

**Le alghe per il trattamento
dei reflui zootecnici:
una possibile soluzione
al problema nitrati**

LA GESTIONE DEI REFLUI ZOOTECNICI

Nella conduzione degli allevamenti zootecnici, la maggior criticità è rappresentata dalla gestione dei liquami: i criteri di utilizzo dei reflui devono infatti rispondere sia alle esigenze agronomiche sia a quelle di tutela ambientale.

La situazione ottimale prevede che gli apporti di azoto coprano i fabbisogni delle colture e siano da queste completamente utilizzati. In un contesto naturale, il bilancio dell'azoto tra le entrate e le uscite dal sistema suolo tende all'equilibrio, cui corrisponde una determinata produzione primaria. Lo sfruttamento del terreno per la produzione agricola, altera il bilancio dell'azoto, aumentando le uscite legate alle asportazioni colturali.

Parallelamente l'incremento dei capi allevati e la tendenza a concentrare il bestiame in grandi strutture gestite industrialmente e in modo dissociato dall'effettiva disponibilità di terreni, ha portato ad una progressiva riduzione degli apporti di sostanza organica al terreno e ad un contemporaneo accumulo, in aree circoscritte, di grandi volumi di liquami zootecnici, potenzialmente inquinanti, che devono essere smaltiti. Parallelamente l'incremento dei capi allevati ha aumentato la pressione dell'azoto sui suoli agricoli: l'azoto ammoniacale può rapidamente nitrificare nel terreno (P. Mantovi et al., 2006), mentre i nitrati, estremamente solubili, possono percolare verso le falde o raggiungere i corpi idrici superficiali con l'erosione, inducendo fenomeni di eutrofizzazione e contribuendo al fenomeno delle "piogge acide".

Un corretto utilizzo agronomico dei reflui zootecnici deve pertanto tenere conto di molteplici fattori, tra cui il contenuto di elementi nutritivi del refluo, l'omogeneità della distribuzione, le modalità ed i tempi di spandimento in relazione alle necessità della coltura (Grignani et al., 1999).

Con l'applicazione della direttiva Nitrati attraverso i regolamenti regionali 18 Ottobre 2002 n. 9/R e 12 dicembre 2007, n. 12/R la Regione Piemonte ha designato le zone vulnerabili da nitrati (ZVN), che rappresentano quasi 1/3 del territorio di pianura della regione, stabilendo le norme per l'utilizzazione agronomica con obblighi differenziati, da parte degli allevatori, in funzione della produzione annuale di azoto di origine animale. In particolare il regolamento regionale 28 ottobre 2007, n. 10/R fornisce indicazioni anche in merito alle più idonee soluzioni impiantistiche e gestionali per il trattamento dei reflui zootecnici, prendendo in considerazione ad esempio il compostaggio, la digestione anaerobica con produzione di biogas, la concentrazione per evaporazione, lo strippaggio e la depurazione biologica attraverso fanghi attivi.

UTILIZZO DELLE ALGHE PER IL TRATTAMENTO DEI REFLUI

Le microalghe sono organismi vegetali fotosintetici che, a partire da energia radiante e anidride carbonica, producono carboidrati per il proprio metabolismo e ossigeno che viene in parte rilasciato nell'atmosfera e in parte utilizzato per la respirazione. Le alghe necessitano per crescere di luce, anidride carbonica e nutrimento rappresentato in particolare da azoto e fosforo di cui sono naturalmente ricchi i reflui zootecnici. In particolare le alghe si sono rivelate eccellenti nella rimozione dei nutrienti, dei contaminanti organici, dei metalli pesanti e dei patogeni nelle acque di scarico domestiche e industriali.

L'interesse ad utilizzare microrganismi fotosintetici risiede pertanto nella possibilità di ridurre i costi energetici della depurazione grazie allo sfruttamento dell'energia solare nel processo di fotosintesi microbica, il recupero della sostanza organica e dei macronutrienti contenuti nelle acque di scarico e la produzione di biomasse ad elevato contenuto lipidico e proteico ad alto valore aggiunto (utilizzabili ad esempio per la produzione di biogas o biodiesel).

Dall'osservazione dei risultati di ricerche finalizzate all'utilizzo di colture di microalghe in impianti di depurazione di reflui industriali e contemporaneamente dall'osservazione di promettenti risultati ottenuti negli ultimi anni in Olanda, Giappone e Stati Uniti nel settore della coltivazione di microalghe finalizzata alla produzione di fertilizzanti naturali, olio per biocarburanti, integratori alimentari e prodotti farmaceutici è nata l'idea dell'applicazione di tale tecnologia ai problemi del comparto zootecnico (Edwards, 2009; Ben-Amotz, 2009, www.oilalgae.com)

Il progetto triennale di ricerca Denitren, finanziato dalla Regione Piemonte, ha previsto la realizzazione di un sistema per il trattamento di reflui zootecnici (bovini e suini) con microalghe e la realizzazione di test sperimentali per valutare l'efficacia del trattamento direttamente presso due aziende zootecniche in Piemonte.

Gli impianti deputati alla coltivazione delle alghe vengono chiamati fotobioreattori; possono essere sistemi colturali aperti (fig. 1) o chiusi, da esterno o da interno e dotati di sistemi di controllo quali temperatura, pH, concentrazione cellulare, ossigeno disciolto. I sistemi da interno in genere sono di dimensioni ridotte e sono illuminati artificialmente, mentre per i sistemi da esterno, di maggiori dimensioni, l'illuminazione avviene tramite la radiazione solare.

