra i **costi di gestione** per diverse tipologie impiantistiche e diverse dimensioni (ae= abitante equivalente) espresse in euro/m²/anno (Ceccon et al., 1999)

Si noti come gli impianti di fitodepurazione sia a flusso orizzontale (HF) che verticale (VF) siano particolarmente competitivi rispetto ai depuratori a fanghi attivi soprattutto per quanto riguarda i costi di gestione (Tab. 17).

6.14 Le domande più frequenti sulla fitodepurazione

Funziona anche d'inverno? Cosa succede quando gela?

Gli impianti di fitodepurazione sono dimensionati in modo da garantire i risultati desiderati anche d'inverno, quando i processi metabolici dei microrganismi avvengono più lentamente. Nei sistemi a flusso sommerso la parte aerea della pianta che durante l'inverno muore funge da protezione contro il gelo.

Produce cattivi odori?

No. I sistemi a flusso sommerso, se correttamente dimensionati, offrono la massima protezione rispetto al problema dei cattivi odori proprio perché il refluo scorre al di sotto della superficie. E' possibile riscontrare questo tipo di problemi in sistemi a flusso superficiale usati a valle di una fossa settica e non come trattamenti di finissaggio.

E' vero che favorisce l'arrivo di zanzare?

No. Se correttamente dimensionati è da escludersi la presenza di zanzare sia in impianti a flusso superficiale che sub-superficiale.

Le piante muoiono anche d'inverno?

No. In genere si utilizzano piante perenni con cicli annuali.

Che aspetto ha un impianto finito?

Nel caso di un impianto a flusso sommerso in cui le essenze vegetale più utilizzata è la cannuccia di palude ha l'aspetto di un canneto. Nel caso di sistemi a flusso superficiale l'aspetto è quello di un tratto a corsa lenta di un fiume o di un lago.

E' necessaria una fossa settica a monte dell'impianto?

Sì. Essendo gli impianti di fitodepurazione trattamenti biologici secondari è necessario che a monte venga posto un trattamento meccanico primario per la sedimentazione delle parti solide.

E' possibile bere l'acqua depurata?

No. L'obiettivo di questi impianti è di depurare le acque per renderle idonee ad essere immesse in acque superficiali senza inquinare o per essere utilizzate ad uso fertilizzante in agricoltura o come acqua non potabile all'interno delle abitazioni. Se necessario sarebbe possibile attraverso un trattamento di potabilizzazione rendere le acque idonee per il consumo umano, ma in genere si preferisce usare acque di qualità più pregiata.

7. CASI STUDIO

7.1 L'impianto a flusso sommerso orizzontale di Faieto di Casina (RE)



Fig. 20 - Le due vasche di fitodepurazione in parallelo

L'impianto di fitodepurazione sito in Località Faieto di Casina è stato realizzato dal CRPA (Centro Ricerche Produzioni Animali) con finanziamenti del Consorzio di Bonifica Bentivoglio - Enza, Provincia e Camera di Commercio di Reggio Emilia presso l'azienda agricola S. Lucia nel 1999 ed avviato nel 2000. L'impianto, costituito da un sistema a flusso sommerso orizzontale, tratta le acque reflue provenienti della sala di mungitura dell'allevamento bovino e dagli scarichi civili provenienti dalle abitazioni aziendali.

L'impianto è stato dimensionato tenendo conto della presenza di 80 capi bovini in produzione per un totale di 38 a.e. (abitanti equivalenti) ed è essenzialmente costituito da:

- un pozzetto di ispezione dei reflui in ingresso
- una vasca settica tipo Imhoff
- un pozzetto con filtro in materiale plastico per la rimozione dei solidi sospesi sedimentabili
- due vasche di fitodepurazione collegate in parallelo delle dimensioni 12x6x1, piantumate con cannuccia di palude (*Phragmites australis*)
- pozzetti di controllo allo scarico delle vasche
- un sistema per il ricircolo delle acque in uscita dalle vasche

Parametri di progetto	
Portata media	6 m ³
Superficie totale	150 m ²
Abitanti equivalenti	38 AE
Superficie specifica	3,9 m ² /AE
Tempo di residenza idraulica	10 giorni

Tabella 15 - Parametri progettuali

Immediatamente a monte dell'area che ospita le due vasche di fitodepurazione è stato realizzato un canale di drenaggio riempito di ghiaia per l'allontanamento delle acque meteoriche che potrebbero defluire dalle aree circostanti.

Il fondo delle vasche è stato opportunamente impermeabilizzato facendo uso di un manto sintetico in pvc protetto da uno strato sottostante di geotessile. Una vasca è stata riempita con ghiaia lavata del diametro di 3-6 mm, l'altra con ghiaia lavata del diametro di 8-12 mm. Le parti prossime all'ingresso e all'uscita dei reflui, in ogni laguna, sono state riempite con ghiaia più grossolana, del diametro di 8-35 mm, per favorire l'afflusso dell'acqua al fondo di ogni sezione in ingresso e, all'estremità opposta, il suo deflusso.

Tubazioni forate per l'ispezione del flusso idrico che attraversano per tutto lo spessore ognuno dei due letti in ghiaia sono state collocate verticalmente a $\frac{1}{4}$, a metà e a $\frac{3}{4}$ della lunghezza di ogni vasca.

La distribuzione omogenea del refluo in testa è garantita da apposite canalette i cui punti di scarico sui letti in ghiaia sono regolabili singolarmente.

Nei pozzetti di scarico un regolatore di livello consente di regolare il livello dell'acqua all'interno di ogni vasca. Il sistema di ricircolo comprende una pompa centrifuga sommersa con galleggiante che permette di riavviare i reflui in uscita da una laguna all'altra.

Il livello dell'acqua nelle vasche è stato mantenuto pochi centimetri (5-10 cm) al di sotto della superficie libera delle ghiaie, evitando in tal modo lo sviluppo di odori e la proliferazione di insetti molesti.

La piantumazione delle cannuce di palude è stata effettuata nel marzo 2000 con piantine a radice nuda provenienti da vivaio, che sono state messe a dimora su tutta la superficie dei letti in ghiaia a una densità di 5 piantine/m².

In tab. 16 sono riportati i valori medi e il *range* di fluttuazione per ognuno dei parametri rilevati all'ingresso e all'uscita dall'impianto, le riduzioni percentuali medie verificate e a titolo di confronto, i limiti di legge vigenti nella Regione Emilia –Romagna per lo scarico in acque superficiali (tabella III legge regionale n. 7 del 29 gennaio 1983).

Pur essendo il carico organico e di nutrienti dei reflui in ingresso all'impianto più elevati di quello dei classici reflui civili, le rimozioni percentuali ottenute con la fitodepurazione sono elevate e permettono di rispettare i limiti legislativi imposti dalla Regione Emilia – Romagna.

Parametri	ingresso	uscita	riduzione %	limiti di legge
pH	7.65	7.58	0.9	5.5-9.5
Solidi sospesi totali	760	70	91.4	80
COD	1.38	105	92.4	160
BOD	505	32	93.6	80
N –NTK	57.3	30.5	46.7	-
N – NO3	8.5	5.6	34.2	20
N – NH4	21.9	23.3	-6.7	25
N organico	35.5	7.2	79.6	-
P totale	14.0	5.0	64.5	15

Tabella 16 - Risultati del monitoraggio analitico dei reflui espressi in mg/l e confronto con i limiti di legge dell'Emilia Romagna (tabella III I. R. n.7/83)

7.2 L'impianto a flusso sommerso verticale di Codemondo (RE)



L'impianto di fitodepurazione che serve l'azienda agricola "La Collina" di Codemondo in provincia di Reggio Emilia è stato realizzato in un'area non servita da rete fognaria pubblica.

