

Floriana Romagnolli



COLLANA RISPARMIO IDRICO

Fitodepurazione

Gestione sostenibile delle acque

[Scheda sul sito >](#)



Inquinamento delle acque e depurazione, caratteristiche delle zone umide
Fitodepurazione e depurazione naturale, modalità di applicazione e di funzionamento
Tipologia di piante, progettazione e realizzazione di un impianto
Drenaggio urbano sostenibile, esempi applicativi

Floriana Romagnoli

FITODEPURAZIONE

Gestione sostenibile delle acque



Dario Flaccovio Editore

“Non desiderate che la natura
si accomodi a quello che parrebbe
disposto ed ordinato a noi,
ma conviene che noi
accomodiamo l’interesse nostro
a quello che ella ha fatto,
sicuri tale essere l’ottimo
e non l’altro.”

Galileo Galilei

Floriana Romagnolli

FITODEPURAZIONE – Gestione sostenibile delle acque

ISBN 978-88-579-0115-2

© 2013 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: febbraio 2013

Romagnolli Floriana <1971->

Fitodepurazione : gestione sostenibile delle acque / Floriana Romagnolli. -

Palermo : D. Flaccovio, 2013.

ISBN 978-88-579-0115-2

1. Acque reflue – Depurazione.

628.3 CDD-22

SBN PAL0252571

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Stampa: Priulla, Palermo, febbraio 2013

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio tutti coloro che direttamente o indirettamente hanno contribuito alla realizzazione di questo libro. In particolare ringrazio quelle persone che hanno fornito materiale e scritto a “quattro mani” alcuni paragrafi come Silvia Franceschini di ARPA sezione Reggio Emilia per il monitoraggio delle acque superficiali, Angelo Massacci di IRSA-CNR per il fitorimediazione, Bruno Boz dell’Università di Padova per i sistemi filtro forestali, Renato Iannelli e Eleonora Peruzzi di ISE-CNR di Pisa per la disidratazione fanghi di depurazione, Carlo Bendoricchio e Paolo Cornelio del Consorzio di bonifica acque Risorgive di Venezia per la riqualificazione fluviale, Maria Cristina Grandi del vivaio Ninfea di Bologna per gli aspetti legati alla propagazione e trapianto delle piante acquatiche, Paola Zanetti del Consorzio di Bonifica dell’Emilia Centrale per il progetto sul riuso del depuratore di Mancasale, Associazione acque balneabili per le biopiscine. Ringrazio inoltre per il materiale fornito per le schede degli esempi applicativi Iridra s.r.l., studio VIS Fitodepurazione, Artec Ambiente s.r.l., Università di Catania, Anja Werner, Consorzio acque risorgive, CRPA Reggio Emilia, Ch2MHill s.r.l., Energie-und-Umweltzentrum Hannover, NQA s.r.l., AGAC s.p.a. (Iren), Expo s.p.a., Metropolitana Milanese s.p.a.

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L’editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall’art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall’editore.

INDICE

Prefazione

Introduzione

1. Inquinamento delle acque

1.1. Inquinamento dei corpi idrici.....	»	15
1.2. Principali parametri che caratterizzano un'acqua reflua.....	»	16
1.2.1. pH	»	17
1.2.2. Alcalinità	»	17
1.2.3. Temperatura.....	»	17
1.2.4. Ossigeno disciolto	»	18
1.2.5. Sostanza organica (BOD, COD).....	»	18
1.2.6. Nutrienti.....	»	18
1.2.6.1. Azoto	»	19
1.2.6.2. Fosforo.....	»	19
1.2.7. Conducibilità	»	19
1.2.8. Solidi e torbidità	»	20
1.2.9. Detergenti	»	20
1.2.10. Tensioattivi	»	20
1.2.10.1. Tensioattivi anionici.....	»	21
1.2.10.2. Tensioattivi cationici.....	»	21
1.2.10.3. Tensioattivi non ionici	»	21
1.2.10.4. Tensioattivi anfoteri	»	21
1.2.11. Metalli pesanti	»	21
1.2.12. Parametri microbiologici	»	22
1.3. Monitoraggio delle acque superficiali	»	22
1.4. Bibliografia	»	29

2. Depurazione delle acque

2.1. Trattamenti di depurazione delle acque	»	31
2.2. Cenni sulle principali tecniche impiantistiche di depurazione	»	32
2.2.1. Sistemi a biomassa adesa	»	32
2.2.1.1. Filtri percolatori.....	»	32
2.2.1.2. Biodischi.....	»	33
2.2.1.3. Reattori biologici	»	33

2.2.2.	Sistemi a biomassa sospesa: fanghi attivi, SBR, MBR	»	34
2.2.2.1.	Possibili cause di fughe di fango nell'effluente	»	35
2.3.	Depurazione con tecniche naturali e con tecniche impiantistiche	»	36
2.4.	Quadro normativo	»	38
2.4.1.	Normativa comunitaria sulle acque	»	38
2.4.2.	Normativa nazionale sulle acque	»	39
2.4.3.	Disciplina degli scarichi nel Codice dell'Ambiente	»	42
2.4.4.	Il decreto ministeriale sul riuso delle acque	»	44
2.4.5.	La fitodepurazione nel quadro normativo italiano	»	45
2.5.	Gestione sostenibile del ciclo delle acque	»	45
2.6.	Bibliografia	»	49

3. Caratteristiche delle zone umide

3.1.	Che cos'è una zona umida	»	51
3.2.	Zone umide e conservazione della natura	»	53
3.3.	Componenti biotiche di una zona umida	»	55
3.3.1.	Batteri	»	55
3.3.2.	Zooplanton	»	56
3.3.3.	Macrobenthos	»	58
3.3.4.	Fitoplancton	»	59
3.3.5.	Fauna vertebrata	»	61
3.3.6.	Vegetazione	»	62
3.4.	Adattamenti delle piante alla vita acquatica	»	67
3.5.	Bibliografia	»	69

4. Fitodepurazione e depurazione naturale

4.1.	Un po' di storia: dalle zone umide alla fitodepurazione	»	71
4.2.	Che cos'è la fitodepurazione	»	72
4.3.	Le tre tipologie di impianti di fitodepurazione	»	72
4.3.1.	Sistemi a flusso sommerso orizzontale (HF)	»	73
4.3.2.	Sistemi a flusso sommerso verticale (VF)	»	74
4.3.3.	Sistemi a flusso superficiale (FWS)	»	74
4.4.	Fitodepurazione in Italia: un settore in evoluzione	»	75
4.5.	Altri sistemi naturali per il disinquinamento delle acque	»	76
4.5.1.	Lagunaggio	»	76
4.5.2.	Evaporazione con salici	»	77
4.5.3.	Vassoi assorbenti	»	77
4.5.4.	Sistemi filtro forestali	»	79
4.5.4.1.	Fasce tampone	»	79
4.5.4.2.	Aree filtro-forestali inverse	»	81
4.5.4.3.	Aree filtro forestali per post-trattamento di reflui depurati	»	84
4.5.5.	Fitorimediazione e fitocontenimento	»	84
4.5.5.1.	Piante per rimozione e contenimento dei contaminanti	»	87

4.5.5.2. Contaminanti	»	89
4.5.5.2.1. Xenobiotici organici nella rizosfera.....	»	89
4.5.5.2.2. Metalli pesanti tossici nella rizosfera	»	90
4.5.5.2.3. Biodisponibilità dei contaminanti.....	»	90
4.5.5.3. Aspetti tecnologici: impianti e caratteristiche dei siti.....	»	91
4.5.5.4. Applicabilità del fitorimediazione, gestione, costi.....	»	92
4.6. Bibliografia	»	93

5. Modalità di applicazione

5.1. Fitodepurazione: quando e come applicarla in Italia.....	»	99
5.1.1. Reflui urbani.....	»	99
5.1.1.1. Insediamenti sotto i 2000 abitanti equivalenti.....	»	100
5.1.1.2. Insediamenti tra 2000-25.000 abitanti equivalenti	»	100
5.1.1.3. Scolmatori di fognature miste.....	»	102
5.1.2. Reflui domestici	»	102
5.1.2.1. Scarichi isolati con recapito diverso dalla fognatura pubblica	»	103
5.1.2.2. Insediamenti turistici con popolazione fluttuante.....	»	103
5.1.3. Reflui assimilati a domestici	»	104
5.1.4. Reflui industriali.....	»	105
5.1.5. Acque meteoriche e di dilavamento	»	105
5.1.6. Disidratazione dei fanghi biologici di depurazione.....	»	106
5.1.7. Riqualficazione fluviale e aree umide ricostruite.....	»	109
5.1.8. Biopiscine.....	»	111
5.2. Bibliografia	»	112

6. Modalità di funzionamento

6.1. L'impianto di fitodepurazione come ecosistema.....	»	115
6.2. Un concetto base: l'autodepurazione degli ecosistemi acquatici	»	115
6.3. Rimozione degli inquinanti.....	»	116
6.3.1. Processi biologici	»	119
6.3.1.1. Processi per degradare la sostanza organica.....	»	121
6.3.1.2. Processi per la rimozione dell'azoto.....	»	121
6.3.1.3. Processi per la rimozione biologica del fosforo	»	122
6.3.2. Processi chimici.....	»	122
6.3.3. Processi fisici.....	»	123
6.4. Fosforo.....	»	124
6.5. Metalli pesanti	»	124
6.6. Inquinanti organici.....	»	125
6.7. Patogeni	»	125
6.8. Differenze nei meccanismi ossidativi nei sistemi a flusso sommerso	»	126
6.9. Bibliografia	»	127

7. Piante

7.1. Piante acquatiche	» 129
7.2. Funzione della vegetazione: chi depura i batteri o le piante?.....	» 131
7.3. Trasporto di ossigeno come funzione di trattamento	» 132
7.4. Specie adatte agli impianti di fitodepurazione	» 134
7.4.1. Elofite	» 138
7.4.2. Idrofite rizofite	» 145
7.4.3. Idrofite natanti	» 146
7.4.4. Idrofite pleustofite	» 147
7.5. Specie invasive alloctone.....	» 148
7.6. Propagazione della vegetazione.....	» 150
7.7. Bibliografia	» 151

8. Progettare un impianto

8.1. Introduzione	» 153
8.2. Obiettivi del progetto	» 154
8.2.1. Obiettivi di depurazione	» 154
8.2.2. Caratterizzazione del reflu e abitanti equivalenti	» 154
8.2.3. Individuazione del corpo recettore dello scarico.....	» 155
8.3. Scelta del trattamento e configurazione del sistema	» 157
8.3.1. Schemi di impianto.....	» 158
8.4. Scelta dei pre-trattamenti e dei trattamenti primari	» 162
8.5. Criteri di progettazione del sistema a flusso sommerso (SSF)	» 164
8.5.1. Dimensionamento dei sistemi a flusso sommerso orizzontale (HF)	» 164
8.5.1.1. Area superficiale	» 165
8.5.1.2. Area trasversale	» 166
8.5.2. Dimensionamento dei sistemi a flusso sommerso verticale (VF) ...	» 166
8.6. Criteri di progettazione dei sistemi a flusso libero superficiale (FWS).....	» 167
8.6.1. Dimensionamento dei sistemi a flusso superficiale	» 169
8.7. Aspetti idraulici	» 170
8.7.1. Tempo di ritenzione idraulico.....	» 170
8.7.2. Carico idraulico e carico organico.....	» 170
8.7.3. Bilancio idrico	» 171
8.7.4. Strutture di alimentazione	» 171
8.7.5. Strutture di regolazione e raccolta delle acque depurate	» 172
8.8. Medium di riempimento	» 172
8.8.1. Sistemi a flusso sommerso orizzontale	» 172
8.8.2. Sistemi a flusso sommerso verticale	» 174
8.8.3. Sistemi a flusso superficiale	» 175
8.9. Impermeabilizzazione.....	» 175
8.9.1. Polivinilcloruro (PVC)	» 176
8.9.2. Polietilene alta densità (HDPE) o bassa densità (LDPE).....	» 176
8.9.3. Geomembrana EPDM	» 176
8.9.4. Argilla e bentonite	» 177

8.10. Rendimenti di depurazione	» 178
8.11. Riutilizzo delle acque depurate	» 180
8.12. Bibliografia	» 186

9. Realizzare un impianto

9.1. Introduzione	» 189
9.2. Fasi di realizzazione	» 190
9.3. Trapianto della vegetazione	» 192
9.3.1. Stress da trapianto	» 196
9.3.2. Controllo delle piante infestanti	» 196
9.4. Ispezioni per il controllo dei lavori	» 197
9.5. Collaudo e avviamento	» 197
9.6. Piano di gestione e manutenzione	» 197
9.6.1. Trattamento primario	» 198
9.6.2. Vasca a flusso sommerso orizzontale (HF)	» 199
9.6.3. Vasca a flusso sommerso verticale (VF)	» 200
9.6.4. Vasca a flusso libero superficiale (FWS)	» 201
9.7. Costi	» 202
9.8. Bibliografia	» 202

10. Drenaggio urbano sostenibile

10.1. Acque meteoriche e inquinamento diffuso	» 203
10.1.1. Urbanizzazione e caratteristiche delle acque di pioggia	» 205
10.1.2. Acque di pioggia e fognature miste	» 206
10.2. Gestione integrata delle acque di pioggia	» 207
10.3. Tecniche per il trattamento delle acque di pioggia in ambito urbano	» 210
10.3.1. Bacini	» 210
10.3.2. Stagni	» 212
10.3.3. Zone umide	» 213
10.3.4. Sistemi vegetati	» 216
10.3.5. Sistemi filtranti	» 218
10.3.6. Sistemi di infiltrazione	» 219
10.4. Performance delle tecniche naturali di drenaggio urbano	» 221
10.5. Bibliografia	» 221

Appendice – Esempi applicativi	» 223
---	-------

Prefazione

In Italia, la fitodepurazione delle acque reflue ha avuto un certo interesse tra la fine degli anni '70 e l'inizio degli anni '80 del secolo scorso, quando furono promossi numerosi studi e furono avviati i primi impianti pilota (Ghetti, *Atti del Convegno Internazionale "Fitodepurazione ed impiego delle biomasse prodotte"*, Parma, 15-16 maggio 1981, CRPA, Reggio Emilia). Più lento e faticoso è stato il trasferimento alla scala reale, anche se nel tempo sono state realizzate alcune interessanti applicazioni, ad esempio nel bacino del fiume Trebbia, in Trentino Alto-Adige e in Emilia-Romagna.

La fitodepurazione ritorna di attualità con il D.Lgs. 152/99 e con la Direttiva Quadro sulle Acque che, riconoscendo la complessità delle problematiche relative alla depurazione delle acque reflue, aprono alle tecniche di depurazione non convenzionali basate sui processi naturali. In particolare viene sottolineata la necessità di adottare soluzioni gestionali semplici e con costi relativamente bassi che possano consentire di estendere i sistemi di trattamento in modo capillare, anche ai piccoli insediamenti e alle piccole realtà produttive.

Il testo di Floriana Romagnoli presenta un compendio delle attuali conoscenze sulla fitodepurazione e copre un vuoto dell'editoria di settore, mancando quasi o del tutto testi in lingua italiana sull'argomento. Non mancano certamente opere di grande rilevanza, ma sono soprattutto in inglese e con chiaro riferimento alla realtà nord-americana e di paesi dell'Europa centrale e settentrionale (si veda ad esempio Kadlec R., Wallace S., *Treatment wetlands*, CRC Press, Boca Raton, Florida, 2009).