I sistemi aperti o "open ponds" sono dei bacini di circa 15 cm di profondità dove la coltura algale viene ricircolata mediante l'utilizzo di una ruota con pale giranti. Questi sistemi, relativamente più semplici ed economici, presentano però numerosi svantaggi, in particolare il lungo cammino che deve affrontare la luce, pari alla profondità del canale, e la maggiore difficoltà di controllo

Le alghe per il trattamento dei reflui zootecnici: una possibile soluzione al problema nitrati



Figura 1. Open ponds (©news.cnet.com)

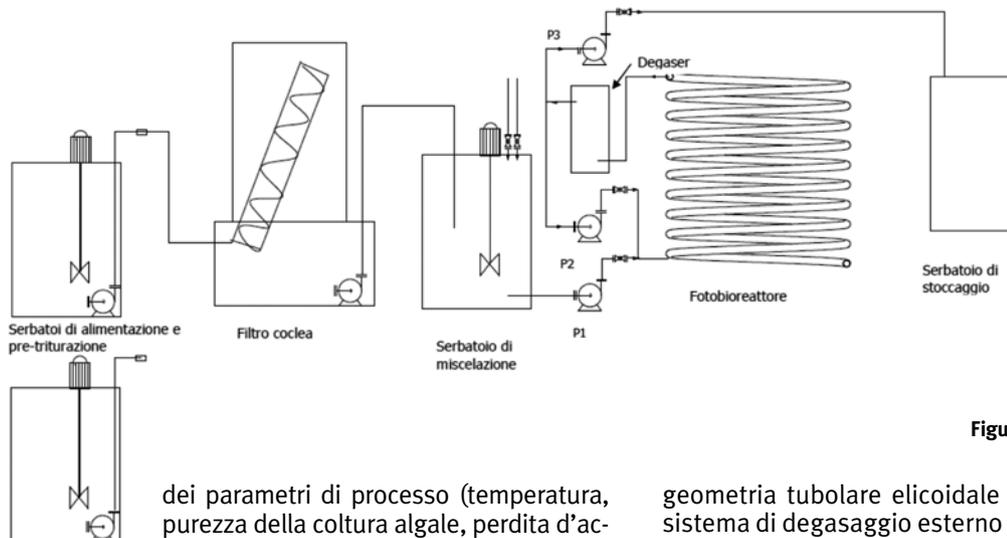


Figura 2. Struttura dell'impianto

dei parametri di processo (temperatura, purezza della coltura algale, perdita d'acqua per evaporazione).

I sistemi chiusi offrono una maggiore efficienza fotosintetica e un miglior controllo del processo rispetto ai sistemi aperti. Sono economicamente più dispendiosi, necessitando di materiali trasparenti e presentano una più complessa scalabilità (Tredici et al., 1991; Janssen et al., 2003; Ben-Amoz, 2009)

Uno dei parametri fondamentali nel dimensionamento dei fotobioreattori è il rapporto fra la superficie esposta ed il volume che determina il tasso di crescita delle alghe e di conseguenza la produzione di ossigeno e la rimozione di inquinanti.

PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI UN FOTOBIOREATTORE PILOTA

Tra le varie tipologie di fotobioreattori esistenti si è deciso di realizzare un impianto pilota chiuso da esterno che potesse conciliare efficienza e semplicità di gestione, in modo da poter effettuare test sperimentali di trattamento di reflui zootecnici con microalghe direttamente presso due aziende zootecniche selezionate. Si è scelto pertanto di realizzare l'impianto con

geometria tubolare elicoidale ad asse verticale, con sistema di degassaggio esterno ed eventuale insufflaggio di anidride carbonica.

A parità di volume considerato, lo sviluppo verticale e l'avvolgimento a spirale della tubazione permettono una maggiore esposizione del fotobioreattore ai raggi solari in un'area limitata, ottenendo una maggiore resa in termini di conversione della luce (intesa come radiazione fotosinteticamente attiva) da parte delle microalghe in energia chimica.

L'impianto realizzato è costituito da:

- Il fotobioreattore o collettore solare;
- I serbatoi di carico e di miscelazione del refluo zootecnico;
- Il sistema di filtrazione del refluo (sgrigliatore);
- La colonna di degassaggio dell'ossigeno;
- Il sistema di pompaggio;
- Il serbatoio di stoccaggio finale

Il fotobioreattore è costituito da una tubazione in PVC trasparente e flessibile della lunghezza di 40 mt e del diametro interno di 5 cm, avvolta a spirale con asse verticale. Il fotobioreattore è sormontato da una struttura in policarbonato trasparente per la protezione dagli agenti atmosferici.

Le alghe per il trattamento dei reflui zootecnici: una possibile soluzione al problema nitrati



Figura 3. Vista d'insieme dell'impianto



Figura 4. Impianto situato presso l'azienda suinicola

Il refluo zootecnico, proveniente dalle vasche di raccolta presenti all'interno delle aziende coinvolte nella sperimentazione, viene inizialmente stoccato all'interno di un serbatoio di carico (volume pari a 300 lt) provvisto di un sistema di agitazione a pale operante a 1400 r.p.m., munito di controllo di livello e dotato di una pompa trituratrice ad immersione che opera una grossolana e iniziale triturazione e ne permette il pompaggio verso il sistema di filtrazione. Tale sistema è costituito da filtro coclea da 120 mesh (diametro 4 mm) alloggiato all'interno di una struttura, provvisto di un sistema di recupero della frazione solida con tele filtranti e una pompa ad immersione che permette il rilancio del liquame filtrato.

Il liquame così filtrato viene pompato all'interno di un secondo serbatoio di miscelazione, identico al serbatoio di carico, dove è possibile diluire opportunamente il refluo ed eventualmente operare una sterilizzazione.

Il liquame così trattato viene pompato verso il fotobioreattore, la circolazione viene regolata da un sistema costituito da tre pompe peristaltiche.

Il variatore presente nelle pompe in ingresso e in uscita al sistema (P_1 e P_3) consente di regolare la portata di refluo alimentato e il tempo di permanenza all'interno

del fotobioreattore. Il flusso in uscita dal fotobioreattore entra in una colonna di degasaggio in policarbonato che permette lo stripping dell'ossigeno disciolto nel liquame, prima del suo ricircolo all'interno del fotobioreattore. Tale colonna presenta inoltre al suo interno una resistenza riscaldante per mantenere la temperatura del liquame e delle microalghe a livelli adeguati per il processo fotosintetico durante i mesi invernali.