La COOP. agricola "La Collina" è una azienda agricola biodinamica sita nella pianura reggiana fondata intorno al 1980 e costituita da circa 30 ettari di terreno per orticoltura e frutticoltura biologica con marchio demeter e produce anche carni e salumi biologici.

L'impianto di fitodepurazione è stato progettato dai tecnici dell'Energie und - Umweltzentrum di Hannover ed è stato realizzato tramite un campo di lavoro a cui hanno partecipato, oltre a ragazzi che volevano imparare questo nuovo metodo di depurazione, anche alcuni componenti dell'azienda agricola stessa .

DATI DI PROGETTO

Data realizzazione: ottobre-96

Tipologia: flusso sommerso verticale

Abitanti equivalenti: 30 a.e.

Area totale: 112 m²

Area specifica: 3.7 m²/AE

Carico idraulico: 6,0 m³/d

Pre-depurazione: fossa Imhoff 8 m²

Pozzetto di sollevamento: 2.5 m³

Altezza vasca: 100 cm

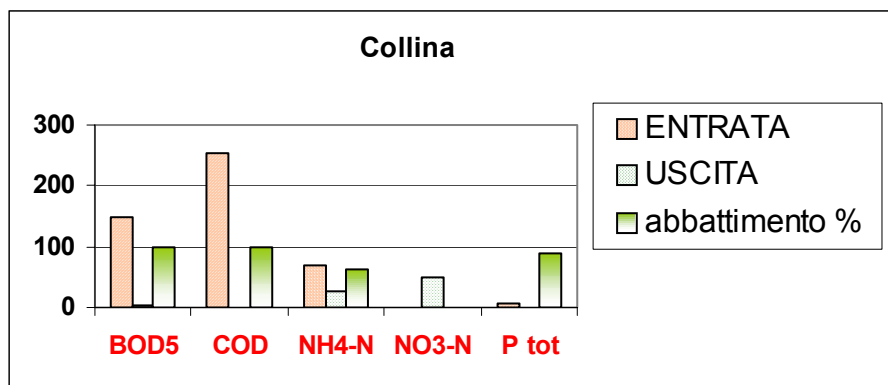
Materiale per filtro: sabbia di fiume lavata 0-3 mm e ghiaia lavata 8-16 mm

Impermeabilizzazione: guaina di PVC

Piante: *Phragmites australis*, 4 rizomi/m²

RENDIMENTI DI DEPURAZIONE

Analisi effettuate da AGAC e dall'ARPA di Reggio Emilia.



7.3 L'ecosistema - filtro di Bobbio (PC)



Fig. 21 - Visione aerea del depuratore e dell'ecosistema – filtro di Bobbio

L'ecosistema-filtro di Bobbio è un impianto di **fitodepurazione a flusso superficiale** realizzato dalla Provincia di Piacenza in collaborazione con l'Università di Pavia allo scopo di affinare le acque in uscita dal depuratore a fanghi attivi del Comune di Bobbio in provincia di Piacenza. L'intervento si inserisce in un progetto complessivo di risanamento del fiume Trebbia con la realizzazione di cinque ecosistemi – filtro a valle dei depuratori dei principali centri abitati (Ottone, Marsaglia, Travo, Perino, Bobbio) dislocati lungo il corso d'acqua da monte a valle.

L'ecosistema – filtro di Bobbio è stato dimensionato per **6.000 a.e. (abitanti equivalenti)** e per una portata media di $900 \text{ m}^3/\text{g}$. Esso si estende per una superficie di 8.374 m^2 ed è organizzato in tre bacini (A,B,C) alimentati in serie. I collegamenti idraulici avvengono tramite stramazzi in calcestruzzo. Il sistema è dotato di scaricatori di fondo ed è circondato da canalette di scolo per il convogliamento delle acque di pioggia verso lo scarico finale. I bacini hanno una profondità dell'acqua progressivamente minore (bacino A: 0,8m; bacino B: 0,5m; bacino C: 0,3m); il tempo di ritenzione è di circa 85 ore. Le specie vegetali presenti, sono differenti nei tre bacini, in funzione dell'obiettivo che si vuole raggiungere: - bacino A: elofita galleggiante *Lemna minor* funzione: equalizzazione degli scarichi in entrata, nonché di salvaguardia dei settori di valle da eventuali malfunzionamenti dell'impianto a monte. - bacino B: *Phragmites australis* e *Typha latifolia* funzione: affinamento depurativo maggiormente in grado di raggiungere obiettivi di abbattimento del carico microbiologico. - bacino C: elofite basse (*Carex elata*) in grado di non ostacolare la penetrazione della luce solare funzione: abbattimento dei nitrati, grazie ad una continua riossigenazione.

Risultati conseguiti: rendimenti di abbattimento del 65% su base annua per quanto riguarda l'azoto nitrico, e del 99,9% del carico di colifecali.

Il termine ecosistema – filtro è abbastanza recente (Malcevschi et al., 1988) ed è stato utilizzato per indicare quelle zone umide artificiali concepite in modo da rendere i processi di autodepurazione, tipici degli ambienti acquatici, altamente efficienti, senza però suscitare né significative alterazioni paesaggistiche né particolari esigenze di manutenzione. La definizione, in particolare, si riferisce alla capacità delle elofite (macrofite acquatiche radicate emergenti) e degli altri elementi presenti nell'ecosistema di tamponare, alleggerire e quindi “filtrare” gli scarichi provenienti da un depuratore situato immediatamente a monte, prima che questi s'immettano nel corpo idrico ricettore.

La capacità ricettiva di un corpo idrico infatti può essere aumentata dalla realizzazione, a valle degli scarichi tradizionali, di sistemi in grado di svolgere un ruolo di “filtro” tra il depuratore e l'ambiente circostante trasformando lo scarico in una risorsa anziché in un problema da risolvere.

Affinché ci possa essere una riduzione ottimale degli inquinanti è necessaria una scelta accurata delle biomasse utilizzabili che devono risultare sia compatibili sul piano ecologico, sia efficaci riguardo alle loro capacità di fitodepurazione; quest'ultima è legata alla strutturazione delle unità ecosistemiche. Pertanto il *lay-out* degli ecosistemi filtro e le soluzioni idrauliche da adottare vengono dettati dalle esigenze ecologiche delle biomasse scelte per gli impianti e dalla necessità di ottenere una buona struttura ecosistemica interna.

Le capacità di affinamento degli ecosistemi-filtro sono particolarmente significative con parametri quali l'inquinamento microbiologico, solidi sospesi, azoto; per abbattimenti significativi di fosforo sono necessarie ampie superfici (Malcevschi, 1996).

7.4 Il sistema integrato di S. Giovanni in Persiceto (BO)

Il progetto del sistema integrato del Comune di S. Giovanni in Persiceto nasce da un'esigenza dell'amministrazione pubblica di risistemazione dell'area di circa 55 ettari in cui è localizzato il dismesso zuccherificio di proprietà della SFIR. Il ripristino dell'area prevede la realizzazione di impianti commerciali, artigianali, ricreativi, nonché il trasferimento dell'impianto di depurazione delle acque reflue del capoluogo.

Allo stato attuale il depuratore dismesso dello zuccherificio (ex-vasche per il lagunaggio), non più utilizzato per usi antropici, si estende su una superficie di circa 12 ettari (dieci in un grande complesso di tre vasche affiancate, più due in un bacino che si trova in posizione più isolata).