Questo manuale, che nasce dall'esperienza diretta e appassionata dell'autrice, porta dunque un corredo di esempi e di casi di studio che possono essere un buon riferimento a livello sia nazionale che locale per chi opera in questo settore della depurazione.

Il testo è semplice e di facile lettura, con un'adeguata iconografia, e può essere idealmente suddiviso in due parti. La prima parte è costituita da un'introduzione generale sull'inquinamento delle acque e da una presentazione sintetica delle principali tecniche di depurazione. Contestualmente, sono presentate le tecniche di depurazione basate sui processi naturali e le principali caratteristiche delle zone umide naturali.

La seconda parte è costituita da due "blocchi".

Nel primo sono anzitutto illustrate le principali tipologie impiantistiche dei processi naturali di depurazione delle acque e le condizioni di applicabilità della fitodepurazione, con riferimento alla normativa nazionale e alle caratteristiche degli scarichi e dei reflui da trattare. La descrizione di aspetti dei cicli biogeochimici di azoto e fosforo è funzionale alla comprensione del ruolo svolto dalla vegetazione nella fitodepurazione.

Il secondo blocco costituisce la parte applicativa e di maggiore interesse: la selezione delle essenze vegetali da impiegare nel trattamento delle acque, i criteri di progettazione, la realizzazione e la gestione che sono temi rilevanti sia per la formazione che come supporto tecnico-scientifico per i tecnici del settore.

Il testo è arricchito da una ricca casistica, presentata sotto forma di schede di impianti funzionanti alla scala reale.

Si tratta dunque di un testo completo, basato sulle più aggiornate teorie e conoscenze sulla fitodepurazione, ricco di riferimenti alla realtà italiana e alle più recenti politiche ambientali. È un ottimo sussidio per la formazione specialistica dei laureandi nei corsi di laurea in scienze ambientali e naturali e negli indirizzi ambientali dei corsi di laurea in scienze biologiche e geologiche, e costituisce anche un buon complemento per la formazione degli studenti dei corsi di laurea in ingegneria idraulica e ambientale. Semplicità del linguaggio e completezza dei contenuti ne fanno inoltre uno strumento per l'aggiornamento dei professionisti di questo settore o, semplicemente, un testo per il vasto pubblico degli appassionati di ambiente.

Pierluigi Viaroli
Dipartimento di Bioscienze
Università degli Studi di Parma

Introduzione

Oltre ad alcune centinaia di impianti attualmente funzionanti in Italia (si parla di numeri superiori alle 2000-3000 unità), per il trattamento di acque domestiche e civili di utenze dalla singola abitazione a comuni con alcune migliaia di abitanti, nell'ultimo decennio si è sviluppata una ricca varietà di applicazioni di tecniche naturali estensive per il controllo dell'inquinamento delle acque. Tra queste il trattamento di acque meteoriche che dilavano aree agricole, superfici urbane e infrastrutture viarie, alcuni importanti trattamenti terziari avanzati di impianti di depurazione centralizzati di centri urbani oltre i 10.000 abitanti equivalenti, fino a trattamenti di percolato di scarica o disidratazione di fanghi di supero, a cui si aggiungono alcuni settori agroindustriali (cantine, caseifici, allevamenti, ecc.) che si sono dimostrati di particolare successo con un gran numero di applicazioni sparse sul territorio nazionale. Alcune regioni del Nord Italia hanno inoltre focalizzato la loro attenzione negli ultimi anni sul controllo e trattamento delle acque meteoriche includendo il trattamento diffuso degli scolmatori di fognature miste. Anche il settore della bioarchitettura ha molto spesso inserito la fitodepurazione come elemento di pregio e di sostenibilità nella realizzazione di moderni nuclei abitativi in cui si è promosso il risparmio idrico e il riuso delle acque grigie. Le precedenti affermazioni ci fanno quindi notare uno sviluppo molto positivo nel nostro paese a partire dagli anni '90 di questo tipo di tecnologie, anche se con circa 20 anni di ritardo rispetto al resto del mondo. Altri paesi come l'Inghilterra, la Germania, la Francia, la Danimarca e gli Stati Uniti hanno sviluppato delle loro specifiche tecniche nazionali su come concepire e realizzare gli impianti nettamente diverse tra loro e spesso anche differenti negli obiettivi depurativi che si ponevano. Questo ritardo ci ha permesso di non partire da zero e di studiare a fondo le sopra citate esperienze senza introdurre varianti locali ma focalizzandoci sulla scelta delle componenti a migliore funzionalità e sulla combinazione di tali tecniche in sistemi multi stadio. Per quanto riguarda lo sviluppo della fitodepurazione nel territorio italiano il mercato ancora disponibile corrisponde a circa il 20% della popolazione residente ossia a circa 2 milioni di case ancora da trattare. Il modello di depurazione centralizzato, che prevede la realizzazione di grandi impianti fognari, presenta un grave problema che è quello della rigidità intrinseca della rete fognaria a fronte di aumenti non previsti della superficie impermeabilizzata (con conseguente aumento dei deflussi superficiali drenati dalle reti fognarie miste). Specialmente sul lungo periodo emerge spesso l'esigenza di ingrandire le sezioni delle fognature rimpiazzando le vecchi tubazioni con gravi costi di investimento, così importanti da renderne difficile la programmazione politico-economica. Ciò che vo-

glio dire è che la strategia di trattamento depurativo centralizzato non è sostenibile tanto quanto un sistema diffuso e decentralizzato dove si tenda a separare alla sorgente i diversi flussi che vengono a comporre le acque reflue. Le tecniche di fitodepurazione rientrano perfettamente in questo approccio strategico decentrato che a mio avviso rappresenterà l'unico futuro possibile per una corretta gestione sostenibile del ciclo delle acque e di importanti risorse come i nutrienti (azoto e fosforo) contenuti negli escreti umani ed animali. Tra le principali caratteristiche dei sistemi di fitodepurazione vi sono infatti la possibilità di adattamento ad ogni particolare scenario (un design sartoriale specifico e ottimizzato per ogni singola situazione che aiuta a contenere i costi aumentando le performance), l'estrema semplicità concettuale, realizzativa e manutentiva, estrema economicità gestionale per mancanza o ridotto apporto di input energetici. Tutti questi concetti sono validi da noi ma anche altrove. I trend internazionali stanno riprendendo queste linee ossia l'uso della fitodepurazione per il trattamento dell'inquinamento diffuso e la chiusura dei cicli dei nutrienti e delle acque di origine domestica con trattamenti decentralizzati e reti leggere. I sistemi di fitodepurazione si prestano ad essere inseriti nel verde urbano in un concetto di città futuribile, sostenibile e vivibile insieme ai loro cugini SUDS, sistemi per il drenaggio urbano sostenibile, auspicabili di una ampia adozione per la riduzione del rischio idraulico e una adeguata gestione delle acque di pioggia, specialmente per dare una risposta adeguata alle variazioni create dal cambiamento climatico in corso. I SUDS si rifanno ai quegli stessi processi di rimozione che sono alla base della fitodepurazione: le interazioni tra suolo-piante-acqua-batteri creano insieme un complesso ecosistema da cui la comunità scientifica prova a tirare fuori delle equazioni che ci permettano di prevederne la funzionalità con la massima precisione possibile. Attualmente, come ben dimostrato dalla dott.ssa Romagnoli nel presente libro, la fitodepurazione è una tecnica ormai ben conosciuta e consolidata per un vasto numero di applicazioni; la complessità dell'ecosistema in cui si vanno a trattare acque inquinate richiede un approccio multidisciplinare dove le competenze di ingegneria, biologia, chimica, geologia, architettura si devono necessariamente integrare e supportare per l'ottenimento dei migliori risultati. Vi auguro quindi un'interessante e appassionata lettura.

Fabio Masi

Referente italiano IWA (International Water Association)

1. Inquinamento delle acque

1.1. Inquinamento dei corpi idrici

L'inquinamento delle acque consiste nell'alterazione di un corpo idrico naturale (fiume, lago, mare, falda idrica) dovuta prevalentemente ad attività antropica.

L'inquinamento può essere dovuto a scarichi puntuali di agglomerati urbani o complessi industriali o singole unità isolate (complessi turistici, fabbriche, discariche, ecc.) oppure ad inquinamento diffuso legato alla presenza di allevamenti di animali, concimazione artificiale di terreni agricoli e dilavamento di superfici inquinate.

Un corpo idrico si presenta inquinato quando la concentrazione di inquinanti supera la sua capacità di autodepurazione. Nel caso di un fiume l'inquinamento si manifesterà in corrispondenza di un elevato apporto di sostanza organica (derivante *in primis* dagli scarichi fognari), di materiali in sospensione, di microrganismi patogeni e di sostanze pericolose anche a basse concentrazioni come metalli pesanti e composti organici di vario genere.

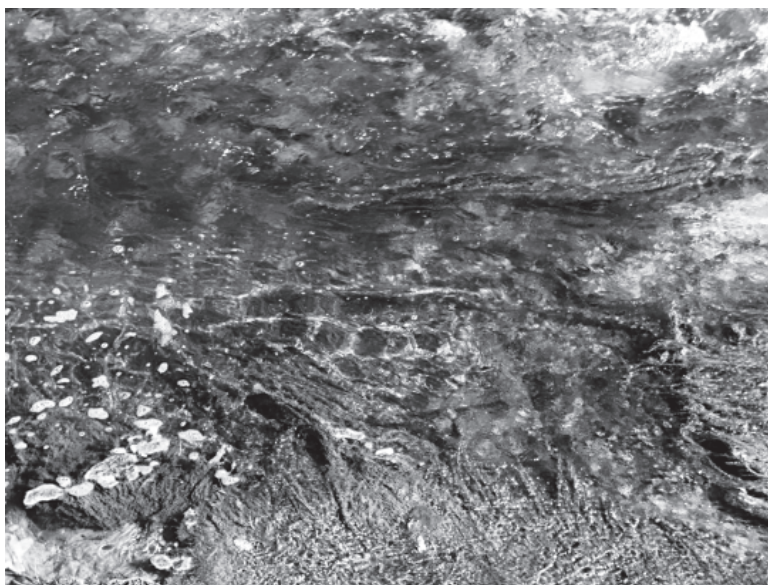


Figura 1.1. Torrente Tresinaro (Viano, RE): fioriture algali causate da un apporto eccessivo di nutrienti



Figura 1.2. Scarico dell'effluente del depuratore di S. Antonino Ticino (VA), nel torrente Arno: gli scarichi di tintorie non riescono ad essere sufficientemente trattate dal depuratore

In un lago oltre alle forme di inquinamento appena citate si aggiungono quelle legate al lento accumulo di nutrienti come il fosforo e l'azoto che determinano il fenomeno dell'eutrofizzazione¹ che può essere riscontrato in forma localizzata non solo nei fiumi ma anche nel mare come accaduto negli ultimi decenni nell'alto Adriatico. Le falde acquifere possono risentire di inquinamenti del terreno dovuti a perdite del sistema fognario o a immissioni dovute a smaltimenti per subirrigazione, percolato di discarica o inquinamento diffuso di origine zootecnica o agricola.

1.2. Principali parametri che caratterizzano un'acqua reflua

Il grado di inquinamento delle acque può essere valutato attraverso l'analisi di alcuni parametri ottenuti attraverso metodiche standard di laboratorio².

Per caratterizzare un'acqua reflua oltre a colore e odore si vanno ad indagare una serie di parametri fisici, chimici e biologici tenendo conto delle indicazioni fornite dalle normative vigenti in materia di scarichi. Nella tabella 1.1 sono riassunti i principali parametri utilizzati per caratterizzare un'acqua reflua.

¹ Il termine *eutrofizzazione* deriva dal greco *eutrophia* (*eu* = buono, *trophòs* = nutrimento) e indica una condizione di ricchezza di sostanze nutritive, in particolare una sovrabbondanza di nitrati e fosfati. Causa uno sviluppo smisurato di alghe la cui degradazione e accumulo sul fondo del lago portano a un eccesso di sostanza organica con conseguente consumo di ossigeno disciolto per una maggiore attività batterica e creazione di anossia e moria di pesci.

² Metodi analitici per le acque (IRSA-CNR); Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA e AWWA).

Tabella 1.1. Principali parametri utilizzati per caratterizzare un'acqua reflua

Parametri fisici	Temperatura
	Conducibilità elettrica
	Solidi
	Colore
	Odore
Parametri chimici	pH
	Alcalinità
	Ossigeno disciolto
	Domanda di ossigeno (BOD, COD, TOC)
	Azoto (ammoniacale, organico, nitriti, nitrati)
	Fosforo (ortofosfati, polifosfati, organico)
	Oli e grassi
	Oli minerali
	Tensioattivi
	Metalli pesanti
Parametri biologici	Coliformi totali
	Coliformi fecali
	Streptococchi fecali
	Escherichia coli
	Salmonelle

1.2.1. pH

Il pH rivela l'acidità o la basicità di una sostanza liquida. Viene anche definito come esponente di idrogeno e rappresenta il logaritmo dell'attività degli ioni idrogeno presenti in soluzione secondo la notazione seguente:

$$\text{pH} = -\log (\text{H}^+)$$

L'intervallo di pH più idoneo alla vita acquatica è compreso tra 7 e 8. Valori inferiori o superiori indicano la presenza di inquinamento da acidi o basi forti.

1.2.2. Alcalinità

L'alcalinità è la capacità di un'acqua di neutralizzare gli acidi e pertanto di tamponare un calo del pH grazie alla presenza di carbonati, bicarbonati e idrati.

Valori tipici di un'acqua reflua variano tra 50-200 mg/l come CaCO_3 .

L'alcalinità tende ad aumentare durante le reazioni di denitrificazione e a diminuire nelle reazioni di nitrificazione.

1.2.3. Temperatura

La temperatura può agire sia modificando le caratteristiche ambientali dell'acqua (viscosità, densità, pH, ecc.) sia condizionando molte delle funzioni fisiologiche (respiratorie, metaboliche, escretorie) degli microrganismi acquatici. Viene misurata in gradi centigra-

di. Solitamente le acque reflue hanno una temperatura superiore ai corpi idrici recettori dello scarico. Essa non deve di norma superare i 30-35 °C³.

1.2.4. Ossigeno disciolto

La concentrazione di ossigeno è un parametro molto importante perché condiziona la vita di tutti gli organismi acquatici e in particolare di quelli coinvolti nella depurazione biologica. La carenza di ossigeno è indice di inquinamento di un corpo idrico, ovvero della presenza di sostanze ossidabili che sottraggono ossigeno all'acqua. Il fatto che l'ossigeno abbia una scarsa solubilità in acqua rispetto ad altri gas lo rende un fattore limitante negli ecosistemi acquatici: l'immissione di una quantità anche modesta di sostanza organica biodegradabile consumerà la maggior parte dell'ossigeno disciolto usato per ossidarla creando in breve tempo un ambiente anossico in cui sopravvivranno solo specie di organismi invertebrati con forti adattamenti a quell'ambiente (ditteri del genere *Chironomus*, oligocheti del genere *Tubifex*, ecc.).

1.2.5. Sostanza organica (BOD, COD)

Il contenuto di sostanza organica in un'acqua reflua può essere determinato con procedure analitiche differenti.

Il BOD è la richiesta biochimica di ossigeno ed esprime la quantità di ossigeno richiesta dai batteri aerobici per degradare e assimilare la sostanza organica presente nei liquami. Questo parametro dipende fortemente dalla temperatura e per convenzione si fa riferimento al BOD a 5 giorni e alla temperatura di 20 °C (BOD_{5,20}).