Il sistema di ricircolo del liquame all'interno della tubazione elicoidale è controllato da sonde di livello poste all'interno della colonna di degasaggio. Quando il livello all'interno del fotobioreattore raggiunge il livello di massimo all'interno della colonna di degasaggio, viene attivata la pompa di ricircolo che permette al liquame all'interno del fotobioreattore di essere ricircolato.

Il liquame depurato viene raccolto in un serbatoio di stoccaggio finale.

ATTIVITÀ SPERIMENTALE

L'attività sperimentale effettuata sull'impianto pilota ha previsto la realizzazione di test con liquami bovini e liquami suini direttamente presso le aziende zootecniche

Le alghe per il trattamento dei reflui zootecnici: una possibile soluzione al problema nitrati

Parametri	U.M.	Valori medi
pH		7,81
Ammoniaca	mg/kg (ppm)	1.172
Potenziale redox	mV	- 204
Nitrati	mg/kg	137
Nitriti	mg/l	8,00
Potassio	mg/kg	2.450
Ferro	mg/kg	38,56
Rame	mg/kg	0,44
Azoto totale	g/100 g	0,24
COD	mg/l come O ₂	55.000
Solfiti	mg/kg	254
Batteri eterotrofi aerobi	UFC/1 g	1,3 E +08
Coliformi fecali	MPN/1 g	24.000
Coliformi totali	MPN/1 g	24.000
Fosfati	MPN/1 g	436

Tabella 1 - Analisi chimico-fisiche e microbiologiche del liquame bovino prelevato nel corso di un anno

Parametri	U.M.	Valori medi
Umidità	g/100 g	96,10
Sost. Org.	g/100 g	2,80
Ceneri	g/100 g	1,26
Azoto totale	g/100 g	0,383
Carbonio totale	g/100 g	1,636
Rapporto C/N		3,83
Ione ammonio	mg/kg	2.630
Nitrati	mg/kg	576
Nitriti	mg/kg	24
Ossido di potassio	mg/kg	3.160
Anidride fosforica	mg/kg	2.160
Zinco	mg/kg	63
Rame	mg/kg	9
Ferro	mg/kg	80
pH		7,61

Tabella 2 - Analisi chimico-fisiche del liquame suino prelevato nel corso di un anno

selezionate. L'impianto pilota, dopo essere stato messo a regime è stato trasferito presso l'allevamento bovino per circa 6 mesi; al termine della fase di sperimentazione con i reflui bovini, il fotobioreattore è stato collocato anche presso l'allevamento suinicolo prescelto.

Le aziende zootecniche selezionate e le caratteristiche dei reflui zootecnici

Le aziende zootecniche selezionate sono state identificate sia in base alle caratteristiche dell'allevamento (numero di capi, tipologia di stabulazione, presenza di strutture all'avanguardia) sia in base alla localizzazione

geografica sul territorio piemontese (zone vulnerabili e non vulnerabili). Le aziende coinvolte risultano essere:

- Azienda agricola di allevamento di bovini da latte (razza Frisona Italiana) con un totale di 600 capi con 60 ha di terreno (coltivato a prato, mais e bosco) in zona considerata non vulnerabile (Comune di La Cassa) e avente un carico zootecnico (Kg peso vivo/ha di proprietà) pari 6000. Le caratteristiche medie del liquame bovino sono rappresentate in tab. 1.
- Azienda agricola di allevamento di suini da ingrasso con un totale di circa 1700-1800 capi, localizzata in zona considerata vulnerabile (provincia di Cuneo) e con circa 42 ha di terreno di cui 36 in as-servimento (coltivato a grano, granturco e prato da foraggio); con un carico zootecnico (Kg p.v./ha di proprietà) pari 22500. Le caratteristiche medie del liquame suino sono rappresentate in tab. 2.

Le microalghe usate per la sperimentazione

Chlorella vulgaris è un'alga verde unicellulare, di aspetto circolare e senza flagelli. Ha una elevata efficienza fotosintetica e presenta un elevato contenuto in proteine e nutrienti essenziali, viene pertanto coltivata in modo esteso a scopo alimentare. Numerosi studi di letteratura indicano come *Chlorella vulgaris*

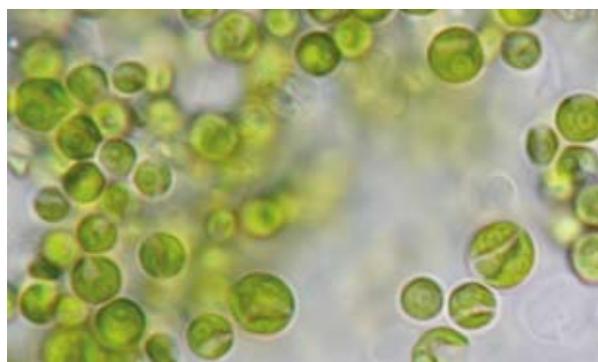


Figura 5. *Chlorella vulgaris*

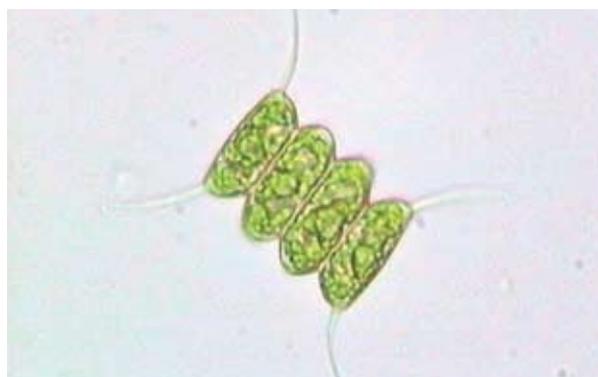


Figura 6. *Scenedesmus spp.*

sia in grado di crescere all'interno di reflui con elevate concentrazioni di azoto e abbia la capacità di ridurre la quantità degli inquinanti organici fino all'80% (Tam et al., 1990; Tam et al., 1996; Munoz et al., 2006).

