

VALUTAZIONE DI UN PROCESSO DI FITODEPURAZIONE A FLUSSO VERTICALE PER IL RIUTILIZZO DI ACQUE REFLUE ZOOTECHNICHE IN AGRICOLTURA¹

Linda Cingolani, Giacomo Bodo, Carlo Graziani, Stefano Ortica, Nicola Neri

Dipartimento Provinciale di Perugia, ARPA Umbria Via Pievaiola – loc. San Sisto – 06132 Perugia Tel.: 075/515961 – Fax 075/51596354 E-mail: arpa@arpa.umbria.it

Riassunto

E' stata valutata la capacità depurativa di un fitodepuratore a flusso verticale, posto in serie ad un processo anaerobico di depurazione consortile di reflui suinicoli in un comprensorio della provincia di Perugia. Il progetto ha verificato l'utilità, anche ai fini del risparmio idrico, dell'impiego agronomico del refluo diversamente trattato. L'efficacia dei vari trattamenti è stata controllata utilizzando come parametri la rimozione di COD, solidi sospesi, sostanze azotate e carica batterica. Contestualmente si sono valutati gli effetti sulla produttività del mais irrigato con tali reflui e sulla qualità igienico-sanitaria del suolo, delle acque di infiltrazione e delle colture trattate.

Parole chiave: fitodepuratore, reflui suinicoli, lisimetri, azoto, COD, carica microbica, acqua, suolo.

Abstract

Assessment of a vertical-flow constructed wetland for pig manure reclamation in agriculture

Aim of the work is to evaluate depurative efficiency of a vertical-flow constructed wetland, located down from an anaerobic process treating pig manure in a district of Umbria. The project verified the effectiveness, also in terms of water saving, of the agronomic use of the different effluents as regards COD, suspended solids, nitrogen and bacteria removal. The effects on maize growing, irrigated with such effluents, were also evaluated, as well as the soil hygienic quality, through investigations on infiltrated waters and crops.

Key words: constructed wetlands, pig manure, lysimeters, nitrogen-COD- microbial removal, water, soil.

Introduzione

Il D.M. 12 giugno 2003, n.185, relativo al riutilizzo delle acque reflue in attuazione dell'art. 26, comma 2, del D.Lgs. 152/99, ha come obiettivo la tutela qualitativa e quantitativa delle risorse idriche, che si concretizza nel limitare il prelievo delle acque superficiali e profonde, ridurre l'impatto degli scarichi sui corpi idrici recettori e favorire il risparmio idrico mediante l'utilizzo plurimo delle acque reflue medesime.

In particolare il riutilizzo delle acque reflue zootecniche in agricoltura, deve avvenire in condizioni di sicurezza ambientale, evitando alterazioni agli ecosistemi, al suolo ed alle colture agrarie, nonché garantire la tutela della popolazione esposta da possibili rischi igienico-sanitari. Dovranno essere rispettate, di conseguenza, le disposizioni vigenti in materia di sanità e sicurezza e di buona pratica agricola.

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

La ricerca si propone di verificare se un impianto di fitodepurazione a flusso verticale, posto a valle di un trattamento di digestione anaerobica e successiva centrifugazione del refluo, riesca a rimuovere nutrienti, sostanze carboniose, solidi sospesi e microrganismi patogeni in modo significativo, tale da rendere l'utilizzo dell'effluente finale in agricoltura meno problematico. Nel presente lavoro si è ritenuto opportuno esporre i dati e i risultati acquisiti nel terzo ed ultimo anno di sperimentazione, in quanto proprio in tale periodo di

¹ 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" - Impiego del Fondo speciale per lo sviluppo della ricerca di interesse strategico. (Art. 51, comma 9, della 27 dicembre 1997, n.449). Anno 1999. D.M. 10/5/2000 - Risorse Idriche – Cofinanziamento MiUR- MiPAF

osservazione, a seguito della stabilizzazione del processo fitodepurativo, si sono ottenuti i migliori risultati di efficienza depurativa.

Materiali e metodi

Impianto di fitodepurazione a flusso verticale

È stato realizzato un impianto di fitodepurazione a flusso verticale destinato al trattamento del refluo in uscita dall'impianto di depurazione primario (depurazione anaerobica ed aerobica).

