



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

**RIUTILIZZO DELLE ACQUE REFLUE FITO-DEPURATE IN AGRICOLTURA.
DALL'ANALISI DELLA NORMATIVA AI CASI STUDIO.**

Dr.ssa Barbara Cecchetti

Tutor: Dr. Stefano Lucci

Co tutor: Dr. Walter Bellucci, Dr. Roberto Sannino

Data	Firma Stagista	Firma Tutor	Firma Responsabile Servizio

Abstract

Lo scopo del seguente elaborato è quello di fornire un quadro generale sul tema del riutilizzo irriguo, in particolare in agricoltura, di acque reflue depurate tramite la tecnica della “fitodepurazione” (zone umide artificiali).

La prima parte dello scritto è tesa a descrivere la Normativa sul riutilizzo delle acque reflue a livello Internazionale e il recepimento delle Direttive Comunitarie a livello delle singole Regioni italiane. Successivamente vengono presentati alcuni esempi concreti di impianti di fitodepurazione a valle dei quali è stato sperimentato il riutilizzo dei reflui in agricoltura, ponendo l’accento su due casi studio in particolare: quello del comune di San Michele di Ganzaria, in provincia di Catania, e quello della frazione di San Carlo, in provincia di Livorno.

Prefazione

Il Decreto legislativo del 3 aprile 2006, n. 152, concernente la tutela delle acque dall'inquinamento, consente, come riportato nel Capo II° punto 8, di ricorrere a tecnologie di depurazione naturale, quali la fitodepurazione per il trattamento delle acque reflue.

Le autorità territoriali competenti (consorzi di bonifica, autorità di bacino, ecc.) hanno il compito istituzionale di realizzare azioni di salvaguardia ambientale e risanamento delle acque - finalizzate anche all'uso irriguo in agricoltura - di rinaturalizzazione dei corsi d'acqua e di fitodepurazione.

Gli impianti di fitodepurazione sono sistemi di trattamento biologico degli scarichi civili e assimilabili, con potenzialità medie intorno ai 1000 abitanti equivalenti, che richiedono necessariamente un procedimento meccanico preliminare (ad esempio fossa settica tipo Imhoff o tricamerale, ecc.).

La presente tesi di *stage* fornisce indicazioni utili per chi intenda avere una panoramica della situazione nazionale ed estera sugli impianti di fitodepurazione. Inoltre, consente di acquisire gli elementi di base per l'adeguata progettazione e predisposizione di una struttura idonea, soprattutto, alla fitodepurazione delle acque reflue domestiche, provenienti da insediamenti di tipo residenziale e da servizi. Rispetto al totale delle acque di scarico generate, queste tipologie di utenze producono un considerevole volume di reflui (circa il 50%) che, prima di poter essere immesse nei corpi idrici, devono necessariamente essere trattate.

Indice analitico

Indice analitico	I
Elenco figure	II
Elenco tabelle	II
Elenco acronimi	IV
1. Introduzione	1
2. Il riutilizzo dell'acqua e la sua evoluzione normativa	4
2.1 Il riutilizzo delle acque depurate nella normativa internazionale	5
2.2 Aspetti normativi nei Paesi Europei	11
2.2.1 L'uso della risorsa idrica in Italia: il quadro normativo regionale	14
2.3 I nodi da sciogliere per un effettivo impiego irriguo delle acque depurate in Italia: considerazioni e riflessioni	26
3. Il riutilizzo irriguo delle acque reflue mediante tecnica di fitodepurazione: casi di studio	28
3.1 La fitodepurazione	28
3.2 Il riutilizzo irriguo di acque fito-depurate: alcuni esempi italiani	33
3.3 Il caso studio di S. Michele di Ganzaria (Ct)	37
3.3.1 Descrizione dell'impianto	38
3.3.2 Stato di funzionalità dell'impianto	40
3.4 Il caso studio di S. Carlo (Li)	41
3.4.1 Descrizione dell'impianto	42
Conclusioni	53
Bibliografia	55
Siti internet visitati	58

Elenco figure

Figura 1: Schema di un sistema a flusso sommerso orizzontale	32
Figura 2: Schema di un sistema a flusso sommerso verticale	32
Figura 3: Schema del sistema di trattamento e riuso di S.Michele di Ganzaria	39
Figura 4: Impianto a fanghi attivi esistente	42
Figura 5: Area di realizzazione impianto e ripristino ambientale a inizio lavori	43
Figura 6: Panoramica dell'area oggetto d'intervento nella fase progettuale	44
Figura 7: Fasi di realizzazione vasche a flusso orizzontale	48
Figura 8: Particolari di vasca a flusso verticale e stazione di sollevamento	48
Figura 9: Vasche a flusso verticale prima dell'inserimento di specie vegetali	49
Figura 10: Vasche a flusso orizzontale a lavori ultimati	49
Figura 11: Vasche a flusso verticale a lavori ultimati	50
Figura 12: Area sottoposta a ripristino ambientale e strada di accesso all'impianto	51
Figura 13: Area sottoposta a ripristino ambientale	52

Elenco tabelle

Tabella 1: Quadro schematico delibere regionali di adozione PRRA e PTA	15
Tabella 2: Applicazioni sistemi depurazione naturale acque reflue a differenti tipologie di reflui	30
Tabella 3: Caratteristiche dell’effluente del depuratore esistente	44
Tabella 4: Dati di progetto del sistema di fitodepurazione	45
Tabella 5: Valori massimi concentrazione effluente del depuratore esistente	46
Tabella 6: Parametri di calcolo per il sistema di fitodepurazione	46
Tabella 7: Caratteristiche tecniche vasche di fitodepurazione SFS-h (1° stadio)	47
Tabella 8: Caratteristiche tecniche vasche di fitodepurazione SFS-v (2° stadio)	48
Tabella 9: Specie vegetali utilizzate nel ripristino ambientale	51

Elenco degli acronimi

A.E. (a.e.)	Abitanti Equivalenti
APAT	Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i servizi Tecnici
ARPA	Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale
ATO	Ambito Territoriale Ottimale
BOD5	Biochemical Oxygen Demand (in 5 giorni)
CE	Comunità Europea
CEE	Comunità Economica Europea
CETA	Centro di Ecologia Teorica e Applicata
COD	Chemical Oxygen Demand
CSEI	Centro Studi di Economia applicata all’Ingegneria
D.Lgs	Decreto Legislativo
D.M.	Decreto Ministeriale
D.P.C.M.	Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri
D.P.G.R.	Decreto del Presidente della Giunta Regionale
D.P.R.	Decreto del Presidente della Repubblica
EPA	Environmental Protection Agency
FAO	Food and Agriculture Organization
FWS	Free Water System
IWA	International Water Association
NEPA	National Environmental Policy Act
PRRA	Piano Regionale di Risanamento delle Acque
PTA	Piano di Tutela delle Acque
SFS-h (HF)	Sistema a Flusso Sommerso Orizzontale
SFS-v (VF)	Sistema a Flusso Sommerso Verticale
WHO	World Health Organization
UFC	Unità Formanti Colonie
UNEP	United Nations Environment Program
ZU	Zona Umida

1. Introduzione

La depurazione delle acque reflue civili e industriali costituisce uno dei punti cardine delle politiche di tutela ambientale intraprese a livello europeo (Commissione Europea, 2003).

Il notevole progresso tecnologico conseguito nel settore della depurazione delle acque reflue ha permesso di mettere a punto sistemi di trattamento sempre più avanzati. Tuttavia, la depurazione delle acque reflue rappresenta ancora un problema economico e gestionale, anche in relazione a vincoli sempre più restrittivi allo scarico, imposti dalle direttive europee.

In molti impianti realizzati nel nostro Paese sono state utilizzate tecniche di trattamento non idonee al contesto socio-economico e alle caratteristiche quali-quantitative delle acque reflue. E' stata, infatti, privilegiata la realizzazione di impianti di depurazione di tipo tradizionale o intensivo (fanghi attivi, biodischi, ecc.) che, a causa del loro contenuto tecnologico sempre più spinto, sono caratterizzati da alti costi di gestione e manutenzione (Cirelli e Barbagallo, 2002).

Per questo motivo, in Italia risulta di particolare interesse l'applicazione di trattamenti naturali come la fitodepurazione, il lagunaggio e l'accumulo in serbatoi. Questi trattamenti sono definiti estensivi in quanto i processi di depurazione richiedono tempi lunghi (da 1 a 10 giorni) e estese superfici, da 1 a 10 m²/AE (Abitante Equivalente).

Con il termine "fitodepurazione" si intende un insieme di tecniche e soluzioni usate per il trattamento delle acque di scarico ed il controllo dell'inquinamento diffuso. Queste tecniche si basano essenzialmente sui processi biologici propri delle cosiddette "zone umide" e sono note, ormai da molto tempo, nel mondo scientifico internazionale con il termine di "*constructed wetlands*" ("zone umide artificiali").

Sebbene in netto ritardo rispetto al resto d'Europa, anche in Italia sono stati realizzati sistemi naturali per la depurazione di acque reflue. Essi sono stati dimensionati applicando modelli americani ed europei o, soprattutto negli anni passati, affidandosi ad una certa improvvisazione. I malfunzionamenti e le basse efficienze, talora riscontrate in questo tipo di impianti, ha spesso generato perplessità nei loro confronti. Soprattutto, è stato spesso carente l'approccio metodologico-scientifico in fase di progettazione. Inoltre, i dati di monitoraggio degli impianti sono stati scarsamente documentati o, quando presenti, raccolti in modo saltuario.

La sindrome del NIMBY (*Not In My Back Yard*) – giunta a negare l'esigenza della realizzazione di questo tipo di opere, agitando gli spettri delle peggiori maleodoranze, della

malaria, dei famelici roditori e a far sorgere i comitati anti-area umida - oggi è stata, seppur faticosamente, superata.

Tuttavia, possono insorgere altre insidie e resistenze alla costruzione di una zona umida. Si citano, ad esempio, i problemi legati alla speculazione immobiliare sui terreni agricoli incolti prescelti ed espropriati per fini di pubblica utilità. Si può verificare infatti che, durante i tempi tecnici necessari per le decisioni amministrative e le pratiche di esproprio, il valore di tali terreni lieviti al punto da diventare incompatibile con i costi del progetto.

Ciò nonostante, specialmente a seguito dell'entrata in vigore della Legge n.36 del 5 gennaio 1994 e, successivamente, del Testo Unico sulle Acque (D. Lgs n.152 del 1999), la realizzazione di sistemi di depurazione naturale è sempre più auspicata. In particolare, sono preferite soluzioni impiantistiche che evitino, attraverso un approccio pluridisciplinare (chimico, biologico, idraulico e paesaggistico), approssimazioni e standardizzazioni, soprattutto in fase di progettazione.

I sistemi naturali possono essere usati sia per il trattamento secondario sia per quello terziario. Essi sono particolarmente indicati per la depurazione dei liquami di piccole e medie comunità a popolazione fluttuante (località di villeggiatura, campeggi, alberghi, ecc.) e per il trattamento di liquami provenienti da fognature urbane, in cui vengono immesse saltuariamente acque reflue di insediamenti produttivi agro-alimentari (oleifici, caseifici, ecc.).

A livello internazionale i sistemi naturali di depurazione sono molto diffusi e trattano acque reflue di tipo domestico, urbano, industriale ed agricolo.

In Italia sono molteplici i fattori che rendono interessante l'applicazione dei sistemi naturali di depurazione (Cirelli, 2003):

- alto numero di centri abitati di piccole e medie dimensioni,
- condizioni climatiche favorevoli,
- disponibilità di terreni, specie nelle regioni meridionali,
- interesse verso il riutilizzo delle acque depurate, dettato dalla sempre maggiore frequenza con cui si verificano fenomeni di siccità.

Il riuso irriguo delle acque depurate costituisce, comunque, uno dei più importanti fattori che spingono verso queste tecnologie.

L'impiego delle acque reflue urbane depurate è indispensabile per fronteggiare la carenza di risorse idriche nelle regioni aride e semiaride e spesso rappresenta l'unica alternativa per affrontare i periodi di siccità, nel breve periodo (Lazarova *et al.*, 2001).

Pertanto, è emersa a livello internazionale la necessità di mettere a punto sistemi di trattamento sempre più efficienti e di semplice ed economica gestione e manutenzione. E' cambiato l'interesse verso gli impianti di depurazione poiché, in quanto fonte di risorse idriche alternative, vengono percepiti come un'opportunità di sviluppo del territorio.

Alcuni Paesi, tra cui Israele, hanno promosso la realizzazione di sistemi naturali per il trattamento delle acque reflue, finalizzati al riuso in agricoltura o all'irrigazione di aree a verde e campi da golf. In questi casi, i sistemi di lagunaggio per il riuso irriguo sono spesso accoppiati a serbatoi di accumulo che consentono la regolazione stagionale dei volumi (Juanico, 2003).

Negli ultimi anni, il fallimento gestionale dei grandi sistemi centralizzati di raccolta e depurazione, i notevoli costi di collettamento e gli elevati impatti ambientali hanno favorito l'affermarsi del trattamento e riutilizzo delle acque reflue, prodotte da insediamenti sparsi o di piccole dimensioni, direttamente vicino al punto di origine (*decentralized systems*). Si tende, pertanto, a privilegiare i sistemi naturali di depurazione, prevedendo il riuso delle acque negli scarichi dei wc (reti duali) e nell'irrigazione di aree a verde (Lazarova *et al.*, 2002; Tchobanoglous, 2002).

In Italia, solo negli ultimi anni è sorto l'interesse per la realizzazione di sistemi di trattamento estensivi finalizzati al riutilizzo delle acque reflue.

Il presente studio, dapprima analizza approfonditamente la normativa vigente nel settore, descrive le zone umide costruite e fa una carrellata su alcuni impianti sperimentali. Successivamente, descrive nel dettaglio due casi studio italiani: il sistema di trattamento di S.Michele di Ganzaria (Ct) e quello presso la cava industriale della frazione di S.Carlo (Li). Il primo, realizzato a valle di un impianto di depurazione tradizionale esistente, comprende un sistema di fitodepurazione e un sistema di accumulo per il riuso irriguo in agricoltura dei reflui depurati. Il materiale informativo sulla realizzazione di tale impianto è stato fornito dal Dott. Cirelli del CSEI (Centro Studi di Economia applicata all'Ingegneria) di Catania.

Il secondo caso studio, realizzato a valle di un impianto di depurazione a fanghi attivi esistente, è costituito da un sistema di fitodepurazione per il riuso irriguo dei reflui depurati sui fronti di cava dimessi. Le conoscenze sulla costruzione dell'impianto sono state acquisite direttamente dall'autrice, attraverso un'esperienza di *stage* effettuata presso il Servizio Gestione Risorse Idriche della Soc. Solvay Chimica Italia. Questa società, proprietaria della cava di calcare della frazione di S.Carlo, ha realizzato il sistema di

fitodepurazione nell'ambito delle prescrizioni poste dal Comune di San Vincenzo al Progetto di riorganizzazione e ampliamento delle attività di estrazione.

2. Il riutilizzo delle acque depurate e la sua evoluzione normativa

Il riutilizzo delle acque reflue depurate rappresenta un approccio più evoluto e razionale all'uso della risorsa idrica. Il vantaggio economico del riutilizzo risiede nel fornire un approvvigionamento idrico alternativo, valido almeno per gli usi che non richiedono acqua di elevata qualità.

Storicamente il riuso delle acque per l'irrigazione ha rappresentato una pratica molto diffusa ed è ancora utilizzato in molti paesi. L'agricoltura ha una tradizione di riutilizzo delle risorse idriche, già a partire dalla storia greca e romana. Verso la fine del Medioevo, in Europa, alcuni privati cominciarono a farsi costruire vasche di raccolta per i liquami domestici. Queste vasche costituivano una sorta di prototipo dei futuri pozzi neri. Una volta piene, i liquami venivano riversati su terreni abbandonati o utilizzati per concimare i campi. In epoca moderna si ha l'esempio delle "*sewage farms*" tedesche, risalenti a quasi 500 anni fa, le marcite del Milanese, attive fino a non molti anni fa, e le aree agricole del Messico e del Cile, ancora largamente irrigate con acque reflue (Tavoli Tecnici ARPA Basilicata, 2006).