Il COD è la richiesta di ossigeno per ossidare "chimicamente" le sostanze organiche e inorganiche presenti nel campione d'acqua prelevato. Nei liquami domestici il valore è normalmente 1,7-2 volte il BOD₅. Valori maggiori di questo rapporto rilevano la presenza di scarichi industriali contenenti sostanze organiche non o lentamente biodegradabili.

1.2.6. Nutrienti

I nutrienti sono sostanze necessarie ai microrganismi per crescere e riprodursi (carbonio, azoto, fosforo, zolfo e tracce di calcio, potassio, zinco, ecc.). Nelle acque reflue azoto e fosforo sono i due elementi che si trovano in concentrazioni maggiori e che, se rilasciati nei corpi idrici, possono creare gravi squilibri di inquinamento ed eutrofizzazione. Per questo motivo sono un importante parametro da monitorare.

³ Per i corsi d'acqua la variazione massima tra temperature medie di qualsiasi sezione del corso d'acqua a monte e a valle del punto di immissione non deve superare i 3 °C. Su almeno metà di qualsiasi sezione a valle tale variazione non deve superare 1 °C. Per i laghi la temperatura dello scarico non deve superare i 30 °C e l'incremento di temperatura del corpo recipiente non deve in nessun caso superare i 3 °C oltre 50 metri di distanza dal punto di immissione. Per i canali artificiali, il massimo valore medio della temperatura dell'acqua di qualsiasi sezione non deve superare i 35 °C, la condizione suddetta è subordinata all'assenso del soggetto che gestisce il canale. Per il mare e per le zone di foce di corsi d'acqua non significativi, la temperatura dello scarico non deve superare i 35 °C e l'incremento di temperatura del corpo recipiente non deve in nessun caso superare i 3 °C oltre i 1000 metri di distanza dal punto di immissione. Deve inoltre essere assicurata la compatibilità ambientale dello scarico con il corpo recipiente ed evitata la formazione di barriere termiche alla foce dei fiumi (Tab. 3 all. 5 D.L. 152/06).

1.2.6.1. Azoto

Nelle acque di scarico l'azoto si ritrova sotto forma di nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), ammoniacale (NH_4^+) e azoto organico. L'azoto organico è, secondo la definizione in uso, quello legato alla materia organica allo stato di ossidazione negativo trivalente. L'azoto ammoniacale e quello organico vengono comunemente determinati contemporaneamente secondo il metodo di Kjeldahl ed espressi come TKN (in mg/l); la concentrazione dell'azoto ammoniacale può essere espressa anche come N-NH_4 in mg/l. Il contenuto, in nitrati e in nitriti, è rispettivamente espresso come N-NO_3 e N-NO_2 in mg/l.

L'azoto ammoniacale deriva dalla degradazione di composti organici azotati. Esso viene perciò considerato indice di inquinamento recente di origine civile. In corsi d'acqua con un alto grado di ossigeno questo tipo di azoto risulta assente o presente in tracce poiché viene ossidato velocemente ad azoto nitrico. Le fonti principali sono rappresentate da scarichi fognari, allevamenti zootecnici e reflui delle industrie alimentari e chimiche.

I nitrati, attraverso un prodotto intermedio costituito dai nitriti, si formano dalla completa ossidazione dell'azoto ammoniacale ad opera della flora batterica presente nelle acque. La presenza di nitrati nelle acque è dovuta agli scarichi urbani, agli allevamenti zootecnici, alle acque provenienti dal dilavamento dei terreni trattati con fertilizzanti e agli scarichi industriali.

Un'elevata concentrazione di nitrati, associata a un'alta presenza di fosfati, in condizioni favorevoli di temperatura, causa l'eutrofizzazione.

1.2.6.2. Fosforo

La presenza di fosfati nelle acque superficiali è dovuta principalmente agli scarichi urbani (come prodotto del metabolismo umano e come costituente dei detersivi), al dilavamento dei terreni agricoli trattati con fertilizzanti e agli effluenti zootecnici. Il carico totale di fosforo (PO_4) si compone di ortofosfato, polifosfato e composti organici del fosforo: di norma la percentuale maggiore è costituita dall'ortofosfato.

A causa del rischio potenziale per le acque superficiali, la direttiva UE 91/271/CEE fissa i valori limite per lo scarico di composti del fosforo in un corpo idrico recettore recepiti nel 1999 dalla normativa nazionale (si veda capitolo 2, il quadro normativo).

I fosfati sono presenti nell'acqua in forma disciolta, colloidale o solida. Per tanto, prima di procedere all'analisi, è importante decidere quale parte dei composti del fosforo deve essere analizzata: per determinare unicamente gli ortofosfati (ad esempio per il controllo della precipitazione) il campione deve essere soltanto filtrato prima di essere analizzato. Se invece deve essere misurata la concentrazione totale di PO_4 (ad esempio per il controllo dei valori limite) è necessaria una omogeneizzazione iniziale del campione con digestione finale (decomposizione).

1.2.7. Conducibilità

Il parametro della conducibilità è legato alla quantità totale e al tipo di sali disciolti nell'acqua. Un rilevante aumento può essere dovuto alla presenza di scarichi inquinanti che determinano l'innalzamento della concentrazione dei sali.

1.2.8. Solidi e torbidità

I solidi vengono classificati come solidi totali presenti nell'acqua reflua sottoposta ad evaporazione a una temperatura di 103-105 °C e sono dati dalla somma di solidi sospesi e solidi filtrabili. I solidi sospesi indicano le sostanze presenti nell'acqua sotto forma di particelle sospese e in parte di particelle colloidali; in pratica sono le sostanze visibili non filtrabili, ovvero quelle che, con una prova di laboratorio, restano catturate in un particolare filtro di porosità 0,45 micron. I solidi sospesi insieme alle sostanze colloidali sono la principale causa della torbidità dell'acqua, ossia del cosiddetto *inquinamento visibile*, poiché impediscono la trasmissione diretta della luce. I solidi filtrabili sono la frazione colloidale e disciolta non trattenuta dalla filtrazione a 0,45 micron: i disciolti contengono sia molecole organiche che inorganiche mentre i colloidali non vengono rimossi per sedimentazione.

1.2.9. Detergenti

I detersivi sono spesso causa di fenomeni di inquinamento delle acque portando alla formazione di schiume che ostacolano lo scambio di ossigeno con l'atmosfera. I moderni detersivi sono composti da più componenti: tensioattivi, complessanti, sbiancanti, enzimi, riempitivi, ecc. Pur non rappresentando una minaccia come altri inquinanti le normative di tutti gli stati membri dell'Unione Europea si stanno aggiornando per imporre l'utilizzo di detersivi sempre più biodegradabili poveri o privi di fosfati per contrastare il fenomeno dell'eutrofizzazione. Da circa dieci anni esiste anche un marchio europeo (Ecolabel) che attesta che il prodotto ha un ridotto impatto ambientale nel suo intero ciclo di vita. Utilizzare questo tipo di detersivi migliorerebbe anche l'efficienza dei depuratori, inclusi i sistemi di fitodepurazione, oltre a contribuire a diminuire il costo di esercizio.

Mentre una volta il solo detergente usato era il sapone, oggi si trovano in commercio numerosi di prodotti utili per la pulizia di superfici o di indumenti che vengono utilizzati in grande quantità, sia in ambito domestico che industriale. Tali prodotti contengono dei composti chimici che, se presenti in grande concentrazione, possono essere pericolosi per la salute e alterare gli equilibri degli ecosistemi, a causa della loro tossicità intrinseca, della loro permanenza nell'ambiente e dell'alto potenziale di bioaccumulo. Per questi motivi sono nati negli ultimi quindici anni detersivi che utilizzano componenti di origine vegetale completamente biodegradabili. Ad esempio come tensioattivo anionico si utilizzano il *sodium cocoil sulfate*, *alchilpoliglucoside* come tensioattivo non ionico, *esterquat* come ammorbidente naturale, la *cocamidopropyl betaina* come tensioattivo anfotero. Tra gli sbiancanti si preferisce al cloro e al perborato il percarbonato che libera ossigeno e anidride carbonica senza avere effetti sull'uomo e sull'ambiente; esso ha una soglia termica molto più bassa del perborato, quindi comincia ad agire già a 30 °C, per raggiungere la sua maggiore azione a 50 °C, senza attivatori.

1.2.10. Tensioattivi

La componente che maggiormente crea problemi di inquinamento dei corpi idrici è quella tensioattiva che svolge anche un ruolo importante nelle attività di rimozione dello sporco. I tensioattivi sono composti organici costituiti da una parte idrofila (fase polare), che si lega all'acqua, e una parte idrofoba (fase apolare), che tende a legarsi alla fase grassa del-

lo sporco e a solubilizzarlo. Possiedono inoltre la capacità di ridurre la “tensione superficiale” nelle soluzioni acquose, cioè permettono all’acqua di penetrare meglio nelle fessure, nelle trame dei tessuti, veicolare lo sporco e quindi aumentare il potere detergente. La maggior parte dei tensioattivi utilizzati è sintetica, quindi non presente in natura. Essi si suddividono in categorie in funzione della carica ionica della molecola.

1.2.10.1. Tensioattivi anionici

I tensioattivi anionici sono costituiti da esteri carbossilici, solforici e alchil solforici, fosforici, lattici, citrici e sono così chiamati poiché in acqua subiscono una dissociazione ionica scindendosi in una parte cationica (NA^+ o K^+) e in una anionica che è quella che ha l’effetto detergente. I tensioattivi anionici sono quantitativamente la parte predominante dei tensioattivi che si trovano attualmente sul mercato e vengono anche chiamati ABS (*Alchyl Benzene Sulfonates*). Gli ABS possono avere una catena alchilica – alla quale è legato il gruppo solforico, o comunque un gruppo carico negativamente – che può essere ramificata (quindi più difficilmente biodegradabile) o lineare (la nuova generazione più facilmente biodegradabile). I più comuni sono SLES (sodio lauril etere solfato, dove il processo di sintesi è più sofisticato e la componente petrolchimica è data anche dalla parte eterea) oppure SLS (sodio lauril solfato).

1.2.10.2. Tensioattivi cationici

I tensioattivi cationici sono generalmente sali di ammonio quaternario dotati di azione umettante e batteriostatica. Sono utilizzati per realizzare ammorbidenti e balsami per capelli o in campo industriale. Vengono misurati con un metodo di dosaggio come sostanza attiva al blu di metilene e quindi anche denominati MBAS (*Methylene Blue Active Substances*). In acqua si dissociano in una parte cationica, quella attiva, e in una anionica.

1.2.10.3. Tensioattivi non ionici

I tensioattivi non ionici non si dissociano in acqua. Essi hanno la capacità di lavare a basse temperature e sono poco schiumosi. Gli acidi grassi etossilati con catena lineare sono più facilmente degradabili. Inoltre l’acido può essere di origine petrolchimica o vegetale.

1.2.10.4. Tensioattivi anfoteri

I tensioattivi anfoteri hanno sia la carica negativa che quella positiva, con caratteristiche intermedie tra i non ionici e gli anionici. Attenuano l’aggressività dei tensioattivi anionici, per questo nella cosmesi sono spesso accoppiati a SLS e SLES. Sono dei buoni schiumogeni. In genere i più comuni anfoteri sono biodegradabili anche in condizioni di anaerobiosi.

1.2.11. Metalli pesanti

I metalli pesanti che è possibile trovare in un’acqua reflua sono ioni di ferro, rame, zinco,

cadmio, manganese, mercurio, cromo, cobalto, nichel, piombo. Con il termine *metalli pesanti* viene per convenzione indicata una serie di metalli che in concentrazioni eccessive hanno un'azione tossica per gli organismi e inibitrice dei processi di depurazione biologica. Essi se presenti in piccole concentrazioni come oligoelementi però non sono nocivi ma anzi sono indispensabili per i processi vitali. Le percentuali di abbattimento dei metalli pesanti nei trattamenti di depurazione primaria e secondaria è abbastanza elevata, tuttavia è necessario osservare che questi si vanno a concentrare nei fanghi di depurazione con conseguenze pericolose sull'ambiente per lo smaltimento finale soprattutto nel caso di uso agricolo.

1.2.12. Parametri microbiologici

Le acque reflue contengono moltissimi microrganismi patogeni (batteri, virus, protozoi, elminti). Essendo difficile isolare e determinare i singoli microrganismi presenti nel liquame normalmente si fa riferimento ad indicatori di inquinamento fecale ossia a batteri appartenenti al ceppo Coli: *coliformi totali*, *coliformi fecali*, *streptococchi fecali* ed *Escherichia coli*. Sono necessari trattamenti terziari di disinfezione degli effluenti di depurazione che recapitano in un corpo idrico superficiale per non pregiudicare la sua destinazione d'uso a scopo irriguo, balneare, ecc. In alternativa alla disinfezione possono essere efficacemente utilizzati sistemi di fitodepurazione a flusso superficiale o stazionamento prolungato in stagni di accumulo.

1.3. Monitoraggio delle acque superficiali

I dati di monitoraggio dei corpi idrici, che per legge devono essere raccolti dalla rete delle Agenzie per la Protezione e l'Ambiente distribuite su tutto il territorio nazionale, rappresentano uno dei punti fondamentali su cui è basata la tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei e di conseguenza la depurazione delle acque. Come illustrato nel paragrafo 2.4 la normativa italiana ha subito negli ultimi decenni radicali cambiamenti e innovazioni che sono tuttora in essere in particolare per quanto riguarda le specifiche tecniche di riferimento per il monitoraggio delle acque superficiali con il recepimento della Direttiva comunitaria sulle acque CEE 2000/60 WFD nel D.Lgs. 152/2006 e il decreto attuativo D.M. 260/2010 *Regolamento recante i criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici (tipizzazione, individuazione dei corpi idrici, analisi delle pressioni)*.

Ai sensi della WFD l'obiettivo del monitoraggio è quello di stabilire un quadro generale coerente ed esauriente dello stato ecologico e chimico delle acque all'interno di ciascun bacino idrografico e permettere la classificazione di tutti i corpi idrici superficiali in cinque classi. Attraverso il monitoraggio si deve arrivare alla classificazione dei corpi idrici in base al loro stato di qualità ambientale e seguirne l'evoluzione, verificando l'efficacia delle eventuali misure di risanamento, fino al conseguimento dell'obiettivo ambientale fissato di buono stato ecologico (*Good Ecological Status*). La valutazione dello stato ecologico ai sensi della Direttiva si misura cioè rispetto all'allontanamento da una "condizione di riferimento" rappresentativa dello stato elevato, che si avrebbe in assenza di impatti antropici. I *corpi idrici* sono le unità a cui fare riferimento per riportare e accertare la conformità con gli obiettivi ambientali della Direttiva. L'insieme dei corpi idrici tra loro connessi

costituisce il sistema complesso del bacino idrografico. Una corretta identificazione dei corpi idrici è di particolare importanza, in quanto gli obiettivi ambientali e le misure necessarie per raggiungerli si applicano in base alle caratteristiche e le criticità dei singoli corpi idrici. Un fattore chiave in questo contesto è pertanto lo stato di questi corpi.

La direttiva 2000/60/CE prevede la definizione di un programma di monitoraggio di sorveglianza e di un programma di monitoraggio operativo di valenza sessennale al fine di contribuire alla predisposizione del piano di gestione e del piano di tutela delle acque.

La scelta del programma di monitoraggio, e la relativa individuazione dei siti, si basa sulla valutazione del rischio effettuata sulla base delle pressioni e degli impatti, ed è soggetta a modifiche e aggiornamenti, al fine di tenere conto delle variazioni dello stato dei corpi idrici.