Lo schema dell'impianto progettato dal CETA, Centro di Ecologia Teorica ed Applicata di Trieste, si compone delle seguenti sezioni di trattamento, poste in serie:

- *Vasca di calma ed equalizzazione delle portate.*
- *Trattamento biologico di ossidazione mediante fitodepurazione a flusso verticale.*
- *Vasca di accumulo del refluo fitodepurato.*

Sezione 1: Vasca di calma ed equalizzazione delle portate

Sulla base del monitoraggio disponibile della qualità dell'effluente dall'impianto di depurazione CODEP, si è evidenziato che esso presenta una notevole fluttuazione dei valori relativi al carico organico. Pertanto al fine di equalizzare i carichi organici in ingresso all'impianto di fitodepurazione si è ravvisata l'esigenza di interporre tra il punto di scarico e la sezione di trattamento biologico, una vasca di accumulo ed equalizzazione.

La vasca di accumulo ha lo specifico compito di eliminare le variazioni di carico inquinante influente all'impianto di fitodepurazione, permettendo l'alimentazione ed il funzionamento a portate e carichi costanti. Essa favorisce inoltre i processi di sedimentazione dei solidi sospesi presenti. Infatti, sulla base di determinazioni analitiche sui reflui in oggetto, è stato possibile dimostrare come la rimozione di parte dei solidi sospesi, porti ad un significativo abbattimento del COD.

Sezione 2: Trattamento biologico di ossidazione mediante fitodepurazione a flusso verticale

Nel trattamento biologico mediante fitodepurazione, l'affinamento del refluo avviene grazie all'azione delle colonie batteriche adese e sviluppate sotto forma di pellicola biologica sulla superficie del substrato, nonché sulle radici della vegetazione presente.

Il substrato è costituito da materiale inerte di granulometria diversa e decrescente dalla base verso l'alto.

La distribuzione dell'effluente avviene al di sotto della superficie dell'impianto (sub superficiale) evitando emissioni odorigene, in particolare ammoniacali. La modalità di alimentazione è discontinua, ovvero a periodi di carico seguono periodi di pausa, creando così un ambiente aerobico. Ciò consente l'instaurarsi di una ricca popolazione batterica, eterotrofa, in grado di ossidare e metabolizzare la sostanza organica e di nitrificare l'azoto presente sotto forma ammoniacale.

Il dimensionamento dell'impianto è stato stimato in funzione della permeabilità dei materiali di riempimento del letto filtrante e del carico organico superficiale applicato. Sulla base delle concentrazioni di COD presenti nel refluo in uscita dall'impianto di depurazione CODEP si è assunto un carico idraulico superficiale - C_{is} pari a $0,043 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{g}$ che corrisponde a $43 \text{ mm}^3/\text{m}^2/\text{g}$.

La superficie della sezione è risultata pari a:

$$A = Qg / C_{is} = 76 \text{ m}^2$$

dove:

A = superficie della sezione di fitodepurazione (m^2)

Qg = portata di progetto pari a $3,2 \text{ m}^3/\text{g}$

C_{is} = Carico idraulico superficiale pari a $0,043 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{g}$

Sulla base del C_{is} la superficie utile dell'impianto è pari a 76 m^2 , con un volume pari a circa 108 m^3 ed una porosità del substrato assunta in 25% circa.

La sezione di fitodepurazione è costituita da una vasca realizzata in scavo con dimensioni pari a $13,0 \times 6,0$. L'altezza dello scavo è pari a $2,0 \text{ m}$, con pendenze delle scarpate laterali pari a 1:2 (base:altezza). Le dimensioni del fondo vasca sono, pertanto, pari a $11,0 \times 4,0$.

A completamento delle opere di scavo, la vasca di fitodepurazione è stata impermeabilizzata mediante la posa in opera di una geomembrana realizzata in PEAD protetta, a sua volta, da una guaina di geotessile non tessuto agugliato, a filo continuo in polipropilene.