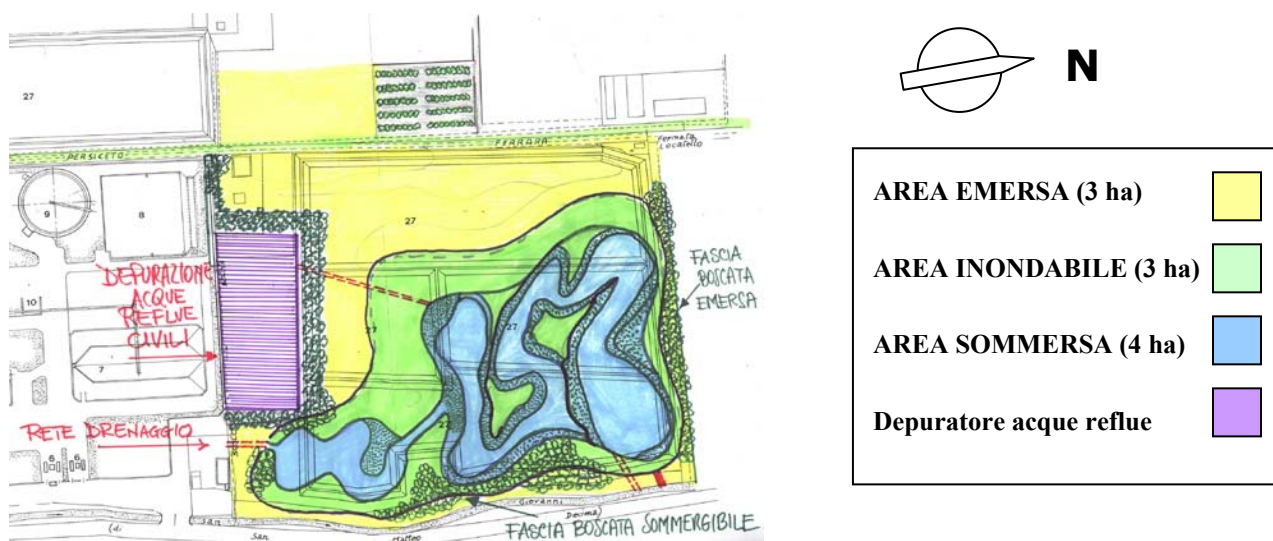
Il trasferimento del depuratore, dimensionato per **30.000 AE (abitanti equivalenti)** e per una portata media di 7500 m³/g, costituisce uno dei punti principali per i quali è nato il lavoro complessivo commissionato ad ENEA, per una valutazione tecnico-economica che possa aiutare il Comune nella scelta fra le due seguenti ipotesi:

- Costruzione di un nuovo depuratore (fanghi attivi)
- Recupero del depuratore dismesso dello zuccherificio attraverso la realizzazione di un sistema integrato nella vasche dell'ex lagunaggio

Il **sistema integrato** è composto da:

1. **Sistema di fitodepurazione** per il trattamento di **finissaggio delle acque reflue** urbane inserito in un area umida di 4 ettari perennemente allagata con sistemi di fitodepurazione a flusso superficiale e a flusso sommerso
2. **Sistema per il trattamento delle acque di run-off** (acque provenienti dal deflusso superficiale delle piogge) situato in un area di 3 ettari a verde pubblico allagabile temporaneamente

Gli ettari in esubero, non necessari alla depurazione, saranno utilizzati per la realizzazione di **area a verde pubblico**.



Schema di ripartizione delle attuali vasche di decantazione

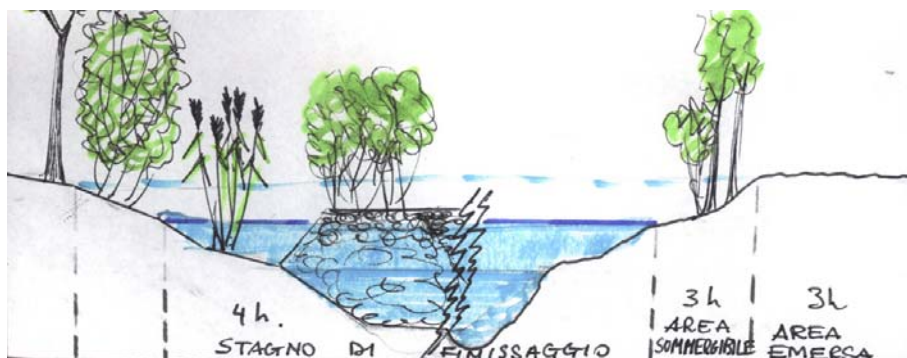
Il trattamento delle acque di run-off si profila necessario poiché una volta terminati i lavori di recupero dell'intera area dismessa, su cui sorgeranno immobili, capannoni, parcheggi, strade, ecc., si avrà un aumento complessivo dell'indice di impermeabilità dell'area stessa.

Quest'ultimo è un problema che il consorzio di Bonifica Reno-Palata (che opera sul territorio nel quale ricade l'ex zuccherificio) propone di risolvere facendo in modo che ogni ettaro di nuova urbanizzazione preveda la possibilità di trattare 500 m³ di acque provenienti dal deflusso superficiale delle piogge.

L'area inondabile e l'area costantemente emersa costituiscono una vasta zona di area verde a disposizione della popolazione, che potrà essere progettata in maniera corretta e rigorosa dal punto di vista della scelta della vegetazione autoctona, in modo da favorire anche lo sviluppo della fauna tipica di questo territorio (soprattutto uccelli, piccoli mammiferi, insetti).

In particolare si propone di proteggere l'area sui lati nord, est e sud, con ampie e folte fasce di vegetazione arbustiva ed arborea, mentre sarà lasciato accessibile il lato ovest, dal quale si potrà raggiungere l'area sia attraverso la rete stradale (costruzione di un parcheggio più ad ovest, dal quale procedere a piedi con un sentiero pedonale), sia attraverso una pista ciclabile collegante San Giovanni in Persiceto e Decima e costruita sulla sede della ex-ferrovia Modena - Ferrara.

La creazione di una pista ciclabile separata dai veicoli, quindi priva di rischi, è un altro punto della pianificazione della mobilità comunale che andrebbe valorizzato maggiormente, per potenziare tra l'altro la funzione socio-ricreativa dell'area che si intende realizzare.



Sezione tipo della sistemazione futura delle vasche di decantazione.

7.5 Gli impianti a flusso sommerso di Lugo di Baiso e Tabiano (RE)

In questo lavoro è riportata l'esperienza di AGAC nella provincia di Reggio Emilia attraverso la presentazione di due impianti a differente tipologia costruttiva:

1. **Lugo di Baiso: sistema a flusso sommerso orizzontale**
2. **Tabiano (Viano) : sistema a flusso sommerso orizzontale + verticale (ibrido)**

1. Impianto SSFH di Lugo (Baiso)

L'impianto di depurazione di Lugo di Baiso, a servizio della frazione omonima, è ubicato in zona collinare nel bacino del F. Secchia.

La tipologia impiantistica adottata è quella a flusso sub-superficiale orizzontale con macrofite radicate emergenti (SSFH).

I dati tecnici reali medi di funzionamento dell'impianto SSFH sono i seguenti:

- **abitanti equivalenti : 100**
- portata idraulica : $36 \text{ m}^3/\text{d}$
- carico organico : $6,4 \text{ Kg BOD}_5/\text{d}$

I reflui trattati sono esclusivamente di origine civile e provengono da una fognatura di tipo misto.

