

Progetto RIDUCAREFLUI – Azione 4

Studio di fattibilità sul trattamento delle deiezioni animali in impianti di trattamento delle acque reflue dismessi



Relazione finale dell'attività sperimentale

31 dicembre 2013

ARPAV

Direttore Generale

Carlo Emanuele Pepe

Direttore Tecnico

Paolo Rocca

Dipartimento Provinciale di Treviso

Loris Tomiato

Servizio Osservatorio Suolo e Bonifiche

Paolo Giandon

Progetto e realizzazione

Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti

Paolo Giandon (Responsabile della struttura e testi)

Stefano Zennaro - Libero professionista (Testi ed elaborazione dati)

Campionamento ed analisi:

Antonio Pegoraro, Valentino Guzzo, Clara Buora (ARPAV)

Stefano Zennaro (libero professionista)

L'attività descritta nel presente rapporto è parte del progetto "Riduzione del carico inquinante generato dai reflui zootecnici nell'area del bacino scolante della laguna veneta – RiduCaReflui" finanziato dalla Regione Veneto con D.G.R. 30/12/2008 n. 4031.

INDICE

1. OBIETTIVI E SVILUPPO DELLO STUDIO	4
1.1 <i>OBIETTIVI DELLO STUDIO.....</i>	4
1.2 <i>RISULTATI DI STUDI PRECEDENTI</i>	5
1.3 <i>PIANO DI ATTIVITÀ</i>	6
2. PRIMA FASE DELLO STUDIO: PROVE IN LABORATORIO.....	7
2.1 <i>LIQUAMI SOTTOPOSTI A TEST E MODALITÀ DI CAMPIONAMENTO</i>	7
2.2 <i>PIANO ANALITICO OPERATIVO DI LABORATORIO.....</i>	8
2.3 <i>RISULTATI ANALITICI DI LABORATORIO.....</i>	9
2.4 <i>BILANCI DI MASSA DERIVANTI DAI RISULTATI DEI TEST DI LABORATORIO</i>	13
2.5 <i>UTILIZZO DI REAGENTI PER INCREMENTARE LA SEPARAZIONE SOLIDO/LIQUIDO.....</i>	16
3. SECONDA FASE DELLO STUDIO: PROVE IN IMPIANTO PILOTA	17
3.1 <i>PREDISPOSIZIONE DELL'IMPIANTO PILOTA</i>	17
3.2 <i>DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO PILOTA DI SEPARAZIONE SOLIDO-LIQUIDO E TRATTAMENTO BIOLOGICO DEGLI EFFLUENTI.....</i>	19
3.3 <i>PIANO DELLE ATTIVITÀ</i>	20
3.4 <i>CAMPIONAMENTO ED ANALISI</i>	21
3.5 <i>ATTIVITÀ SPERIMENTALI.....</i>	21
3.6 <i>RISULTATI.....</i>	22
<u>RISULTATI DEL TRATTAMENTO CON SEPARATORE ELICOIDALE</u>	22
<u>RISULTATI DEL TRATTAMENTO CON ESTRATTORE CENTRIFUGO.....</u>	24
<u>VALUTAZIONE COMPLESSIVA DEI RISULTATI DEL TRATTAMENTO DI SEPARAZIONE S/L.....</u>	26
<u>RISULTATI DEL TRATTAMENTO CON IMPIANTO SBR</u>	28
4. CONCLUSIONI.....	30
5. BIBLIOGRAFIA	33

1. OBIETTIVI E SVILUPPO DELLO STUDIO

1.1 *Obiettivi dello studio*

Nel distretto settentrionale di Castelfranco Veneto (Provincia di Treviso) l'utilizzo agronomico di effluenti di allevamento sui terreni agricoli è ora severamente limitato sia per la presenza di allevamenti intensivi, per i quali le quantità di effluente prodotto supera ampiamente i carichi sostenibili dal punto di vista agronomico, sia per il potenziale impatto negativo di tali carichi sulla qualità delle acque superficiali e sotterranee, soprattutto se non gestiti in modo ottimale.