Con il tempo, la diffusione di malattie dovute all'uso di tali acque ha condotto i paesi più avanzati a regolamentarne e normarne il riuso. I Paesi più esperti in materia di riutilizzo delle acque reflue depurate sono gli Stati Uniti e lo Stato di Israele. Negli anni '70 le acque reflue depurate rappresentavano circa il 10% del potenziale idrico di Israele. Negli Stati Uniti il riutilizzo delle acque reflue si è diffuso soprattutto negli Stati Desertici del Sud, ed in particolare in California e nel Texas. In California sono state approvate le prime leggi che introducevano, a garanzia della salute umana, standard di qualità delle acque da riutilizzare. Nei Paesi dell'area mediterranea, molto aridi e poco dotati di risorse idriche, le acque reflue, depurate e non, sono spesso scaricate nei corpi idrici e quindi nuovamente impiegate nell'irrigazione a sostegno dell'agricoltura locale.

A partire dagli anni '90, in molte parti del mondo, sotto la spinta degli organismi internazionali che promuovono lo sviluppo sostenibile, l'interesse per il riutilizzo di acque reflue urbane depurate è sensibilmente cresciuto. La crescita della sensibilità ambientale e le pressanti esigenze di incrementare i quantitativi di acqua disponibili per l'agricoltura,

l'industria e gli scopi potabili, il riutilizzo delle acque si sta diffondendo sempre più anche nei Paesi con maggiori disponibilità d'acqua primaria.

Obiettivo del riutilizzo è limitare il prelievo delle acque superficiali e sotterranee, ridurre l'impatto degli scarichi sui corpi idrici recettori, incentivare il risparmio attraverso l'utilizzo multiplo delle acque reflue.

Le attività sociali, produttive e ricreative, sia in ambito urbano che rurale, richiedono ed impiegano una grande quantità di acqua. La conseguenza diretta è la produzione di grandi quantitativi di acque di scarico che, per poter essere reimpiegate, devono necessariamente essere sottoposte a trattamenti depurativi.

In passato le acque reflue contenevano quasi esclusivamente sostanze biodegradabili. attualmente, la presenza sempre più ampia di composti chimici di origine sintetica, impiegati sia nel settore industriale che in quello agricolo, crea maggiori problemi di chiarificazione.

Le esperienze maturate nei paesi che applicano, da diverso tempo il riutilizzo delle acque fanno emergere le problematiche connesse con l'applicazione dei reflui e dimostrano l'estrema importanza della normativa tecnica di carattere igienico-sanitario che definisce i requisiti delle acque per il riuso. Ogni investimento in materia deve basarsi su elementi certi e su criteri ben definiti di trattamento ed utilizzo dell'acqua. Solo così si potranno indurre gli investitori e tutti i soggetti interessati ad assumere iniziative concrete in materia. La chiarezza normativa è una condizione indispensabile per assicurare l'“accettabilità”, non sempre scontata, dell'acqua riciclata.

2.1 Normativa internazionale

Il primo tentativo di regolamentazione della pratica del riuso delle acque reflue risale al 1918, anno in cui lo stato della California varò il “*Regulation Governing Use of Sewage for Irrigation Purposes*”. La stesura definitiva, seguita a diverse modifiche, (*Wastewater Reclamation Criteria*, 1978) poneva l'attenzione sulla limitazione dell'inquinamento microbiologico dell'effluente in funzione del tipo di impiego.

Nonostante l'alto grado di restrizione (limite per il contenuto di Coliformi 2,2 MPN/100ml), la normativa californiana è stata presa a modello in molti Paesi quali Israele, Sud Africa, India e Italia.

Nel 1973 la World Health Organization (WHO) propose alcune linee guida per il riutilizzo delle acque in agricoltura meno restrittive, stabilendo standard di qualità microbiologica di due ordini di grandezza superiori rispetto a quanto previsto dalle legge californiana.

Nel 1985 la WHO, l'United Nations Environment Program (UNEP) e altri organismi riunirono in Svizzera un gruppo di studiosi e proposero una normativa più mirata rispetto a quella vigente, da cui scaturirono le linee guida WHO (1989).

Le linee guida proposte dalla FAO (Food and Agriculture Organization) nel 1985 consentono di formulare un giudizio di qualità delle acque per scopi irrigui basato sulle necessità delle colture piuttosto che sul rischio per la salute umana. Esse indicano i tipi di rischio, i parametri di valutazione degli stessi e le soglie numeriche che corrispondono a limitazioni d'uso. Da un punto di vista chimico sono presi in considerazione i parametri direttamente correlati a modifiche delle caratteristiche dei suoli o che interferiscono col tasso di crescita dei vegetali. Tra questi si menziona la salinità, intesa come concentrazione di alcuni ioni che comportano una riduzione della disponibilità idrica per la pianta, la tossicità di alcuni ioni (sodio, cloruri, boro), l'eccessiva presenza di nutrienti. Nel 1992 l'Agenzia Statunitense di Protezione Ambientale (EPA) ha pubblicato il volume *Guidelines for Wastewater Reuse*, che riguarda tutti i possibili riutilizzi delle acque e definisce, per ognuno di essi, i sistemi di trattamento, gli standard di qualità, la frequenza dei controlli, le distanze da mantenere rispetto alle aree protette e alcuni suggerimenti per regolamentare l'uso delle acque.

Recentemente si sono aggiunte norme emanate in Paesi caratterizzati da una sempre maggiore emergenza idrica e da carenze infrastrutturali (Palestina e Marocco).

Il riutilizzo dell'acqua depurata è in forte aumento negli Stati Uniti, in Australia e in Europa. Tuttavia la sua potenzialità non è del tutto sfruttata a causa di carenze normative e della difficoltà a farla diventare una pratica di uso comune.

Negli Stati meridionali più desertici degli Stati Uniti il riutilizzo è una pratica diffusa (9.828.000 m³/d) e costantemente in aumento. L'acqua viene riutilizzata per irrigare campi da golf e colture a fini alimentari, nell'industria e per ricaricare gli acquiferi sotterranei e quindi, indirettamente, per usi potabili.

L'uso di acque reflue depurate per scopo alimentare è proibito in alcuni stati, mentre in altri è ammesso solo se le coltivazioni sono destinate alla produzione di alimenti soggetti a trasformazioni industriali e, comunque, da non ingerire crudi. In Nevada è permessa l'irrigazione superficiale solo su alberi da frutto. Lo stato di Washington prevede limiti nelle concentrazioni mirati al tipo di riutilizzo. L'Arizona segue un'impostazione vicina a

quella californiana ma con prescrizioni meno rigide per l'irrigazione di pascoli e di colture destinate all'alimentazione umana previa cottura.

Inoltre, molti Stati, come suggerito dalle linee guida EPA, hanno regolamentato le distanze e le zone di rispetto (*buffer*) da mantenere tra le aree agricole in cui si usano le acque depurate e le zone vulnerabili, come pozzi di emungimento potabili, zone residenziali, strade.

Inoltre, la definizione di limiti e standard per le acque depurate si accompagna a disposizioni sul riuso quali, ad esempio, le prescrizioni del *Washington Department of Health and Ecology* (1997). Queste prevedono sia la definizione di standard sia un insieme di misure atte a minimizzare i rischi per l'uomo e l'ambiente.

Australia

L'Australia è uno dei continenti più aridi e soggetto a sempre più frequenti fenomeni di siccità. Deve fronteggiare una crescente domanda di acqua nel settore agricolo e industriale, nonché da parte di una sempre crescente popolazione. L'acqua di scarico e l'acqua di scolo, originato dallo scorrimento sul terreno dell'acqua piovana, sono state spesso riciclate e riutilizzate nelle città australiane allo scopo di irrigare parchi o campi da golf. Dall'analisi dell'AATSE (Australian Academy of Technological Sciences and Engineering) è emerso che sono stati riutilizzati 112.757.400 m³/anno tra il 1996 e il 1999 e 165.979.800 m³/anno tra il 2001 e il 2002

Tuttavia per un lungo periodo l'Australia è stata caratterizzata da una scarsa performance in termini di risparmio idrico.

Negli ultimi anni il fenomeno sempre crescente della siccità ha sollecitato un cambiamento nella politica locale, che, per soddisfare il fabbisogno idrico, si è indirizzata verso soluzioni alternative e più sostenibili.

In particolare, si è prospettata la possibilità di riutilizzare le acque reflue depurate come acqua potabile. Questa proposta è stata sottoposta a referendum consultivo nella regione del Queensland sud-orientale e, nonostante la bocciatura, ha suscitato consenso di sollevare un serio dibattito sul tema.

Il mondo universitario e della ricerca ha sviluppato iniziative e accordi di cooperazione con l'industria per progetti di monitoraggio della qualità delle acque e per lo sviluppo di innovativi processi di depurazione delle acque di scarto industriali.

India

Nel corso degli ultimi due decenni, in India sono stati avviati numerosi progetti, governativi e non governativi, che hanno completamente trasformato le condizioni ambientali delle comunità locali e, di conseguenza, la loro economia rurale.

Villaggi che all'inizio degli anni Settanta vivevano in estrema miseria, oggi sono diventati tra i più ricchi del Paese. Tutti questi esempi mostrano che la rigenerazione ecologica sia partita sempre con la raccolta di acqua piovana. In un paese come l'India, che ricava tutta l'acqua a disposizione dai venti monsonici provenienti dall'Oceano Indiano, la maggior parte delle precipitazioni annuali è concentrata in sole 100 ore. Sebbene il popolo indiano sia stato storicamente tra i maggiori raccoglitori di acqua piovana (ci sono testimonianze archeologiche che risalgono a 5.000 anni fa), l'abbandono di queste pratiche virtuose lo ha messo in condizioni di scarsità d'acqua.

I leader politici indiani hanno incoraggiato l'investimento di massicce risorse finanziarie nel settore idrico per la costruzione di opere come le grandi dighe. In questo modo l'India ha creato poli di agricoltura ad alta produttività che, se potessero contare su una disponibilità idrica costante, sarebbero in grado di soddisfare i bisogni alimentari dell'intero paese. Di fatto però, gran parte dell'agricoltura del paese continua a dipendere dalle piogge e a essere instabile. Inoltre, le normative riprendono a modello gli indirizzi restrittivi della California.

Paesi Mediterranei

Nel bacino Mediterraneo le risorse idriche sono distribuite in modo non uniforme: il 72% è localizzato nel settore settentrionale (Spagna, Francia, Italia, Malta, Bosnia, Croazia, Slovenia, Albania e Grecia), il 23% nell'area orientale (Turchia, Cipro, Siria, Libano, Israele, Palestina, Giordania) e solo il 5% nel settore meridionale (Egitto, Libia, Tunisia, Algeria, Marocco).

Nel Mediterraneo orientale il riutilizzo delle acque reflue è praticato da tempo a causa della limitata disponibilità di acqua. Israele è stato il pioniere seguito da Tunisia, Cipro e Giordania.

Israele

Lo stato di Israele ha sempre considerato le acque reflue come parte del patrimonio idrico nazionale. Già nel 1970, esse costituivano il 10% delle risorse idriche totali. Ad oggi, Israele è il Paese al mondo che ricorre maggiormente al riutilizzo di acque reflue.

Il depuratore di Tel Aviv è costituito da un impianto a fanghi attivi e

da un sistema di lagunaggio. L'acqua in uscita dai campi di infiltrazione viene riutilizzata in agricoltura dopo essere stata disinfettata e successivamente mescolata con acque dolci. Per incentivare tale sistema il Governo sovvenziona il 40% dei costi di trattamento.

In generale la normativa israeliana adotta un approccio innovativo, basato sul concetto di barriera: si definisce una soglia di accettabilità delle acque reflue depurate, differenziata in funzione delle caratteristiche delle piante, dei metodi di irrigazione e delle tecniche di coltivazione, e si stabiliscono delle precauzioni (barriere) che rappresentino una misura sufficiente di protezione, senza la necessità di imporre vere e proprie prescrizioni.

Tunisia

La normativa tunisina regola l'irrigazione con acque depurate già dal 1975 (Water Code, n. 75-16 del 1975 seguita dal Decreto n. 89-1047 del 1989).

I criteri di qualità delle acque per il riutilizzo agricolo sono stati sviluppati sulla base delle linee guida FAO, della WHO (1989) e di altri standard tunisini sull'irrigazione.

In particolare, è vietata l'irrigazione di prodotti da consumare crudi; negli altri casi l'impiego è possibile previa autorizzazione dei Ministeri dell'agricoltura, ambiente e salute.

Giordania

Dagli anni '80, in Giordania è previsto il trattamento dei reflui e il riutilizzo delle acque depurate in agricoltura sia indirettamente, dopo l'immissione nei corpi idrici superficiali, sia per via diretta, dopo averle mescolate con acque pulite nell'irrigazione di colture non pregiate.

Nel 1995 la Giordania ha introdotto sulla base degli standard WHO del 1989 i primi riferimenti guida per il riuso delle acque, definendo i valori soglia per 47 costituenti e per sette diversi possibili usi.

Il Governo, per sopperire al continuo depauperamento della risorsa idrica, nella revisione della *strategia giordana per le risorse idriche del 1997* ha riconsiderato le posizioni più restrittive e favorito quanto più possibile il riutilizzo. Sono stati stabiliti quindi nuovi standard e, nel 2003, sono state approvate le modifiche apportate alla normativa del 1995. In particolare, sono stati diversificati gli standard delle acque riservate al riuso rispetto a quelli delle acque destinate allo scarico nell'ambiente.

Palestina

La Palestina ha una popolazione di circa 3.500.000 abitanti che vive in due aree geografiche, il *West Bank* (Gerusalemme) e la Striscia di Gaza. In entrambe le regioni l'acqua costituisce la risorsa naturale più preziosa. L'agricoltura è un settore economico importante e l'irrigazione in agricoltura rappresenta il settore che consuma più acqua rispetto a quello domestico ed industriale.

Nella Striscia di Gaza sono presenti tre impianti di depurazione e l'acqua trattata è principalmente scaricata nei bacini di infiltrazione presso l'impianto della città di Gaza.

Nel *West Bank* solo il 30-35% della popolazione è allacciato a reti fognarie. I cinque impianti di depurazione presenti risultano insufficienti a trattare il volume di acqua scaricato.

Il governo palestinese ha di recente elaborato disposizioni sugli standard per il riutilizzo delle acque reflue (*Environmental Quality Authority - EQA, 2001*). Sono stati stabiliti limiti massimi ammissibili per i parametri microbiologici, fisici e chimici nel caso di irrigazione non limitata (alberi, colture industriali e foraggiere, pascoli) e limitata (ortaggi, campi sportivi, parchi, giardini).

Marocco

La popolazione del Marocco è pari a 28,7 milioni di abitanti, di cui più del 50% vive in aree rurali. Il 92,2% delle risorse idriche è utilizzato in agricoltura. A causa dell'aumento della richiesta d'acqua e dell'estendersi di infrastrutture per l'irrigazione agricola, dovute all'incremento demografico, si registrano problemi di carenza d'acqua.

Inoltre, solo l'8% della quantità di acqua di scarico prodotta viene trattata.

Circa il 60% delle acque reflue viene scaricato in mare, il resto viene scaricato in acque dolci o riutilizzata per l'irrigazione. Infatti, l'acqua di scarico è considerata una risorsa alternativa di acqua e nutrienti, ampiamente riutilizzata senza alcuna misura precauzionale. Tuttavia nel 2002 i Ministeri delle infrastrutture e delle progettazioni hanno emanato una legge (N 1276-01) che stabilisce gli standard di qualità da rispettare per il riutilizzo in agricoltura.

Algeria

Le leggi algerine vietano tassativamente il riutilizzo di acque reflue per l'irrigazione di prodotti da consumare crudi, mentre consentono l'irrigazione di pascoli, alberi e prodotti da consumare cotti.

Inoltre le città con oltre 100.000 abitanti sono obbligate a trattare i loro effluenti mediante impianti di depurazione, mentre le aree con un numero inferiore di abitanti devono invece far stabilizzare le acque reflue in vasche di sedimentazione.

Turchia

La normativa per l'uso di acque reflue depurate in agricoltura prevede prescrizioni tecniche collegate alla Legge per il controllo dell'inquinamento idrico (*Water pollution control regulations*). Essa riporta, inoltre, criteri per la classificazione delle acque per l'irrigazione e i livelli massimi di concentrazione di metalli pesanti ed elementi tossici.

2.2 Aspetti normativi nei Paesi Europei

Molti governi hanno emanato norme sull'utilizzo agricolo delle acque di scarico, nel quadro delle politiche di controllo dell'inquinamento idrico e di gestione delle risorse naturali.

La consapevolezza dei rischi igienici connessi con l'impiego delle acque reflue, tenuto conto anche della loro mutata composizione per la presenza di detersivi e di metalli pesanti, ha suggerito molta cautela nel loro uso. Al fine di tutelare sia la salute degli operatori e dei consumatori sia la fertilità del terreno e l'integrità dell'ecosistema, sono stati fissati limiti per le sostanze inquinanti.