L'impianto si sviluppa secondo il seguente schema di flusso:

- scaricatore di piena primario
- vasca Imhoff (preesistente)
- scaricatore di piena secondario
- pozzetti di ripartizione alle tre vasche SSFH
- 3 vasche SSFH poste in parallelo
- pozzetto di raccolta finale delle acque trattate.

Dato il carattere sperimentale di questo impianto, sono state dapprima realizzate nel 1993 due vasche SSFH funzionanti in parallelo, che differiscono per le dimensioni geometriche, per il materiale inerte di riempimento utilizzato e di conseguenza anche per i tempi di residenza idraulica; alla fine del 1997 considerate le condizioni effettive di sovraccarico idraulico ed organico si è proceduto all'ampliamento dell'impianto attraverso la realizzazione di una terza vasca, posta in parallelo alle precedenti.

Il dimensionamento dei bacini SSFH è stato effettuato ipotizzando un funzionamento di tipo plug-flow con cinetica di rimozione del BOD_5 del 1° ordine (Reed et al, 1988).

Per quanto riguarda le altre scelte progettuali ci si è avvalsi delle indicazioni riportate da vari autori (EPA, 1993; ATV 1989; Reed et al, 1988; WPCF, 1989).

Il refluo è ripartito per il 50% sulla vasca 3 e per il 25% rispettivamente sulle vasche 1 e 2.

La superficie specifica risulta rispettivamente di $2,4 \text{ m}^2/\text{a.e.}$ per la vasca 1, $1,6 \text{ m}^2/\text{a.e.}$ per la vasca 2 e di $3 \text{ m}^2/\text{a.e.}$ per la vasca 3.

Il medium di riempimento, proveniente da frantoi della zona, è costituito da miscele di materiale inerte lavato di piccola pezzatura: 2-10 mm per la vasca 1 e 4-10 mm per le vasche 2 e 3. La porosità del materiale inerte risulta attorno al 50%.

Nelle tre vasche il rapporto lunghezza/larghezza è pari a 2; l'altezza media del mezzo di riempimento è di 0,8 m.

Le vasche sono state impermeabilizzate con un manto di HDPE di 2 mm di spessore protetto da tessuto non tessuto sia superiormente che inferiormente.

In fig. 1 è riportato lo schema planimetrico dell'impianto di depurazione. Nelle zone di ingresso e di uscita vi è uno strato di 1m di larghezza costituito da materiale inerte con granulometria grossolana con funzione di area di distribuzione e raccolta dei flussi.

L'alimentazione avviene tramite canalette superficiali (vasche 1 e 2) o tubazioni forate poste all'interno dello strato di inerte grossolano (vasca 3); tali sistemi di distribuzione sono posti trasversalmente alle vasche, mentre il liquame depurato viene raccolto da tubazioni forate poste trasversalmente sul fondo delle vasche nella parte terminale. Lungo il profilo longitudinale sono posti pozzetti per il controllo dei parametri idraulici e chimici.

La macrofita impiegata è la cannuccia di palude (*Phragmites australis*) che si trova abbondantemente in loco.

La messa a dimora di *Phragmites australis* è stata effettuata nelle vasche 1 e 2 nel novembre 1993 attraverso la posa di 4-5 rizomi per metro quadrato ad una profondità di 20-30 cm dalla superficie del medium di crescita. Nella vasca 3 si è invece proceduto alla messa a dimora di piantine di *Phragmites* a radice nuda nel marzo 1998.

2. Impianto SSF ibrido di Tabiano (Viano)

L'impianto di fitodepurazione di Tabiano, ubicato in zona collinare, tratta i reflui di origine unicamente civile dell'abitato omonimo attraverso un sistema ibrido costituito da una vasca a flusso orizzontale ed una a flusso verticale poste in serie.

La fognatura al servizio dell'agglomerato è di tipo misto.

I dati tecnici reali medi di funzionamento dell'impianto SSF ibrido sono:

- abitanti equivalenti : 100
- portata idraulica : 43 m³/d
- carico organico : 7,6 Kg BOD₅/d

L'impianto si sviluppa secondo il seguente schema di flusso:

- scaricatore di piena primario
- vasca Imhoff
- pozzetto con prefiltro
- scaricatore di piena secondario
- vasca SSFH (flusso sommerso orizzontale)
- pozzetto di raccolta dell'effluente con pompa per l'alimentazione della vasca SSFV e scaricatore di piena
- vasca SSFV (flusso sommerso verticale)
- pozzetto di raccolta finale delle acque trattate.

L'impianto è stato realizzato nel corso del 1999.

Il dimensionamento della vasca a flusso SSFH è stato effettuato ipotizzando un funzionamento di tipo plug-flow con cinetica di rimozione del BOD₅ del 1° ordine.

Per il dimensionamento della vasca verticale si sono utilizzati criteri empirici (WRC,1996; ATV,1998; Onorm B2505,1998), non esistendo ad oggi criteri di dimensionamento di tipo razionale.

La superficie specifica di ogni singola vasca è di 2,3 m²/a.e. (complessivamente 4,6 m²/a.e..)

Nelle due vasche il rapporto lunghezza/larghezza è pari a 2; l'altezza media del mezzo di riempimento è di 0,8 m.

Le vasche sono state impermeabilizzate con un manto di HDPE di 2 mm di spessore protetto da tessuto non tessuto.

La vasca SSFH presenta caratteristiche costruttive simili a quelle dell'impianto di Lugo, con materiale di riempimento costituito da miscele di inerte lavato di piccola pezzatura con granulometria di 3-10 mm.

La vasca SSFV presenta un medium di riempimento costituito da uno strato di 65 cm di ghiaia a granulometria 3-10 mm e da uno strato di fondo drenante di 15 cm a granulometria 16-30 mm.

Il bacino a flusso verticale ha alimentazione intermittente, per consentire al medium un adeguato periodo di riposo con conseguente ossigenazione dello stesso. Il numero dei cicli al giorno varia ampiamente (valore minimo 15 cicli/d e valore mediano 34 cicli/d)

La distribuzione del refluo avviene attraverso una raggiera di tubi disperdenti (diam.1") posti in superficie che consentono un'omogenea alimentazione del letto. Il sistema di raccolta dell'effluente è costituito da tubazioni drenanti (diam.100mm) disposte sul fondo della vasca che convogliano il refluo in un unico pozzetto d'ispezione.

In fig. 2 è riportato lo schema planimetrico dell'impianto di Tabiano. La macrofita impiegata, (*Phragmites australis*), è stata messa a dimora a radice nuda nell'inverno del 1999

Piano di controllo

Nell'impianto di Lugo (a partire dal gennaio 1994) e nell'impianto di Tabiano (a partire dal gennaio 2000) sono stati condotti controlli chimico-fisici e microbiologici nei punti di ingresso della fossa Imhoff, di ingresso e di uscita delle vasche SSF; si sono effettuati controlli con cadenze quindicinali o mensili dei seguenti parametri:

temperatura, pH, potenziale redox, ossigeno disciolto, COD, BOD₅, fosforo totale, ammoniaca, nitrati, nitriti solidi sospesi.

Altri parametri analitici (metalli pesanti, tensioattivi, batteriologia) sono stati rilevati occasionalmente.

Lungo il profilo longitudinale delle vasche nei tubi di drenaggio si è effettuato un controllo mensile sui principali parametri: temperatura, pH, potenziale redox, conducibilità specifica, COD, solidi sospesi, fosforo totale, ammoniaca.