In alcuni casi può essere necessario istituire anche programmi di monitoraggio d'indagine. Il monitoraggio di sorveglianza è realizzato nei corpi idrici rappresentativi per ciascun bacino idrografico, e fondamentalmente appartenenti alle categorie “non a rischio” o “probabilmente a rischio”, con l'obiettivo di:

- integrare e convalidare i risultati dell'analisi dell'impatto;
- progettare i futuri programmi di monitoraggio;
- tenere sotto osservazione l'evoluzione dello stato ecologico dei siti di riferimento;
- classificare i corpi idrici.

Il monitoraggio operativo è realizzato per tutti i corpi idrici che sono stati classificati a rischio di non raggiungere gli obiettivi ambientali (sulla base dell'analisi delle pressioni e degli impatti e/o da precedenti campagne di monitoraggio) o nei quali sono scaricate e/o presenti le sostanze riportate nell'elenco di priorità, con l'obiettivo di:

- stabilire lo stato dei corpi idrici identificati a rischio di non soddisfare gli obiettivi ambientali;
- valutare qualsiasi variazione dello stato di tali corpi idrici risultante dai programmi di misure;
- classificare i corpi idrici.

Gli elementi da analizzare e le relative frequenze, e in taluni casi le procedure stesse di campionamento, sono declinati in funzione del tipo di monitoraggio. In estrema sintesi, per i programmi di monitoraggio di sorveglianza devono essere rilevati i parametri indicativi di tutti gli elementi di qualità biologici idromorfologici, fisico-chimici, mentre per i programmi di monitoraggio operativo devono essere selezionati i parametri indicativi degli elementi di qualità biologica, idromorfologica e chimico-fisica più sensibili alla pressione o pressioni significative alle quali i corpi idrici sono soggetti. In entrambi i casi la selezione delle sostanze chimiche da controllare si basa sulle conoscenze acquisite attraverso l'analisi delle pressioni e degli impatti.

Inoltre, i programmi di monitoraggio per le aree protette si integrano con quelli già in essere in attuazione delle relative direttive. Il Registro delle aree protette ai sensi della direttiva comprende:

- *acque a destinazione funzionale:*
 - acque destinate al consumo umano (abrogazione al 2007 Dir. 75/440/CE; integrazione del monitoraggio ai sensi del D.Lgs. 31/01);

Fitodepurazione

- protezione specie acquatiche significative (abrogazione al 2013 Direttive specifiche);
- usi ricreativi compresa balneazione (a norma Dir. 76/160/CE).
- *aree naturali protette*: designate per la protezione degli habitat e delle specie (compresi siti Rete Natura 2000 a norma Dir. 92/43/CE e Dir. 79/409/CE);
- *aree sensibili e zone vulnerabili*: designate ai sensi Dir. 91/271/CE e Dir. 91/676/CE.

Un cambiamento strategico introdotto dalla Direttiva 2000/60, recepito dal D.Lgs. 152/06, riguarda lo strumento di misura dell'obiettivo ambientale: il nuovo sistema di monitoraggio è finalizzato non soltanto alla classificazione della qualità delle acque ma a una valutazione integrata dello stato dell'ecosistema acquatico connesso al corpo idrico. Per ogni categoria di acqua superficiale, la Direttiva indica gli specifici elementi biologici, idromorfologici, chimici e fisico-chimici da considerare per la classificazione dello stato ecologico.

Nel nuovo impianto metodologico l'analisi delle componenti biotiche dell'ecosistema risulta centrale e prioritaria, mentre gli ulteriori elementi indagati sono a sostegno dell'interpretazione dello stato delle comunità biologiche. In tabella 1.2 sono riportati gli elementi previsti per le acque superficiali interne.

Tabella 1.2. Elementi per la classificazione dello stato ecologico delle acque superficiali interne

Elementi		Fiumi	Laghi
Elementi biologici			
Composizione e abbondanza della flora acquatica		X	
Composizione e abbondanza dei macroinvertebrati bentonici		X	X
Composizione, abbondanza e struttura di età della fauna ittica		X	X
Composizione, abbondanza e biomassa del fitoplancton			X
Composizione e abbondanza dell'altra flora acquatica			X
Elementi idromorfologici a sostegno degli elementi biologici			
Regime idrologico	Volume e dinamica del flusso idrico	X	
	Connessione con il corpo idrico sotterraneo	X	X
	Escursioni di livello		X
	Tempo di residenza		X
Continuità fluviale		X	
Condizioni morfologiche	Variazione della profondità e della larghezza del fiume	X	
	Struttura e substrato dell'alveo	X	
	Struttura della zona ripariale, e per i laghi anche della costa	X	X
	Variazione della profondità		X
	Struttura e tessitura del sedimento		X
Elementi chimici e fisico-chimici a sostegno degli elementi biologici			
Elementi generali	Trasparenza		X
	Condizioni termiche	X	X
	Condizioni di ossigenazione	X	X
	Conducibilità	X	X
	Stato di acidificazione	X	X
	Condizioni dei nutrienti	X	X
Inquinanti specifici	Inquinamento da altre sostanze non appartenenti all'elenco di priorità di cui è stato accertato lo scarico nel corpo idrico in quantità significative	X	X

vantaggi alle comunità locali. Questi ecosistemi svolgono una funzione strategica nella regolazione delle acque, sia a scala locale che in riferimento all'intero ciclo globale, e proteggono i terreni ad essi adiacenti dalle inondazioni (immagazzinando l'acqua piovana e rilasciandola successivamente in modo graduale). Inoltre, le aree umide sono luogo di produzione o trasformazione di nutrienti, composti organici e metalli, fungono da filtro per i sedimenti e consentono la protezione della costa dall'erosione. In questi ecosistemi,



Figura 3.1. Foce degli Ostriconi, Corsica (foto Bruno Boz)



Figura 3.2. Lago di Burano, Capalbio

la fauna ornitica ricopre un ruolo preponderante: in Italia oltre il 40% delle specie ornitiche è legato agli ambienti umidi in maniera più o meno stretta (Montemaggioli, 1996).



Figura 3.3. Lago del Ventasso, Reggio-Emilia

Le zone umide presentano un numero elevato di varietà la cui classificazione può risultare difficile in ragione della loro complessità, del carattere dinamico e della difficoltà di stabilirne esattamente i confini, spesso variabili. Esistono molteplici metodi di classificazione delle zone umide, tra le quali spiccano delle modalità di classificazione condivise a livello internazionale quali Cowardin (Cowardin et al., 1979), Ramsar e Medwet (Farinha et al., 1996), finalizzate alla classificazione delle aree umide e ancora Corine Biotopes ed Eunis rivolte invece a tutti i tipi di habitat.

3.2. Zone umide e conservazione della natura

Le zone umide costituiscono ambienti con elevata diversità ecologica, notevole produttività, caratterizzati da una considerevole fragilità ambientale e dalla presenza di specie e habitat che risultano fra quelli maggiormente minacciati a livello globale. Oltre ad essere dei serbatoi di biodiversità, questi ambienti forniscono un'elevata quantità di servizi ecosistemici, quali la regolazione dei fenomeni idrogeologici o la fissazione del carbonio presente nella biosfera, con conseguente mitigazione degli effetti dei cambiamenti climatici. La superficie totale di zone umide sul territorio italiano è di 771.124.82 ettari (ISPRA, 2011). Da dati recenti emerge che il tasso di declino o perdita di alcune popolazioni degli ecosistemi acquatici è quadruplicato negli ultimi 10 anni. A livello europeo risulta che gli habitat acquatici e le torbiere, sono fra quelli maggiormente minacciati (Report UE art. 17 – Direttiva Habitat). Fra i diversi indirizzi della Strategia nazionale sulla biodiversità che

riguardano le zone umide, vi è l'attuazione delle sinergie fra le Direttive Quadro sulle acque (WFD – 2000/60/CE), habitat (HD – 92/43/CE) e uccelli (BD – 2009/147/CE) e, per le aree marino-costiere, con la Strategia per l'ambiente marino (SMD – 2008/56/CE). Infatti l'integrazione degli strumenti delle diverse direttive permetterebbe di ottimizzare le risorse e i tempi necessari per attuare azioni di tutela e di monitoraggio della biodiversità degli ecosistemi acquatici per la valutazione dell'efficacia delle misure di conservazione, sia dentro le aree protette ed i siti della Rete Natura 2000, che nelle aree di connessione.

Tabella 3.1. Obiettivi della Water Framework Directive (WFD), Direttiva habitat e Direttiva uccelli per la tutela della biodiversità degli ambienti acquatici

Direttiva	Obiettivi	Oggetto di tutela	Obiettivo ambientale
WFD 2000/60/CEE	Protezione acque superficiali interne, di transizione, costiere e sotterranee e degli ecosistemi acquatici e terrestri delle zone umide direttamente dipendenti dai corsi idrici	Risorse idriche ed ecosistemi associati	Raggiungimento dello stato "buono" per acque superficiali e sotterranee entro il 2015
Habitat 92/43/CEE	Conservazione di habitat e specie di interesse comunitario	Specie e habitat di interesse comunitario e prioritari; Sic istituiti per la tutela di specie di All. II e habitat di All. I	Stato di conservazione soddisfacente delle specie e habitat di interesse comunitario e prioritari; mantenimento o ripristino
Uccelli 2009/147/CEE	Conservazione di tutte le specie di uccelli	Tutte le specie di uccelli viventi allo stato selvatico in Europa: ZPS istituite per la tutela di sp. Allegato I e migratori regolari	Mantenere o adeguare le popolazioni di tutte le specie di uccelli viventi allo stato selvatico in Europa ad un livello corrispondente alle esigenze ecologiche, scientifiche e naturali

Gli ambienti umidi possono essere sottoposti a numerose minacce antropogene a scala differente: i cambiamenti climatici a scala globale, la frammentazione e la trasformazione territoriale (bonifiche, urbanizzazione e artificializzazione in senso lato) a scala regionale/di paesaggio e un gran numero di altri fattori e processi a scala locale (ad esempio, introduzione e invasione di specie alloctone, stress idrico, inquinamento, interrimento, pascolo, fruizione non controllata, abbandono pratiche colturali, tra cui quelle legate alla piscicoltura). Le piccole zone umide (I.A.P., *Important Areas for Ponds*) presentano una ricca biodiversità costituita da circa 200 specie tutelate dalla normativa europea, nazionale e/o regionale, fra cui circa 80 specie di uccelli acquatici, 60 specie di piante acquatiche, oltre 20 specie di anfibi, più di 15 specie di invertebrati acquatici, cinque specie e sottospecie di rettili, tre specie di mammiferi e una specie di pesci. Le IAP contribuiscono in modo considerevole al mantenimento di specie di interesse conservazionistico (inserite in liste rosse, rare o endemiche), in quanto queste frequentano in misura minore le altre tipologie di zone umide, che sono in buona parte tutelate in quanto Siti Natura 2000 o aree protette nazionali o regionali. Inoltre le IAP svolgono un ruolo importante per il mantenimento della biodiversità delle acque dolci a livello regionale, in particolare per la connettività tra gli habitat d'acqua dolce (cfr. art. 10 della Direttiva Habitat), poiché possono fungere da *stepping stones* per molte specie migratrici o in dispersione. Ad esempio nelle piccole zone umide del Veneto, che ospitano popolazioni relitte della costa adriatica

settentrionale, vi è l'unico sito di presenza conosciuto del *Pelobates fuscus insubricus*; mentre in Sicilia le IAP tutelano cinque specie autoctone di anfibi sulle sei presenti in totale a livello regionale.

Gli impianti di fitodepurazione e in particolare quelli a flusso superficiale così come le zone umide ricostruite possono avere accanto all'obiettivo di depurazione anche quello strategicamente importante di conservazione degli ambienti umidi e delle specie ad esse connessi. Nella progettazione si dovrà prestare attenzione e inserire solo specie autoctone dando precedenza a quelle minacciate compatibilmente con il refluo da depurare.

3.3. Componenti biotiche di una zona umida

Le componenti biotiche di una zona umida sono rappresentate da una fauna e da una flora acquatica. La fauna acquatica è costituita da organismi quali batteri, zooplancton, macrobenthos e vertebrati mentre la vegetazione acquatica è costituita da alghe (microfite) e piante vascolari (macrofite). La presenza o meno delle varie specie di organismi viventi è funzione di diversi parametri, quali: le condizioni climatiche, la carica organica, la profondità del bacino, ecc.

3.3.1. Batteri

I batteri sono organismi procarioti unicellulari microscopici aventi diametro compreso tra 0,2 e 2 micron e lunghezza compresa tra 0,3 e 100 micron: la parete cellulare racchiude il citoplasma, avvolto dalla membrana cellulare, all'interno del quale è contenuto un unico cromosoma privo di membrana nucleare. Presenti nelle acque come cellule liberamente flottanti (dotati di mobilità grazie alle cellule vibratili) o fisse adese a un substrato o a particelle di detrito. Date le piccole dimensioni essi si riuniscono spesso in colonie batteriche.

A seconda della forma, i batteri possono avere morfologie diverse come mostrato in figura 3.4 le forme più comuni sono:

- cocchi (sferici)
- bacilli (a bastoncino)
- vibrioni (a virgola)
- spirilli (a spirale).

I batteri possono essere distinti anche in: strettamente aerobi (vivono e si sviluppano in un ambiente ricco di ossigeno disciolto), strettamente anaerobi (si sviluppano in un ambiente privo di ossigeno disciolto, ricavando l'energia necessaria dalla scissione di composti organici) oppure facoltativi (possono vivere sia in presenza sia in assenza di ossigeno disciolto).

Un'altra suddivisione dei batteri li distingue in:

- saprofiti: si nutrono a spese di organismi morti o di sostanze organiche in decomposizione;
- parassiti: si sviluppano a spese di un altro organismo ospite, utilizzando sostanze da esso prodotte e trasformandole in sostanze più semplici.

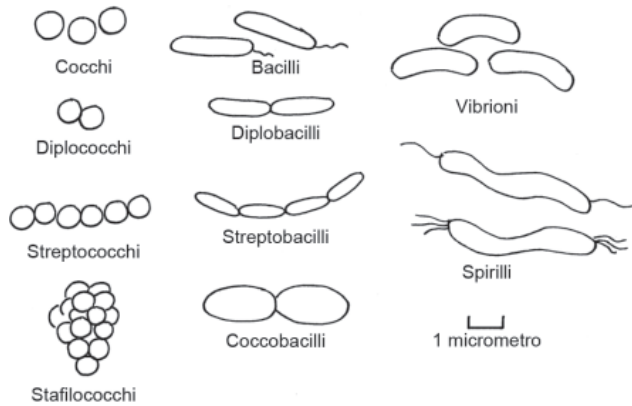


Figura 3.4. Forme più comuni di batteri

I batteri saprofiti si distinguono, a loro volta, in:

- autotrofi: sono in grado di elaborare le sostanze organiche necessarie alla propria nutrizione partendo da sostanze inorganiche;
- eterotrofi: devono nutrirsi con sostanze organiche sintetizzate da altri esseri viventi.

I batteri hanno una grande capacità di adattamento ai diversi ambienti e un'elevata velocità di riproduzione agamica per scissione².

Diffusi ovunque, sono di fondamentale importanza nei processi di decomposizione di materiale organico.

L'ambiente acquatico è costituito prevalentemente da batteri eterotrofi che rivestono un ruolo fondamentale nella catena trofica

mineralizzando la sostanza organica e rendendo così disponibili i nutrienti³. Inoltre utilizzano la sostanza organica disciolta per costruire nuove cellule batteriche, fonte di cibo per gli altri organismi. Negli ambienti con forte anossia proliferano i solfobatteri purpurei che utilizzano l'energia luminosa come fonte di energia, la CO₂ per il carbonio e i composti ridotti dello zolfo come H₂S per l'idrogeno al posto dell'acqua.