Successivamente all'impermeabilizzazione sono state poste in opera le tubazioni di arrivo e di scarico del refluo, collegate al telo impermeabilizzante mediante flange passatelo sempre in PEAD. Si è provveduto, quindi, alla posa in opera del sistema drenante, costituito da tubi fessurati in PEAD del diametro di 75 mm, al fine di intercettare le acque di percolazione ed avviarle al pozzetto di alimentazione ovvero al pozzetto di scarico.

Il sistema di collettamento dei reflui è stato connesso a pozzetti in conglomerato cementizio prefabbricato.

La vasca di fitodepurazione così attrezzata, è stata successivamente riempita con materiale inerte di granulometria decrescente dal basso verso l'alto, avendo cura di distribuire in superficie un substrato composto da terreno vegetale (20%) miscelato a ghiaia e sabbia.

A riempimento ultimato, sul letto di fitodepurazione sono state stese tubazioni forate in PEAD per l'alimentazione e distribuzione del refluo.

La distribuzione del refluo a pressione è stata garantita da pompe sommergibili di alimentazione, alloggiare nei pozzetti di collettamento del refluo.

Tutte le opere elettro meccaniche dell'impianto sono state controllate e comandate da un quadro automatizzato, provvisto di temporizzatori di pausa lavoro, in modo da consentire l'adduzione discontinua del refluo.

A completamento dell'impianto di fitodepurazione sono stati messi a dimora rizomi di canna comune (*Arundo donax*) prelevati in loco e, pertanto, idonei alle condizioni pedoclimatiche del sito (figura 1).

Sezione3: Vasca di accumulo del refluo fitodepurato

Date le contenute portate, trattate nell'impianto sperimentale di fitodepurazione e pari a 3,2 m³/giorno e, data l'esigenza di provvedere alla fertirrigazione delle parcelle sperimentali con turnazione pari a 10 giorni circa., si è reso necessario provvedere allo stoccaggio del refluo trattato per il periodo indicato. A tal fine si è utilizzata una vasca esistente presso il depuratore CODEP della capacità di circa 32 m³.

Campo sperimentale

È stato allestito un campo sperimentale composto da tre parcelle della superficie di 280 m² ciascuna (la parcella R irrigata con acque reflue depurate, la parcella F irrigata con acque reflue depurate e successivamente fitodepurate e la parcella P irrigata con acqua di pozzo) coltivate a mais da insilato classe FAO 600. La prova è stata ripetuta per tre anni con lo stesso protocollo sperimentale e gestione agronomica. Durante il periodo autunno-vernino il terreno è stato lasciato a riposo.

Il suolo (Calcaric Fluvisols) presenta caratteristiche chimico-fisiche abbastanza uniformi sia all'interno della parcella che tra le parcelle. Con tessitura equilibrata e abbondanti quantitativi della frazione limosa calcarea, ha una struttura poliedrica subangolare e moderato grado di aggregazione, bassa permeabilità, reazione subalcalina e un complesso di scambio equilibrato nei cationi alcalini ed alcalino-terrosi. Risulta privo di sali solubili in eccesso. Qualche disformità si evidenzia per i contenuti in macro e micronutrienti. (Piccini et al, 2006; Delicato et al, 2006).

Le parcelle R ed F non hanno subito concimazioni apportando soltanto i nutrienti (in particolare azoto) presenti nei reflui distribuiti. Sulla parcella P (testimone) è stata effettuata una concimazione secondo le pratiche comuni della zona, ovvero distribuendo 244 kg ha⁻¹ di azoto e 180 kg ha⁻¹ di fosforo.

La tabella 1 riassume gli interventi agronomici effettuati sulle parcelle nei tre anni di sperimentazione.

Tabella 1: Scheda Agronomica

Parcelle	R	P	F
Coltura	Mais da insilato Classe 600	Mais da insilato Classe 600	Mais da insilato Classe 600
Piante n-m ²	6	6	6
<i>Concimazione pre-semine: fosfato biammonico</i>			
N kg ha ⁻¹	0	72	0
P ₂ O ₅ Kg ha ⁻¹	0	184	0
<i>Concimazione in copertura: urea</i>			
N kg ha ⁻¹	0	172	0
<i>Diserbo: Isoxaflutole 10% Flufenacet 48%</i>			
kg ha ⁻¹	0,750	0,750	0,750

L'irrigazione è stata eseguita avvalendosi di un'ala piovana di 34 metri di apertura, con un sistema di apporto delle acque direttamente a livello della superficie del suolo (Figura 2) posizionata su corsie appositamente create tra le parcelle, in modo da evitare contaminazioni tra le superfici in prova e garantire una distribuzione uniforme dell'acqua di pozzo e dei reflui. I volumi ed i turni irrigui, uguali per tutte le tesi, sono stati stimati sulla base delle caratteristiche idropedologiche dei suoli e delle condizioni termopluviometriche stagionali (Tabella 2).