Le basi “storiche” di riferimento per le normative dei diversi Stati sono gli standard dell'*Environmental Protection Agency* (EPA) americana del 1992, ispirati ai riferimenti guida stabiliti in California nel 1933, e quelli – meno severi – pubblicati nel 1989 dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO). Tutte le normative emanate successivamente hanno in via prudenziale definito limiti sempre più restrittivi in materia di riutilizzo delle acque reflue.

In Europa, malgrado l'assenza di linee guida comunitarie, molti stati membri e regioni autonome hanno pubblicato i loro standard.

In generale, si nota un diverso approccio tra i Paesi nord-europei e quelli mediterranei. Infatti, molti Paesi del Nord Europa, pur avendo abbondanza di risorse idriche, considerano prioritaria la tutela della qualità delle acque e incoraggiano il riciclo delle acque specialmente nel settore industriale. Nei Paesi del Sud Europa il ricorso al riuso è piuttosto limitato, nonostante la disponibilità di nuove risorse idriche sarebbe in grado di produrre vantaggi considerevoli all'agricoltura.

Sebbene a livello comunitario non esista una regolamentazione univoca sul tema, sono state emanate alcune importanti direttive (91/271/CEE, 2000/60/CE e Decisione 2001/2455/CE). La 91/271/CEE (recepita a livello nazionale con D.L.vo 152/99) all'art. 12 sollecita gli Stati membri a prevedere il riuso ogni qual volta appaia appropriato. Inoltre, la Direttiva 2000/60/CE del 23 ottobre 2000 istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque. Con la Direttiva 91/271/CEE la Commissione della Comunità Europea ha dichiarato: “*i reflui trattati possono essere riutilizzati qualora risultino appropriati*” e “*I percorsi dello smaltimento devono ridurre al minimo gli effetti avversi per l'ambiente*”. Nel 1996, la Commissione Europea, per far fronte alla carenza legislativa in materia di riuso delle acque reflue, ha nominato una *Task Force* che coordinasse le varie azioni delle istituzioni europee e promuovesse il riciclo delle acque reflue mediante l'applicazione delle migliori tecniche disponibili. L'incentivazione al riuso deve avvenire in settori strategici come quelli agricolo e industriale, attraverso la definizione di standard di qualità delle acque, lo sviluppo di tecniche di depurazione e stoccaggio e la conduzione di campagne di informazione.

In accordo con l'attività della *Task Force*, diversi Paesi della Unione europea stanno conducendo studi epidemiologici, i cui risultati devono essere confrontati con le linee guida della WHO per contribuire all'armonizzazione delle regolamentazioni.

Alcuni Paesi come Francia, Spagna, Cipro e Italia hanno definito norme e linee guida per il riutilizzo in agricoltura,

Stati come Danimarca, Lussemburgo, Finlandia e Irlanda non hanno definito regolamenti e linee guida perché dispongono di ingenti volumi d'acqua. In Germania i criteri rigorosi previsti per la protezione delle acque non lasciano spazi al riutilizzo.

Francia

A partire dagli anni '90, lo sviluppo dell'irrigazione intensiva in contemporanea con il verificarsi di una sequenza di periodi siccitosi, hanno fatto emergere l'interesse per il riutilizzo dell'acqua.

Nel 1991 sono state emanate le "linee guida per il riuso di acque reflue trattate nelle zone irrigate a ortaggi e spazi verdi". Esse ricalcano le indicazioni WHO per la tutela della salute pubblica, aggiungendo restrizioni per le tecniche di irrigazione e imposizioni sulle distanze di sicurezza.

Le linee guida impongono un controllo rigoroso della qualità microbiologica e chimica dell'acqua riciclata.

Cipro

Lo Stato di Cipro ha regolato il tema del riutilizzo delle acque reflue a partire dagli anni '80, predisponendo un codice di pratiche tecniche per il riutilizzo delle acque reflue trattate provenienti da effluenti domestici. Nel 1987 sono state emanate linee guida che hanno fissato standard di qualità per il riutilizzo delle acque reflue ispirati alla proposta della WHO e alle norme fissate ad Engelberg.

La legge definisce per ciascun parametro due valori di riferimento per ogni classe di utilizzo dei reflui trattati. Inoltre, le linee guida stabiliscono le modalità di trattamento in base al tipo di riutilizzo e i metodi di irrigazione in rapporto alla tipologia delle piante (parchi, prati, alberi da frutta, ortaggi).

Germania

La Germania fa parte di quei Paesi nord-europei che non dispongono di una normativa specifica nel settore del riutilizzo delle acque reflue in quanto la carenza di risorse idriche non costituisce un reale problema.

Tuttavia, sono previsti piccoli incentivi economici per chi ricorre alla pratica del riutilizzo. Una legge impone ai costruttori edili la realizzazione di una doppia rete idrica in ogni edificio, (una per l'acqua potabile e l'altra per i servizi).

In alcune regioni si pratica la ricarica artificiale delle acque profonde, invece l'acqua superficiale è filtrata e utilizzata come acqua grezza per produrre acqua da bere.

In altre regioni sono state emesse normative relative al riutilizzo di acque piovane. Visti gli alti livelli di protezione imposti dal *Federal Water Act*, tale riutilizzo è possibile solo quando si ottengono reali vantaggi economici ed ambientali.

2.2.1 L'uso della risorsa idrica in Italia: il quadro normativo a livello regionale

L'Italia, sembra essere stata la prima nazione europea a dotarsi di norme sul riutilizzo delle acque depurate (Collivignarelli et al., 2007).

La L. 10 maggio 1976 n. 319 (Legge Merli) e, specificatamente, le norme tecniche dell'esercizio degli impianti di depurazione (Deliberazioni C.I.P.E. 4 febbraio 1977) sembrano incentivare l'utilizzo dei reflui in agricoltura, prevedendo piani di valorizzazione irrigua, ma in realtà lo rendono molto difficoltoso per l'esplicito riferimento alle rigide *"Norme tecniche [...] per la regolamentazione dello smaltimento dei liquami sul suolo e nel sottosuolo"* contenuto nella predetta Deliberazione.

Tali norme, infatti, escludevano la possibilità di un utilizzo irriguo indifferenziato delle acque civili di rifiuto che non avessero subito adeguati trattamenti di depurazione (primari e secondari) e di disinfezione.

In ottemperanza a quanto già previsto dalla Legge Merli per la tutela delle acque, è previsto che le Regioni si dotino di un Piano Regionale di Risanamento delle Acque (P.R.R.A.), ossia di uno strumento di pianificazione degli interventi di tutela delle acque stesse, di differenziazione e ottimizzazione dei gradi di protezione del territorio, di prevenzione dai rischi di inquinamento, di individuazione delle strutture tecnico – amministrative deputate alla gestione del disinquinamento. Il Piano di Tutela delle Acque (P.T.A.), disciplinato dall'art.44 del D.Lgs 152/99, costituisce lo strumento normativo, vincolante e tecnico operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le attività finalizzate alla conservazione difesa e valorizzazione delle risorse idriche. Più in dettaglio rappresenta lo strumento di pianificazione territoriale a scala di bacino idrografico per perseguire il raggiungimento degli obiettivi di qualità dei corpi idrici e la tutela qualitativa della risorsa. Contemporaneamente il PTA concorre a regolamentare l'uso della risorsa acqua temperando fabbisogno e disponibilità.

	PRRA	PTA
Val d'Aosta	Deliberazione 29.04.1981 n.201 Deliberazione 14.02.1983 n.91	Deliberazione 8.02.2006 n.1788/XII
Piemonte		Deliberazione n.23-13437 del 20 settembre 2004 Deliberazione n.28-2845 del 15 maggio 2006 DCR n.117-10731 del 13.03.2007
Lombardia	Leggi regionali 20.03.1980 n.32 e 26.11.1984 n.58	
Veneto		Delibera n.4453 del 29.12.2004 DGR n.2267 del 24.07.2007
Provincia autonoma Bolzano		Delibera n.3243 del 6.09.2004
Provincia autonoma Trento		Delibera n.3233 del 20.12.2004
Friuli	L.R. n.45 del 13.07.1981	
Liguria		Deliberazione n.1119 del 8.10.2004
Emilia Romagna		Deliberazione n.40 del 21.12.2005
Toscana		Deliberazione n.6 del 25.01.2005
Marche		Delibera n.302 del 29.02.2000
Umbria		
Lazio		Deliberazione n.319 del 15.03.2002
Campania		Delibera n.1220 del 6.07.2007
Calabria		Ordinanza Commissariale n.2150 del 13.01.2003
Basilicata		Riferimento alla normativa nazionale
Puglia		Delibera n.883 del 19.06.2007
Sardegna		Deliberazione n.14/16 del 4.04.2006

Tabella 1 - Quadro schematico delle delibere regionali di adozione PRRA e PTA

La Legge Merli e successive modificazioni ed integrazioni, è stata seguita dal Decreto interministeriale 12 giugno 2003 n. 185, che approva il Regolamento per il riutilizzo delle acque reflue domestiche, urbane ed industriali.

Tale Regolamento all'art. 12 prevede che il riutilizzo debba avvenire in condizioni di sicurezza ambientale, evitando alterazioni a ecosistemi, suolo e colture, e di sicurezza igienico-sanitaria per la popolazione esposta. Esso deve svolgersi altresì nel rispetto delle

vigenti disposizioni in materia di sanità e sicurezza e secondo le regole di buona prassi industriale e agricola.

Il Decreto fornisce la seguente definizione di riutilizzo (art. 2 lettera d): “impiego di acqua reflua recuperata di determinata qualità per specifica destinazione d'uso, per mezzo di una rete di distribuzione, in parziale o totale sostituzione di acqua superficiale o sotterranea.”

Le destinazioni possibili sono (art. 3):

- **uso irriguo** inteso come irrigazione sia di colture sia di aree a verde pubblico o destinate ad uso sportivo o ricreativo;
- **uso civile** inteso come lavaggio di strade, sistemi di raffreddamento-riscaldamento, reti duali di adduzione, separate da quelle di acqua potabile, impianti di scarico per i servizi igienici (unico uso diretto consentito negli edifici civili);
- **uso industriale** inteso come acqua per l'antincendio, di processo, di lavaggio e per i cicli termici dei processi industriali, escludendone usi che comportano un contatto con alimenti o prodotti farmaceutici e cosmetici. Nel caso di utilizzi industriali, inoltre, i requisiti di qualità per alcuni specifici impieghi possono essere concordati tra le parti (art.4).

È specificamente disposto che le acque reflue recuperate destinate al riutilizzo irriguo e civile devono possedere, all'uscita dell'impianto, requisiti di qualità chimico-fisici e microbiologici almeno pari a quelli riportati nella tabella allegata al decreto stesso.

È altresì previsto che:

- il riutilizzo delle acque reflue sia liberamente consentito, previo trattamento di recupero volto ad assicurare il rispetto dei requisiti di qualità (art. 4.2);
- la pianificazione delle attività di recupero delle acque reflue ai fini del riutilizzo sia affidata alle Regioni;
- le reti di distribuzione delle acque reflue recuperate siano separate e realizzate in modo da evitare rischi di contaminazione delle acque destinate al consumo umano; tali reti debbono essere contrassegnate e, se esposte a cielo aperto e anche se miscelate con acque di altra provenienza, debbono essere indicate con segnaletica verticale colorata e ben visibile;
- il riutilizzo irriguo delle acque reflue recuperate deve essere realizzato con modalità che assicurino il risparmio idrico e, comunque, subordinato al rispetto del codice di buona pratica agricola, di cui al decreto del Ministro per le Politiche Agricole e Forestali 14 aprile 1999 n. 86;
- l'acqua reflua recuperata è conferita dal titolare dell'impianto di recupero al titolare della rete di distribuzione, senza oneri a carico di quest'ultimo (art.12).

Le norme del Regolamento – e, in particolare, i vincoli indicati dall'allegata tabella – non hanno mancato di suscitare perplessità e sono stati considerati, da alcuni studiosi, ingiustificatamente rigorosi.

Il decreto legislativo 3 aprile 2006 n.152 recante “*norme in materia ambientale*”, prevede, in materia, che “*il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio con proprio decreto, sentiti i Ministri delle politiche agricole e forestali, della salute e delle attività produttive, detta le norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue. Le regioni, nel rispetto dei principi della legislazione statale, e sentita l'Autorità di vigilanza sulle risorse idriche e sui rifiuti, adottano norme e misure volte a favorire il riciclo dell'acqua e il riutilizzo delle acque reflue e depurate*”.

Per quanto finora noto, il decreto correttivo del DLgs n.152/2006, in corso di elaborazione, dovrebbe aggiungere, a quelle sopra riportate, le norme seguenti:

“- *In attesa di emanazione del suddetto decreto restano valide le disposizioni di cui al decreto del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio n.185 del 12 giugno 2003.*

- *Nelle norme e nelle misure regionali sono indicati in particolare:*

- a) le migliori tecniche disponibili per la progettazione e l'esecuzione delle infrastrutture nel rispetto delle norme tecniche generali emanate ai sensi del comma 1;*
- b) le modalità del coordinamento interregionale anche al fine di servire vasti bacini di utenza ove vi siano grandi impianti di depurazione di acque reflue;*
- c) incentivi e agevolazioni alle imprese che adottano impianti di riciclo o riutilizzo.”*

Il D.M. 2 maggio 2006 aggiunge alcune novità ai commi 1 e 2 relativamente ai compiti delle Regioni per i monitoraggi e alla definizione di alcuni limiti. Infatti, è demandato alle Regioni di stabilire, per ogni zona omogenea del proprio territorio, i parametri per i quali è obbligatorio effettuare il controllo ed il monitoraggio e di fissarne i limiti nel rispetto del decreto.

Relativamente ai requisiti di qualità delle acque suscettibili di riuso irriguo, la normativa italiana mantiene un atteggiamento prudentiale rispetto a quello più permissivo delle raccomandazioni fornite a livello internazionale da vari organi scientifici. Forte attenzione è posta al parametro microbiologico per il quale, ai fini della tutela della salute umana, sono stati definiti limiti molto cautelativi piuttosto che valutare il reale rischio di diffusione di eventi epidemiologici. In realtà in Regioni quali Sicilia, Emilia-Romagna e Puglia sono stati adottati successivamente standard meno rigidi rispetto alla norma nazionale, a metà via tra quelli del WHO e quelli californiani.

Il riutilizzo in Italia è finalizzato a ridurre il ricorso a risorse idriche destinate all'uso potabile e a garantire il minimo deflusso vitale nei corsi d'acqua. Vi è però un distinguo tra le motivazioni che spingono alla pratica del riutilizzo: nelle Regioni Meridionali il riutilizzo (prevalentemente ad uso irriguo) è motivato dalla necessità di sopperire alla carenza idrica, mentre al Nord, dove l'acqua è abbondante, è giustificato da esigenze di tutela ambientale (ad esempio inquinamento del fiume Po ed eutrofizzazione del mare Adriatico).

In Italia, il costo associato al riutilizzo delle acque reflue, soprattutto se provenienti da acquedotto, è maggiore rispetto, ad esempio, ai paesi in via di sviluppo, dove sono più elevati i costi per l'approvvigionamento idrico da fonti 'primarie' (Collivignarelli et al., 2007).

Provincia autonoma di Bolzano

La Provincia Autonoma di Bolzano, a statuto speciale, ha recepito il decreto legislativo n. 152/99 con la legge provinciale 18 giugno 2002, n. 8 "Disposizioni sulle acque". Uno degli obiettivi definiti in questa legge è l'individuazione di misure tese alla conservazione, al riciclo, al riutilizzo e al risparmio delle risorse idriche. In particolare, le norme relative al riciclo e riutilizzo dell'acqua sono definite dall'art. 37 della sopracitata legge provinciale.

Regione Veneto

Nel corso del biennio 2003-2004, ARPA Veneto ha provveduto a redigere la parte conoscitiva del Piano di Tutela delle Acque ed ha fornito alla Regione il supporto per la parte pianificatoria (misure di intervento, azioni, ecc.). Il Piano di Tutela è stato adottato dalla Giunta Regionale con deliberazione n. 4453 del 29/12/2004.