Scenedesmus spp. è una microalga verde priva di mobilità, ampiamente diffusa (fiumi, laghi e acque salmastre), viene coltivata principalmente per scopi alimentari grazie al suo alto contenuto di elementi nutritivi. Numerosi test sperimentali hanno permesso di evidenziare notevoli capacità di rimozione degli agenti inquinanti in acque di scarico se trattate con *Scenedesmus spp.* (ad esempio riduzione che varia dal 55% al 66% dei componenti organici a seconda del tasso di diluizione utilizzato, Voltolina et al., 1998).

Test sperimentali

L'attività di analisi per la valutazione dell'efficienza di depurazione sui reflui bovini e suini è stata condotta effettuando inizialmente numerosi test in laboratorio e successivamente effettuando alcuni test su scala pilota in continuo direttamente nel fotobioreattore. Le fasi di sperimentazione iniziali hanno permesso di valutare la cinetica di crescita delle due specie algali identificate e di parametrare l'andamento delle concentrazioni di ioni ammonio, nitrico e nitroso, azoto organico, inorganico e totale dei campioni di liquame bovino e suino utilizzati, al variare della concentrazione di inoculo algale iniziale, dell'intensità della radiazione luminosa e del ciclo giorno/notte, della temperatura e del pH di processo.

Dai risultati ottenuti dai test sperimentali condotti in laboratorio, utilizzando *Chlorella vulgaris*, sono state estrapolate le condizioni operative per la realizzazione delle prove sperimentali in modalità continua nel fotobioreattore con i liquami bovini e suini (concentrazione iniziale dei liquami, tempo di permanenza all'interno del fotobioreattore, temperatura di processo).

Le attività sperimentali effettuate utilizzando *Scenedesmus obliquus* non hanno fornito risultati particolarmente positivi, in particolare tale ceppo algale risulta essere particolarmente sensibile agli sbalzi di temperatura e alle condizioni meteorologiche, non risultando pertanto un ceppo idoneo alla sperimentazione in campo sul fotobioreattore

RISULTATI

Efficienza e rimozione dell'azoto

Nel corso dell'attività sperimentale si è evidenziato che, nel trattamento dei reflui zootecnici di origine bovina, *Chlorella vulgaris* ha portato, mediamente, ad una riduzione della quantità di ioni ammonio pari a circa il 90%, ad una riduzione dell'azoto inorganico pari a circa il 30% e un aumento (pari a circa l'80%) dell'azoto organico in circa 400h di trattamento a 20-25°C circa con illuminazione naturale

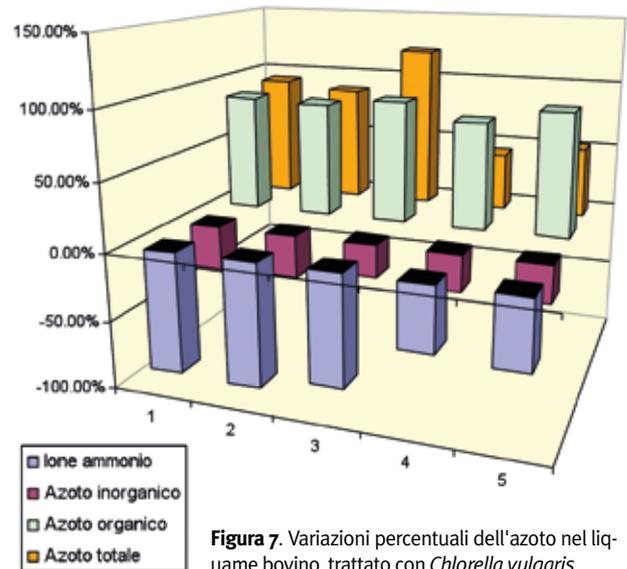


Figura 7. Variazioni percentuali dell'azoto nel liquame bovino trattato con *Chlorella vulgaris*

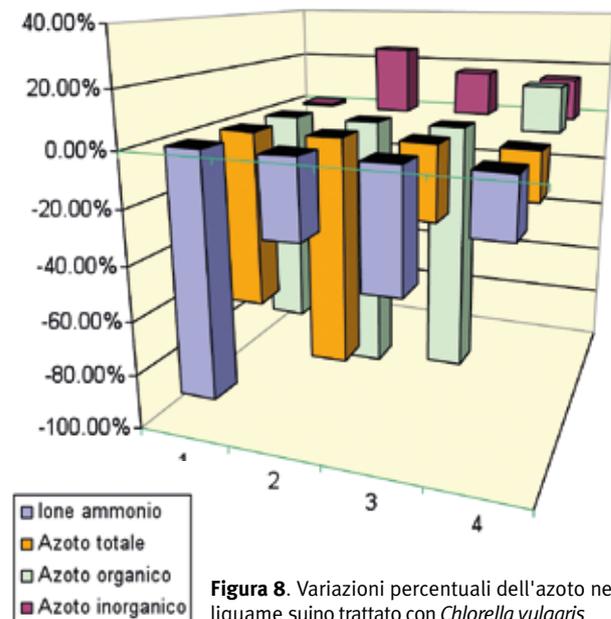


Figura 8. Variazioni percentuali dell'azoto nel liquame suino trattato con *Chlorella vulgaris*

(fig. 7). Tali variazioni sono imputabili alla capacità delle microalghe di organicare la componente ammoniacale dei reflui zootecnici, trasformandola in azoto proteico necessario per la duplicazione cellulare. Il refluo zootecnico così trattato risulta pertanto presentare una concentrazione di azoto inorganico ridotta rispetto alla concentrazione iniziale. Nel grafico si evidenziano i risultati di 5 prove sperimentali rappresentative, tra quelle effettuate su liquame bovino, in termini di variazione percentuale rispetto ai valori iniziali dei componenti azotati

L'organizzazione dello ione ammonio è inoltre confermata dalle variazioni del pH del mezzo.