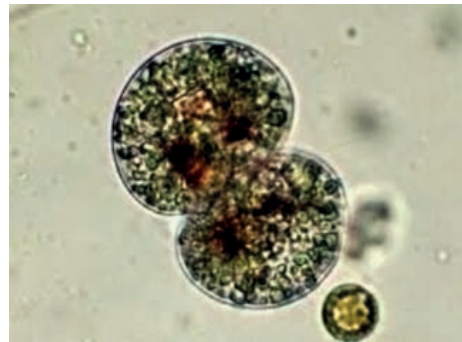


Figura 3.5. Batteri: cocchi

3.3.2. Zooplancton

Lo zooplancton è il complesso degli organismi animali che vivono sospesi e quasi fer-

² Meccanismo di riproduzione asessuata dove un individuo generante produce individui generati identici tra di loro attraverso la divisione del suo corpo.

³ Questa funzione è di fondamentale importanza soprattutto in quegli ambienti in cui i nutrienti sono scarsi ma abbonda la sostanza organica alloctona.

mi nelle acque. Assume un'importanza fondamentale nei diversi processi di depurazione biologica.

Lo zooplancton litorale e pelagico è un anello fondamentale delle reti trofiche lacustri perché, insieme ai pesci erbivori, è il primo utilizzatore dell'energia fissata dagli organismi fitoplanctonici e al tempo stesso rappresenta un'importantissima fonte di cibo per la fauna ittica. Generalmente gli organismi zooplanctonici sono privi di colorazione per non essere identificati dai predatori e appartengono ai seguenti taxa: protozoi, rotiferi e crostacei.

I protozoi sono organismi unicellulari di dimensioni 10-200 μm e svolgono un ruolo importante nel riciclo dei nutrienti: si cibano di batteri, alghe unicellulari e detrito e oltre a vivere sospesi nella colonna d'acqua sono presenti negli interstizi del materiale di fondo. La loro distribuzione verticale può mutare sia stagionalmente sia nell'arco delle 24 ore al variare delle condizioni chimiche e fisiche. Sono poco sensibili alle basse temperature e costituiscono l'unico zooplancton effettivamente presente nelle lagune durante i mesi invernali.

La presenza di protozoi negli impianti di depurazione biologica naturale provoca una riduzione della concentrazione di batteri e di sostanze organiche corpuscolate presenti nelle lagune, contribuendo così all'ottenimento di effluenti molto limpidi e di elevata qualità. La presenza di molti protozoi nei sistemi di depurazione è, pertanto, indicatore di un'elevata efficienza di depurazione.

I rotiferi sono relativamente più grandi (circa mezzo millimetro) e sono caratteristici perché dotati di un apparato boccale con ciglia che ruotano in continuazione consentendo loro di muoversi, cibarsi, ossigenare l'acqua intorno a loro e rimuovere i prodotti di rifiuto. Possono essere filtratori di alghe, batteri e particelle di detrito oppure predatori di protozoi, piccoli crostacei e altri rotiferi. Solitamente si sviluppano in ambienti particolarmente ricchi di ossigeno, ma sono anche in grado di adattarsi ad ambienti caratterizzati da concentrazione molto bassa di ossigeno disciolto. La dinamica dei rotiferi dipende dal succedersi delle stagioni; infatti, sono presenti in maggiori quantità durante il periodo estivo.

Come i protozoi, contribuiscono a rendere particolarmente limpido l'effluente.

I crostacei (cladoceri e copepodi) costituiscono il gruppo dominante dello zooplancton lacustre. I cladoceri sono in prevalenza filtratori che si nutrono anche di materiale organico in sospensione favorendo l'immediato riutilizzo dell'energia contenuta nella sostanza organica senza passare attraverso il lungo processo di mineralizzazione. I copepodi sono caratteristici per entrare in un periodo di diapausa in cui, in corrispondenza di periodi sfavorevoli, si incistano e sedimentano su fondo per poi riprendersi in momenti più floridi.



Figura 3.6. Esemplare di zooplancton: un larva di copepode (foto Stefano Gomarasca)



Figura 3.7. Esemplici di zooplancton: a sinistra un rotifero e a destra una larva naupliare di copepode (foto Stefano Gomasca)

3.3.3. *Macrobenthos*

Il *benthos* è l'insieme dei macroinvertebrati (macro perché visibili ad occhio nudo) che vivono in stretto contatto con il fondo per almeno una parte del loro ciclo vitale. Comprendono oligocheti, crostacei, molluschi e insetti e la loro abbondanza e distribuzione è legata in modo particolare alle varietà di substrato. La zona bentica litorale è quella che possiede lungo il suo perimetro la maggiore variabilità in termini di natura del fondo (sedimenti limosi e sabbiosi), inondazione e vegetazione: i tratti di riva con macrofite e i litorali sassosi presentano biocenosi molto ricche di insetti (tricoteri, efemeroteri, coleotteri, larve di chironomidi). La zona bentica profonda è generalmente popolata da una comunità di organismi che si nutre della sostanza organica, contenuta nel sedimento, proveniente dalla zona sovrastante.

Nei pressi di una zona umida è facile osservare lo sfarfallamento degli insetti che compongono il macrobenthos allo stadio larvale come è mostrato in figura 3.10.



Figura 3.8. Macrobenthos: larva di coleottero



Figura 3.9. Macrobenthos: larva di efemerottero



Figura 3.10
Adulto di odonato, libellula
(foto Giorgio Strumia)

3.3.4. Fitoplancton

La definizione di fitoplancton comprende diversi gruppi algali di dimensioni dai 2-200mm perciò visibili solo al microscopio fatta eccezione per le grosse colonie. In questo gruppo vengono inclusi anche i cianobatteri (“alghe azzurre”), gli unici organismi fitoplanctonici in grado di fissare l’azoto atmosferico.

Gli organismi fitoplanctonici sono fotoautotrofi e perciò dipendenti dalla luce: per ciascuna specie in sospensione nella colonna d’acqua esiste una profondità “ideale” per vivere tranne che nel primo strato di acqua dove le radiazioni UV ne inibiscono la crescita. Dipendono inoltre dalla temperatura e quindi ciascuna specie richiede un *optimum* in cui l’attività fotosintetica è massima anche se per la maggior parte sono *euriterme*. L’abbondanza e la composizione in specie del fitoplancton forniscono informazioni circa lo stato trofico di un lago.

La successione stagionale tipica di un lago temperato prevede lo sviluppo di diatomee in primavera seguito subito dopo dalle crisoficee. In estate si sviluppano le cloroficee ed in tarda estate le cianoficee. Queste ultime tendono a crescere durante tutto il corso dell’anno in laghi con trofia elevata dando luogo a delle vere e proprie fioriture monospecifiche (*bloom* algali). I cianobatteri sono l’unico taxon fitoplanctonico in grado di produrre tossine (epatotossine e neurotossine) che costituiscono un serio rischio per la salute umana e per la vita acquatica.

La produttività primaria del popolamento algale esprime l’efficienza con cui il fitoplancton converte l’energia raggiante in energia chimica della sostanza organica per unità di superficie lacustre o di volume di acqua nell’unità di tempo. Questo processo è direttamente proporzionale alla disponibilità dei nutrienti nonché correlato alle condizioni ambientali, in particolare alla temperatura e alla luce.

A seconda dell’arricchimento in nutrienti (e della conseguente produttività algale) i laghi possono essere così classificati:

- lago oligotrofico, ovvero povero di nutrienti e quindi con basso livello di produttività algale;
- lago mesotrofico, ovvero con presenza equilibrata dei nutrienti (né ricco né povero);
- lago distrofico, ovvero ricco di un nutriente e povero di un altro;

- lago eutrofico, ovvero ricco di nutrienti e quindi con alta produttività algale (e relativi effetti prima descritti).

In aggiunta si hanno due classificazioni estreme: ultraoligotrofico da un lato e ipertrofico dall'altro.

I valori limite proposti dall'OCSE per la definizione delle categorie trofiche sono riportati nella tabella 3.2.

Tabella 3.2. Classificazione trofica dei laghi. Limiti proposti dall'OCSE per la definizione delle categorie trofiche dei laghi, relativi alle concentrazioni di fosforo, clorofilla e alla trasparenza (disco di Secchi) (OCSE, 1982)

Categorie trofiche	Fosforo (mgPtot/m ³)	Clorofilla (mg/m ³)	Trasparenza (m)
	Media	Media-massima	Media-massima
Ultraoligotrofia	4	1-2,5	12-6
Oligotrofia	10	2,5-8	6-3
Mesotrofia	10-35	8-25	3-1,5
Eutrofia	35-100	25-27	1,5-0,7
Ipereutrofia	100	27-75	> 0,7

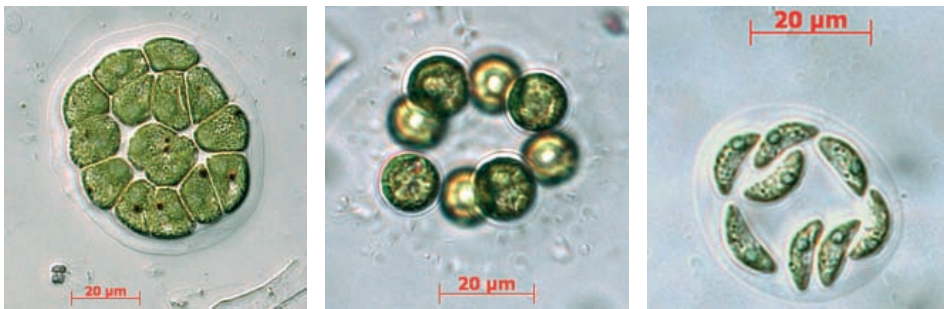


Figura 3.11. Esempi di fitoplancton, da sinistra: *Chaetopeltis orbicularis*, *Chlamydocapsa planctonica*, *Nephroclytium* (foto Stefano Gomasca)

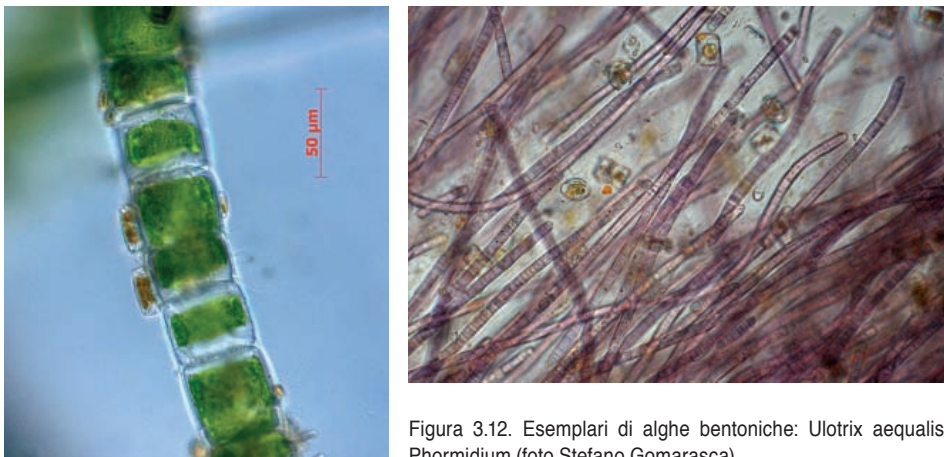


Figura 3.12. Esempi di alghe bentoniche: *Ulotrix aequalis*, *Phormidium* (foto Stefano Gomasca)

La misura della trasparenza, nel caso specifico, prevede l'impiego di un disco bianco (disco Secchi) supportato da un'asta di immersione. La profondità alla quale il disco è ancora visibile viene assunta come misura della trasparenza.

3.3.5. Fauna vertebrata

Nelle zone umide troviamo anfibi come il tritone alpestre (*Triturus alpestris*), il tritone crestatato (*Triturus cristatus*) e il tritone punteggiato (*Triturus vulgaris*). Esse svolgono un ruolo importante nelle fasi riproduttive degli anfibi che si concentrano in queste aree per deporre le uova. Nella stagione primaverile ed estiva, attorno a queste aree si osservano l'ululone dal ventre giallo (*Bombina variegata*), la rana agile (*Rana dalmatina*), la rana rossa (*Rana temporaria*), la rana di Lataste (*Rana latastei*) e la rana verde (*Rana kl. esculenta*). Tra queste, la rana agile e quella di Lataste sono spesso presenti in maniera limitata. Molto numeroso invece è il rospo comune che nel periodo primaverile si concentra nelle zone umide per riprodursi ed in seguito si disperde in tutti gli ambienti adatti, compreso il bosco.



Figura 3.13. Rana temporaria (foto Bruno Boz)

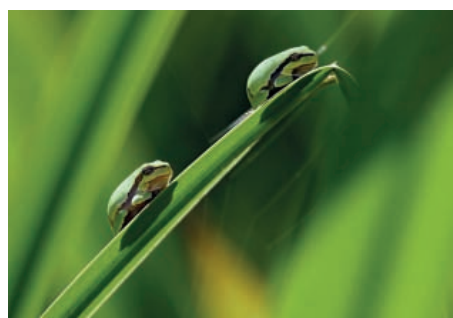


Figura 3.14. Hyla intermedia (foto Bruno Boz)

Le zone umide sono ecosistemi complessi per la molteplicità dei microambienti che racchiudono. La grande disponibilità di nicchie ecologiche costituisce un forte richiamo per molte specie di uccelli che possono nidificare e trovare rifugio, riposo e nutrimento nell'acqua, nei canneti, nelle dolci pendenze delle golene emerse e nelle isole. La presenza di zone d'acqua poco profonda offre disponibilità di cibo in abbondanza; pesci, anfibi e invertebrati sono il nutrimento preferito dalla maggior parte degli uccelli. In prossimità delle golene, dove l'acqua è più bassa, è possibile osservare grandi uccelli appartenenti alla famiglia degli ardeidi, come l'airone cenerino (*Ardea cinerea*), l'airone bianco maggiore (*Casmerodius albus*) e la garzetta (*Egretta Garzetta*). Questi uccelli li catturano allungando il lungo collo a forma di S e li trafiggono con il robusto becco appuntito. Aironi e garzette nidificano costruendo sugli alberi o fra i canneti dei nidi chiamati *garzaie*. Tra le specie limicole di trampolieri si aggiungono il cavaliere d'Italia (*Himantopus himantopus*), un uccello molto elegante che predilige le zone fangose delle golene emerse; le lunghe zampe gli permettono di muoversi agilmente nell'acqua bassa mentre il collo estremamente mobile e il lungo becco gli consentono di sondare il fango in cerca di piccoli invertebrati.

Le zone d'acqua libera sono popolate da specie come lo svasso maggiore (*Podiceps cristatus*), il germano reale (*Anas platyrhynchos*) e la gallinella d'acqua (*Gallinula chloropus*).

Lo svasso maggiore è una specie nuotatrice che si immerge completamente per cercare il cibo. Vive quasi sempre in acqua dove costruisce anche il suo nido galleggiante ancorato alle piante palustri. È un uccello interessante per l'elegante corteeggiamento primaverile. I piccoli vengono portati sul dorso.