Per gli impianti di trattamento delle acque reflue urbane, con il supporto dei Dipartimenti e delle Amministrazioni Provinciali, è stato costruito un data-base contenente informazioni su: anagrafica, quadri autorizzativi, struttura, dati dimensionali, AE serviti civili ed industriali, sezioni e fasi di trattamento per linea acque e linea fanghi, smaltimento finale fanghi, eventuale riuso, trattamento conto terzi, tipo di fognatura, percentuale di refluo civile, industriale, di altra provenienza. Il data-base è stato ulteriormente implementato per costituire il quadro conoscitivo degli "agglomerati" sulla base delle informazioni disponibili nel Piano Regionale di Risanamento delle Acque" e dei Piani d'Ambito predisposti dalle AATO (Autorità di Ambito Territoriale Ottimale).

Regione Friuli Venezia Giulia

Il quadro delle infrastrutture igienico-sanitarie esistenti in Friuli Venezia Giulia presenta non poche incertezze. Ciò è dovuto anche ai ritardi nell'applicazione della Legge 36/94 relativa alla riorganizzazione dei servizi idrici (la relativa Legge Regionale 13/2005 è stata approvata solo il 23 giugno 2005), la cui applicazione necessariamente richiede la ricognizione delle infrastrutture esistenti sul territorio. La difficoltà di reperire dati complessivi aggiornati è stata sempre legata all'eccessiva frammentazione del sistema di gestione delle infrastrutture.

Nella Regione, i lavori di elaborazione del Piano di Tutela delle acque sono ancora in corso. In generale, per gli impianti di maggiore potenzialità è prevalsa finora la scelta dell'allontanamento dei reflui depurati a mare, tramite condotta sottomarina. Questo ha impedito soluzioni immediate di riutilizzo dei reflui stessi.

Regione Lombardia

Nella Regione Lombardia il riutilizzo delle acque è normato dal Regolamento Regionale n.5, approvato il 14 Marzo 2006 (attuazione dell'art. 52 della LR 26/2003), antecedente al Testo Unico Ambientale D.Lgs. 152/2006 e ai suoi decreti attuativi.

Al fine di valutare le potenzialità e le modalità di riuso in agricoltura delle acque reflue, nell'anno 2002-2003, la Regione ha realizzato la ricerca: "Criteri per l'utilizzo delle acque depurate". Il Piano di Tutela ha, peraltro, individuato 41 depuratori per i quali favorire il riuso dei reflui in agricoltura, avviando valutazioni puntuali sulla fattibilità tecnica ed economica degli interventi. Gli impianti segnalati come adatti al riuso industriale sono invece quattro.

Regione Emilia Romagna (RER)

La Regione ha predisposto il Piano di Tutela delle Acque, che, con un approccio integrato e multidisciplinare, prevede gli interventi sul territorio necessari per conseguire gli obiettivi di qualità dei corpi idrici e la tutela quali-quantitativa della risorsa idrica.

Con la Deliberazione della Giunta Regionale 30 dicembre 2004 n. 2773 "Primi indirizzi alle Province per la gestione e l'autorizzazione all'uso dei fanghi di depurazione in agricoltura", la RER ha provveduto ad emanare nuovi indirizzi alla

province sull'utilizzo dei fanghi di depurazione. Sono previste disposizioni, criteri tecnici e modalità relative a tutte le fasi della "filiera", dalla produzione del fango alla sua gestione ed all'applicazione sui terreni agricoli.

Con la Deliberazione della Giunta Regionale n. 1801 del 7 novembre 2005 "Integrazioni delle disposizioni in materia di gestione dei fanghi di depurazione in agricoltura" la RER ha provveduto ad integrare la precedente deliberazione della GR n. 2773/ 2004 introducendo ulteriori disposizioni ed orientamenti applicativi in merito alle seguenti tematiche: tempistica di adeguamento dei sistemi di stoccaggio dei fanghi di depurazione, semplificazioni nella gestione dei fanghi derivanti dal comparto agroalimentare e criteri operativi per i fanghi prodotti dagli impianti di depurazione delle acque di scarico che operano anche trattamento di rifiuti.

Regione Liguria

La Regione Liguria, conscia che il problema della risorsa idrica sul suo territorio non è dovuto ad una vera e propria carenza della stessa, ma alla sua difficile gestione, ha sempre cercato di privilegiare gli interventi che consentono un risparmio della risorsa idrica attraverso il riutilizzo, ove possibile, dei reflui ed il contenimento delle perdite di rete. Già nel 1982, il "Piano Regionale di Risanamento delle Acque della Regione Liguria", redatto ai sensi della ex legge 319/86 (Legge Merli), prevedeva la possibilità di recupero dei reflui della depurazione per usi industriali (uso dei reflui del depuratore di Genova-Valpolcevera da parte dell'Italsider). Attualmente la Regione sta predisponendo un piano di possibili riutilizzi dei reflui di depurazione. Successivamente, in prima attuazione della legge 36/84 (Legge Galli), la Regione Liguria, nella l.r. 43/95 "Competenze in materia di tutela e salvaguardia delle acque dall'inquinamento", ha dedicato tutto il capo II al Sistema Idrico Integrato. In particolare, nell'articolo 36 ha predisposto la disciplina di una serie di situazioni e di azioni che possono consentire il risparmio della risorsa idrica, attraverso l'ottimizzazione della gestione della stessa. Gli stessi argomenti sono riportati e meglio definiti al punto 4.4.I, "Obiettivi di sostenibilità, scenari, programmi d'azione e priorità per le acque superficiali e sotterranee", della proposta di "Piano di Tutela delle acque", adottato dalla Giunta della Regione Liguria nel gennaio 2005, ai sensi del Dlgs 152/99, e trasmesso al Consiglio regionale per l'approvazione.

Regione Toscana

La Regione Toscana ha al momento due strumenti che contribuiscono a delineare il quadro conoscitivo dello stato dell'ambiente e che individuano gli interventi da mettere in atto per garantire una "Strategia di azione ambientale per lo sviluppo sostenibile in Italia ed in Toscana":

- 1) Il Piano Regionale di Azione Ambientale (PRAA), previsto dal Piano Regionale di Sviluppo 2003-2005, che recepisce in un unico documento le indicazioni dei Piani approvati a livello internazionale, europeo e nazionale (Piano di azione di Johannesburg 2002, VI° Programma comunitario di azione in materia di ambiente e Strategia di azione ambientale per lo sviluppo sostenibile in Italia).
- 2) Il Piano di Tutela delle acque, strumento "direttore" del governo dell'acqua in Toscana a scala di bacino idrografico, che, attraverso il monitoraggio e il quadro conoscitivo dello stato attuale delle risorse idriche, individua le attività e le azioni di governo necessarie a raggiungere gli obiettivi quali - quantitativi prefissati.

Regione Marche

La Regione ha recepito il D.M. n. 185/03 con il Decreto n. 22/TAM del 23/12/2003: "D.Lgs.152/99 art.26 D.M. 12/06/03 n.185 art.5 – Adozione primo elenco di impianti di depurazione acque reflue il cui scarico deve conformarsi ai limiti di cui all'allegato al D.M. 12/06/03 n.185 ai fini del riutilizzo".

Regione Abruzzo

La Regione Abruzzo non ha ancora approvato il Piano di Tutela delle Acque e pertanto non è ancora dotato dello strumento fondamentale di programmazione per una gestione compatibile con gli usi della risorsa idrica stessa. Nella Regione sono presenti, in linea generale, impianti di depurazione di taglia medio-piccola, gestiti per la maggior parte dai gestori unici dei 6 ATO presenti sul territorio. Alcuni impianti sono ancora gestiti direttamente dalle amministrazioni comunali.

Per effetto della Delibera di Giunta Regionale n. 103 del 2004, dal mese di novembre 2004 è stata data completa attuazione ai controlli previsti dal D.Lgs. 152/99 per 93 dei 109 impianti di trattamento di acque reflue urbane con potenzialità effettiva superiore a 2000

A.E. Inoltre è stato individuato un primo elenco degli impianti di depurazione di acque reflue urbane destinate al riutilizzo, ai sensi dell'art. 5 del D.M.185/03.

La Regione non ha mai emanato direttive o leggi regionali in merito al riutilizzo dei fanghi.

Regione Molise

La legislazione regionale, con la *L.R. 3 febbraio 1999,n.5, "Norme di attuazione della legge 5 gennaio 1994,n.36. Disposizioni in materia di risorse idriche"*, ha promosso una politica generale di governo delle risorse idriche mirata alla loro tutela, riqualificazione e corretta utilizzazione; inoltre ha promosso la sistemazione, la conservazione e il recupero del suolo nei bacini idrografici, nonché il risparmio e l'uso plurimo delle risorse con priorità di soddisfare le esigenze idropotabili della popolazione. In adempienza a quanto disposto dalla normativa nazionale ha delimitato gli ambiti territoriali ottimali, che in realtà è uno unico, coincidente con l'intera superficie regionale.

Con la Direttiva Regionale n. 894 del 10/07/00, la Regione Molise ha definito, quali aree a specifica tutela, gli scarichi di acque reflue urbane in aree sensibili, nei corsi d'acqua ad essi afferenti per un tratto di 10 km dalla linea di massima demarcazione degli invasi, nonché gli scarichi dei Comuni di Campobasso e Bojano.

La Regione Molise non ha ancora redatto l'elenco degli impianti adatti al riutilizzo della risorsa idrica ai sensi dell'art. 5 del D.M. 185/03.

Regione Campania

Con la *Legge regionale 21 maggio 1997 n. 14, "Direttive per l'attuazione del servizio idrico integrato ai sensi della legge 05 gennaio 1994 n. 36"*, la Regione adotta programmi atti ad individuare il risparmio idrico. Sono istituiti e delimitati quattro *Ambiti Territoriali Ottimali (A.T.O.)* per la gestione del servizio idrico integrato secondo i criteri di efficienza, efficacia ed economicità.

La Legge regionale 7 maggio 1996 n. 11, *"Modifiche ed integrazioni alla Legge regionale 28.02.1987 n. 13, concernente la delega in materia di economia, bonifica montana e difesa del suolo"*, prevede vari interventi tra cui la realizzazione di altre opere pubbliche di bonifica montana a carattere infrastrutturale, connesse alla diffusione dell'irrigazione ed alla raccolta delle acque per uso plurimo.

Il Programma Operativo Regionale 2000-2006 parla al *punto 2 di "strategia di sviluppo"*, al *punto 2.2 di "strategie di interventi ed obiettivo globale del programma"*, e al punto 5 inserisce il *"miglioramento della qualità dell'ambiente"*, un aspetto importante che attiene al miglioramento della qualità delle acque e del risparmio idrico.

Regione Calabria

La Calabria promuove una politica generale di governo delle risorse idriche mirata alla loro tutela, riqualificazione e corretta utilizzazione. Fondata su principi di solidarietà e di reciprocità, anche con le Regioni vicine, intende assicurare l'equilibrio dei bacini idrici. A tal fine, con la L.R. 3 ottobre 1997 n. 10, "Norme in materia di valorizzazione e razionale utilizzazione delle risorse idriche e di tutela delle acque dall'inquinamento. Delimitazione degli Ambiti Territoriali Ottimali (ATO) per la gestione del Servizio Idrico Integrato", la Calabria disciplina le funzioni amministrative in materia di tutela delle acque dall'inquinamento e di valorizzazione delle risorse idriche. La Regione promuove la tutela e la valorizzazione delle risorse idriche loro sostenendo una utilizzazione secondo basata su criteri di razionalità e solidarietà. Intende così favorire il risparmio, il rinnovo e l'uso plurimo delle acque, con priorità per quello potabile, e, attraverso una organizzazione del territorio regionale che superi la frammentazione delle gestioni esistenti, promuove criteri di efficienza, efficacia ed economicità operanti.

Regione Basilicata

In adempimento a quanto sancito nella Legge Merli, a seguito di uno studio generale regionale, con la approvazione della Legge Regionale 17 gennaio 1994,n.3, "*Piano di risanamento delle acque, tutela uso e risanamento delle risorse idriche*", è stato lanciato un piano di risanamento che ha come obiettivo (art.2):

- la tutela della salute pubblica;
- il mantenimento e la restituzione ai corpi idrici delle caratteristiche quantitative;
- la tutela dell'acquifero sotterraneo in relazione alla sua utilizzazione idropotabile;
- il contenimento e la riduzione del fenomeno dell'eutrofizzazione;
- l'ottimizzazione tecnico – economica dei servizi pubblici di acquedotto, fognatura e depurazione.

La Legge Regionale 8 marzo 1999 n.7 dedica la Sezione VI all'inquinamento delle acque ed all'art. 48 individua le funzioni di competenza amministrativa della Regione.

La Legge Regionale 23 dicembre 1996 n. 63, *“Istituzione del Servizio Idrico Integrato. Delimitazione dell'unico Ambito Ottimale e disciplina delle forme e dei modi di cooperazione fra gli Enti locali”* promuove una politica generale di governo mirata alla tutela, riqualificazione e corretta utilizzazione delle risorse idriche, secondo principi di solidarietà e di reciprocità, anche con le Regioni limitrofe. Essa promuove, altresì, la sistemazione, la conservazione ed il recupero del suolo nei bacini idrografici, la salvaguardia delle aspettative e dei diritti delle generazioni future e il rinnovo e il risparmio delle risorse e l'uso plurimo delle stesse, con priorità di soddisfacimento delle esigenze idropotabili della popolazione. In tale ottica, è istituito (art. 2) un unico Ambito territoriale ottimale, i cui confini territoriali coincidono con quelli della Regione.

In data 5 agosto 1999, la Regione Basilicata, la Regione Puglia ed il Ministero dei Lavori Pubblici, in attuazione dell'art. 17 della Legge n. 36/94, hanno sottoscritto un Accordo di Programma con lo scopo di assicurare il trasferimento di risorse idriche tra le Regioni firmatarie. Con tale accordo le Regioni delineano le politiche di governo delle risorse idriche e gli indirizzi programmatici e si impegnano a proporre la sottoscrizione dell'intesa di programma anche alla Regione Campania.

Regione Puglia

Con la legge regionale n. 28/99, la Puglia, in attuazione della legge n. 36 del 1994 , delimita gli Ambiti Territoriali Ottimali. L'art. 2 dispone che l'ATO sia costituito dall'intero territorio regionale.

Il settore della depurazione è caratterizzato da una situazione ambientale idrica fortemente critica, per la quale è stato nominato il Commissario Delegato, nella persona del Presidente della Regione, operante dal 2000. A marzo 2003, l'Ordinanza che ha siglato l'Accordo di Programma tra Governo e Regione Puglia per la tutela delle acque ha aggiunto investimenti finanziari destinati a promuovere il risparmio idrico ed il riutilizzo di acque reflue depurate.

Nella Regione è stato redatto un *“Piano straordinario per il riuso delle acque reflue depurate”*, che, sulla base di uno studio condotto per la Regione Puglia su incarico del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, segue le indicazioni del D.M. 185/2003.

Nello studio si è considerato come criterio per il riuso non tanto il valore economico della risorsa recuperabile, quanto il beneficio del "non scarico".

Regione Sicilia

Dal 1999 il Presidente della Regione Siciliana è stato nominato Commissario Delegato per l’Emergenza dei Rifiuti e la Tutela delle Acque.

In molte aree della Sicilia la scarsità di risorse idriche da destinare all’irrigazione penalizza fortemente l’agricoltura. Le acque reflue depurate potrebbero contribuire ad aumentare la disponibilità idrica per l’uso irriguo, liberando risorse qualitativamente pregiate da destinare all’uso civile.

Nell’Allegato C dell’Accordo di Programma Quadro per il settore della Tutela delle Acque e Gestione Integrata delle Risorse Idriche sono definiti gli interventi di riutilizzo delle acque reflue depurate. Nel rispetto delle disposizioni delle direttive comunitarie e delle leggi nazionali e regionali, esso prevede tra i suoi obiettivi anche l’incentivazione al riutilizzo delle acque reflue.

Con Decreto n.68/TCI del 26.07.2002 il Commissario Delegato ha approvato interventi per il riutilizzo delle acque reflue depurate come interventi strategici ed infrastrutturali nel campo della tutela delle acque e delle risorse idriche. Tali interventi sono stati successivamente sottoposti a verifica di coerenza e di compatibilità con i progetti inseriti nei “Piani d’Ambito” già approvati.

Regione Sardegna

Lo Statuto della Regione Sardegna, approvato con Legge Costituzionale 26 febbraio 1948 n. 3 e modificato con L.C. 31 gennaio 2001 n. 2, annovera fra le sue funzioni la potestà legislativa nelle materie relative all’agricoltura e foreste, alle piccole bonifiche e alle opere di miglioramento agrario e fondiario, all’esercizio dei diritti demaniali della Regione sulle acque pubbliche, alle opere di grande e media bonifica e di trasformazione fondiaria (art. 3, lettere d ed l, art. 4, lettera c).