Nel caso del liquame suino sottoposto a trattamento con *Chlorella vulgaris* (in condizioni di illuminazione

naturale e alla temperatura di circa 20-25°C dopo un tempo di trattamento di circa 400h. fig. 8), si ottiene una riduzione dello ione ammonio variabile tra 30 e 85% rispetto ai valori di concentrazione iniziale, con una contemporanea riduzione dell'azoto totale compresa tra il 30 e l'80%. Nel caso del test effettuati con liquame suino, l'azoto organico al termine della sperimentazione risulta diminuire fino all'80%; tale riduzione non si assiste nel caso di test effettuati sterilizzando il liquame suino in ingresso. Tali variazioni sono pertanto dovute alla concomitante attività di microorganismi, la cui concentrazione è connessa alla variabilità del substrato, naturalmente presenti nel liquame, in grado di mineralizzare la componente organica, presente nel liquame e prodotta dall'attività microalgale, in azoto inorganico. Nel grafico si possono osservare le variazioni percentuali dell'azoto, rispetto alle concentrazioni iniziali, in alcuni test sperimentali maggiormente rappresentativi, effettuati sul liquame suino tal quale (campioni 1-2-3) e sottoposto ad un processo di sterilizzazione per l'eliminazione della carica batterica (campione 4).

Possibilità di utilizzo delle alghe

L'attività di sperimentazione effettuata ha permesso di valutare le potenzialità dell'impianto pilota di trattamento dei reflui mediante microalghe all'interno di un allevamento zootecnico. Per la separazione delle alghe dal refluo in uscita è necessario affiancare al fotobioreattore un adeguato sistema di separazione, scegliendo tra i numerosi metodi in commercio (floculazione, centrifugazione, filtrazione) che permetta di ottenere una frazione liquida più facilmente spandibile e una frazione solida, costituita dalla massa algale, utilizzabile come sottoprodotto ad elevato valore aggiunto (Grima et al., 2003; Harun et al., 2010).

Le alghe ad esempio possono essere utilizzate come materiale grezzo per la produzione di biodiesel (in quanto caratterizzate da un elevato contenuto lipidico), oppure utilizzate nell'industria farmaceutica e alimentare, infine essere utilizzate come ammendante agricolo.

1. Produzione di biodiesel

Le microalghe possono essere utilizzate per la produzione di biodiesel per il loro alto tasso di crescita e perché forniscono la frazione lipidica necessaria a tale produzione. I lipidi microalgali sono lipidi neutri con basso grado di insaturazione e possono, potenzialmente, sostituire i combustibili fossili. Per l'estrazione dell'olio possono essere impiegati metodi diversi:

- utilizzo di presse, che prevedono la pre-essiccazione delle alghe e sfruttano elevate pressioni per rompere le cellule algali ed estrarre l'olio (Popoola e Yangomodou, 2006);
- estrazione con solventi organici in grado di distruggere la massa algale ed estrarre l'olio dal mezzo acquoso. L'estratto viene quindi sottoposto

a distillazione per separare l'olio dal solvente (Demirbas, 2009; Pratoomyot e coll., 2005);

- estrazione supercritica che utilizza alte pressioni e temperature per la rottura delle cellule (Macías-Sánchez e coll., 2010);
- ultrasuoni che creano piccole bolle di cavitazione intorno alle cellule, impattando e permettendo il rilascio dei composti desiderati in soluzione. Wiltshire e coll. (2000) hanno estratto oltre il 90% di acidi grassi e pigmenti da *Scenedesmus obliquus* con gli ultrasuoni, senza osservare né rotture né alterazioni del prodotto.

2. Applicazioni nell'industria farmaceutica

Le microalghe possono essere utilizzate nell'industria farmaceutica in quanto ricche di clorofilla (fino al 4% del peso secco) che viene utilizzata come agente chelante nelle creme e come principio attivo per il trattamento dell'ulcera e dei problemi epatici. In particolare *Chlorella vulgaris* viene utilizzata in cosmetica per la cura della pelle del corpo e del viso, con effetti anti-età (stimolante della sintesi di collagene).

Inoltre numerosi studi hanno evidenziato l'attività antiossidante e gli effetti benefici di *Chlorella vulgaris* nei confronti delle infezioni da E. Coli (Schub et al., 1994).

3. Utilizzo di biomassa algale nell'industria alimentare

Le microalghe possono essere destinate alla nutrizione animale in acquacoltura, per gli animali domestici e da allevamento. Circa il 30% circa della produzione mondiale è utilizzata a questo scopo (Becker, 2004). In acquacoltura ad esempio, le microalghe possono essere utilizzate fresche (come componente unico o come additivo) per colorare la carne dei salmonidi e per indurre altre attività biologiche. Il valore nutrizionale delle alghe è dato essenzialmente dal contenuto proteico, e dal contenuto in acidi grassi insaturi, tra cui EPA (acido eicosapentaenoico), AA (acido arachidonico) e DHA (acido docosaesaenoico), e dall'alto contenuto in vitamine.

4. Utilizzazione agronomica

La biomassa algale, separata dal refluo dopo trattamento, può essere impiegata come ammendante naturale dopo aver effettuato il compostaggio per stabilizzarne le caratteristiche fisico-chimiche e biologiche.

A livello agronomico infatti, la biomassa algale fornisce un apporto nutrizionale non trascurabile in termini di azoto, potassio e microelementi.

Inoltre la ricchezza e la varietà di molecole organiche complesse possono sostenere un'ampia cenosi microbica potenzialmente in grado di stimolare la radiazione e lo sviluppo dei vegetali nonché di fungere da attivatore nei confronti dei microrganismi presenti nel suolo con positivi effetti sulla fertilità biologica ed il miglioramento delle caratteristiche fisiche.

Valutazioni economiche ed ambientali del fotobioreattore in applicazioni agricole

Per la valutazione dei costi potenziali di un fotobioreattore, è stato considerato il caso di un'azienda zootecnica con un volume annuale di reflui da smaltire pari a 4000 m³. Sono stati quindi valutati i costi dei componenti dell'impianto, i costi di gestione e di consumo energetico annuali considerando un tempo di ammortamento del bene pari a 15 anni.