Figura 3.15. Usignolo di fiume, *Cettia cetti* (foto Bruno Boz)

Il germano reale è invece un'anatra comune di superficie che vive in acque poco profonde e si nutre di piante, cereali e insetti. Per mangiare cammina sul terreno, immerge solo il collo e con il becco filtra l'acqua. Nel periodo riproduttivo il maschio assume colori molto accesi per richiamare le femmine; la livrea del successivo periodo è invece simile nei due sessi, con colori poco accesi per mimetizzarsi durante la cova. La gallinella d'acqua è una specie limicola che si nutre di invertebrati che trova nel fango. Si sposta nelle acque basse più riparate solo per mangiare ma nidifica fra la vegetazione erbacea. Fra i predatori è possibile riconoscere il falco di palude (*Circus Aeruginosus*), un rapace diurno che si nutre di piccoli uccelli, mammiferi e pesci. La sua tecnica di caccia consiste nel sorvolare i canneti e quando avvista una preda gli si fionda addosso senza lasciarle possibilità di scampo. Questo falco depone le uova fra i fitti canneti. Tra gli uccelli di più piccole dimensioni è possibile segnalare il martin pescatore (*Alcedo attui*), l'usignolo di fiume (*Cettia cetti*) e lo scricciolo (*Troglodytes troglodytes*). Il martin pescatore usa il becco affilato per catturare piccoli pesci durante le fulminee immersioni. Solitamente si trova appollaiato sui rami vicino l'acqua, pronto a tuffarsi alla vista di una preda. L'usignolo di fiume si riconosce dal suo canto limpido e melodioso; è infatti difficile riuscire a vederlo tra i canneti e i fitti cespugli in cui si nasconde e nidifica. Lo scricciolo vive ovunque tra la bassa vegetazione. Spesso lo si vede sgambettare sul terreno alla ricerca di larve, insetti e bacche o si sente il suo canto forte e squillante.

3.3.6. Vegetazione

Le zone umide sono ambienti di transizione che si sviluppano all'interfaccia tra il sistema terrestre e il dominio acquatico. Si caratterizzano per l'estrema eterogeneità dei suoli e della vegetazione che in genere si sviluppa lungo gradienti determinati soprattutto dall'umidità del substrato e, quando presente, dalla durata della sommersione e della profondità della lama d'acqua.

In riferimento alla comunità vegetale si è soliti utilizzare il termine macrofite acquatiche che comprende tutto il complesso di piante (briofite, pteridofite, angiosperme e alghe macroscopiche) che sono legate agli ambienti idrici esclusa la microflora algale.

Le macrofite acquatiche includono piante superiori o vascolari⁴ erbacee, annuali e perenni.

La vegetazione delle zone umide presenta solitamente una distribuzione secondo fasce che sono determinate dalle caratteristiche dei fondali e dall'andamento della profondità dell'acqua (figura 3.16). La fascia più esterna è dominata dai carici (*Carex sp.*). Procedendo verso lo specchio d'acqua, nelle acque poco profonde si trova una zona ad elofite con una dominanza netta di *Phragmites australis* e *Typha latifolia*. Il corpo idrico vero e proprio è colonizzato da idrofite, tra cui spesso si ritrovano i generi *Nuphar*, *Potamogeton*, *Polygonum* e *lemnaceae* con i generi *Lemna*, *Spirodela* e *Wolffia*, queste ultime non ancorate al fondo. Quando le acque sono trasparenti il fondale è ricoperto da idrofite interamente sommerse (*Myriophyllum*, *Ceratophyllum*, *Elodea*).

Dal punto di vista ecologico in base all'habitat di crescita possono essere distinti due gruppi di macrofite acquatiche: le idrofite, legate agli specchi di acqua libera e profonda, e le elofite, legate alla zona di acqua bassa dell'area umida. Le idrofite possono essere suddivise a loro volta in ancorate al fondo sommerse o con le foglie in emersione oppure liberamente flottanti.

Si individuano in questo modo i seguenti tipi ecologici di macrofite acquatiche:

- *elofite* o radicate emergenti, radicate al fondo e con fusto e foglie totalmente emergenti;
- *idrofite rizofite*, radicate al fondo e presenti solo all'interno della massa d'acqua;
- *idrofite natanti*, radicate al fondo e con le foglie in emersione;
- *idrofite pleustofite*, liberamente flottanti sul pelo dell'acqua non ancorate al fondo.

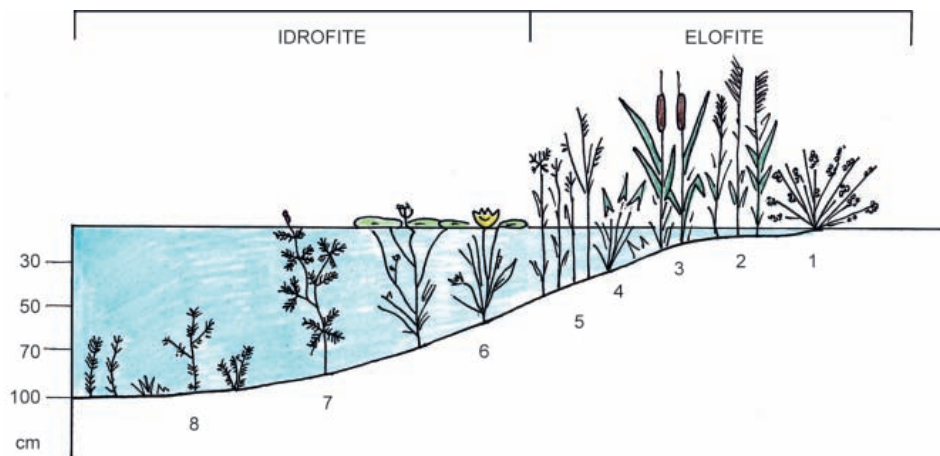


Figura 3.16. Schema esemplificativo della colonizzazione della zona litorale di un lago: 1. *Carex elata*, 2. *Phragmites australis*, 3. *Typha latifolia*, 4. *Sagittaria sagitifolia*, 5. *Schoenoplectus lacustris*, 6. *Nymphaea alba*, 7. *Myriophyllum spicatum*, 8. *Chara spp*

⁴ Il regno vegetale è suddiviso tassonomicamente in phyla, classi e famiglie alcune delle quali esclusive degli ambienti umidi. I due principali phyla sono quelli dei muschi (*Briophyta*) e delle piante vascolari (*Tracheophyta*). Il phylum delle piante vascolari è suddiviso in tre classi: felci (*Pterophyta*), conifere (*Gymnospermae*) e piante fiorite (*Angiospermae*) a loro volta suddivise in monocotiledoni e dicotiledoni.

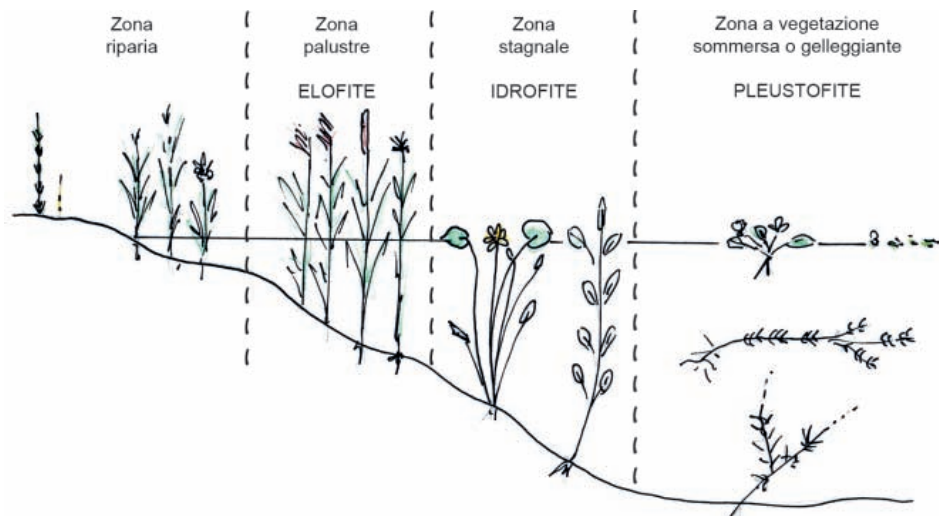


Figura 3.17. Esempio distribuzione della vegetazione in un ambiente umido poco profondo, la Lanca Bicocca (CR) (fonte: Bartoli et al., 2006, modificato). Da notare che la successione ecologica data dal gradiente idrico viene mantenuta e ciò che varia sono le specie

I tipi ecologici possono essere ben distinti in laghi con fondali dolcemente degradanti dove si estendono secondo fasce parallele alla costa e la loro ampiezza verso il centro del lago è determinata dall'interazione di un certo numero di fattori idrologici, geomorfologici, geochimici e microclimatici. In particolare sono molto importanti la profondità e le esigenze di ciascuna specie nei riguardi della radiazione luminosa. Le macrofite radicate emergenti sono quelle che si trovano nelle acque meno profonde più in prossimità della riva: questa fascia di vegetazione è composta da diversi tipi di canneti che in successione, dalla terraferma verso le acque libere, comprendono: cariceti, fragmiteti, tifeti, scirpeti il cui nome deriva dai generi delle specie in essi più rappresentative.

Il "canneto" vero e proprio è quella comunità vegetale delle sponde acquitrinose formata prevalentemente da cannuccia palustre (*Phragmites australis*), una pianta molto robusta e frugale appartenente alla famiglia delle *Poaceae* in grado di vivere anche solo in presenza di un velo d'acqua che ricopre il substrato, nel quale affonda il lungo rizoma. Se la bordura di una sponda paludosa è formata principalmente da tifa maggiore (*Typha latifolia*, famiglia *Typhaceae*) o, più raramente, da tifa a foglie strette (*Typha angustifolia*), allora si parla di *tifeto*. Rispetto al canneto, che solitamente si stabilisce in habitat acquatici piuttosto stabili, questa formazione vegetale sopporta condizioni ambientali più estreme, preferendo lame di fango profondamente immerse in acque anche profonde, ma spesso soggette a secche stagionali. Di conseguenza, il tifeto si trova solitamente localizzato al bordo interno dei canneti di *Phragmites*, quello rivolto verso le acque più profonde dove il livello idrico è fluttuante, oppure su isolotti temporanei stagionalmente immersi e solo occasionalmente affioranti alla superficie.

Infine, su sponde limose basse e pianeggianti, nonché su lame di fango e in bassure perennemente umide, prosperano rigogliose varie specie di alte erbe sottili, formanti fitte comunità genericamente conosciute col nome di *cariceti*, se formate da carici come il



Figura 3.18. *Phragmites australis* (Cav.) Trin.



Figura 3.19. *Typha latifolia* L.



Figura 3.20. *Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla



Figura 3.21. *Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla, particolare dell'infiorescenza



Figura 3.22. *Carex paniculata* L.



Figura 3.23. *Cyperus fuscus* L.

carice maggiore (*Carex elata*), carice delle sponde (*Carex riparia*), carice pannocchiato (*Carex paniculata*), o giuncheti quando composte da giunchi come giunco comune (*Juncus effusus*), zigolo nerastro (*Cyperus fuscus*), lisca di lago (*Schoenoplectus lacustris*). Tali specie prediligono, in genere, le distese di fango perennemente umido e solo occasionalmente sommerso da acque profonde (alle quali non resistono per molto tempo), mentre sopportano lunghi periodi di intensa siccità nei quali si trasformano in ampie superfici di terra asciutta coperte da fusti erbacei secchi.



Figura 3.24. *Potamogeton natans* L.



Figura 3.25. *Nymphaea alba* L.

Le idrofite comprendono molte specie erbacee che necessitano di acqua libera per la loro crescita. Possono essere galleggianti, non ancorate al fondo (*Lemna spp*) oppure radicate al fondo e fluttuanti nell'acqua, emergenti dalla superficie solo con i fiori e talvolta con foglie galleggianti (*Potamogeton spp*).

Vi sono poi il nufareto con piante caratteristiche come *Nymphaea alba* e *Nuphar luteum* che vivono in acqua profonde anche due-tre metri ma con le radici ancorate al fondo.

Subito dopo le idrofite flottanti, fino alla profondità di penetrazione della luce si sviluppano le macrofite sommerse da cui emergono solo i fiori durante il periodo riproduttivo (*Myriophyllum*, *Ceratophyllum*).

Anche nei laghi, analogamente a quanto accade nei mari, sono presenti macroalghe ancorate al fondo illuminate con i generi *Chara* e *Nitella* (si veda figura 3.16).

Analogamente a quanto avviene per gli ecosistemi terrestri il metodo botanico per lo studio della vegetazione acquatica è quello "fitosociologico" di Braun-Blanquet e Raunkiaer. Poiché in natura le specie non si distribuiscono in modo casuale ma tendono ad aggregarsi in maniera appariscente è possibile definire diversi tipi di vegetazione indicati con il termine di *associazioni* caratterizzati dalla presenza di un certo numero di specie, alcune delle quali dominanti. È possibile inquadrare le diverse fitocenosi in un preciso sistema gerarchico di unità sintassonomiche, dette *syntaxa*:



Figura 3.26. *Lemna minor* L.

di radici (*Ceratophyllum*, *Utricularia*, *Wolffia arrhiza*). Il fusto svolge, nelle piante terrestri, tre fondamentali compiti:

- sostenere le parti aeree della pianta assicurando alle foglie la migliore collocazione possibile nei confronti dell'illuminazione solare;
- assicurare il trasporto dell'acqua e delle sostanze minerali, precedentemente assorbite dalle radici, verso tutta la pianta e soprattutto verso le foglie;
- permettere il trasporto delle sostanze organiche sintetizzate nelle foglie verso tutta la pianta, in particolar modo verso i tessuti di riserva.

Nelle piante palustri, che vivono con le radici permanentemente sommerse, ma con il fusto parzialmente emerso (macrofite radicate emergenti), a tali compiti si aggiunge quello di apportare alle radici ossigeno, per dar modo alla pianta di costituire un'efficace rizosfera nel substrato sommerso; questo compito è particolarmente importante se la granulometria del fondo è particolarmente fine e le radici sono circondate da ambiente anossico e riducente.

Nelle piante che vivono completamente sommerse o galleggianti il fusto cambia la sua funzione di sostegno: non deve più resistere alle forze di compressione causate dal vento e dal peso delle parti aeree (rami e foglie); deve però garantire una certa resistenza agli sforzi di trazione che la pianta può incontrare in ambienti reofili con molto idrodinamismo. In ambiente sommerso tutte le parti della pianta contribuiscono all'assimilazione dei nutrienti. L'acqua non costituisce più un fattore limitante e il fusto perde la funzione di trasporto assicurata dai vasi xilematici: i fusti delle idrofite presentano dei fasci conduttori fortemente semplificati. Di contro, in ambiente sommerso, è molto più problematica la diffusione dei gas e quindi il fusto acquista questa nuova funzione, trasportando gas quali ossigeno ed anidride carbonica, funzione assicurata dalla presenza nei fusti di parenchima aerifero, caratterizzato da ampi spazi intercellulari.

La foglia è l'organo della pianta che presenta le maggiori variazioni in relazione alla collocazione tassonomica (e quindi filogenetica) della specie. Inoltre presenta diversità anatomiche anche all'interno della stessa specie e persino sulla stessa pianta.

Dal punto di vista tassonomico si possono distinguere principalmente tre tipi di foglie. Il primo tipo è la foglia aghiforme delle gimnosperme, che in questa sede non verrà analizzata.

Il secondo tipo è la foglia dorsoventrale delle angiosperme dicotiledoni. La foglia delle dicotiledoni è dotata di picciolo, portata dalla pianta in posizione orizzontale, e riceve la luce del sole in modo molto maggiore sulla faccia superiore rispetto alla faccia inferiore. Dall'alto in basso è costituita dai seguenti tessuti: un'epidermide superiore monostratificata, quasi sempre priva di clorofilla, spesso fortemente cutinizzata, raramente presenta peli, pochi sono gli stomi.