La L.R. 17 ottobre 1997 n. 29, *“Istituzione del servizio idrico integrato, individuazione e organizzazione degli ambiti territoriali ottimali in attuazione della Legge 5 gennaio 1994, n. 36”*, in attuazione della L. n. 36/94, disciplina l’istituzione, l’organizzazione

e la gestione del servizio idrico integrato, costituito dall'insieme dei servizi pubblici di captazione, adduzione e depurazione di acqua ad uso esclusivamente civile, di fognatura e di depurazione delle acque reflue,. La Regione esercita le funzioni di *programmazione*, di *pianificazione* e di *indirizzo* alle quali l'Autorità d'Ambito si attiene nello svolgimento dell'attività di sua competenza, e a quelli di controllo (art. 2).

La L.R. 19 luglio 2000 n. 14 istituisce, presso l'Assessorato della difesa dell'ambiente, il Centro di documentazione per la raccolta dei dati sulle caratteristiche dei bacini idrografici e la loro relativa elaborazione, gestione e diffusione.

2.3 Impiego irriguo delle acque depurate in Italia: considerazioni e riflessioni

Alla luce della normativa vigente si impongono alcune riflessioni circa le reali possibilità di impiego delle acque reflue per scopo irriguo.

Una buona parte degli impianti di depurazione oggi in funzione, per raggiungere gli standard richiesti per alcuni parametri (p.e. COD), dovrebbe inserire tecniche complementari e, al termine del ciclo, aggiungere tecniche di disinfezione che abbattano il contenuto di microrganismi indicatori come *Escherichia coli*. In mancanza di tali caratteristiche, il legislatore permette limiti maggiori al contenuto in *E. coli* solo nel caso in cui si adottino tecniche di fitodepurazione o lagunaggio.

Raggiunti gli standard di qualità richiesti, la legge prevede che il gestore dell'impianto programmi e garantisca lo scarico delle acque, incluse quelle trattate nel periodo invernale, e provveda quindi alla realizzazione di bacini di stoccaggio per permettere l'impiego di acque reflue quando l'agricoltura ne necessiti.

In alternativa, in base a normative più restrittive per parametri quali l'azoto, si può effettuare lo scarico in un corpo idrico superficiale. Tuttavia, questa pratica comporta costi aggiuntivi di trattamento per acque che poi si disperdono in mare.

Un altro aspetto da considerare è l'ubicazione degli impianti di depurazione che sono spesso realizzati lontano e a valle dei terreni che richiederebbero la loro acqua per scopi irrigui.

Gli oneri aggiuntivi legati al trasporto o al sollevamento dell'acqua depurata si sommano ai costi di produzione e diventano spesso insostenibili per l'impresa agricola. In questi casi, specialmente se il depuratore è posto in pianura, si potrebbe utilizzare lo scarico per un ravvenamento della falda superficiale. Ciò permetterebbe di ricreare la barriera naturale

all'intrusione marina nei corpi idrici sotterranei, problema riscontrabile fino ad alcune decine di chilometri dalla costa.

L'impiego irriguo delle acque reflue pone inoltre problemi anche di carattere agronomico.

Le normative vigenti prescrivono che le acque utilizzabili siano esenti dalla presenza di inquinanti minerali (metalli pesanti) ed organici.

Per quanto riguarda il contenuto di nutrienti è consentito l'impiego di acque che abbiano un contenuto di azoto maggiore rispetto ai limiti previsti per le normative sullo scarico in corpi idrici superficiali (35 mg/l, contro 15 mg/l), mentre per il fosforo il limite coincide (10 mg/l). Laddove si superino i limiti prescritti, il gestore dell'impianto depurativo è costretto ad usare tecniche e risorse energetiche per abbattere i contenuti di azoto e fosforo, mentre l'operatore agricolo, per motivi colturali, deve acquistare i nutrienti.

Sembra, pertanto, necessario prevedere la possibilità di una deroga ai limiti suddetti tenendo presenti le esigenze nutrizionali e produttive delle colture. In questo settore potrebbe, eventualmente intervenire direttamente la Regione.

La legislazione in materia di riutilizzo di acque reflue in agricoltura appare ancora legata a vecchi schemi che ignorano alcune tecniche naturali ampiamente sperimentate e meno consumatrici di energia.

La sperimentazione eseguita nel 2006 dal C.E.T.A. di Gorizia su "L'utilizzo irriguo di reflui civili fitodepurati su colture ortive (...)" giunge a queste conclusioni:

"I risultati emersi dalla sperimentazione confermano che la qualità dal punto di vista igienico sanitario delle colture irrigate con acque reflue, è funzione di molteplici variabili, quali: la tipologia della coltura, la modalità di irrigazione, la qualità dell'acqua irrigua, il carico microbiologico applicato, ecc. Probabilmente da questa incertezza è scaturita l'estrema cautela del legislatore nel fissare un limite che, in particolare per il parametro E.coli risulta essere molto restrittivo ai fini del riutilizzo delle acque reflue in irrigazione tanto da essere considerato da diversi autori come un ostacolo al riutilizzo diretto dei reflui stessi (Riganti, 2004; Nurizzo, 2000). (...) Numerosi sforzi dovranno essere ancora fatti dal mondo scientifico in modo da fornire le indicazioni necessarie al legislatore che potrebbero fornire un indirizzo per la definizione della qualità delle acque reflue ad uso irriguo, non come limite tabellare unico in termine assoluto di concentrazione, ma piuttosto in funzione, ad esempio, del tipo di coltura, del sistema di irrigazione, delle implicazioni agronomiche ad esse connesse."

3. Il riutilizzo irriguo delle acque reflue depurate mediante tecnica di fitodepurazione: casi di studio

In questa sezione vengono descritti alcuni esempi di progetti sperimentali di riutilizzo delle acque reflue “fitodepurate” sviluppati in Italia. L’attenzione è focalizzata su due impianti con caratteristiche e problematiche diverse realizzati in Sicilia e Toscana.

Il primo ad essere trattato è il caso studio di S.Michele di Ganzaria (Catania) che prevede il riutilizzo irriguo in agricoltura.

Il secondo caso studio riguarda un impianto realizzato in un’area di cava industriale, situata nella frazione di S.Carlo (Livorno), la cui finalità è l’irrigazione di fronti di cava dismessi oggetto di ripristini ambientali.

3.1 La fitodepurazione

I sistemi di fitodepurazione e lagunaggio sono definiti dalla normativa sistemi depurativi “naturali”.

In realtà, sono impianti artificiali progettati e costruiti secondo regole ingegneristiche che riproducono i processi autodepurativi caratteristici delle aree umide naturali.

I termini “naturale”, o a “ridotto impatto ambientale” sono usati per distinguere questi sistemi convenzionalmente applicati ai reflui urbani da quelli a biomassa sospesa e adesa (sito web ufficiale APAT).

I “Sistemi di depurazione naturale” includono svariate tecniche usate tradizionalmente per il trattamento di acque reflue come:

- Trattamenti secondari, dopo sedimentazione, di reflui di insediamenti civili (abitativi, ricreativi, ecc.), soprattutto in siti abitativi rurali dove non è possibile o è troppo costoso l’allacciamento a fognatura o in siti con popolazione fluttuante;
- Trattamenti terziari, a valle di impianti di depurazione di tipo civile o misto, soprattutto in funzione dell’abbattimento della carica batterica;
- Trattamenti secondari o terziari di reflui di provenienza industriale (esperienze europee su frantoi oleari, caseifici, industrie tessili, alimentari);
- Trattamenti di reflui di provenienza agricola.

In base alle necessità locali e al tipo di refluo da trattare, si possono distinguere varie tipologie di sistemi di depurazione a ridotto impatto ambientale:

- *Lagunaggio biologico* (stagni facoltativi, stagni aerati, stagni aerobici, stagni anaerobici). Sono bacini di accumulo in cui, in base al tempo di permanenza delle acque nelle vasche, si ottiene una riduzione degli inquinanti per processi biologici, sedimentazione, esposizione alla luce solare, evaporazione, ecc. Necessita di spazi molto ampi ed è diffuso soprattutto negli Stati Uniti. In Italia questo sistema ha trovato applicazione nel campo delle industrie di lavorazioni alimentari stagionali, come gli zuccherifici (Vismara et al., 2001). Può dare problemi di odori e di insetti (Masotti, 1993; Mara, 1996) ma è interessante il suo utilizzo per il finissaggio dei reflui già trattati da impianti di depurazione (CTN_AIM e ARPAT, 2005).
- *Ecosistema filtro*. Sistema efficace per l'abbattimento della carica batterica ai fini della balneazione. E' costituito da unità ecosistemiche diverse (specchi lentici, unità palustri, unità di prato umido, canali a corrente lenta) organizzate in modo da sviluppare capacità depurative elevate tra punto di emissione dello scarico di impianti di depurazione e corpo recettore. Ve ne sono esempi nella Val di Trebbia, in provincia di Piacenza (Bisogni e Malcevschi, 1996).
- *Impianto a Lemna*. Si tratta di un bacino di accumulo la cui superficie è interamente coperta da un manto di Lemna (*Lemna* sp., *Spirodela* sp., *Wolffia* sp.), la più piccola pianta galleggiante usata per il trattamento di depurazione di reflui. Essa induce la riduzione e la prevenzione della crescita algale, la stabilizzazione del pH, il miglioramento del processo di sedimentazione ed il consumo di nutrienti. Questa tipologia di trattamento è già da considerarsi una tecnica di fitodepurazione con macrofite galleggianti. E' un sistema la cui affidabilità è ben nota e la cui scelta è legata alla valutazione delle problematiche di gestione della biomassa vegetale di supero (CTN_AIM e ARPAT, 2005).
- *Fitomineralizzazione dei fanghi biologici*. Consiste nell'essiccamento e digestione dei fanghi biologici in vasche o bacini impermeabilizzati dotati di sistema di raccolta del percolato e muniti di un substrato granulare inerte in cui vengono impiantati rizomi di macrofite radicate emergenti. I fanghi, provenienti dalla vasca biologica, sono sparsi a strati uniformi sulla superficie dei letti, in modo da permettere la percolazione delle acque e l'ispessimento dei fanghi (atti convegno ISE_CNR, "Fitotrattamenti nella depurazione dei reflui civili", Pisa, 2006).
- *Fitodepurazione o "constructed wetlands"* (Zone Umide Artificiali).

➤ La fitodepurazione è un processo naturale che utilizza i vegetali come filtri biologici attivi in grado di ridurre gli inquinanti in esse presenti.

I trattamenti di fitodepurazione sono trattamenti biologici secondari e terziari, che sfruttano le capacità di autodepurazione degli ambienti acquatici e necessitano di un trattamento primario di sedimentazione, come una fossa Imhoff. (Tabella 2).

	TIPOLOGIA REFLUO
	scarichi civili
TRATTAMENTI SECONDARI	scarichi misti
E TERZIARI (o post-trattamenti)	scarichi industriali
	percolati di discarica
	acque di dilavamento di strade e autostrade

Tabella 2 - Applicazioni dei sistemi di depurazione naturale delle acque reflue a differenti tipologie di reflui.

La rimozione di nutrienti e batteri avviene ad opera degli stessi processi fisici, chimici e biologici dei fanghi attivi, per filtrazione, adsorbimento, assimilazione da parte degli organismi vegetali e degradazione batterica (Brix, 1993).

L'impianto di fitodepurazione è perciò un'alternativa alla depurazione tradizionale e comporta vantaggi di tipo economico (risparmio di energia elettrica e costi gestionali limitati) e ambientale (mire impatto sul paesaggio, eliminazione dei trattamenti di disinfezione).

Le zone umide artificiali sono classificate in base al tipo di macrofite utilizzate (galleggianti, radicate emergenti, radicate sommerse) e alle caratteristiche del cammino idraulico delle acque reflue in:

- SFS-h o HF: sistemi a flusso sommerso orizzontale. Sono vassoi riempiti con materiale inerte in cui i reflui scorrono in senso orizzontale, in condizioni di saturazione continua (reattori "plug-flow"); le essenze usate appartengono alle macrofite radicate emergenti.
- SFS-v o VF: sistemi a flusso sommerso verticale. Sono vassoi riempiti con materiale inerte dove i reflui scorrono in senso verticale, in condizioni di saturazione alternata (reattori "batch"); le essenze usate appartengono alle macrofite radicate emergenti.
- FWS: sistemi a flusso libero. Riproducono una zona palustre naturale dove l'acqua è a diretto contatto con l'atmosfera e generalmente poco profonda e le essenze vegetali inserite appartengono ai gruppi delle elofite e delle rizofite.

I sistemi a flusso sommerso, o impianti a flusso sub-superficiale SSF, sono dei bacini impermeabili riempiti con un substrato di materiale inerte in cui vengono piantumate macrofite radicate emergenti.

Sono progettati idraulicamente affinché il livello dell'acqua rimanga sempre al di sotto della superficie. La direzione del flusso può essere orizzontale oppure verticale.

I **Sistemi a Flusso Sommerso Orizzontale, HF o SFS-h**, (Figura 1) possono essere considerati direttamente derivati dalle tecnologie utilizzate negli impianti per colture idroponiche con il sistema GBH (Gravel Bed Hydroponics), realizzati per la produzione di specie ortive e floreali in cui, al posto del refluo, circola una soluzione ottenuta con sali (Rivoira, 2003).

Sono costituiti da vasche impermeabilizzate, riempite di materiale inerte con granulometria prescelta, in cui si fanno sviluppare le radici delle macrofite emergenti.

Il flusso d'acqua è mantenuto costantemente sotto la superficie da uno speciale dispositivo e crea un ambiente anossico ma ricco di micrositì aerobici sulle radici delle piante.

La varietà di condizioni redox rende il sistema estremamente elastico, versatile ed efficiente, a fronte di diverse tipologie di reflui da trattare e di variazioni del carico inquinante.

Il flusso di liquame scorre in senso orizzontale, lungo l'intero sistema. Il liquame deve essere alimentato in continuo, mantenendo il letto costantemente saturo.

Il fondo impermeabile deve essere caratterizzato da una lieve pendenza (non superiore all'1%), ottenuta inserendo uno strato di sabbia, necessaria a favorire il deflusso, al di sotto del manto di impermeabilizzazione.

Il materiale di riempimento e la rizosfera delle macrofite, costituendo un sistema a biomassa adesa, decompongono la materia organica per mezzo dell'azione dei microrganismi. Questi, sviluppatasi nella rizosfera, denitrificano l'azoto e fissano il fosforo ed i metalli pesanti per adsorbimento sul materiale di riempimento.

Inoltre, la parte emersa dell'apparato radicale e la porzione di suolo circostante svolgono un'azione di pompaggio dell'ossigeno atmosferico. Ciò comporta una migliore ossidazione del refluo e la creazione di una alternanza di zone aerobiche, anossiche ed anaerobiche, che favorisce lo sviluppo di diverse famiglie di microrganismi specializzati e la scomparsa pressoché totale di patogeni.

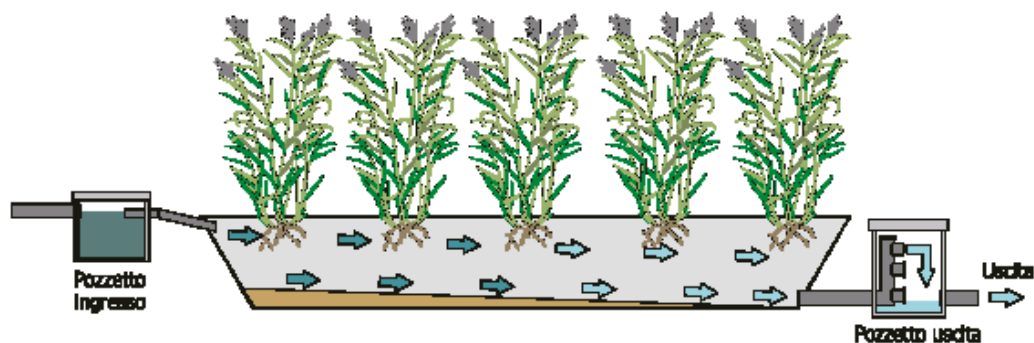


Figura 1 - Schema di un sistema a flusso sommerso orizzontale.

I **Sistemi a Flusso Sommerso Verticale, VF o SFS-v**, (Figura 2) si differenziano dai precedenti perché il refluo da trattare scorre verticalmente nel mezzo di riempimento (percolazione). Il refluo è immesso nelle vasche con carico alternato discontinuo (reattori “batch”).