Nella tab. 3 si riportano i costi stimati sulla base di queste considerazioni.

Valutazione economica: ipotesi fotobioreattore che tratta 0,45 m ³ /h	
Costo impianto	€ 151,000
Costo gestione annuo	€ 3,300
Totale costi annui impianto (*)	€ 12,226

Tabella 3. Costi stimati per l'utilizzo del fotobioreattore (*ammortamento pari a 15 anni)

Nella stima del costo dell'impianto è necessario tenere in conto che allo stato attuale non esistono aziende che forniscano un fotobioreattore per il trattamento dei reflui a livello industriale, si tratta infatti di materiale fornito "on demand" per cui necessariamente il costo finale stimato risente di tale situazione. La futura industrializzazione dei sistemi chiusi per la coltivazione microalgale permetterà di ridurre i costi di investimento attualmente necessari, e di conseguenza i tempi di ammortamento necessari per il ritorno dell'investimento nonché i costi unitari di trattamento del refluo zootecnico.

Nel costo di gestione annuo si sono considerate le spese di personale, manutenzione, di consumo energetico, ecc. In figura 9 è rappresentata la relazione tra il carico zootecnico di un'azienda suinicola (valutata in base al peso vivo allevato in kg/ha) e il costo necessario per lo spandimento dei reflui compresi i costi di asservimento in zona vulnerabile (retta in rosso) e in zona non vulnerabile (retta in verde). Il costo totale di spandimento, stimato come somma del costo di trasporto del refluo e del costo di spandimento in terreni in asservimento, è circa 12 €/m³.

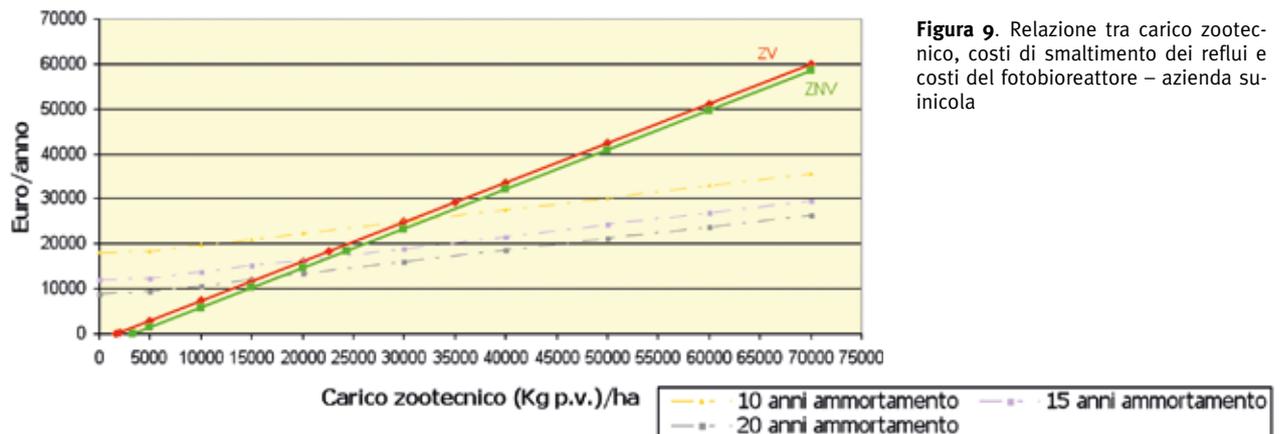


Figura 9. Relazione tra carico zootecnico, costi di smaltimento dei reflui e costi del fotobioreattore – azienda suinicola

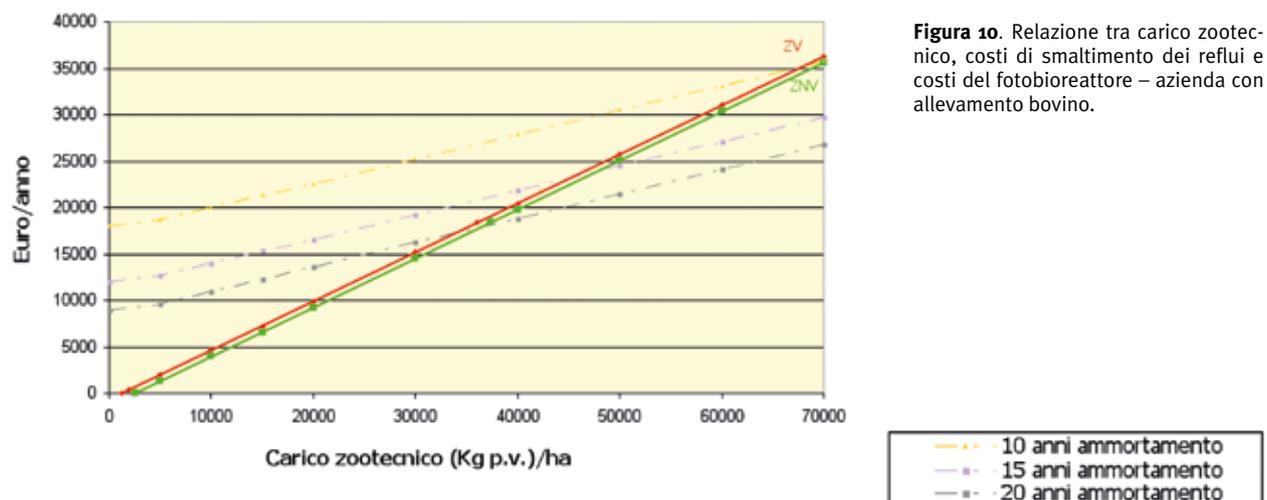


Figura 10. Relazione tra carico zootecnico, costi di smaltimento dei reflui e costi del fotobioreattore – azienda con allevamento bovino.