Il terzo tipo è la foglia isolaterale



Figura 3.29. Sezione trasversale del fusto di *Typha laxmanii* lepech dove è possibile notare parenchima clorofilliano, parenchima di riserva, parenchima conduttore, parenchima aerifero (foto Alessandro Alessandrini)

delle monocotiledoni. Questo tipo di foglia è portata quasi verticalmente e comunque mai orizzontalmente e riceve la luce del sole in maniera più o meno uguale sulle due facce.

Nelle piante sommerse le foglie sono di tipo isolaterale, ma molto semplificate: la cuticola è molto sottile e permette il passaggio di acqua, sali e gas; sono assenti gli stomi, anche se alcune piante usano strutture non dissimili denominate *idropoti* per assimilare ioni; le cellule dell'epidermide contengono clorofilla, il mesofillo è formato da un tessuto parenchimatico clorofilliano costituito da grosse cellule e che presenta grandi spazi intercellulari, molto ridotti sono i vasi conduttori.

Le foglie galleggianti delle piante acquatiche ancorate al fondo sono dotate di lungo picciolo al cui interno è presente tessuto aerifero. Tali

foglie sono provviste di stomi sulla faccia superiore e hanno una struttura non dissimile dalle foglie di ombra delle angiosperme dicotiledoni. Nelle piante acquatiche con foglie sommerse e galleggianti, o emerse, quasi sempre vi è una differente morfologia tra foglie aeree e foglie acquatiche, tale caratteristica prende il nome di *eterofillia indotta*.

Molto spesso le foglie sommerse hanno la lamina molto incisa, laciniata; questo per resistere in ambienti con sensibile idrodinamismo. La notevole adattabilità degli organismi vegetali ha consentito una capillare colonizzazione di molti ambienti, con caratteristiche ambientali molto diverse.

3.5. Bibliografia

Alessandrini A., *La flora delle zone umide d'acqua dolce: importanza e problemi di conservazione*. In *Atti Conv. Zone umide d'acqua dolce, Tecniche e strategie di gestione della vegetazione palustre*, Regione Lombardia e Comune di Ostiglia, Quad. Ris. Nat. Paludi di Ostiglia 1:11-19, 2000.

ANPA, *Linee guida per la ricostruzione di aree umide per il trattamento di acque superficiali*, Manuali e linee guida 9/ 2002.

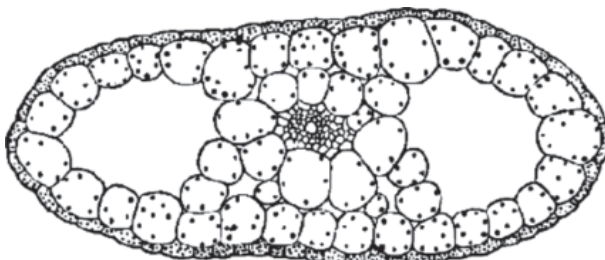


Figura 3.30. Sezione trasversale di *Zanichellia palustris*. Da notare l'epidermide con clorofilla, la grandezza delle cellule parenchimatiche, il ridotto vaso conduttore centrale e soprattutto l'ampiezza degli spazi intercellulari



Figura 3.31. *Callitriche stagnalis* Scop.

4. Fitodepurazione e depurazione naturale

4.1. Un po' di storia: dalle zone umide alla fitodepurazione

I processi naturali di autodepurazione hanno da sempre ripulito l'acqua che scorre nei laghi, nei fiumi, nei torrenti e nelle zone umide. Negli ultimi decenni sono stati realizzati sistemi ingegnerizzati che utilizzano questa capacità naturale degli ecosistemi acquatici allo scopo di depurare le acque reflue. Questi sistemi sono chiamati a livello internazionale *constructed wetland* (zone umide costruite) mentre in Italia si utilizza il termine un po' più generale di *fitodepurazione*. Essi vengono utilizzati per depurare le sorgenti di inquinamento puntiforme e diffuso incluse le acque meteoriche di dilavamento superficiale (*stormwater wetland*), i reflui domestici e i reflui di origine agricola e zootecnica. I sistemi di fitodepurazione vengono utilizzati anche per depurare il percolato di discarica, i reflui industriali (cartiere, industrie tessili, industrie alimentari), i reflui provenienti dalla raffinazione del petrolio, i reflui da allevamenti di acquacoltura e per l'essiccamento dei fanghi di depurazione. Per alcune tipologie di reflui si utilizzano solo impianti di fitodepurazione mentre per altri quest'ultima rappresenta solo uno *step* del ciclo di trattamento. Una delle più comuni applicazioni della fitodepurazione in Italia è il trattamento secondario dei reflui domestici o il trattamento terziario a valle di un sistema tecnologico (si veda anche capitolo 2). La prima esperienza risale al 1952, anno in cui Seidel avviò al Max Plance Institute di Plon una linea di ricerca sperimentale su questa particolare tipologia impiantistica (Seidel, 1955). Fu nel 1977, in Germania a Othfresen, che venne realizzato il primo impianto a scala reale per il trattamento dei reflui urbani (Kicktuth, 1977). In Italia si è verificato un notevole ritardo nella diffusione delle tecniche di depurazione naturale che sono state riconosciute solo nel 1999 anno in cui a livello nazionale viene recepita la Direttiva europea 91/271 con il D.Lgs. 152/99. Ciò è accaduto nonostante le condizioni meteorologiche italiane siano più favorevoli nel territorio nazionale rispetto, ad esempio, ai paesi nordeuropei. La fitodepurazione viene suggerita anche dal testo unico sull'ambiente 152/06 recepito ormai da molte Regioni come trattamento secondario appropriato (sotto ai 2000 AE) e come trattamento di affinamento per impianti tecnologici di grandi dimensioni.

L'uso invece di sistemi di vegetati per il controllo dei flussi di acque meteoriche e la depurazione di acque di prima pioggia è più recente e trova applicazione concreta nelle BPM (Best Management Practice) e nei SUD's (Sustainable Urban Drainage Systems) (si veda capitolo 10).

Il trattamento di reflui o acque meteoriche con tecniche naturali può avere diversi vantaggi tra cui il basso costo, lo scarso utilizzo di processi energivori e bassi costi di manutenzione a patto che gli impianti vengano progettati in maniera attenta e realizzati, gestiti e mantenuti in modo scrupoloso.

4.2. Che cos'è la fitodepurazione

La fitodepurazione è un processo naturale per depurare le acque reflue che sfrutta il principio di autodepurazione tipico degli ambienti acquatici. In questi biotopi gli inquinanti vengono naturalmente rimossi attraverso processi fisici, chimici e biologici tra i quali filtrazione, adsorbimento, assimilazione da parte degli organismi vegetali, degradazione batterica e antibiosi sono quelli maggiormente efficaci.

I trattamenti di fitodepurazione sono trattamenti biologici secondari, che necessitano di un trattamento primario di sedimentazione a monte come una fossa settica tipo Imhoff o tricamerale, ma che possono anche essere utilizzati come stadio di affinamento a valle di un depuratore a fanghi attivi.

Gli impianti di fitodepurazione presentano numerose caratteristiche tali da renderli ottime soluzioni a basso costo e ad elevato potere depurante:

- una ridotta e facile manutenzione che può essere eseguita da personale non specializzato;
- la formazione di un'area verde perennemente irrigata e di piacevole aspetto;
- la possibilità di poter riutilizzare l'acqua depurata.

Essi sono conformi alla definizione di trattamento appropriato fornita dal decreto ambientale vigente (D.L. 152/06): “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,
- minimizzare i costi gestionali.”

4.3. Le tre tipologie di impianti di fitodepurazione

Gli impianti di fitodepurazione possono essere progettati in modo diverso a seconda del cammino idraulico dei reflui al loro interno e all'ecologia delle macrofite acquatiche utilizzate. Le tre principali tipologie impiantistiche sono schematizzate in figura 4.1.

Allo stadio attuale di sviluppo di questa tecnologia le tipologie più diffuse in Italia e nel mondo sono le seguenti:

- sistemi a flusso superficiale (Free Water Surface – FWS)
- sistemi a flusso sommerso orizzontale (Horizontal Flow – HF)
- sistemi a flusso sommerso verticale (Vertical Flow – VF).

Ognuna di queste macrocategorie utilizza varianti rispetto al lay-out, medium di riempimento, piante, ecc.

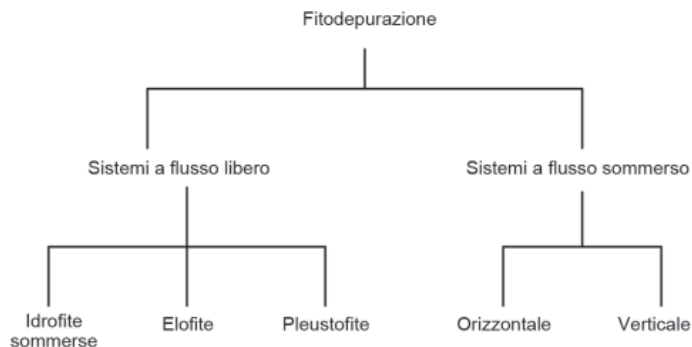


Figura 4.1. Tipologie impiantistiche sistemi di fitodepurazione (fonte: Kadlec, 2009, modificato)

4.3.1. Sistemi a flusso sommerso orizzontale (HF)

I sistemi a flusso sommerso orizzontale consistono in bacini impermeabilizzati con manti plastici riempiti di ghiaia di granulometria opportuna (vedere paragrafo 8.8) in cui vengono messe a dimora piante acquatiche (*Phragmites australis*). Il refluo scorre in senso orizzontale grazie a una leggera pendenza del fondo del letto di circa 10 cm sotto la superficie del medium di riempimento; è immesso da un lato del bacino nella parte superiore del medium di riempimento e raccolto sul fondo dal lato opposto. I livelli idrici all'interno del bacino sono garantiti da un dispositivo di regolazione idraulica (figura 4.2).

Per gli aspetti relativi al funzionamento e dimensionamento si vedano i capitoli 6 e 8, mentre per le piante il capitolo 7.

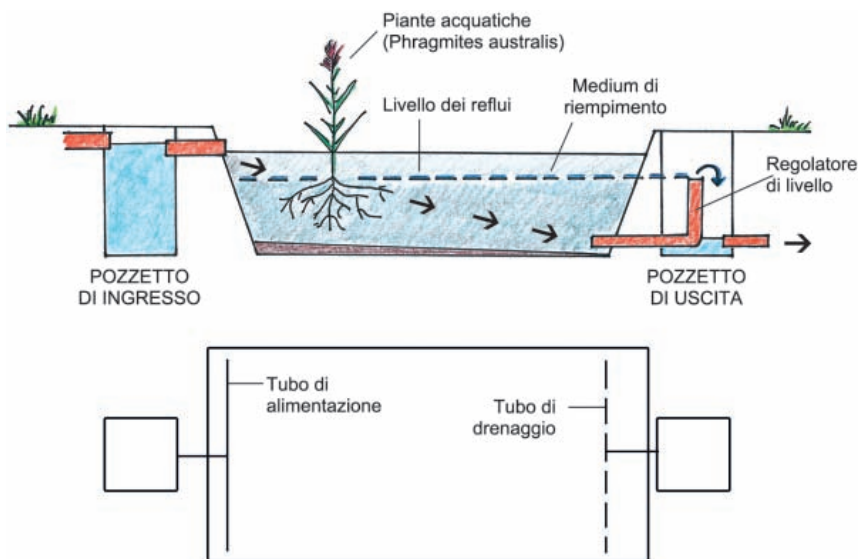


Figura 4.2. Sistema a flusso sommerso orizzontale (sezione)

I sistemi di fitodepurazione a flusso sommerso orizzontale non devono essere confusi con i vassoi assorbenti i quali non svolgono un trattamento secondario di depurazione ma uno smaltimento di reflui. Nei vassoi assorbenti lo strato di ghiaia è ricoperto con 40 cm di terra rendendoli molto simili a una sub-irrigazione (vedere paragrafo 4.5.3).

Come in tutti i sistemi a flusso sommerso, dal momento che l'acqua non è a contatto diretto con l'atmosfera il rischio associato all'esposizione verso i patogeni per animali ed esseri umani è praticamente nullo; inoltre non è un habitat idoneo alla proliferazione di zanzare.

4.3.2. Sistemi a flusso sommerso verticale (VF)

Come gli impianti a flusso sommerso orizzontale, quelli a flusso verticale sono costituiti da bacini impermeabilizzati con manti plastici riempiti di ghiaia e/o sabbia di granulometria opportuna (vedere paragrafo 8.8) in cui vengono messe a dimora piante acquatiche (*Phragmites australis*). Il refluo da trattare è immesso in modo discontinuo sulla superficie del bacino e scorre attraverso il medium di riempimento in senso verticale venendo poi raccolto da una tubazione posta sul fondo (figura 4.3).

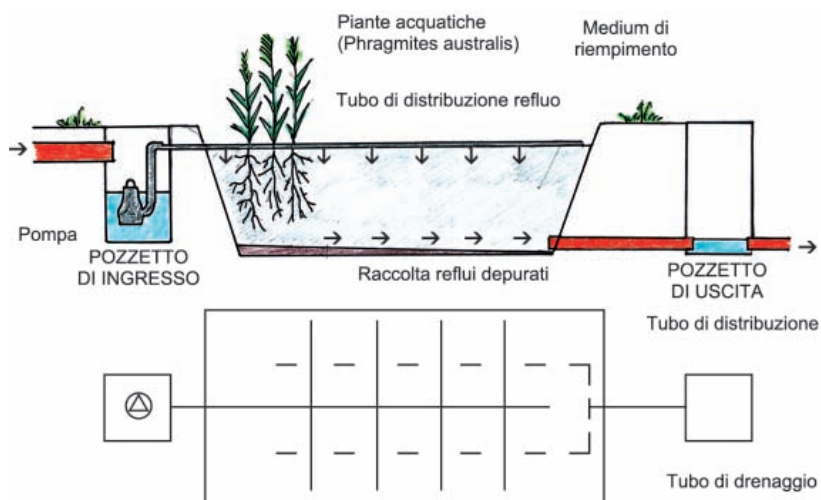


Figura 4.3. Sistema a flusso sommerso verticale (planimetria e sezione)

L'alimentazione intermittente, garantita attraverso l'uso di una pompa sommersa o di un sifone, permette una forte aerazione del letto che incrementa processi aerobici come la rimozione della sostanza organica e la nitrificazione.

L'adeguato sviluppo della vegetazione e un'alimentazione discontinua inferiore al carico idraulico massimo prevengono da fenomeni di intasamento del medium (*clogging*).

Per gli aspetti relativi al funzionamento e dimensionamento si vedano i capitoli 6 e 8, mentre per le piante il capitolo 7.

4.3.3. Sistemi a flusso superficiale (FWS)

I sistemi a flusso superficiale sono costituiti da bacini impermeabilizzati di forma variabi-

le per simulare un'area umida naturale. Il refluo è mantenuto a un livello costante sempre sopra il medium di riempimento da manufatti di regolazione posti all'uscita. La variazione dei battenti idrici all'interno è data variando il fondo del bacino: saranno presenti quindi specchi di acqua profonda, zone vegetate di acqua bassa, isole e zone di filtrazione. La vegetazione acquatica è qui rappresentata in tutti i tipi ecologici: elofite, idrofite e igrofite (vedere paragrafo 7.4).

I meccanismi di rimozione delle sostanze inquinanti sono quelli descritti nel paragrafo 6.2 relativo ai processi di autodepurazione degli ecosistemi acquatici.