Per quanto riguarda la qualità delle acque utilizzate (Piccini, Mecella, 2006), il refluo depurato presenta una conducibilità elettrica alta, un contenuto in cationi solubili elevato con netta prevalenza del potassio. Particolarmente elevato risulta il contenuto in azoto sotto forma ammoniacale. I contenuti in micronutrienti e metalli pesanti si presentano sempre in concentrazioni al di sopra dei limiti ammessi per l'utilizzo irriguo delle acque reflue, piuttosto elevato è il contenuto in rame e notevoli sono i quantitativi di solidi sospesi.

L'acqua reflua fitodepurata presenta caratteristiche molto simili a quella depurata ad eccezione della conducibilità elettrica inferiore di circa il 25%, un contenuto in azoto ammoniacale nettamente inferiore e la presenza di rame altrettanto inferiore. Particolarmente ridotto risulta il contenuto in materiali solidi sospesi presenti.

L'acqua di pozzo presenta, dal punto di vista chimico, caratteristiche ottimali per l'uso irriguo. È di reazione neutra, con conducibilità elettrica bassa e lo ione calcio prevalente sugli altri cationi solubili; è praticamente priva di metalli pesanti e i contenuti in azoto solubile risultano di lieve entità.

Tabella2 – Volumi irrigui e pioggia cumulata

Stagione irrigua giugno - luglio	Volume irriguo mm	Pioggia cumulata mm
2003	220	67
2004	257	56
2005	257	33

Alla fine del ciclo irriguo, prima della raccolta del mais da insilato, sono stati prelevati, su ciascuna parcella, n 3 campioni di 5 piante ciascuno. Di ogni campione è stata misurata la lunghezza delle piante ed il peso. Quindi i tre campioni di ogni parcella sono stati triturati al fine di effettuare le determinazioni utili a valutare la qualità del prodotto e le analisi microbiologiche (*Escherichia coli*, *Salmonella spp*, *coliformi totali*, *coliformi fecali*, *streptococchi fecali*). I risultati medi ottenuti nei tre anni di sperimentazione e relativi alla qualità del mais sono riportati nella tabella 3.

Tabella 3 - Valori medi di umidità, contenuto proteico, grassi, fibre, ceneri ed amido rilevati nei campioni di mais.

Parametro	R	P	F
Resa produttiva q ha ⁻¹	457	538	548
Umidità % p.s	69	66	64
Proteina Greggia (NIRA) % p.s	7,71	6,58	7,12
Grassi Greggi (NIRA) % p.s	2,10	2,11	1,91
Fibra Grezza (NIRA) % p.s	20,24	19,98	20,29
Ceneri Gregge (NIRA) % p.s	4,18	3,97	3,93
Amido (NIRA) % p.s	28,16	32,15	31,85
Fibra NDF (NIRA) % p.s	44,81	43,83	44,84
Fibra ADF (NIRA) % p.s	18,09	19,94	21,81
Fibra ADL (NIRA) % p.s	1,99	1,91	1,86

Per verificare l'eventuale contaminazione da patogeni nel terreno sono stati prelevati, prima della semina e dopo il raccolto, 9 campioni di suolo a 50 cm di profondità (3 prelievi per ogni parcella), che sono stati sottoposti alle seguenti analisi microbiologiche: *Escherichia Coli*, *coliformi fecali*, *coliformi totali*, *streptococchi fecali*.

In coincidenza di ogni irrigazione, sono stati prelevati campioni di acqua di pozzo, di refluo CODEP e refluo fitodepurato per determinare i seguenti parametri: COD, Azoto totale, Azoto ammoniacale, Azoto nitrico, Solidi Sospesi, *Escherichia coli*, *coliformi fecali*, *coliformi totali*, *streptococchi fecali*.