Le alghe per il trattamento dei reflui zootecnici: una possibile soluzione al problema nitrati

I reflui zootecnici dopo trattamento con microalghe all'interno del fotobioreattore presentano una riduzione dell'azoto totale; ciò corrisponde ad una riduzione della quantità di ettari necessari allo spandimento. Considerando pertanto che l'efficienza nella riduzione della quantità di azoto totale sia pari al 30%, è stata stimata l'evoluzione dei costi totali (intesi come costo di investimento e di gestione annuale del fotobioreattore unitamente ai costi annuali per lo spandimento del refluo dopo il trattamento), al variare del carico zootecnico dell'azienda. Nella fig. 9 sono state stimati 3 andamenti che si differenziano per il tempo di ammortamento del fotobioreattore.

Si evince pertanto che, in zona vulnerabile, con un tempo di ammortamento pari a 15 anni, l'acquisto e la gestione del fotobioreattore, unitamente ai costi di spandimento dei liquami dopo trattamento, risultano sostenibili qualora l'azienda possieda più di 20.000 kg peso vivo allevato per ettaro.

Nel caso dei bovini in zona vulnerabile, con un tempo di ammortamento pari a 15 anni, l'acquisto del fotobioreattore risulta conveniente per un'azienda con più di 45.000 kg di peso vivo allevato per ettaro. Si tratta ovviamente di carichi zootecnici molto alti, tipici di aziende senza terra con forte ricorso all'asservimento. Questo aspetto è dovuto agli alti costi di realizzazione dell'impianto, attualmente non disponibile sul mercato.

Nell'eventualità di poter valorizzare economicamente la massa algale, aumenta l'economicità dell'impianto portando a decremento dei costi totali l'eventuale in-

troito derivante dalla vendita delle microalghe ottenute dopo separazione del refluo.

A livello ambientale, il trattamento dei reflui zootecnici attraverso il fotobioreattore permette di ridurre le emissioni di metano, ammoniaca, protossido d'azoto e anidride carbonica. L'energia luminosa infatti è in grado di promuovere i processi di fotosintesi che consentono la fissazione dell'anidride carbonica e l'organizzazione degli altri nutrienti inorganici presenti in fase fluida, producendo il materiale organico che costituisce la cellula algale. Si stima che le microalghe possano assorbire circa il 25% di anidride carbonica durante il processo fotosintetico (Stepan et al., 2002). Ciò si traduce nella riduzione delle emissioni di anidride carbonica equivalente, che è l'unità di misura utilizzata per misurare il GWP (Global Warming Potential) dei gas serra, ovvero il loro potenziale di riscaldamento globale.

Si riportano i dati di emissione di metano, ammoniaca, protossido d'azoto, anidride carbonica e anidride carbonica equivalente (Fabbri et al., 2001; IPCC/OECD/IEA IPCC Guidelines, 2007), per le due aziende coinvolte nella sperimentazione, un'azienda suinicola con circa 1800 capi all'ingrasso (tab. 4) e un'azienda con allevamento bovino da latte con circa 600 capi (tab. 5), prima e dopo il trattamento del refluo attraverso il fotobioreattore.

Dai dati si evince che dopo il trattamento del refluo zootecnico con microalghe all'interno di un fotobioreattore, si ha una riduzione della quantità di anidride carbonica equivalente pari a circa il 25%.

Emissioni Kg/anno senza trattamento	
Metano	29.673
Ammoniaca	4.914
Protossido di azoto	127
Anidride carbonica	1.874.880
Anidride carbonica equivalente	2.537.268

Emissioni Kg/anno dopo trattamento con microalghe	
Metano	20.775
Ammoniaca	3.437
Protossido di azoto	89
Anidride carbonica	1.406.160
Anidride carbonica equivalente	1.869.481

Tabella 4. Stima delle emissioni di gas serra prima e dopo il trattamento in una azienda suinicola

Emissioni Kg/anno senza trattamento	
Metano	2.502
Ammoniaca	2.403
Protossido di azoto	0,06
Anidride carbonica	595.200
Anidride carbonica equivalente	647.762

Emissioni Kg/anno dopo trattamento con microalghe	
Metano	1.751
Ammoniaca	1.682
Protossido di azoto	0,04
Anidride carbonica	446.400
Anidride carbonica equivalente	483.181

Tabella 5. Stima delle emissioni di gas serra prima e dopo il trattamento in una azienda con allevamento bovino

CONCLUSIONI

L'attività di sperimentazione effettuata nel corso del progetto triennale Denitren ha permesso di valutare le potenzialità di un fotobioreattore pilota per il trattamento dei reflui zootecnici mediante microalghe sia in condizioni di laboratorio sia presso due allevamenti (bovino e suino).

I reflui zootecnici bovini trattati nel fotobioreattore, presentano una riduzione media di circa il 30% dell'azoto inorganico, con un aumento pari all'80% dell'azoto organico, che si concentra nella massa algale ed è perciò separabile dopo il trattamento. Nel caso dei liquami suini, si assiste mediamente alla riduzione del 30-85% dello ione ammonio e dal 30 all'80% dell'azoto totale, in relazione alla variabilità delle caratteristiche del substrato considerato.

Il costo dell'investimento è oggi ancora alto, vista la fase progettuale ancora iniziale; la futura industrializzazione dei sistemi chiusi per la coltivazione microalgale permetterà di ridurre i costi di investimento, e di conseguenza i costi unitari di trattamento del refluo zootecnico.

Il trattamento dei reflui attraverso l'utilizzo di microalghe permette interessanti riduzioni delle emissioni di gas serra (metano, anidride carbonica e protossido di azoto), a seguito dei processi di organicazione dei composti inorganici e di fissazione dell'anidride carbonica durante il processo fotosintetico.

Le microalghe, inoltre, possono essere separate dal refluo trattato ed essere utilizzate come sottoprodotto ad elevato valore aggiunto nell'industria farmaceutica, alimentare ed energetica (per la produzione di biocarburanti come biodiesel, bioidrogeno e biogas).