Ciò riguarda in particolare l'area dei comuni di Asolo, Fonte, Paderno del Grappa, Maser, Altivole, Loria, S. Zenone degli Ezzelini, Riese Pio X, Castello di Godego, Crespano del Grappa, dove gli allevamenti zootecnici sono molto diffusi e in cui si trovano le concentrazioni di nitrati nelle acque sotterranee tra le più elevate di tutta la Provincia di Treviso. In questa zona è già operativo il collegamento dei collettori fognari tra i vari Comuni in direzione dell'impianto di depurazione di Salvatronda in comune di Castelfranco, che dovrebbe diventare nei prossimi anni l'unico impianto centralizzato di depurazione.

Ci sono già dei piani per estendere la rete fognaria anche per i comuni di Castelcucco, Borso del Grappa, Monfumo, Mussolente, Castelfranco Veneto.

Va notato che molti allevamenti, a causa delle particolari caratteristiche pedologiche e idrogeologiche della zona, hanno visto notevolmente ridotta la possibilità di uso agricolo degli effluenti dopo la designazione delle zone vulnerabili ai nitrati da parte della Regione. L'attuazione di una gestione integrata degli effluenti tra allevamenti, aziende agricole senza allevamento e servizi di depurazione delle acque reflue potrebbe essere una soluzione efficace a questi problemi a costi relativamente bassi.

I dati disponibili sul numero di animali allevati nei 15 comuni della zona evidenziano la presenza di allevamenti di suini (2.800 scrofe e 27.000 capi da ingrasso) e bovini (12.000 vacche da latte, 47.000 vitelloni, e 43.500 vitelli da carne bianca).

Il carico di azoto zootecnico totale (tabella 1), calcolato sulla base delle tabelle contenute nel decreto ministeriale 7/4/2006, ammonta a 2.927 tonnellate, per un carico unitario di circa 139 kg/ha; considerando che, ad esclusione delle vacche da latte, tutte le altre categorie è molto probabile che producano effluenti non palabili, il volume di effluenti prodotto è superiore a 2500 metri cubi al giorno.

Il calcolo dei carichi di azoto agricolo e zootecnico evidenzia che i fabbisogni di azoto delle colture sono interamente coperte dai concimi minerali venduti (ISTAT), e pertanto ci sono attualmente notevoli eccedenze di azoto, in alcuni comuni superiori a 200 kg/ha/anno.

Il presente studio si propone di identificare le condizioni di funzionamento ottimali e valutare la sostenibilità economica di possibili futuri centri di trattamento degli effluenti nella zona, provenienti dalla conversione di impianti di depurazione delle acque reflue che

sono stati dismessi, o che lo saranno subito dopo la connessione di tutte le fognature comunali all'impianto consortile di Castelfranco.

Tabella 1 - Stima del carico di azoto per unità di superficie prodotta dagli allevamenti (N zootecnico), distribuito con i concimi minerali (N minerale) e utilizzato da parte delle colture (N assorbito).

Comune	SAU	N minerale	N zootecnico	N totale	N assorbito	ΔN
	(ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)
Altivole	2534	164.0	171.1	335.1	124.5	210.5
Asole	1760	173.2	121.7	295.0	147.4	147.5
Borso del G.	1089	96.3	58.2	154.6	128.5	26.0
Castelcucco	438	147.8	231.5	379.3	176.7	202.6
Castelfranco V.	2550	215.3	134.4	349.7	143.0	206.7
Castello di G.	1251	218.9	104.0	322.9	157.0	165.9
Crespano del G.	1117	94.2	181.2	275.5	112.8	162.6
Fonte	850	188.5	211.2	399.8	175.1	224.6
Loria	1595	231.6	221.6	453.3	154.8	298.4
Maser	1391	164.8	106.6	271.4	134.2	137.1
Monfumo	525	98.5	107.8	206.4	133.2	73.2
Mussolente	1126	149.7	65.4	215.2	157.0	58.1
Paderno del G.	457	122.9	102.2	225.1	140.3	84.8
Riese Pio X	3187	225.1	140.6	365.8	195.2	170.6
San Zenone degli E.	1191	203.0	126.7	329.7	180.1	149.5
TOTALE	21059	166.3	139.0	305.3	150.7	154.6

Questi centri dovrebbero essere dotati di una fase di ricevimento dei liquami, per specie, costituito da una sezione di stoccaggio, separazione meccanica dei solidi grossolani e fini e uno stoccaggio della frazione liquida chiarificata associato a un trattamento biologico di nitrificazione e denitrificazione.