Le stesse analisi sono state eseguite sulle acque prelevate da lisimetri di superficie, posizionati all'interno di ciascuna parcella alla profondità di cm 100.

Al fine poi di poter disporre di ulteriori dati e informazioni, è stata effettuata, nelle ultime fasi della sperimentazione, un'ulteriore prova di affinamento del refluo tramite un piccolo impianto di lagunaggio del refluo CODEP, per comparare gli effetti della fitodepurazione con quelli di quest'ultimo processo.

Risultati e discussione

Nella tabella 4 sono riportati i risultati delle determinazioni chimiche (azoto nelle sue varie forme, COD e solidi sospesi) e microbiologiche delle acque monitorate durante il periodo irriguo. Dall'esame dei risultati ottenuti si evidenzia una grande variabilità nei valori riscontrati di COD e carica microbica in quanto essi sono strettamente correlati con il contenuto in solidi sospesi a loro volta funzione della efficienza della centrifugazione nel processo del depuratore CODEP.

Mediamente comunque nel refluo fitodepurato si evidenzia una elevata rimozione dei solidi sospesi pari al 68 % rispetto ai valori di ingresso. Anche la rimozione del carico organico, inteso come COD, risulta elevata (70%).

Per quanto riguarda l'azoto ammoniacale, che costituisce gran parte dell'azoto totale, l'efficienza di rimozione del fitodepuratore è pari, in media, al 68%. Parte dell'ammoniaca viene ossidata a nitrato, rilevabile nell'effluente con una concentrazione media di 305 mg·L⁻¹. Una parte dell'azoto ammoniacale subisce, nel contempo, un processo microbico di denitrificazione con volatilizzazione di azoto elementare in atmosfera. La riduzione dell'azoto ammoniacale può essere giustificata, inoltre, da fenomeni di assimilazione utili alla crescita della biomassa vegetale, radicata nel substrato (canna comune).

È opportuno sottolineare come l'andamento della concentrazione dei nitrati in uscita dal fitodepuratore sia andata aumentando nel tempo: infatti dai primi valori in uscita, mediamente pari a 30 mg·L⁻¹, si è giunti a valori medi di 600 mg·L⁻¹ in agosto 2005.

Tabella 4 – Caratteristiche chimiche e microbiologiche delle acque irrigue

		Refluo		Pozzo		Fitodepurato	
		Media	D.S.	Media	D.S.	Media	D.S.
COD	mg·L ⁻¹	3.020	2.698	17	7	908	555
Ntot	mg·L ⁻¹	1.354	269	15	3	914	253
Ammoniaca	mg·L ⁻¹	1.133	179	tr		367	226
Nitrati	mg·L ⁻¹	8	7	20	20	305	231
Solidi sospesi	mg·L ⁻¹	589	706	7	4	189	206
<i>Escherichia coli</i>	u.f.c.·100 mL ⁻¹	18.176	32.750	5.584	12.456	1.644	3.607
<i>Coliformi totali</i>	u.f.c.·100 mL ⁻¹	31.643	44.608	9.231	19.005	9.055	8.433
<i>Coliformi fecali</i>	u.f.c.·100 mL ⁻¹	20.765	35.806	6.153	13.167	2.047	4.511
<i>Streptococchi fecali</i>	u.f.c.·100 mL ⁻¹	7.780	10.186	176	159	12.895	15.098

Per quanto riguarda la prova di lagunaggio i pochi dati a disposizione mettono in evidenza che non si hanno effetti sulla riduzione del COD e del contenuto in solidi sospesi. Il lagunaggio al contrario si dimostra molto efficiente nell'abbattimento delle cariche microbiche fecali: dopo soli 14 giorni non si rileva più la presenza di *Escherichia coli*.