RISULTATI

Nelle figg. 3,4 sono riportate le caratteristiche degli scarichi affluenti rispettivamente all'impianto di Lugo e Tabiano; i reflui risultano simili sia qualitativamente che quantitativamente, considerando i valori medi di portata corrispondenti a 36 m³/d per Lugo e 43 m³/d per Tabiano.

Nel grafico di fig. 5 vengono posti a confronto i rendimenti medi delle singole vasche a flusso orizzontale di Lugo e delle vasche a flusso orizzontale e verticale di Tabiano, considerando tutta la linea di processo (pretrattamento e comparto di fitodepurazione).

Le vasche a flusso orizzontale presentano rendimenti comparabili, pur variando le superfici specifiche da 1,6 a 3 m²/a.e..

Ai dati in uscita delle vasche a flusso orizzontale di Lugo relativi ai parametri COD, BOD₅ ed MST si sono applicati metodi statistici (tab.1): ANOVA, test non parametrico per campioni indipendenti (test di Kruskal-Wallis).

I test applicati non hanno evidenziato differenze significative tra i reflui trattati dalle singole vasche SSFH, che presentano quindi simili capacità depurative.

Elevati risultano gli abbattimenti del sistema SSFH sulla sostanza organica : i rendimenti relativi al BOD₅ risultano compresi tra l'80 e 90%, mentre i rendimenti relativi al COD risultano superiori al 70%. Modesti risultano i rendimenti relativi ai nutrienti mentre estremamente interessante risulta l'abbattimento di solidi totali (dall'85 al 92%).

Il comparto SSF ibrido presenta migliori performance, rispetto all' SSFH, su tutti i parametri, con particolare riguardo all'abbattimento dell'NH₄, mostrando quindi una maggiore efficacia su meccanismi di rimozione legati all'attività della pellicola microbica.

I rendimenti elevati del P_{tot} del sistema ibrido possono essere conseguenti ai meccanismi di precipitazione/scambio/assorbimento più efficaci nel primo anno di vita dell'impianto, nel quale il medium non ha saturato le sue capacità.

L'abbattimento dei solidi totali che avviene per meccanismi fisici di flocculazione e sedimentazione, risulta comparabile per sistemi SSFH e SSFibrido.

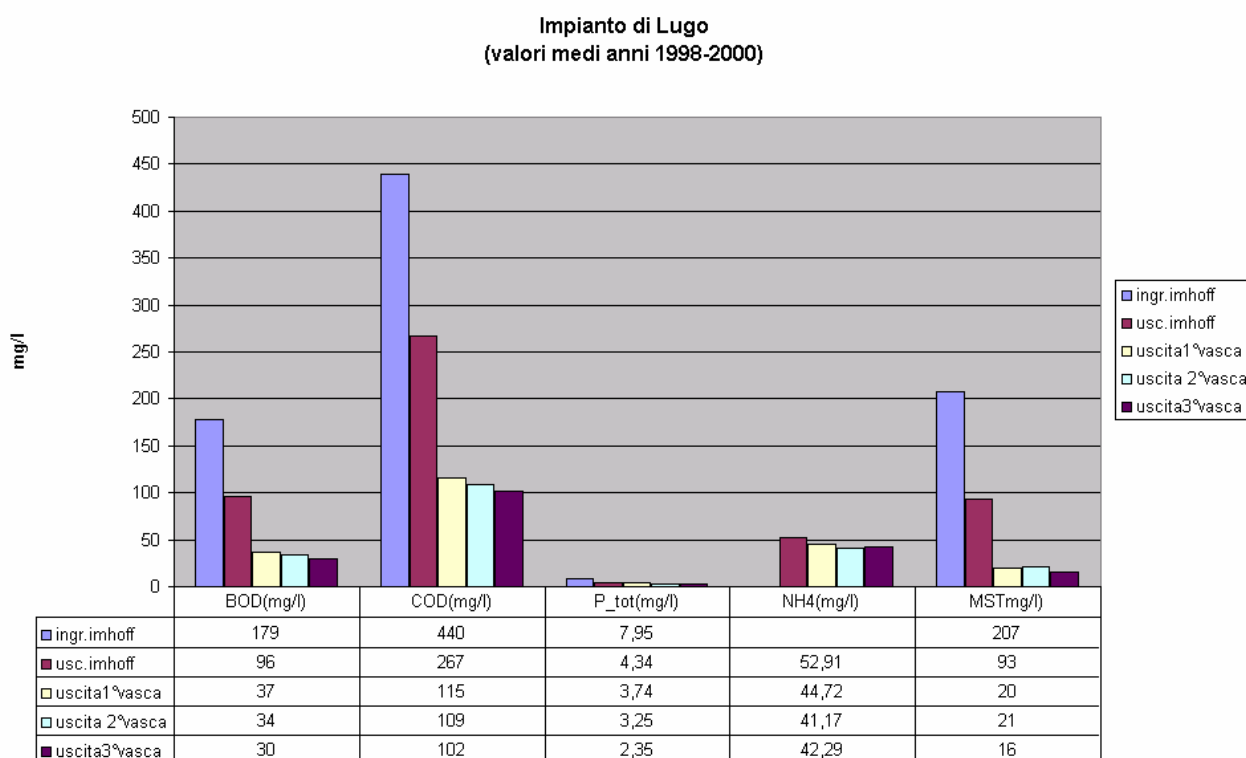


Fig.3 Impianto di Lugo: concentrazioni medie di alcuni parametri campionati negli anni 1998-2000

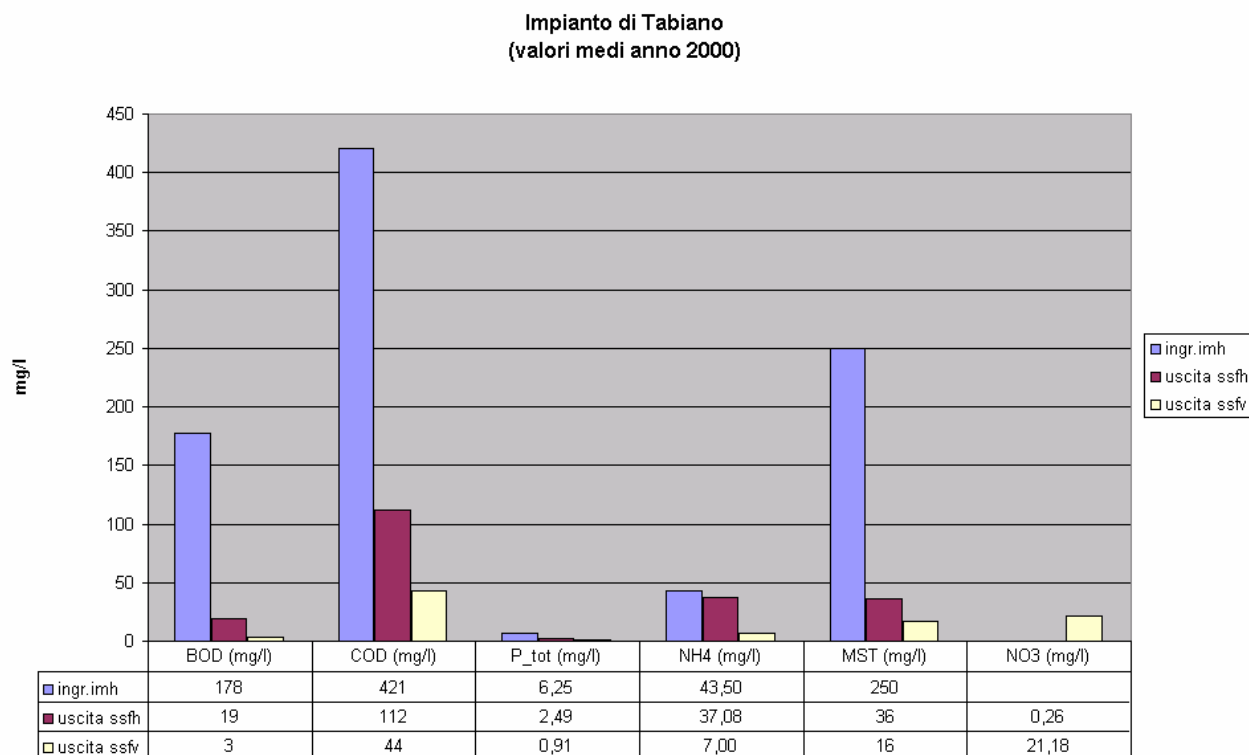


Fig.4 Impianto di Tabiano: concentrazioni medie di alcuni parametri campionati nel 2000