BIBLIOGRAFIA

- A. Ben-Amotz. Wind, sea and algae, 2009;
- W. Becker. Microalgae in human and animal nutrition. In: Richmond A. (ed.), Handbook of microalgal culture. Blackwell, Oxford, 2004;
- A., Demirbas Production of biodiesel from algae oils. Energy Source Part A Recovery Utilization and Environmental Effects Vol. 31, 2009, pag.163-168;
- M. Edwards. The Algal Industry Survey, 2009;
- C. Fabbri, M. Guarino, L. Valli, P. Navarotto, A. Costa Emissioni di ammoniaca, metano e protossido di azoto e concentrazione di polveri in due differenti allevamenti di suini all'ingrasso CRPA, Liguami Zootecnici-Manuale per l'utilizzazione agronomica, -Edizioni L'Informatore Agrario, 2001, pag.81
- C. Grignani, L. Zavattaro. Reflui zootecnici. L'importanza di una corretta distribuzione sotto l'aspetto agronomico e ambientale, QRPA n° 19 - Dicembre 1999
- M.E. Grima, E.H. Belarbi, F.G.A. Fernandez, A.R. Medina Y. Chisti. Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics. Biotechnology Advances, Vol. 20 (7-8), 2003, pag. 491-515;
- R. Harun, M. Singh, G.M. Forde M.K. Danquah. Bioprocessing engineering of microalgae to produce a variety of consumer products. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 14, 2010, pag. 1037-1047;
- M. Janssen, J. Tramper, L.R. Mur, R.H. Wijffels. Enclosed outdoor photobioreactors: light regime, photosynthetic efficiency, scale-up, and future prospects. Biotechnol. Bioeng., Vol. 81, 2003, pag. 193-210;
- IPCC/OECD/IEA IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Reference Revised Manual 1996 (1997)
- M.D., Macías-Sánchez, J.M., Fernandez-Sevilla, F.G., Acién Fernández, M.C., Cerón García, E., Molina Grima, Supercritical fluid extraction of carotenoids from *Scenedesmus almeriensis*. Food Chemistry Vol. 23, 2010, pag. 928-935;
- P. Mantovi, M. Soldano, G. Moscatelli, V. Tabaglio, Effetti degli inibitori sull'azoto dei liquami, L'Informatore Agrario Vol. 25, 2006, pag. 27-31;
- R. Munoz, B. Guieysse. Algal-bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: a review. Water Res., Vol. 40, 2006, pag. 2799-2815;
- T.O.S., Popoola, O.D Yangomodou., Extraction, properties and utilization potentials of cassava seed oil. Biotechnology Vol. 5, 2006, pag. 38-41;
- J., Pratoomyot, P., Srivilas, T., Noiraksar. Fatty acids composition of 10 microalgal species. Journal of Science and Technology Vol. 27, 2005, pag. 1179-1187;
- T.A Shub,G.Y.Kivman, V.S.Chudaeva, V.G. Maslennikova, O.N.Al'bitskaya Use of *Chlorella* hydrolysate in culture media and pharmaceutical microbiology, Pharmaceutical Chemistry Journal, Vol. 28, 1994, pag. 513-515;
- D. J. Stepan, R. E. Shockey, T.A. Moe, R. Dorn, Carbon dioxide sequestering using microalgal systems, Final Report U.S. Department of Energy National Energy Technology Laboratory - Pittsburgh, 2002, pag. 1-32;
- N.F.Y. Tam, Y.S. Wong. The comparison of growth and nutrient removal efficiency of *Chlorella pyrenoidosa* in settled and activated sewage. Environment Pollution, Vol. 65, 1990, pag. 93-108;
- N.F.Y. Tam, Y.S. Wong. Effect of ammonia concentrations on growth of *Chlorella vulgaris* and nitrogen removal from media. Bioresource Technology, Vol. 57, 1996, pag. 45-50;
- M. R. Tredici, P. Carlozi, G. Chini-Zittelli, R. Materassi. A vertical alveolar panel (VAP) for outdoor mass cultivation of microalgae and cyanobacteria Biores. Technol.. Vol. 38, 1991, pag. 153-159;
- D. Voltolina, B. Cordero, M. Nieves, L.P. Soto. Growth of *Scenedesmus* sp. in artificial wastewater. Biore-source Technology, Vol. 68, 1998, pag. 265-268;
- K.H., Wiltshire, M., Boersma, A., Moller, H., Buhtz Extraction of pigments and fatty acids from the green alga *Scenedesmus obliquus* (Chlorophyceae). Aquatic ecology Vol. 34,, 2000, pag. 119-126;
- <http://www.oilgae.com/>



Assessorato Agricoltura, Foreste, Caccia e Pesca
Direzione Agricoltura

Le alghe per il trattamento dei reflui zootecnici: una possibile soluzione al problema nitrati

Coordinamento editoriale: Andrea Marelli
(Regione Piemonte)

Coordinamento tecnico: Alberto Turletti
(Regione Piemonte)

Elaborazione e redazione scheda:
Barbara La Licata, Fabio Sagnelli, Paola Zitella
ENVIRONMENT PARK Spa

Partner di progetto:
Aldo Brustolon, Vittorio Buscemi
COLDIRETTI PIEMONTE - IMPRESA VERDE TORINO - IMPRESA VERDE CUNEO

Milena Bernardi, Bernardo Ruggeri
POLITECNICO DI TORINO, Dipartimento di Ingegneria Chimica e dei Materiali

Daniele Giaccone, Tiziano Valperga
ASSOCIAZIONE REGIONALE ALLEVATORI PIEMONTE

È vietata la riproduzione dei testi e dei materiali iconografici senza autorizzazione e citazione della fonte

Stampa: L'Artistica Savigliano (Savigliano - CN)
Tiratura: 800 copie - Aprile 2011



Publicazione in distribuzione gratuita
Supplemento al n. 72 di "Quaderni della Regione Piemonte – Agricoltura"
Direttore responsabile: Teodora Trevisan
Redazione presso Regione Piemonte – Assessorato Agricoltura
Corso Stati Uniti 21, 10128 Torino
Tel. 011/432.4722 - Fax 011/537726
E-mail: quaderni.agricoltura@regione.piemonte.it