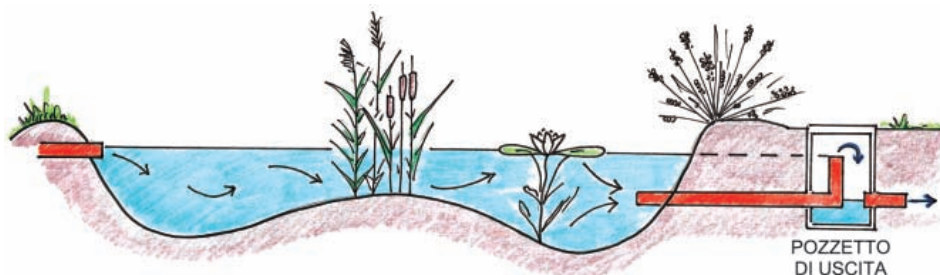


Figura 4.4. Sistema a flusso superficiale

Comunemente i sistemi a flusso superficiale vengono utilizzati in Italia come stadio di affinamento di effluenti provenienti da trattamenti biologici come i fanghi attivi o gli impianti di fitodepurazione a flusso sommerso, con l'obiettivo di completare la depurazione per restituire il refluo al corpo recettore o riusarlo a scopo irriguo. La progettazione dovrà essere finalizzata ad obiettivi precisi come la denitrificazione e la sedimentazione, la disinfezione del refluo, la creazione di habitat acquatici per aumentare la biodiversità dell'area. Vengono utilizzati anche per il trattamento di acque di pioggia di origine urbana, agricola o industriale per la loro capacità di gestire i flussi intermittenti e le variazioni di livello dell'acqua.

Nei FWS le rigide temperature invernali diminuiscono l'efficienza di alcuni processi come la rimozione dell'azoto. Quando il ghiaccio impedisce il trasferimento di ossigeno dall'atmosfera tutte le reazioni chimiche ossigeno dipendenti vengono rallentate.

4.4. Fitodepurazione in Italia: un settore in evoluzione

Oltre alle centinaia di impianti per reflui urbani e domestici che ormai sono in funzione da molti anni in Italia ci sono numerose applicazioni della fitodepurazione per la depurazione del *run off* agricolo, il trattamento terziario di finissaggio, il percolato di discarica, le acque di dilavamento di strade e autostrade. Un settore che ha avuto un particolare successo è quello della depurazione dei reflui agro-industriali provenienti dalle cantine vitivinicole e dai caseifici. È in aumento anche l'interesse per il trattamento e il controllo delle acque meteoriche con i SUD's e le stormwater wetland a cui questo volume dedica un intero capitolo (capitolo 10). Vi sono applicazioni per il trattamento di scolmatori di fognature miste (vedere scheda esempi applicativi Gorla Maggiore, MI) e per il trattamento delle acque di prima pioggia (vedere scheda esempi applicativi sito espositivo

Expo 2015, MI). La fitodepurazione rappresenta in Italia un'opportunità di espansione per la *green-economy* che coinvolge diverse aziende e istituti di ricerca.

4.5. Altri sistemi naturali per il disinquinamento delle acque

È opportuno precisare che in questo testo si è voluta trattare la fitodepurazione *sensu strictu*. Esistono poi altri sistemi di depurazione naturale che utilizzano le piante che vengono di seguito illustrati. In Italia si utilizza la parola *fitodepurazione* per indicare molti processi tra loro differenti con il rischio di creare confusione sull'utente finale che spesso non è esperto del settore.

4.5.1. Lagunaggio

Un'applicazione dei 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 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 e altri microrganismi fotosintetici.



Figura 4.5
Impianto di lagunaggio
aerobico (fonte: www.centrovenetoservizi.it)

Scheda 41. Reflui industriali: Fusina (VE)

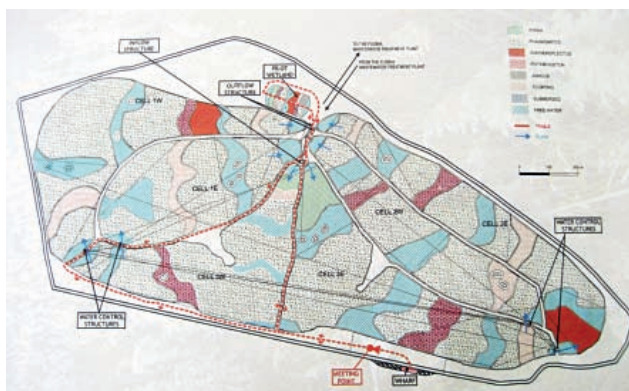
INFORMAZIONI GENERALI

Ubicazione: Porto Marghera, Mestre (VE)
 Tipologia impianto di fitodepurazione: flusso superficiale
 Tipologia trattamento: post-trattamento terziario
 Anno realizzazione: 2005-2008



INFORMAZIONI TECNICHE

Tipologia acque in ingresso: reflui industriali del polo petrolchimico Porto Marghera
 Portata: 4000 m³/h
 Tempo di ritenzione totale del sistema: 7 giorni
 Superficie totale: 100 ha
 Progetto: CH2MHill s.r.l. e Thetis S.p.A.



DESCRIZIONE

La wetland è parte integrante del Progetto Integrato Fusina (PIF) della Regione Veneto per la prevenzione dell'inquinamento e il risanamento delle acque del bacino idrografico immediatamente sversante nella laguna di Venezia. L'impianto, a flusso libero superficiale, articolato su 6 celle, tratta i reflui provenienti dal polo petrolchimico di Porto Marghera. Prevede una alternanza di zone profonde e di marcite in modo da garantire uniformità di flusso e buon rimescolamento trasversale delle acque. Tale scelta, abbinata alla piantumazione con vegetazione tipica delle aree umide, permette inoltre di generare habitat acquatici differenti tra loro e atti ad ospitare una fauna diversificata (Frank et al., 2010).

Scheda 42. Reflui industriali zootecnici: Carmignano del Brenta (PD)

INFORMAZIONI GENERALI

Ubicazione: Carmignano Di Brenta (PD)
 Tipologia impianto di fitodepurazione: flusso sommerso integrato orizzontale + verticale + filtro percolatore h = 200 cm
 Tipologia trattamento: secondario
 Anno realizzazione: 2008



INFORMAZIONI TECNICHE

Tipologia acque in ingresso: acque reflue da allevamento suinicolo
 Abitanti equivalenti: 2000
 Superficie totale fitodepurazione: 200 m²
 Portata in ingresso: 4 m³
 Concentrazioni in ingresso: COD 48.000 mg/l, BOD₅ 30.000 mg/l, azoto ammoniacale 2150 mg/l
 Concentrazioni in uscita: COD 160 mg/l, BOD₅ 40 mg/l, Azoto ammoniacale 15 mg/l
 Costo impianto: 15.000 € a m³ trattato più costo del separatore centrifugo
 Costo di gestione previsto: 0,5 €/m³ trattato al giorno
 Progetto: e realizzazione artecAMBIENTE srl

DESCRIZIONE

Si tratta del primo impianto sperimentale in Europa che si occupa del trattamento dei reflui di origine zootecnica da allevamento suino al fine della riduzione dell'azoto presente. L'impianto tratta 4 m³/g di refluo tale quale proveniente dalla stalla. Obiettivo è ridurre in maniera considerevole il quantitativo di azoto tale da consentire all'allevatore di non acquisire più terreni in concessione di spandimento. Il trattamento consta di 4 fasi: trattamento di separazione fisico-chimica con un flottatore centrifugo, trattamento di abbattimento/trasformazione dell'azoto ammoniacale in azoto assimilabile dalle piante attraverso un filtro percolatore aerobico vegetato, trattamento di fitodepurazione integrato a flusso verticale e orizzontale.

Le essenze piantumate sono: *Phragmites Australis*, *Iris Psedaucorus*, *Canna indica*, *Typha latifolia*.

Scheda 43. Acque meteoriche: Sito Expo2015 (MI)

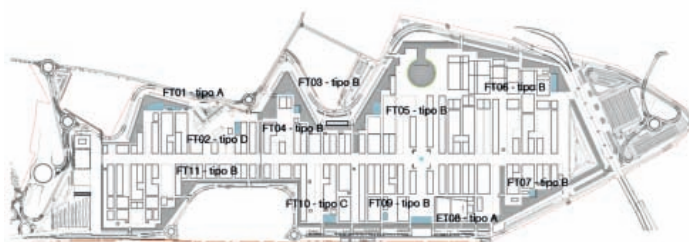
INFORMAZIONI GENERALI

Ubicazione: Comune di Milano

Tipologia impianto di fitodepurazione: flusso superficiale (stormwater wetland)

Tipologia trattamento: secondario

Anno realizzazione: in progetto



INFORMAZIONI TECNICHE

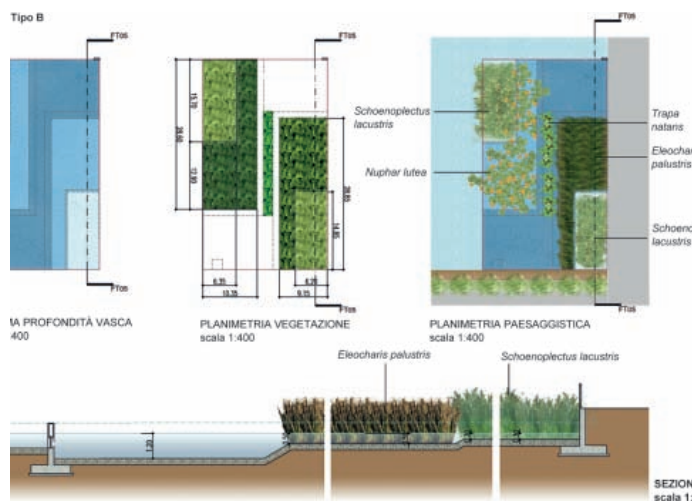
Tipologia acque in ingresso: acque di prima pioggia della piastra espositiva

Volume prima pioggia: 593 litri/secondo

Superficie totale vasche: 9438 m²

Costo totale stimato realizzazione: 1.300.000,00 €

Progetto: Expo 2015 Ufficio di Piano S.p.A. e Metropolitana Milanese S.p.A



DESCRIZIONE

Al fine di assicurare una opportuna depurazione delle acque meteoriche di prima pioggia provenienti dal dilavamento superficiale del sito EXPO 2015, è stata prevista la realizzazione di undici vasche di fitodepurazione precedute da una vasca di sedimentazione. Le vasche sono localizzate nelle adiacenze del canale perimetrale in cui defluiscono con dimensioni tra di loro differenti in funzione delle dimensioni del bacino di drenaggio intercettato e hanno finalità ricreativa con l'aspetto di giardini d'acqua.

Scheda 44. Acque meteoriche: Centro Kerakoll (MO)

INFORMAZIONI GENERALI

Ubicazione: Comune di Sassuolo (MO)
 Tipologia impianto di fitodepurazione: sistemi di filtrazione vegetati
 Anno realizzazione: 2012



INFORMAZIONI TECNICHE

Tipologia acque in ingresso: acque di prima pioggia dei tetti e dei parcheggi
 Volume acque di prima pioggia: 1000 m³/anno
 Superficie efficace copertura: 1850 m²
 Area superficiale totale filtri vegetati (rain garden): 60 m²
 Superficie strade e parcheggi trattati con area di ritenzione vegetata: 4000 m²
 Area superficiale totale area di ritenzione vegetata: 50 m²
 Costo dei trattamenti (ad esclusione di fognature di raccolta e di adduzione e depositi): 8.000,00 €
 Costo di gestione annuo: 200,00 €
 Progetto: Studiobios associati



DESCRIZIONE

Nell'ambito della progettazione del nuovo Centro Ricerche e Sviluppo Kerakoll, la progettazione di tutte le linee di adduzione e scarico è stata mirata al risparmio, al recupero e al riutilizzo della risorsa idrica, in un'ottica di gestione sostenibile del ciclo delle acque. In particolare per le acque meteoriche è stato previsto: il recupero delle acque meteoriche dei tetti tramite l'utilizzo di sistemi di filtrazione vegetati e il loro stoccaggio in serbatoio interrato esterno; la raccolta e lo smaltimento delle acque meteoriche delle altre superfici (strade, parcheggi, ecc.) nell'ambiente circostante tramite l'utilizzo di sistemi innovativi che ne favoriscano la depurazione, la laminazione e la lenta infiltrazione nel terreno (SUDS: Sustainable Urban Drainage Systems).

Scheda 45. Aree umide ricostruite: Ca' di Mezzo (PD)

INFORMAZIONI GENERALI

Ubicazione: Comune di Codevigo (PD)
Tipologia impianto di fitodepurazione: flusso superficiale
Tipologia trattamento: inquinamento diffuso
Anno realizzazione: 2000



INFORMAZIONI TECNICHE

Tipologia acque in ingresso: acque superficiali
Volume acque invasate: 90.000 m³
Superficie totale vasche: 30 ha
Tempo di ritenzione medio: 2,6 giorni
Progetto: Consorzio di Bonifica Adige-Bacchiglione

DESCRIZIONE

L'area umida di Ca' di Mezzo è stata realizzata per ridurre il carico di nutrienti versato nella laguna di Venezia dai 9700 ettari che costituiscono i sottobacini del Comprensorio di Bonifica Adige-Bacchiglione afferenti al canale Altipiano. Essa ha lo scopo di intercettare completamente i carichi veicolati in regime di magra dal Canale Altipiano e circa la metà di quelli trasportati durante le piene. Per permettere la rapida crescita del canneto sono state trapiantate nelle golene circa 100.000 piante di *Phragmites australis*. Altre essenze arboree sono state messe a dimora per costituire barriere frangivento e per facilitare la fruizione dell'area a fini ricreativi. L'area umida di Ca' di Mezzo è stata ricostruita non solo per migliorare la qualità delle acque superficiali ma anche per ricreare un ambiente naturale che costituirà l'habitat ideale per molte forme di animali.

Scheda 46. Biopiscine: Comunale Val di Sole (TN)

INFORMAZIONI GENERALI

Ubicazione: Monclassico (TN), Val di Sole, altitudine: 723 m/s.l.m.

Committente: Comune di Monclassico (TN), 800 abitanti

Anno realizzazione: 2008



INFORMAZIONI TECNICHE

Capacità ricettiva: max 130 utenti/giorno

Volume totale: 1268 m³

Superficie totale: 900 m²

Area balneabile: 400 m², profondità massima 3 m

Area rigenerazione perimetrica: 170 m², profondità massima 0,70 m

Area filtrazione-depurazione: 330 m², prof. max 2 m, diviso in 3 vasche separate da dighe di ghiaia

Componenti elettromeccaniche: skimmer galleggianti: 5; pompe circuito: 3; pompe skimmer: 3

Costo complessivo di costruzione: € 400.000

Progetto: Anja Werner – Realizzazione: Natura Verde s.a.s., Pordenone

DESCRIZIONE

È la prima biopiscina comunale costruita sul territorio italiano. Un importante appoggio per ottenere i permessi è stato dato dalla IOB (International association for natural bathing waters), associazione che da anni si applica nella ricerca scientifica e nella diffusione del sistema biopiscina. I criteri progettuali per un impianto pubblico si differenziano da quelli applicati ad impianti privati: è obbligatorio il corretto rapporto tra utente/giorno e m³ di acqua a disposizione per garantire un ottimale funzionamento; le aree di depurazione e di reposizione sono notevolmente potenziate, con ampie e profonde aree a percolazione per la filtrazione meccanica e per la fitodepurazione. Ad un totale di 1100 piante acquatiche, con 25 specie e varietà differenti, è affidato il compito della depurazione.