GLOSSARIO

abitante equivalente: unità di misura standardizzata. Concetto utile per esprimere in termini omogenei il carico di una particolare utenza, civile o industriale, dell'impianto di depurazione (Masotti, 1999);

acque reflue: così sono definite nell'art. 2 del D. legislativo 152/99 e succ. modifiche "tutte le acque provenienti da uno scarico" (vedere anche scarico). Sempre secondo il D.lg. 152/99 le acque reflue si distinguono in "domestiche, se provenienti da insediamenti di tipo residenziale e da servizi derivanti prevalentemente dal metabolismo umano e da attività domestiche, industriali (se scaricate da edifici in cui si svolgono attività commerciali o industriali, diverse dalle domestiche e meteoriche di dilavamento) e urbane (domestiche o il miscuglio di domestiche, industriali e meteoriche)";

a.e.: vedere abitante equivalente;

aerobico: in presenza di ossigeno;

afotico: senza luce; anaerobico: senza ossigeno;

antibiosi: contrario di simbiosi. Fenomeno di antagonismo fra specie viventi;

batteri: microrganismi unicellulari appartenenti al regno Monera;

biodischi: impianto a biomassa adesa (batteri) per il trattamento biologico secondario dei reflui

biomassa: massa totale di tutti gli organismi di un dato tipo e/o presenti in una data area

BOD₅ (biochemical oxygen demand): è un parametro che viene analizzato per valutare la qualità dell'acqua e corrisponde alla quantità di ossigeno utilizzata dai batteri per abbattere il carico organico;

canna di palude: pianta erbacea appartenente alla famiglia delle Graminaceae con fiori riuniti in pannocchie scure. Nome scientifico *Phragmites australis*;

complessazione: fenomeno chimico di aggregazione di molecole o ioni con atomi o ioni metallici

COD (chemical oxygen demand): è un parametro che viene analizzato per valutare la qualità dell'acqua e corrisponde alla quantità di ossigeno utilizzata dalle reazioni chimiche per abbattere il carico organico;

denitrificazione: processo attuato da microrganismi (batteri denitrificanti), in ambiente anaerobico, di trasformazione del nitrato in ammoniaca;

depurazione dell'acqua: insieme dei trattamenti artificiali che permettono di eliminare parzialmente o totalmente le sostanze inquinanti da un'acqua lurida. Si dividono in meccanici (grigliatura), primari (sedimentazione), secondari (biologici e/o chimici) e terziari (affinamento e finissaggio);

ecosistema: insieme di una comunità biologica e dell'ambiente fisico al quale è associata;

effluente: acqua depurata in uscita dall'impianto di depurazione;

elofite: piante acquatiche per lo più erbacee, radicate sul fondo dell'acqua ed emergenti durante il loro pieno sviluppo con la maggior parte della loro struttura;

eufotico: in presenza di luce;

eutrofizzazione: "arricchimento delle acque in sali nutritivi (fosforo e azoto) che provoca cambiamenti tipici in laghi e fiumi, quali l'incremento della produzione di alghe e di piante acquatiche, l'impovertimento delle risorse ittiche, la generale degradazione della qualità dell'acqua e di altri effetti che ne riducono o precludono l'uso" (OCSE);

fanghi attivi: impianto tecnologico di depurazione di acque usate ad ossidazione totale;

fango: prodotto della sedimentazione delle acque luride;

fitodepurazione: sistema per depurare le acque reflue attraverso l'azione combinata di batteri e piante;

finissaggio: vedere depurazione dell'acqua;

fossa Imhoff: contenitore di reflui civili che svolge una depurazione primaria di sedimentazione ed una primaria digestione anaerobica (senza ossigeno) dei fanghi. E' composta da più settori in modo tale da separare il liquame dal fango;

giacinto d'acqua: pianta acquatica erbacea appartenente alla famiglia delle Liliacee. Nome scientifico *Eichornia crassipes*;

idrofite: piante erbacee acquatiche che, al contrario delle elofite, non emergono dall'acqua. Sono suddivise in pleustofite e rizofite (vedere voci corrispondenti);

ione: atomo o gruppo di atomi che ha perduto uno o più elettroni e quindi ha assunto una carica elettrica positiva (catione) o ha acquistato uno o più elettroni assumendo una carica negativa (anione);

lagunaggio: metodo naturale per depurare le acque inquinate diverso dalla fitodepurazione che utilizza bacini idrici controllati e piante acquatiche come il giacinto d'acqua e la lenticchia d'acqua;

liquame: vedere scarico;

macrobenthos: vedi macroinvertebrati;

macrofite: piante superiori;

microfite: microalghe unicellulari; macroinvertebrati: organismi che vivono negli ambienti acquatici in relazione al fondo la cui taglia è superiore al millimetro e perciò sono sempre visibili ad occhio nudo;

medium di riempimento: materiale inerte usato per riempire i letti a flusso sommerso degli impianti di fitodepurazione che serve da substrato per la crescita delle piante e dei microrganismi;

nicchia ecologica: posizione e ruolo di un tipo di organismo nel suo ambiente;

nitrificazione: processo attuato da microrganismi (batteri nitrificanti), in ambiente aerobico, di trasformazione dell'ammoniaca in nitrato;

nutrienti: fosforo (P) e azoto (N);

ossido-riduzione: insieme di due parole ossidazione e riduzione (in inglese redox) che originariamente indicava reazioni che avvenivano in presenza o in assenza di ossigeno. Oggi il significato è più generale e per ossidazione si intende la perdita di elettroni da parte di un atomo mentre per riduzione l'acquisto di elettroni;

pH: misura dell'acidità o alcalinità di una soluzione;

pleustofite: piante acquatiche non radicate al fondo flottanti;

reazione cinetica: la cinetica chimica è quel ramo della chimica fisica che studia e misura le velocità di reazione. Obiettivo principale è la determinazione dei meccanismi delle reazioni attraverso lo studio delle loro velocità in diverse condizioni di temperatura, pressione, ecc;

refluo: vedi acque reflue;

rizofite: piante acquatiche radicate al fondo sommerse;

run off: scorrimento superficiale di acque piovane;

rizoma: Fusto sotterraneo orizzontale. I rizomi permettono alla pianta di sopravvivere da una stagione vegetativa a quella successiva, e in certe specie servono alla sua moltiplicazione vegetativa. E' l'apparato radicale di *Phragmites australis*;

scarico: questa è la definizione data nell'art. 2 D.lg. 152/99 e succ. modifiche " qualsiasi immissione diretta di acque reflue luride, semiliquide e comunque convogliabili nelle acque superficiali, sul suolo, nel sottosuolo e in rete fognaria indipendentemente dalla loro natura inquinante, anche sottoposte a preventivo trattamento di depurazione";

substrato: materiale su cui vive o cresce un organismo. Il substrato può fornire nutrimento all'organismo o fungere solo da sostegno;

tempo di residenza: tempo di permanenza dell'acqua nell'impianto di fitodepurazione;

trattamento primario, secondario, terziario: vedere depurazione dell'acqua;

Venturi: fisico italiano che inventò il "tubo Venturi", dispositivo usato per mescolare un liquido con un gas o per misurare le correnti fluide. Consiste di due segmenti di tubo troncoconici uniti in modo da formare una strozzatura. Nella sezione contratta la velocità del fluido aumenta, e quindi la sua pressione diminuisce. Dalla bassa pressione creata dalla strozzatura di un tubo Venturi, si forma una miscela del liquido con l'aria.