I reattori “batch” sono spesso disposti su più vasche in parallelo. Queste permettono di regolare i tempi di riossigenazione del letto utilizzando il flusso alternato e variando, tramite pompe e dispositivi a sifone autoadescante, frequenza e quantità del carico idraulico in ingresso.

Le essenze utilizzate sono le stesse dei sistemi a flusso orizzontale (macrofite radicate emergenti), mentre il medium di riempimento è costituito da sabbie grossolane. Queste hanno un’adeguata conducibilità idraulica per una lenta filtrazione verticale e offrono un rapporto vantaggioso tra volume occupato e superficie totale disponibile per la biomassa adesa.

Questo sistema consente una notevole diffusione dell’ossigeno negli strati più profondi delle vasche e l’alternanza di periodi con condizioni fortemente ossidanti e con condizioni fortemente riducenti.

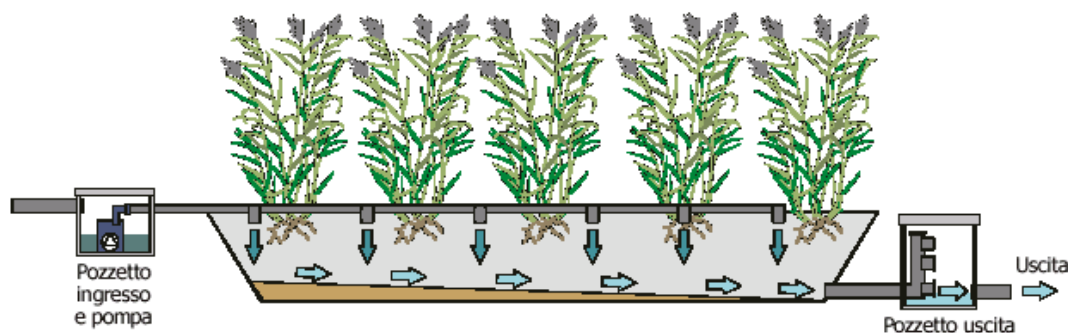


Figura 2 - Schema di un sistema a flusso sommerso verticale.

3.2 Il riutilizzo irriguo di acque reflue fito-depurate: alcuni esempi italiani

L'agricoltura è il settore che, in Italia, incide maggiormente sul bilancio dei consumi idrici (Megale, 1996). Il riutilizzo dei reflui depurati per l'irrigazione nel settore agricolo, permetterebbe quindi di ridurre notevolmente il consumo globale di acqua e consentirebbe di utilizzare le risorse idriche migliori ad usi potabili.

Tuttavia la possibilità di impiegare acque reflue depurate in agricoltura pone una serie di importanti problematiche relative agli aspetti agronomici, sanitari, normativi, ambientali ed economici (Gori, 1999):

- *Aspetti sanitari.* Attraverso i reflui possono essere contratte forme patologiche quali dissenterie, gastroenteriti, allergie, ecc. (EPA, 1992). Il riuso delle acque deve quindi essere preceduto dalla disinfezione. Si stabilire rendono necessari almeno tre obiettivi primari:

riduzione della carica microbica, controllo degli elementi chimici, limitazione dei possibili contatti del refluo con l'uomo (Cappelli, 2000).

- *Tipo di refluo.* Le acque reflue possono derivare da impianti di depurazione allestiti per smaltire scarichi prevalentemente cittadini (reflui urbani) o scarichi prevalentemente industriali (reflui industriali). Nella prospettiva di un impiego irriguo, sono certamente da preferire i reflui di tipo urbano. Rispetto all'acqua di falda, essi possono risultare sbilanciati per il contenuto in azoto (da cui deriva un certo potenziale fertilizzante), ma presentano comunque meno rischi di un refluo industriale, nel quale potranno invece essere presenti sali (cloruri, in particolare), metalli pesanti, inquinanti organici.

- *Tipo di irrigazione.* Da un punto di vista tecnico le tipologie di somministrazione idrica sono di solito connesse all'oggetto dell'irrigazione: prati ed aree aperte vengono irrigati per aspersione, mentre per arbusti e specie arboree è preferita l'irrigazione localizzata. Quando si utilizza acqua reflua possono subentrare considerazioni diverse. Nel caso in cui la concentrazione di alcune sostanze (es. sali) renda proibitiva l'erogazione per aspersione, l'irrigazione localizzata sembra rispondere meglio alla necessità di controllare la dispersione dell'acqua nell'ambiente (aerosol) ed evitare il contatto diretto con la vegetazione.

- *Scelta della specie.* In bibliografia non risultano evidenze specifiche che tutte, o gran parte, delle piante ornamentali possano essere irrigate con acque reflue ed, è comunque possibile affermare che la risposta delle piante sia molto variabile da specie a specie.

Di seguito sono citati alcuni casi di sperimentazioni realizzate con vario esito o tuttora in corso di progettazione.

Friuli Venezia Giulia

La sperimentazione è stata condotta nell'ambito del Progetto di Ricerca "*Ottimizzazione a fini irrigui delle qualità delle acque reflue per la salvaguardia della risorsa suolo e per l'utilizzo plurimo della risorsa acqua*" (1999) ed è durata complessivamente tre anni. Le prove sono state effettuate nel campo sperimentale allestito dal C.E.T.A. (Centro di Ecologia Teorica ed Applicata) presso il depuratore comunale di Gorizia dove, in collaborazione con l'Amministrazione Comunale, è stato in funzione dall'anno 1995 al 2003 un impianto pilota di fitodepurazione a flusso sub-superficiale verticale. Nell'anno 2004, in seguito a modifiche strutturali, l'impianto di fitodepurazione è stato sostituito. Le diverse caratteristiche costruttive dei due impianti hanno consentito di effettuare una serie di valutazioni circa le loro prestazioni.

La sperimentazione è stata eseguita durante tre cicli colturali: primavera-autunno 2003 (I ciclo), 2004 (II ciclo), 2005 (III ciclo).

Sono state effettuate prove di irrigazione su parcelle sperimentali di colture orticole (*Cucurbita pepo*, zucchini e *Apium graveolens* var. *rapaceum*, sedano rapa), utilizzando acque reflue urbane depurate ed acque reflue effluenti dalla fase di affinamento depurativo mediante fitodepurazione a flusso verticale.

In particolare, l'impianto di fitodepurazione è stato alimentato con le acque effluenti dal depuratore a fanghi attivi di Gorizia, utilizzate anche per l'irrigazione delle parcelle sperimentali.

Ai fini della discussione dei risultati sono stati presi in considerazione i

parametri considerati più significativi: COD (indicatore di inquinamento di origine organica), conducibilità elettrica (indice di salinità), *Escherichia coli* (parametro di interesse igienico sanitario quale indicatore di inquinamento di origine fecale), azoto e fosforo (parametri di interesse agronomico).

Sulla base dei parametri microbiologici le acque di scarico del depuratore vengono classificate tra quelle non adatte all'uso irriguo poiché dovrebbero essere distribuite con metodi idonei ad evitare il contatto con la vegetazione. L'ulteriore affinamento dello scarico mediante fitodepurazione consente il raggiungimento di una qualità idonea all'utilizzo irriguo.

Rimangono ferme le clausole che venga evitato il contatto con i prodotti destinati ad essere consumati crudi dall'uomo e che la distribuzione in zone distanti meno di 200 m da aree residenziali, strade, parchi, ecc. venga fatta con metodi pluvioirrigui e sospesa trenta giorni prima della raccolta.

Lombardia

Il progetto riguarda la valorizzazione a scopi irrigui della risorsa idrica presente presso il Consorzio di Bonifica Zerpano Adige Guà di San Bonifacio (Vr). Il depuratore comunale di San Bonifacio scarica le proprie acque nel collettore di bonifica denominato Palù, che presenta una portata naturale molto contenuta ed acque caratterizzate da una elevata carica batterica. A valle, il Palù confluisce con il collettore Zerpano (proveniente dall'omonima bonifica) che presenta acque di elevata qualità e idonee all'utilizzo agricolo.

L'obiettivo è stato quindi di depurare le acque del Palù al fine di possibile raggiungere una qualità idonea all'utilizzo irriguo e alla salvaguardia della qualità delle acque del collettore Zerpano.

E' stata proposta la realizzazione di un impianto di fitodepurazione delle acque del collettore Palù, con potenzialità di circa 200 l/sec, e l'utilizzo delle acque trattate in una rete di irrigazione. Questa soluzione consente di ridurre l'apporto inquinante e di salvaguardare la qualità delle acque del collettore Zerpano. L'impianto di fitodepurazione, nel suo complesso, si compone di due sezioni: la prima di fitodepurazione a flusso orizzontale, la seconda a flusso verticale. I lavori si sono conclusi nel 2007 e allo stato attuale l'impianto di fitodepurazione risulta in fase di avvio.

Emilia Romagna

L'impianto di depurazione di Ravenna, sorto ai margini del centro abitato, fu attivato nel 1983 con potenzialità di progetto pari a 60.000 abitanti equivalenti ed è stato progressivamente ampliato fino a raggiungere la potenzialità di 180.000 A.E.. Attualmente alcuni comparti sono già dimensionati per 240.000 A.E. (sollevamenti, reattori biologici). Le acque derivanti dalla produzione dei fanghi sono state convogliate all'ingresso del sistema di fitodepurazione, realizzato presso l'Azienda Sperimentale M. Marani.

Il progetto di "Intervento Sperimentale per la Depurazione e il Riutilizzo delle Acque reflue del Depuratore della città di Ravenna, per la salvaguardia delle zone umide del Parco del Delta

del Po”, (Progetto ISA), ha creato una zona in cui si alternano canali e aree agricole e si realizzano nel contempo fitodepurazione e ferti-irrigazione. ■

La superficie interessata è stata suddivisa in 12 appezzamenti, o moduli di coltivazione, destinati alle colture e separati da una canaletta adacquatrice. La larghezza dei moduli è stata dimensionata per consentire l’assorbimento dell’acqua per infiltrazione laterale.

Sono state scelte specie agrarie ad alto fabbisogno idrico, con cicli colturali ampi, destinate prevalentemente a consumi non alimentari - *no food* (nel 2003 kenaf, mais e foraggere). Le due specie fitodepuranti coltivate nelle canalette adacquatrici sono state canna e tifa.

Nella stagione 2003, l’acqua è stata analizzata dal laboratorio HERA di Ravenna immediatamente dopo il campionamento effettuato all’ ingresso, a metà percorso, ed all’ uscita.

Nella fase ottimizzata, il sistema ISA ha messo a disposizione delle coltivazioni, per via diretta (acqua evapotraspirata) o indiretta (acqua restituita di qualità migliorata), percentuali di *acqua utilizzabile* comprese fra il 52 ed il 64% dei volumi immessi. La restante porzione (circa 2500-3000 m³/ha) è stata utilizzata per caricare una falda sospesa superficiale e, solo in parte, a ricaricare la falda vera e propria. Lo studio del bilancio dei nutrienti (azoto e fosforo) ha permesso di appurare che i quantitativi di azoto per unità di superficie asportati dalle tiphe, nelle canalette fitodepuranti, è stato superiore a 1790 kg/ha. Al termine di un primo biennio di attività, le informazioni e conoscenze acquisite hanno permesso di considerare raggiunti gli obiettivi prefissati e conclusa positivamente la prima fase di collaudo del prototipo ISA.

Umbria

Nell’ambito del Progetto di Ricerca “*Ottimizzazione a fini irrigui delle qualità delle acque reflue per la salvaguardia della risorsa suolo e per l’utilizzo plurimo della risorsa acqua*” (1999), l’ARPA Umbria ha sviluppato un progetto per verificare l’utilità dell’impiego agronomico di reflui diversamente trattati.

In collaborazione con la Soc. Coop a r.l. CODEP di Passaggio di Bettona (PG), per tre anni consecutivi è stato predisposto un campo dimostrativo, suddiviso in tre parcelle coltivate a mais da insilato, che depura reflui suinicoli attraverso un processo di digestione anaerobica, centrifugazione e ossidazione biologica degli effluenti.

La ricerca si è proposta di verificare se un impianto di fitodepurazione a flusso verticale, posto a valle di un trattamento di digestione anaerobica e centrifugazione del refluo, riesca

a rimuovere nutrienti, sostanze carboniose, solidi sospesi e microrganismi patogeni in modo tale da rendere meno problematico l'utilizzo dell'effluente finale in agricoltura.

L'efficacia dei vari trattamenti è stata controllata utilizzando come parametri di riferimento la rimozione di COD, solidi sospesi, sostanze azotate e carica batterica. Contestualmente sono stati valutati gli effetti sulla produttività del mais e sulla qualità igienico-sanitaria del suolo, delle acque di infiltrazione e delle colture trattate con tali reflui.

Gli esami microbiologici effettuati sulle colture hanno evidenziato che i valori dei parametri tradizionali (*coliformi totali*, *coliformi fecali* e *streptococchi*) possono essere anche molto elevati. I risultati sulla presenza di patogeni più strettamente legati alle condizioni igienico-sanitarie per l'uomo sono però del tutto negativi. Il fenomeno è legato alla forte capacità di sopravvivenza, in ambiente esterno, di gruppi microbici presenti nelle complesse comunità dei *coliformi* e degli *streptococchi*.

Le particolari condizioni climatiche (lunghi periodi di insolazione) presenti durante il periodo di sperimentazione hanno probabilmente favorito la persistenza di coliformi e streptococchi ambientali, che le metodiche tradizionali non permettono di distinguere dalle forme più strettamente patogene - tra queste, per i coliformi, l'*Escherichia coli* è uno degli organismi più rappresentativi.

In generale, la fitodepurazione a flusso verticale ha consentito di raggiungere buoni rendimenti di rimozione degli inquinanti, ed in particolare di sostanza organica (intesa come COD), azoto ammoniacale e solidi sospesi. I nutrienti contenuti nei reflui in uscita dal depuratore CODEP e dal fitodepuratore sono sembrati sufficienti per le esigenze del mais.

Tuttavia l'utilizzo dei reflui in agricoltura ha comportato problemi igienico-sanitari, riconducibili a fluttuazioni accentuate nel corso dell'intera sperimentazione.

Sulla base dei dati ottenuti col processo sperimentale di lagunaggio, sembrerebbe opportuno adottare la tecnica proposta come finissaggio a valle del fitodepuratore, allo scopo di garantire la eliminazione degli organismi patogeni.

3.3 Il caso studio di S.Michele di Ganzaria (Ct)

Nel Meridione d'Italia esistono rilevanti fabbisogni idrici non soddisfatti a causa di vari fattori (aumento della domanda, peggioramento della qualità dei corpi idrici, cambiamenti climatici, vincoli ambientali). I periodi di siccità ricorrenti e il vertiginoso aumento della domanda civile hanno reso l'approvvigionamento idrico in campo agricolo sempre più

problematico. L'impiego di risorse idriche non convenzionali, come le acque reflue urbane depurate, risulta quindi indispensabile per superare la carenza di risorse idriche e rappresenta una delle poche alternative realizzabili nel breve periodo per fronteggiare i periodi di siccità (Barbagallo, 2001).

Da alcuni anni in Sicilia, come in altre regioni, per il riuso delle acque reflue in agricoltura sono in funzione sistemi di trattamento terziario di tipo estensivo (fitodepurazione a San Michele di Ganzaria - Ct e serbatoi di accumulo a Grammichele - Ct)

Nel 2001, nel comune di S.Michele di Ganzaria in provincia di Catania, è stato realizzato un impianto di fitodepurazione per il trattamento terziario, finalizzato al riutilizzo delle acque reflue urbane. L'indagine sperimentale è stata condotta nel periodo 2004-2006.

3.3.1 Descrizione dell'impianto

San Michele di Ganzaria è un centro agricolo, con una popolazione di 4500 abitanti, situato 90 km a Sud-Ovest di Catania. L'area è caratterizzata da un clima mediterraneo arido, con una concentrazione di piogge nella stagione invernale e una quasi totale assenza di precipitazioni nella stagione estiva (piovosità media pari a circa 500 mm/anno).

L'impianto di fitodepurazione a flusso sub superficiale orizzontale, ubicato ad una quota di 350 metri s.l.m., è stato realizzato a valle dell'impianto di depurazione comunale esistente, la cui linea acque è costituita da vasca Imhoff, filtro percolatore e sedimentazione secondaria. L'impianto fa parte di un più ampio progetto per il riuso agricolo degli effluenti trattati, da destinare all'irrigazione di colture arboree (in particolare ulivi), che interesserà una superficie di circa 150 Ha (ora prevalentemente coltivata a grano duro).