I risultati delle analisi microbiologiche effettuate sui campioni di acque di infiltrazione (soluzione del suolo) prelevati dai lisimetri, posizionati a circa un metro di profondità all'interno di ciascuna parcella sperimentale, evidenziano come la percolazione nel terreno tenda a ridurre le cariche batteriche in esame. I valori medi di *Escherichia coli* (113 u.f.c.·100 mL⁻¹), riscontrati nella parcella irrigata con il refluo fitodepurato, risultano di gran lunga inferiori rispetto a quelli registrati nella parcella irrigata con il refluo CODEP (che in 2 campioni superano il migliaio). Anche nei confronti dei composti azotati presenti nella soluzione del suolo si evidenzia una notevole riduzione attraverso la fitodepurazione (Piccini et al., 2006).

I risultati delle analisi microbiologiche sulle piante di mais vengono riportati in tabella 5. Dai dati emerge come le piante trattate con il refluo CODEP presentino una contaminazione fecale piuttosto rilevante. Migliore qualità microbiologica mostrano, invece, le piante irrigate con il refluo fitodepurato risultate, quanto meno, prive di salmonelle.

Tabella 5 - analisi microbiologiche del silomais

Parametro	Metodica	Unità di misura	Parcella R	Parcella P	Parcella F
<i>Coliformi totali</i>	Metodo interno accreditato	ufc·g ⁻¹	>11.000.000	1.500	460
<i>Coliformi fecali</i>	ISTISAN 1996/35	MPN·g ⁻¹	>11.000	460	240
<i>Escherichia coli</i>	ISTISAN 1996/35	ufc·g ⁻¹	460	150	240
<i>Streptococchi fecali</i>	Metodo interno accreditato	ufc·g ⁻¹	>110.000	2.400	1.100
<i>Salmonella s.p. in alimenti non normati</i>	Rapporto ISTISAN 1996/35 Met 10	Pres./Ass. in 25 g o ml	Presente	Assente	Assente
<i>Salmonella s.p.</i>	Metodo interno accreditato	MPN·g ⁻¹	2,3	< 0,3	< 0,3

Dai risultati delle analisi microbiologiche sul suolo prima della semina del mais (tabella 6), si evince che il carico microbico fecale può ritenersi trascurabile. La presenza di coliformi e streptococchi può essere legata a condizioni puramente ambientali. Alla raccolta del mais, i campioni non presentano una contaminazione fecale significativa (tabella 6).

Tabella 6 - Analisi microbiologiche del terreno prima della semina

		Parcella R		Parcella P		Parcella F	
		Media	D.S.	Media	D.S.	Media	D.S.
Pre semina							
<i>Escherichia coli</i>	u.f.c.·100 mL ⁻¹	20	17	< 10		50	60
<i>Coliformi totali</i>	u.f.c.·100 mL ⁻¹	51.800	45.141	13.833	22.661	4.266	4.966
<i>Coliformi fecali</i>	u.f.c.·100 mL ⁻¹	73	109	< 10		1.676	2.074
<i>Streptococchi fecali</i>	u.f.c.·100 mL ⁻¹	37	25	<10		360	588
Post raccolto							
<i>Escherichia coli</i>	u.f.c.·100 mL ⁻¹	< 10		23	23	83	127
<i>Coliformi totali</i>	u.f.c.·100 mL ⁻¹	1.000	200	1.836	2.826	613	1.027
<i>Coliformi fecali</i>	u.f.c.·100 mL ⁻¹	< 10		53	35	103	161
<i>Streptococchi fecali</i>	u.f.c.·100 mL ⁻¹	13	6	36	21	43	57

Conclusioni

Dagli esami microbiologici effettuati sulle colture risulta che, per quanto riguarda i parametri tradizionali (*coliformi totali*, *coliformi fecali* e *streptococchi*), i valori riscontrati possono essere anche molto elevati. Quando, però, si va ad indagare sulla presenza di patogeni più strettamente legati ad implicazioni igienico sanitarie sull'uomo, i risultati sono del tutto negativi. Il fenomeno è legato alla forte capacità di sopravvivenza in ambiente esterno di gruppi microbici all'interno delle complesse comunità dei *coliformi* e degli *streptococchi*. Per tale motivo le leggi attuali sul controllo microbiologico preferiscono rilevare direttamente *Escherichia coli* e *Salmonella spp.* Pertanto riteniamo che i dati da considerare siano solo quelli relativi ai patogeni.