BIBLIOGRAFIA

- ATV – Abwassertechnische Vereinigung (Associazione tedesca per l'acqua e l'ambiente) (1998) – Behandlung von hauslichem abwasser in Pflanzenbeeten (Trattamento di reflui domestici in fitodepurazione). German ATV - Standards Wastewater/Waste, Guideline A 262, 10 pp.
- Adcock P.W., Ganf G.G. (1994) - Grow characteristics of three macrophyte species growing in a natural and constructed wetland system - Wat. Sci. Tech., 29 (4): 95-102.
- Armstrong J., Armstrong W. (1990) - *Light-enhanced convective throughflow increases oxygenation in rhizomes and rhizosphere of Phragmites australis* (Cav.) Trin ex Steud - New Phytol., 114: 121-128.
- Borin M., Marchetti C. (1997) - *Sistemi di depurazione delle acque basati sull'uso di vegetazione macrofita* - Caratteristiche e funzionamento. Ambiente, Risorse e Salute, 55:7-13.
- Breen P.F. (1990) – *A mass balance method for assesting the potential of artificial wetland for wastewater treatment for wastewater treatment* - Wat. Res., 24(6):689-697.
- Brix H. (1993) – *Waste treatment in constructed wetland: System design, removal processes, and treatment performances* - in: Moshiri G.A. "Constructed wetland for water quality improvement", Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokio, Lewis Publishers.
- Brix H. (1993) – *Macrophyte mediated oxygen transfer in wetlands: transport mechanisms and rates* - In Moshiri G.A. "Constructed wetlands for water quality improvement". Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokio, Lewis publishers, 391-398.
- Brix H. (1994) – *Functions of macrophytes in constructed wetland* - Wat.Sci. Tec, 29(4): 71-74.
- Brix J., (1996) - *Design criteria for a two-stage constructed wetland* - presented at the Vth International Conference on Wetland Systems for water pollution control (DK).
- Brooks R.R. (1998) - *Plants that hyper accumulate heavy metals* – CAB international, USA.
- Camuccio P. & Barattin B. (2001) – *La fitodepurazione: manuale tecnico divulgativo* – Provincia di Treviso.
- Ciucani G. & Cattani I. (2001) - *Fitodepurazione: un processo per il trattamento delle acque reflue* - rapporti di Sc.Ambientali dell' Istituto di Chimica Agraria ed Ambientale dell'Università Cattolica di Piacenza a cura di Capri E. e Trevisan M.
- Cooper P.F. (1993) - *The use of reed bed systems to treat domestic sewage: The european design and operations guidelines for reed bed treatment systems* - In Moshiri G.A. "Constructed wetlands for water quality improvement". Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokio, Lewis Publishers, 203-217.
- Cooper P.F., Job G.D., Green M.B., Shutes R.B.E. (1996) – *Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment* - WRc plc, Swindon, UK.
- Cossu R. (1984) – Indagine sperimentale sul trattamento del percolato mediante lagunaggio aerobico. Ingegneria Ambientale, 13 (5): 226-236.
- Crites R.W. (1994) - *Design Criteria and practice for constructed wetlands* - Wat.Sci. Tech., 29 (4): 1-6.
- Crites Tchobanoglous (1998) - *Small and decentralized wastewater management systems* - McGraw-Hill (USA).
- Department of Land and Water Conservation (DLWC, NSW) (1998) - *The Constructed Wetlands Manual* - Department of Land and Water Conservation, New South Wales, Australia.
- ENEA (1999) - *Aree umide costruite per la depurazione di acque reflue* - atti del convegno scientifico, 25 maggio 1999, Bologna.
- EC/EWPCA (1990) – European design and operation guidelines for reed bed treatment system (Ed. P.F. Cooper) – EC/EWPCA Emergent Hydrophyte Treatment System Expert Contact Group, Report U1.17 Water Research Center, Swindon, UK, pp27.
- Gerola F.M. (1997) – *Biologia Vegetale sistematica filogenetica* – UTET, Torino.
- Gersberg R.M., Lyon S.R., Elkins B.V., Goldman C.R. (1985) - The removal of heavy metals by artificial wetlands - In "Proceedings of the water reuse symposium III. Future of water reuse". AWWA research Foundation.
- Gersberg R.M., Elkins B.V., Lyon S.R., Goldman C.R. (1986) - Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands - Wat. Res., 20 (3): 363-368.