Il progetto prevede la realizzazione di quattro vasche a flusso subsuperficiale orizzontale, poste a due a due in parallelo e in serie, di due serbatoi per la regolazione e l'ulteriore affinamento dei liquami urbani e di una rete per la distribuzione delle acque reflue per l'irrigazione (Fig.3).

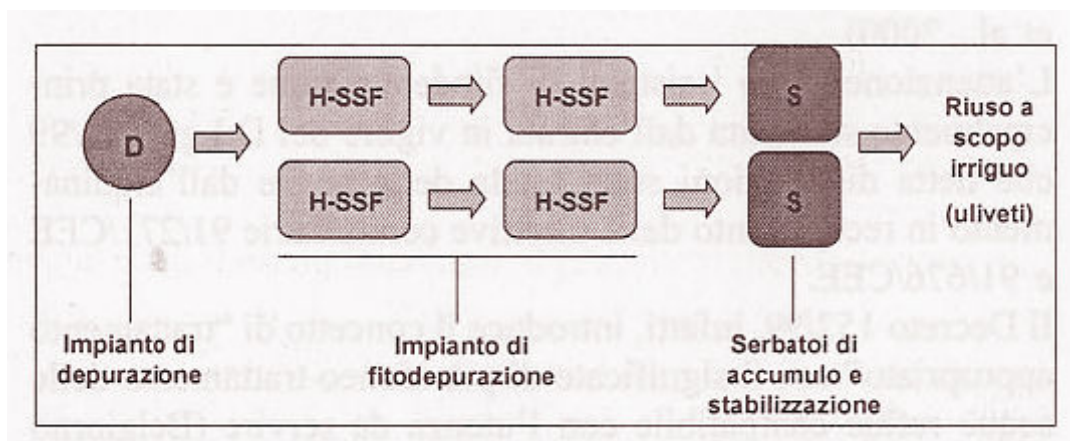


Figura 3 - Schema del sistema di trattamento e riuso di San Michele di Ganzaria.

Dal 2001 è in funzione uno dei quattro letti di fitodepurazione previsti. E' usato come trattamento terziario, a servizio di circa 1100 a.e., con una portata pari a circa 1,75 l/s (pari a 151,2 m³/giorno) e un tempo di detenzione nominale di circa 2 giorni.

Il trattamento primario e secondario avviene nell'impianto di depurazione esistente. Le acque vengono poi convogliate all'impianto di fitodepurazione mediante una condotta lunga circa 340 m, con circa 3 metri di dislivello tra l'imbocco e l'uscita.

Il letto di fitodepurazione ha una lunghezza di 78 m, una larghezza di 25 m e una superficie filtrante di 1950 m². Il fondo ha una pendenza di circa l'1% e, insieme alle sponde, è impermeabilizzato mediante una guaina bentonica dello spessore di 4 mm.

Il letto filtrante è costituito da pietrisco con dimensione granulometrica costante pari a 8-10 mm. Le acque reflue vengono immesse, in testa al letto di fitodepurazione, mediante una tubazione di distribuzione interrata del diametro di 200 mm. Essa presenta una serie di fori ed è posta trasversalmente alla direzione del flusso, così da permettere una omogenea distribuzione del refluo in tutta la sezione del letto. Attraverso un'analoga condotta trasversale forata, posta sul fondo del letto nella sua sezione terminale, le acque reflue vengono raccolte e convogliate al pozzetto di uscita.

Sul letto filtrante sono stati messi a dimora rizomi di *Phragmites* sp. (4 rizomi per m²), che hanno raggiunto un completo sviluppo in circa 8 mesi con un grado di copertura pari a circa il 100%.

3.3.2 Stato di funzionalità dell'impianto

Nel periodo 2004-2006, i Dipartimenti di Ingegneria Agraria e di Igiene e Sanità Pubblica dell'Università degli Studi di Catania hanno condotto un'indagine sperimentale sul riutilizzo degli effluenti dell'impianto di fitodepurazione (Consoli, Aiello, CSEI 2008).

Le acque reflue in uscita dall'impianto di fitodepurazione sono state utilizzate per l'irrigazione di colture di pomodoro, con differenti condizioni di copertura del suolo. E' stato realizzato un impianto di microirrigazione, composto da due sistemi in parallelo, ciascuno costituito da quattro settori, irrigati con acque reflue trattate; presso l'area in studio è stato installato anche un settore di controllo, irrigato con acque chiare.

Lo studio si è posto come obiettivi:

- valutare gli effetti dell'irrigazione con acque fito-depurate sulla qualità e le caratteristiche microbiologiche delle colture;
- determinare l'eventuale contaminazione microbiologica dei suoli irrigati con acque reflue;
- valutare i cambiamenti delle proprietà idrauliche e di trasporto del suolo a seguito dell'applicazione di acque reflue;
- valutare gli effetti dell'uso di acque reflue sulle prestazioni dei sistemi di irrigazione a goccia superficiale e subsuperficiale

Il monitoraggio dei sistemi di microirrigazione ha consentito di valutare gli effetti dell'uso delle acque reflue sull'uniformità di erogazione e sulla percentuale di riduzione della portata media. Il monitoraggio microbiologico è stato condotto valutando le concentrazioni di Coliformi totali, *E.coli* e Streptococchi fecali su porzioni rappresentative di campioni di prodotto e acque di lavaggio. E' stata poi valutata la presenza di Salmonella attraverso uno stato di pre-aricchimento e la creazione di una coltura inculo preparata e incubata a 36°C.

Il parametro Escherichia coli è risultato, per il 75% dei campioni analizzati, al di sotto della soglia dei 200 UFC/100ml, richiesta dalla normativa italiana per il riuso.

Solo per il 40% dei campioni analizzati l'*E.coli* è risultata al di sotto del limite di 50 UFC/100ml come richiesto dalla normativa italiana per l'80% dei campioni.

La contaminazione microbiologica del suolo è stata valutata su campioni prelevati a profondità compresa tra 0.1 e 0.4 m, in prossimità degli erogatori. Il rischio di contaminazione microbiologica decresce di circa 2 unità logaritmiche sui campioni di prodotto non a contatto con il suolo irrigato.

Le analisi su campioni di suolo hanno evidenziato un profilo di contaminazione microbiologica decrescente con la profondità. Gli streptococchi fecali sono risultati presenti in tutta la colonna di suolo analizzata con valori medi di concentrazione di circa 1.2×10^3 MPN/100ml. L'utilizzo di acque reflue fitodepurate ha alterato alcune caratteristiche fisiche del suolo (aumento della densità apparente). Inoltre, è stata riscontrata una riduzione della porosità del suolo che ha determinato una conseguente decrescita della permeabilità.

Durante le fasi di raccolta sono state valutate anche le caratteristiche di produzione MTY (produzione totale vendibile in t/ha), MW (peso medio della bacca in g) e N-MTY (produzione di scarto, piante/m²) e le loro variazioni in funzione dell'uso di film pacciamante rispetto a suolo nudo e in relazione alla tipologia di acqua utilizzata per l'irrigazione delle colture.

I risultati di questa prima sperimentazione hanno portato i ricercatori a concludere che risulta necessaria una normativa specifica che disciplini la massima concentrazione ammissibile di microrganismi su prodotti agricoli da consumarsi freschi.

3.4 Il caso studio di S.Carlo (Li)

“In Toscana non ci sono numerosissime esperienze di riuso delle acque reflue depurate, soprattutto in agricoltura. Una delle non molte esperienze è quella dell'area tessile pratese ed è anche la più significativa. Infatti già da molti anni è stato realizzato un acquedotto industriale che distribuisce acqua proveniente dal depuratore di Baciacavallo alle industrie idroesigenti dell'area tessile, acqua che contribuisce a diminuire il prelievo dalla falda e che soddisfa qualitativamente le esigenze delle industrie di finissaggio (tintorie e rifiniture) del territorio. Nel distribuire acqua proveniente dai processi depurativi, si deve, ovviamente, tenere sotto controllo il livello di concentrazione delle sostanze pericolose, cosa che avviene attraverso particolari processi di affinamento dei reflui, prima della loro immissione nelle reti distributive. In Toscana bisognerà incentivare il riutilizzo delle acque depurate non solo nell'industria, ma soprattutto in agricoltura. Naturalmente il settore su cui puntare in primis è quello florovivaistico, anche se si incontrano ancora resistenze, non sempre giustificate, da parte di molti operatori del settore”¹.

La Regione Toscana è stata una delle prime regioni italiane a sviluppare i sistemi di fitodepurazione come trattamento secondario e terziario di reflui civili. Tuttavia, nella quasi totalità dei casi non è previsto un riutilizzo irriguo delle acque depurate.

¹ (Marco Mazzoni, 2008).

S.Carlo è una frazione del comune di San Vincenzo, in provincia di Livorno, che ospita una cava estrattiva di calcare di proprietà della Società Solvay Chimica.

In prossimità dell'area di cava è presente un depuratore a fanghi attivi di vecchia concezione, che tratta i reflui civili della frazione.

L'impianto di fitodepurazione è stato realizzato a valle del depuratore esistente come trattamento di affinamento dei reflui e successivo riutilizzo irriguo sui fronti di cava dismessi in cui è stato effettuato ripristino ambientale.

3.4.1 Descrizione dell'impianto

Il sistema di fitodepurazione utilizza una quota parte dell'effluente del depuratore della frazione di San Carlo. In uscita dal sistema di fitodepurazione le acque vengono accumulate in un serbatoio interrato.

Attualmente, i reflui civili prodotti dalla Frazione di San Carlo sono trattati in un impianto a fanghi attivi.



Figura 4 – Impianto a fanghi attivi esistente

Le portate medie giornaliere trattate dal depuratore esistente variano tra 20-30 m³/giorno nel periodo invernale e 100 m³/giorno nel periodo estivo. L'area di intervento è compresa tra una zona con alberi di alto fusto a Sud, che la separa dall'abitato di San Carlo, e la teleferica a Nord.



Figura 5 - Area di realizzazione impianto e ripristino ambientale a inizio lavori.

L'area di intervento è caratterizzata da un clima classificabile come litoraneo - sublitoraneo temperato. Le massime portate fluviali si registrano solitamente a febbraio, in concomitanza con la maggior disponibilità di risorsa, che si verifica quando la perdita per evapotraspirazione (ET) è minima (fra gennaio e febbraio). L'aumento della ET nella fase primaverile riduce la quantità di acqua disponibile ed il deflusso, che raggiunge il suo minimo ad agosto, (circa un mese dopo le piogge). La successiva fase (fine estate – inizio autunno), è contraddistinta da importanti precipitazioni che raggiungono il massimo a ottobre-novembre. Buona parte delle piogge viene utilizzata dal processo di ET e dalla ricostituzione della riserva idrica, depauperata nella fase secca estiva. La quota restante dà origine al deflusso superficiale, che torna gradualmente a crescere parallelamente alla Disponibilità Idrica (DI). La ricarica degli acquiferi profondi dovrebbe verificarsi nel periodo che va da novembre ad aprile, quando la DI è maggiore dei deflussi.

In media si hanno precipitazioni annue totali maggiori di 900 mm, con due picchi mensili massimi, uno autunnale a novembre (117 mm) ed uno nel mese di dicembre (94 mm). Il picco minimo è stato registrato a luglio (23 mm).

Nell'area circostante la Cava di S.Carlo troviamo una macchia mediterranea ben strutturata mentre, nel lato verso l'abitato, la vegetazione di macchia degrada in modo considerevole.

A Sud troviamo una piccola striscia di pineta, che separa l'area d'intervento dalle abitazioni di S.Carlo. Le acque reflue in ingresso al depuratore sono di natura civile o assimilabile a civile.



Figura 6 - Panoramica dell'area oggetto di intervento nella fase progettuale.

Il refluo in ingresso al sistema di fitodepurazione è stato caratterizzato sulla base dei dati disponibili relativi ai campionamenti effettuati sull'effluente del depuratore a fanghi attivi esistente, come riportato in seguito.

Caratteristiche dell'effluente del depuratore esistente			
Concentrazioni medie (mg/l)		Concentrazioni massime (mg/l)	
COD	99	COD	281
NH ₄	16	NH ₄	67
NO ₃	12	NO ₃	20
SST	75	SST	268

Tabella 3 – Caratteristiche dell'effluente del depuratore esistente

I dati di progetto utilizzati sono i seguenti:

PARAMETRI		Unità di misura
Numero di abitanti equivalenti post-trattati giornalmente (con riferimento al carico idraulico)	150	a.e.
Temperatura di progetto	12	°C
Portata giornaliera	30	m ³ /d
Concentrazione carico organico in ingresso come COD	211	mg/l
Concentrazione Azoto Ammoniacale in ingresso (N-NH ₄)	67	mg/l
Concentrazione Nitrati in ingresso	20	mg/l
Concentrazione Solidi Sospesi Totali in ingresso	150	mg/l
Escherichia Coli	10 ⁴	UFC/100ml

Tabella 4 – Dati di progetto del sistema di fitodepurazione

Il sistema prescelto è del tipo multistadio. Prevede un primo stadio a flusso sommerso orizzontale (SFS-h) ed un secondo stadio a flusso sommerso verticale (SFS-v), entrambi costituiti da due vasche in parallelo. L'effluente del sistema viene accumulato in un serbatoio interrato, disponibile per il riutilizzo nell'irrigazione (irrigazione a goccia di alberi e arbusti). E' previsto lo scarico del troppo pieno del serbatoio in un fosso adiacente all'area dell'impianto, nello stesso punto in cui scarica il depuratore esistente.

Sulla base dell'esperienza maturata in Italia sui sistemi di fitodepurazione (si veda il database del Gruppo italiano dell'IWA sull'uso delle macrofite per il trattamento delle acque, www.iridra.com), il modello migliore per i sistemi a flusso sommerso orizzontale si è rivelato quello di Reed, Crites & Middlebrooks. Esso è stato quindi utilizzato per la previsione dei rendimenti del primo stadio a flusso sommerso orizzontale.

Lo stadio a flusso sommerso verticale è stato dimensionato facendo ricorso alla metodologia EPA (1993) e alle linee guida di progettazione suggerite dai seguenti autori: Reed, Crites, Middlebrooks (1995), Cooper et al (1996), Brix (1997), Kadlec e Knight (1996), Platzer (1999), Lienard et al (1998), Vymazal et al. (1998), ATV (1997).

Il dimensionamento dei bacini ha tenuto conto dei seguenti fattori:

- tipologia vegetale e, quindi, altezza utile dello strato filtrante;
- caratteristiche del mezzo filtrante (porosità, dipendente dalla granulometria media);
- temperatura di riferimento e, conseguentemente, parametri delle cinetiche di reazione;
- concentrazioni di BOD₅ e del carico microbico in ingresso ed in uscita;
- pendenze medie dei bacini, scelte in funzione della porosità del mezzo e della lunghezza del bacino, in misura tale da non produrre dislivelli superiori a 30-50 cm (1-2%) sulla lunghezza del bacino, nel senso del flusso (per i sistemi a flusso sommerso orizzontale).

Le concentrazioni di ingresso sono state assunte, molto cautelativamente, pari ai valori massimi osservati nei campionamenti a nostra disposizione. Solamente nel caso dei solidi sospesi si è assunta una concentrazione minore, dato che il sistema di derivazione delle acque previsto evita che eventuali fughe di fanghi raggiungano l'impianto di fitodepurazione.