La determinazione di *Escherichia coli* e *Salmonella spp.*, hanno mostrato come tali microrganismi, potenzialmente patogeni per gli uomini e per gli animali, siano risultati completamente assenti nei campioni irrigati con acqua reflua e con acqua di pozzo.

Le particolari condizioni climatiche (lunghi periodi di insolazione) durante il periodo di sperimentazione, probabilmente hanno favorito la persistenza di coliformi e streptococchi ambientali, non distinguibili con le metodiche tradizionali dalle forme più strettamente patogene, tra cui, per i coliformi, l' *Escherichia coli* è uno degli organismi più rappresentativi. Ciò è confermato dalla presenza di coliformi totali, fecali e streptococchi anche nelle piante irrigate con acqua di pozzo.

Per quanto riguarda il suolo si evince che il carico microbico fecale prima della semina può ritenersi trascurabile. La presenza di coliformi totali non è da ritenersi legata alla contaminazione di organismi patogeni.

A conclusione della ricerca si può sottolineare che:

- la fitodepurazione a flusso verticale consente di raggiungere buoni rendimenti di rimozione degli inquinanti, in particolare della sostanza organica intesa come COD, dell'azoto ammoniacale e dei solidi sospesi;
- l'apporto di nutrienti contenuti nei reflui in uscita dal depuratore CODEP e dal fitodepuratore sembra essere sufficiente per le esigenze del mais e consente rese produttive soddisfacenti rispetto al silomais concimato con le pratiche tradizionali;
- le prospettive offerte dal fitodepuratore circa la riduzione del carico di azoto, inducono a considerare favorevole il riutilizzo dei reflui zootecnici in aree vulnerabili da nitrati di origine agricola, ove l'apporto di effluenti zootecnici non può superare 170 Kg·ha⁻¹·anno⁻¹, compreso quello depositato dagli animali stessi, ai sensi del D.Lgs 152/99;
- i problemi igienico-sanitari derivanti dall'utilizzo dei reflui in agricoltura, riconducibili a fluttuazioni accentuate dei dati ottenuti nel corso dell'intera sperimentazione dovrebbero essere approfonditi con studi mirati. Dai dati ottenuti dal processo sperimentale di lagunaggio, sembrerebbe opportuno adottare

la tecnica in questione come finissaggio a valle del fitodepuratore, allo scopo di garantire la eliminazione degli organismi patogeni;

- una centrifugazione spinta del refluo aumenta notevolmente il rendimento di rimozione degli inquinanti nei reflui suinicoli, in particolare della sostanza organica intesa come COD, delle sostanze azotate e dei solidi sospesi migliorando, di conseguenza, l'efficienza del fitodepuratore;

Ringraziamenti

Si ringrazia la Soc. Coop. a.r.l. CODEP di Passaggio di Bettona (PG) per aver messo a disposizione i terreni per le prove dimostrative.

Si ringraziano, inoltre, il Presidente ed i dipendenti della CODEP che, a vario titolo, hanno collaborato alla attuazione del progetto;

Si ringraziano il dott. Roberto Iodice e il dott. Massimo Vecchiet del CETA di Trieste per la progettazione dell'impianto di fitodepurazione e per l'assistenza tecnica fornita in fase di realizzazione e funzionamento del medesimo.

Bibliografia

AUTORI VARI, 2001. Le tecnologie ambientali nel settore delle acque: analisi e opportunità di sviluppo. Vol. 16.

PICCINI C., MECELLA G., 2006. Qualità delle acque reflue di origine zootecnica depurate e fitodepurate per il riutilizzo irriguo. Atti Convegno Riutilizzo irriguo di acque reflue depurate. Verona 11 febbraio 2006

PICCINI C., MECELLA G., DELICATO M.A., FABRIZIO G., MORETTI V., DI BLASI N., 2006. Salinità e sodicità dei suoli a seguito dell'irrigazione con reflui zootecnici sottoposti a diverso trattamento di depurazione. Atti Convegno Riutilizzo irriguo di acque reflue depurate. Verona 11 febbraio 2006

Figura 1 - Impianto di fitodepurazione ultimato. In superficie si osservano i tubi per la distribuzione del refluo da trattare



Figura 2 – Ala piovana di scorrimento