- Ghetti P. F. & Volpi-Ghirardini A. (1994) – *Trattamenti di fitodepurazione: aspetti generali* - in: De Fraja Frangipane E. & Vismara R. "Piccoli impianti di depurazione", XLI Corso di aggiornamento in Ingegneria Sanitaria - Ambientale, Andis e Politecnico di Milano, Milano.
- Giger W., Roberts P.V. (1978) - *Characterization of persistent organic carbon* - In "Water Pollution Microbiology". New York, John Wiley and Sons, 2: 137-175.
- Green M.B., Griffin P., Seabridge J.K., Dhobie D. (1997) - *Removal of bacteria in subsurface flow wetlands* - Wat. Sci. Tech., 35 (5): 109-116.
- IÖV (Ingenieur ökologische Vereinigung Deutschland) (1994)–*Behandlung von häuslichem Abwasser in pflanzenkulturen*, IÖV –A – beitsblatt W1/94. 16 S.,Augsburg (Germania).
- Kadlec R.H. & Knight R.L. (1996) - *Treatment Wetlands* - Lewis Publisher CRC press, Florida.
- Malcevschi S., Ferraris M., Capetta C., Bisogni G. (1998) – Un'esperienza di ecosistemi-filtro per l'abbattimento dell'inquinamento microbiologico – Ingegneria Ambientale, 17(9): 478-485.
- Mantovi P., Piccinini S. (2001) – Trattamento di fitodepurazione delle acque reflue della zona di mungitura – L' informatore agrario, LVII (33): 53-57.
- Masi F., (2000) - *Il quadro italiano della fitodepurazione* - in "Lezioni di Architettura Bioclimatica", Collana Manuali n. 53, Alinea Ed., Firenze, 201-207, 2000.
- Masi F., Bendoricchio G., Conte G., Garuti G., Innocenti A., Franco D., Pietrelli L., Pineschi G., Pucci B., Romagnolli F., (2000) - *Constructed wetlands for wastewater treatment in Italy: State-of-the-art and obtained results* - Conference Proceedings of the IWA 7th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Orlando, vol.2 pp.979-987.
- Masotti L. (1999) – Depurazione delle acque. Tecniche ed impianti per il trattamento delle acque di rifiuto – Calderini ed., Bologna.
- Matthey W., Della Santa E., Wannenmacher C. (1992) – Guida pratica all'ecologia – Zanichelli, Bologna.
- McIntyre B.D., Riha S.j. (1991) – *Hydraulic conductivity and nitrogen removal in a artificial wetland system* - J. Environ. Qual., 20: 259 –263.
- Nuttal. P.M., Boon A.G., Rowell M.R. (1997) – Review of the design and management of constructed wetland - CIRIA ed., London.
- Önorm B2505 (1998) - *Bepflanzte Bodenfilter (Pflanzen Klaranlagen)- norme austriache per impianti di fitodepurazione.*
- Pergetti M. (1994) – *Criteri progettuali e costruttivi di u sistema a flusso sub-superficiale per piccole comunità* – XLI Corso di aggiornamento ISA: piccoli impianti di depurazione. Politecnico di Milano e ANDIS, 30 maggio – 2 giugno, Milano.
- Piraccini E. (1998) – *Un' applicazione di tecniche di fitodepurazione presso l'AMGA di Cesena* – IA Ingegneria Ambientale, vol. 28 (3).
- Ramadori R., Cingolani L., Cameroni L. (Ed.s) (1995) - *Natural and constructed Wetlands for wastewater treatment and reuse - Esperience, Goals and Limits* - atti del seminario internazionale, Centro studi Provincia di Perugia.
- Reed S.C., Middlebrooks E.J., Crites R.W. (1987) - *Natural systems for waste management and treatment* - New York, McGraw-Hill book Co.
- Reed S.C., Brown D.S. (1992) - *Constructed wetland design-The first generation*. Wat. Env. Res., 64 (6): 776-781.
- Romagnolli F., Honer G. (2001) – *Planted sand filter experiences in Italy-* IWA Specialist Group on the use of Macrophytes in Water Pollution Control, newsletter n°23, 2001.
- Oxford university press (1990) – Dizionario enciclopedico dei termini scientifici – Bur Rizzoli, Milano.
- Trevisol M., Parancola (1995) - *Manuale di biofitodepurazione: risanamento delle acque e processi di rinaturalizzazione* - ANAB ed., Padova.
- Vecchiet M. (2000) – *La depurazione a flusso verticale nel trattamento delle acque reflue di origine civile* - in quaderno ARPA Emilia Romagna, atti workshop "Il riuso delle acque reflue in agricoltura", 10 maggio 2000, Bologna .
- Vismara R. & Ghetti P. F. (1995) - *Sistemi naturali di depurazione. Campo di applicazione e limiti* - raccolta di materiale didattico della FAST, Milano.

- Vismara R., Egaddi F., Garuti G., Pergetti M., Pagliughi A. (2000) – *Linee guida per il dimensionamento degli impianti di fitodepurazione a macrofite radicate emergenti: gli esempi internazionali ed una proposta italiana* - Ingegneria Ambientale, 29, 3/4, 164-176.
- Volterra L., Mancini L. (1994) - Fitodepurazione e riuso successivo delle macrofite – Ambiente, Risorse, Salute, 26: 30-36.
- Vretare V. & Weisner S.E.B. (2000) - *Influence of pressurized ventilation on performance of an emergent macrophyte (Phragmites australis)* - Journal of Ecology, 88 (6) : 978-987.
- Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., Green, M.B., Haberl, R., Eds. (1998) - *Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe* - Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.

BIBLIOGRAFIA DI APPROFONDIMENTO

- Bahlo, K. & Wach, G.F. (1992) - *Purification of domestic sewage with and without faeces by vertical intermittent filtration in reed beds* - in: Cooper, P.F. & Findlater, B.C. (Eds): "Constructed wetlands in Water Pollution Control". Proceedings of the International Conference on the use of Constructed Wetlands in Water Pollution Control, held in Cambridge, UK, 24-28 September 1990. Pergamon, Oxford.
- Bahlo, K. (1997) - *Reinigungsleistung und Bemessung von vertikal durchströmten Bodenfilter mit Abwasserrezirkulation* - Dissertation University of Hannover, Fachbereich Bauingenieur – und Vermessungswesen. Eigenverlag, Uelzen.
- Bahlo K. (2000) - *Treatment efficiency of a vertical-flow reed bed with recirculation* – Journal of Environmental Science and Health, A35(8), 1403-1413.
- Brix H. (1991) – *The use of macrophytes in waste water treatment: biological features* - Atti del Convegno internazionale "Biological Approach to Sewage Treatment Process: Current Status and Perspective", Dip. Studi Territoriali e Ambientali Amm. Pro.le Perugia, C.I.S.B.A. E I.A.W.P.R.C., Perugia.
- Brix H. (1994) – *Use of subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment* - in: "Natural and constructed wetlands for wastewater treatment and reuse experiences, goals and limits". Proceedings from conference in Pila, October 26-28, 1995, Perugia .
- Bown M., Beharrel M. and Bowling L. (1998) – *Chemical, biological and physical processes in constructed wetland* – in: "The Constructed Wetlands Manual" - Department of Land and Water Conservation, New South Wales, Australia.
- Cooper, P.F. & Findlater, B.C. (1990) - *Constructed Wetlands in Water Pollution Control* - Pergamon Press, Oxford.
- Geller, G., Kleyn, K., Lents, A. (1990) - *Planted soil filter for wastewater treatment: the complex system planted soil filter, its components and their development* - in: Cooper, P.F. & Findlater, B.C. (Eds) "Constructed wetlands in Water Pollution Control". Proceedings of the International Conference on the use of Constructed Wetlands in Water Pollution Control held in Cambridge, UK, on September 1990. Pergamon press, Oxford.
- Gersberg R.M., Lyon S.R., Brenner R., Elkins B.V. (1987) - *Fate of viruses in artificial wetlands* - Applied Environmental Microbiology, 53 (4): 731-736.
- Green M.B., Griffin P., Seabridge J.K., Dhoibie D. (1997) - *Removal of bacteria in subsurface flow wetlands* - Wat. Sci. Tech., 35 (5): 109-116.
- Gunther Geller (1999) - *Accumulation of substances and long-term experiences with planted soil filters* - in: "Managing the wastewater resource- Ecological Engineering for wastewater Treatment". Proceedings of the conference held in As on June 7-11-1999, Norway.
- Hammer, Donald A. (1989) – *Constructed wetland for wastewater treatment* – Lewis Publishers.
- Mitchell C., Wiese R., Young R. (1998) – *Design of wastewater wetlands* – in: "The Constructed Wetlands Manual" - Department of Land and Water Conservation, New South Wales, Australia.
- Reddy K.R. & Smith, W.H. (1987) - *Aquatic Plants for Wastewater Treatment and Resource Recovery* - Magnolia Publishing, Orlando, Florida.

- Reed S.C. & Broun D.S. (1992) – *Constructed wetlands design, The first generation* - Water Envir. Research, 64: 776-781.
- Schudel P. & Boller Markus (1989) - *Onsite wastewater treatment with intermittent buried filters* - in: "International Specialized Conference on Design and Operation of Small Wastewater Treatment", Trondheim June 1989, Hallvard Odegaard ed., Norway.
- U.S. EPA Environmental Protection Agency (1993) – *Subsurface flow constructed wetland for municipal wastewater treatment* - EPA 832/R/93/001 Office for Water , Cincinnati Ohio.
- U.S. EPA Environmental Protection Agency (2000) - *Constructed Wetland Treatment of Municipal Wastewaters* - EPA/625/R-99/010 Office for Research and Development, Cincinnati Ohio.

Siti web

www.irdra.com

www.fitodepurazionevis.it

www.enea.it