Concentrazioni massime di dimensionamento (mg/l)	
COD	280
NH ₄	67
NO ₃	20
SST	150

Tabella 5 – Valori massimi di concentrazione dell'effluente del depuratore esistente, assunti cautelativamente alla base del dimensionamento del sistema di riutilizzo

I parametri utilizzati per il dimensionamento della configurazione impiantistica ipotizzata sono riportati nella seguente tabella:

PARAMETRI DI CALCOLO IMPIANTO DI FITODEPURAZIONE DI PROGETTO		Unità di misura
Profondità media dei letti a flusso verticale (VF)	0.90	<i>m</i>
Profondità media dei letti a flusso orizzontale (HF)	0.70	<i>m</i>
Pendenza del fondo dei letti a flusso sommerso (HF)	1	<i>%</i>
Porosità del medium nei sistemi HF (n)	0.35	<i>Ghiaia 5-10 mm</i>
Conducibilità idraulica teorica sistemi HF (ks)	500	<i>m³/m² d</i>
Concentrazione in uscita (obiettivi di depurazione) come BOD ₅	< 10	<i>mg/l</i>
Concentrazione in uscita (obiettivi di depurazione) come N- NH ₄	< 2	<i>mg/l</i>

Tabella 6 – Parametri di calcolo per il sistema di fitodepurazione

Lo schema dell'impianto è il seguente:

- derivazione dalla linea di scarico dell'impianto esistente della portata giornaliera da trattare (30 m³/giorno, tramite n°2 pompe centrifughe sommerse, funzionanti una di scorta all'altra e collocate in vasca interrata) e alimentazione in pressione del sistema;
- pozzetto ripartitore per la distribuzione del refluo nelle due linee in parallelo;
- stadio di fitodepurazione a flusso sommerso orizzontale, costituito da due vasche uguali e funzionanti in parallelo (dimensioni della singola vasca 16 x 10 m);
- pozzetti di regolazione livello;
- pozzetti ripartitori;
- sifoni per l'alimentazione del secondo stadio del sistema;
- stadio di fitodepurazione a flusso sommerso verticale, costituito da due vasche uguali e ciascuna alimentata da una delle due vasche a flusso orizzontale (dimensioni della singola vasca 6 x 21 m);
- accumulo dell'effluente delle due vasche in serbatoio interrato (volume utile 30 m³);
- riutilizzo delle acque depurate per l'irrigazione;
- tubazione per l'eventuale scarico del troppo pieno del serbatoio di accumulo in un fosso campestre adiacente

Il primo stadio consiste in 2 vasche a flusso sommerso orizzontale (SFS-h) uguali e poste in parallelo, ciascuna con le seguenti caratteristiche:

Altezza media pelo libero	0.7 m
Pendenza dei letti	1 %
Porosità del materiale di riempimento (ghiaia Ø 8-	0.35
Conducibilità idraulica (K_s)	500 m/d
Area superficiale totale	160 m ²
Profondità media dei letti	0.8 m
Altezza iniziale riempimento del letto	0.75 m
Altezza finale riempimento del letto	0.85 m
Lunghezza fondo vasca	10 m
Larghezza fondo vasca	16 m

Tabella 7 – Caratteristiche tecniche delle vasche di fitodepurazione SFS-h (1° stadio)

Il 2° stadio dell'impianto è costituito da due vasche a flusso sommerso verticale (sistema SFS-v) poste in parallelo. Le due vasche sono uguali e hanno, ciascuna, le seguenti caratteristiche:

Pendenza dei letti	1 %
Area utile superficiale totale	126
Profondità media riempimento del letto	0.90
Lunghezza fondo vasca	6 m
Larghezza fondo vasca	21 m

Tabella 8 – Caratteristiche tecniche delle vasche di fitodepurazione SFS-v (2° stadio)



Figura 7 – Fasi di realizzazione vasche a flusso orizzontale



Figura 8 – Particolari di vasca a flusso verticale e stazione di sollevamento



Figura 9 – Vasche a flusso verticale prima dell'inserimento delle specie vegetali (giugno 2008)



Figura 10 – Vasche a flusso orizzontale a lavori ultimati (luglio 2008)



Figura 11 – Vasche a flusso verticale a lavori ultimati (luglio 2008)

Solo una piccola parte dell'area è interessata dal sistema di fitodepurazione. La restante superficie è stata sottoposta a un intervento di ripristino ambientale, seguito a massicci riporti di terreno che ne hanno alterata la morfologia e, soprattutto, compromesso la copertura a verde.

Gli interventi sono stati i seguenti:

- riprofilatura delle scarpate esistenti, togliendo il terreno in sito in modo da ottenere declivi più morbidi ed in generale mai superiori a 30°; per le operazioni successive il terreno è stato quindi accatastato in cantiere e riutilizzato, assieme a quello scavato per la formazione delle vasche di fitodepurazione;
- movimentazione planoaltimetrica su tutta la superficie superiore dell'area oggetto di ripristino e creazione di piccole collinette di altezze variabili tra 0,5 m e 1,5 m, poste ai due lati della strada di accesso all'impianto tramite il riporto dei terreni;
- risagomatura dell'impluvio compreso tra l'area alberata di separazione dal centro abitato e l'area di intervento è stato tramite l'intervento di riprofilatura delle scarpate e la realizzazione di una palizzata posta alla base della scarpata riprofilata; la palizzata ha la funzione di limitare fenomeni erosivi che si potrebbero instaurare in occasione di eventi meteorici particolarmente intensi;
- inserimento delle essenze vegetali.

Le piante utilizzate per il ripristino della vegetazione sono tutte specie autoctone appartenenti alla macchia mediterranea.

NOME COMUNE	NOME LATINO
Erica arborea	<i>Erica arborea</i>
Ginestra odorosa	<i>Spartium junceum</i>
Olivastro (olivo selvatico)	<i>Olea europea</i>
Corbezzolo	<i>Arbutus unedo</i>
Ginepro rosso	<i>Juniperus oxycedrus</i>
Ginepro licio	<i>Juniperus phoenicea</i>
Mirto	<i>Myrtus communis</i>
Ilastro	<i>Phylirea latifolia</i>
Rosmarino	<i>Rosmarinus officinalis</i>
Euforbia arborea	<i>Euphorbia dendroides</i>
Leccio	<i>Quercus ilex</i>

Tabella 9 – Specie vegetali utilizzate nel ripristino ambientale



Figura 12 – Area sottoposta a ripristino ambientale e strada di accesso all’impianto



Figura 13 – Area sottoposta a ripristino ambientale (luglio 2008)

Conclusioni

La depurazione delle acque attraverso tecniche dette fitodepurazione, lagunaggio o aeree umide artificiali sono conosciute da sempre ed utilizzate sin dall'antichità per la piscicoltura in Cina, Sicilia e Grecia.

In epoca moderna il primo caso conosciuto di fitodepurazione lo troviamo nella città di San Antonio (Texas, USA) che dal 1901 è dotata di un bacino di 275 ettari, tuttora funzionante. A partire dagli anni venti la fitodepurazione viene comunemente ed efficacemente utilizzata negli Stati Uniti d'America, in Canada, in Australia ed in Svezia. Inizialmente, la costruzione di bacini senza una progettazione adeguata comportò ad alcuni inconvenienti – oggi superati – quali cattivi odori e zanzare.

L'attuale crisi economica e la rinnovata presa di coscienza del rapporto dell'uomo con il territorio, concorrono a far scoprire le potenzialità delle ecotecnologie nella soluzione dei problemi di “metabolismo urbano”.

La gestione dei rifiuti e la depurazione delle acque reflue costituisce uno dei più pressanti problemi e costi che gli abitanti delle città, come anche delle piccole comunità rurali, devono affrontare.

A questi problemi si aggiunge la progressiva impermeabilizzazione dei suoli che incrementa notevolmente il pericolo di alluvioni, piene ed esondazioni, in momenti in cui la capacità di carico (o meglio di evacuazione) dei sistemi fognari è in generale largamente superata.

La fitodepurazione, il lagunaggio e le aree umide artificiali o ricostruite sono tecnologie in rapida esattamente diffusione proprio perché contribuiscono alla soluzione di questi problemi.

L'uso di queste tecniche fornisce un importante contributo alla problematica della depurazione delle acque reflue per i seguenti motivi:

- costo d'impianto inferiore a quello di un impianto tradizionale,
- abbattimento del carico microbico;
- affidabilità, adattamento alle variazioni di carico e facilità di gestione;
- consumo ridotto o nullo di energia;
- uso delle acque in uscita per la ferti-irrigazione e per l'irrigazione delle colture, in particolar modo nel periodo estivo che presenta il massimo carico di turisti e la massima necessità di acqua in agricoltura;

- possibilità di valorizzare la biomassa algale sia del fitoplancton (ad esempio nell'acquacoltura) sia delle macrofite (ad esempio produzione di "carta alga");
- uso dei bacini come casse di espansione fluviale, per ridurre il rischio di esondazione;
- incremento del valore e delle funzioni ambientali dell'area.

In Italia l'uso agricolo di acqua a scopi irrigui è in assoluto il più alto d'Europa e corrisponde a circa il 60% del bilancio complessivo...

L'agricoltura costituisce quindi il comparto su cui è più importante intervenire per poter conseguire un sensibile risparmio idrico. Di particolare rilievo risulta anche la promozione e lo sviluppo di ulteriori attività di sperimentazione.

L'esperienza di chi si è misurato nel settore degli impianti di fitodepurazione fa ritenere che, nonostante la definizione stessa preveda che i processi depurativi si riproducano in ambiente controllato, non sia di fatto possibile che tutte le fasi di trattamento si mantengano costantemente entro le condizioni stabilite. L'area umida, infatti, è un ecosistema molto complesso in cui talvolta si sviluppano fenomeni difficilmente prevedibili.

È necessario quindi adattarsi alla natura piuttosto che piegarla alle nostre esigenze, aiutandola a collaborare con l'uomo nel difficile processo di risanamento del nostro ambiente.

Bibliografia

Angelakis et al., *Wastewater recycling and reuse practices in Mediterranean region: recommended guidelines*.

APAT Tavolo tecnico interagenziale, 2006: *Gestione sostenibile delle risorse idriche*.

Benvenuti, Bodo et al., *Attività di ARPA Umbria per la gestione e utilizzazione agronomica dei reflui*, ARPA Umbria, Dip. Perugia.

Berbenni e Antonelli, 2007: *Vincoli di qualità delle acque per l'uso agricolo*, Politecnico di Milano, DIIAR, Sezione Ambientale.

Bolognino, 2007: 34° giornata di studio di ingegneria sanitaria-ambientale: *Possibilità di recupero di acque provenienti dal servizio idrico integrato a fini irrigui*, Cremona, 29-30 ottobre.

Borin, *Richiesta ed utilizzo dell'acqua in funzione delle colture*, Università di Padova.

Cingolani et al., 1999: *Valutazione di un processo di fitodepurazione a flusso verticale per il riutilizzo di acque reflue zootecniche in agricoltura*, ARPA Umbria, Dip. Perugia.

Cirelli, 2003: *I trattamenti estensivi delle acque reflue urbane per l'uso agricolo*, Seminario GRU.S.I.-C.N.R.

Cirelli e Barbagallo, 2002: *Future perspectives of wastewater reuse in Italy. Proceedings of AEAS-EUREAU*, Seminar on Water Reuse in the European Union, Madrid, 6-7 giugno.

Cirelli et al., 2008, Atti Seminario: *La fitodepurazione per il trattamento ed il riuso delle acque reflue dei piccoli e medi insediamenti*, Catania, CSEI, 6-7 marzo.

Collivignarelli et al., 2008: *L'ottimizzazione del servizio di depurazione delle acque di scarico urbane: massimizzazione dei recuperi di risorsa (acque e fanghi) e riduzione dei consumi energetici*, Università degli studi di Brescia e APAT, maggio.

Collivignarelli et al., 2007: *Riutilizzo delle acque reflue aggiornamento normativo*, IA volume XXXVI n.1-2, gen-feb.

Colombino et al., 2003: *Aspetti economici e normativi connessi al riuso delle acque reflue*, Palermo, novembre.

D.M. 12 giugno 2003 n. 185: *Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue in attuazione dell'articolo 26, comma 2, del Decreto Legislativo 11 maggio 1999, n. 152*.

EPA, 1993: *Constructed wetlands for wastewater treatment and wildlife habitat*, settembre.

FAO, 1992: *Wastewater treatment and use in agriculture*, FAO Irrigation and Drainage, paper n. 47.

Fiorletti, 2007: *Il riutilizzo della risorsa idrica: il quadro conoscitivo elaborato da APAT con le ARPA/APPA*, Cremona, 29-30 ottobre.

INEA, 1999: *I principali criteri di classificazione di qualità dei corpi idrici superficiali e delle acque utilizzate in ambito agricolo*, Programma operativo multiregionale. Quaderni Irrigazione.

Juanico, 1996: *The performance of batch stabilization reservoirs for wastewater treatment, storage and reuse in Israel*, Water Science and Technology, Vol. 33, n. 10-11.

Juanico, 2003: *Wastewater reservoirs*, in "Pond treatment technology", IWA Publishing.

Lazarova et al., 2001: *Role of water reuse for enhancing water management in Europe and Mediterranean countries*, Water Sci. & Tech., 43 (10), 25-33.

Lazarova et al., 2002: *Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing*, in IWA Regional Symposium on Water Recycling in Mediterranean Region, Greece, 26-29 settembre.

Masotti e Verlicchi, 2006: *Affinamento dell'effluente finale del depuratore generale delle acque reflue della città di Ferrara e suo scarico nel Po Grande*, Rapporto finale, Università di Ferrara, Dip. Ingegneria.

Migliardi et al., *L'utilizzo irriguo di reflui civili su colture ortive: aspetti igienico-sanitari ed agronomici. Risultanze delle ricerche in campo sperimentale*. CETA, Gorizia.

Nicese, *Possibilità di impiego di acque reflue per l'irrigazione di aree verdi*, Università di Firenze, Dip. Ortoflorofrutticoltura, Sesto Fiorentino (FI).

Nurizzo, 2000: *Considerazioni sul riuso irriguo degli effluenti depurati in Italia*, Atti convegno "Il riuso delle acque reflue", Pistoia, 14 dicembre.

Pucci et al., 2007: *Realizzazione di un sistema di fitodepurazione e ripristino paesaggistico nella frazione di San Carlo*, Relazione tecnica, Progetto definitivo.

Pucci B., 2000 : *La fitodepurazione per il trattamento delle acque reflue civili ed il loro riuso*. Atti del convegno "Il riuso delle acque reflue: l'esperienza pilota di Pistoia nel settore vivaistico", Pistoia, 14 dicembre.

Pucci B., Masi F., Conte G., Martinuzzi N., Bresciani R., 2005: *Linee Guida per la progettazione e gestione di zone umide artificiali per la depurazione dei reflui civili*. APAT CTN_AIM e ARPAT, Firenze 15 settembre.

Riganti, 2004: *Il riutilizzo delle acque reflue in Italia e all'estero: aggiornamento normativo*, Università di Pavia e Università dell'Insubria.

Tchobanoglous, 2002: *Reuse of treated wastewater from decentralized systems*, in IWA Regional Symposium on Water Recycling in Mediterranean Region, Greece, 26-29 settembre.

Tiddia e Zaccolo, 1997: *Risorse idriche non convenzionali: difficoltà di applicazione al territorio italiano*, ricerca Hydrocontrol finanziata dal MURST.

Toscana, 2006: *I trattamenti delle acque reflue urbane per scopo agricolo: esperienze in Sicilia*, Università di Catania, Facoltà di Agraria, ottobre.

Trevisiol, IUAV-DP: *Reti fognarie ed impianti di depurazione, vincoli ed opportunità del ricorso alla fitodepurazione e sue alternative per il riuso*, Gruppo di lavoro 5, relazione iniziale.

Vecchiet et al., 2004: *Valorizzazione della risorsa idrica a scopi irrigui: l'impianto di fitodepurazione presso il Consorzio di bonifica Zerpano Adige Guà di S. Bonifacio (VR)*, CETA, Trieste.

Vianello e Zamboni, *La normativa sull'utilizzo delle acque reflue in agricoltura*, Università di Bologna, Dip. Scienze e Tecnologie Ambientali.

WHO, 1989: *Health guidelines for use of wastewater in agriculture and aquaculture*, World Health Organization, Technical Report Series 778, Ginevra.

Siti internet visitati

<http://www.ambiente.it>
<http://www.ambientediritto.it>
<http://www.apat.gov.it/>
<http://www.area.pi.cnr.it/ICT/acque/>
<http://www.arpat.toscana.it/>
<http://www.bosettiegatti.com/info/norme/statali/>
<http://www.econotizie.it>
<http://www.eea.eu.int/>
<http://europa.eu.int/eur-lex/>
<http://www.filodiritto.com/>
<http://www.fitodepurazione.it>
<http://www.fitodepurazionevis.it>
<http://www.governo.it/>
<http://inquinamento.com/>
<http://www.iridra.com/>
<http://www.iwra.siu.edu/>
<http://www.lemnatechnologies.com>
<http://www.lifetrebbia.it>
<http://www.medwet.org>
<http://www.minambiente.it/>
<http://www.primapagina.regione.toscana.it>
<http://www.rtis.com/>
<http://www.swamp-eu.org>
<http://utenti.quipo.it/consorziobiotecne/>

<http://www.teatronaturale.it/articolo/3879.html>
<http://www.isnp.it/Verona%202006/>
<http://www.consorziocer.it/>
http://www.greencrossitalia.it/ita/acqua/risorse_acqua/
<http://www.acquadiprimapioggia.it/>
<http://www.ermesambiente.it/acque/>
<http://www.greenreport.it/common/area.php?lista=ACQUA>