La prima fase necessaria per lo sviluppo di un tale impianto richiede l'individuazione delle tecnologie più adatte a massimizzare l'efficienza della separazione solido-liquido, sia in termini di solidi totali e volatili, sia per quanto riguarda i principali elementi nutritivi, azoto e fosforo.

1.2 Risultati di studi precedenti

In bibliografia si trovano indicazioni molto diverse circa l'efficacia delle diverse tecnologie di separazione solido-liquido finalizzata ad una migliore gestione dei residui animali.

Nella tabella 2 sono riportati i risultati di alcune delle esperienze più significative in questo settore; essi riguardano sia i liquami suini e bovini mediante l'utilizzo prevalentemente di sistemi di separazione meccanica come vagli orizzontali o rotativi di vario tipo e/o centrifughe o nastropresse.

I dati sono molto diversi tra autori, tanto da poter concludere che la soluzione ottimale deve essere sviluppata caso per caso, a seconda del tipo di liquame da trattare e prendendo in considerazione la tecnologia disponibile.

L'uso di agenti flocculanti sembra dia sempre risultati positivi a costi, quando quantificati, alquanto variabili.

Un'altra evidenza che emerge costantemente è che l'efficienza di rimozione è direttamente proporzionale al contenuto di sostanza secca del liquame.

Viene inoltre confermato che: nei liquami freschi si ha una maggiore resa di separazione dell'azoto nella frazione solida in quanto non si è ancora del tutto attivata la trasformazione dell'azoto organico ad ammoniacale attraverso processi biologici; l'azoto indisciolto ed il fosforo nei liquami bovini è contenuto per l'80% circa nelle particelle con dimensioni inferiori a 0,125 mm.

Tabella 2 - efficienza di rimozione dei solidi e di sostanze nutritive (%) da liquami suini e bovini in seguito al trattamento di separazione solido-liquido riportato da vari autori (vedi bibliografia citata per i riferimenti).

Autore	Liquame	% SS	Tecnol.	Floc	ST	SV	TN	TP
Balsari 2006	Suino	varia	Vaglio	no	7,4-57,5	--	0,8-15,9	10,5-73,7
Balsari 2006	Suino	varia	Centrifuga	no	30,6-69,7	--	8,9-25,7	59,6-84,0
Møller 2002	Suino	5,3	Centrifuga	no	60,5	--	29,3	62,3
Møller 2002	Suino	5,3	Vaglio	no	27,5	--	6,6	7,1
Vanotti 2002	Suino	0,6	Vaglio	no	15,5	16,9	7,2	10,0
Vanotti 2002	Suino	0,6	Vaglio	si	95	95	35	74
Westerman 2000	Suino	0,8	Vaglio	si	34	50	22	90
Balsari 2006	Bovino	varia	Vaglio	no	27,6-77,8	--	10,4-36,5	32,8-73,7
Balsari 2006	Bovino	varia	Centrifuga	no	54,1-69,1	--	20,3-29,2	75,9-93,8
Castrillon 2009	Bovino	4,1	Centrifuga	no	35,2	41	20	75
Chastain 2001	Bovino	3,8	Vaglio	no	60,9	62,8	49,2	53,1
Chastain 2001	Bovino	1,2	Vaglio	si	77,9	60,8	41,9	68,3
Garcia 2009	Bovino	3,2	Vaglio	si	95,3	92,3	86,0	61,9
Møller 2002	Bovino	6,4	Centrifuga	no	65,2	--	49,1	82,0
Møller 2002	Bovino	6,4	Vaglio	no	29,9	--	7,6	15,5

1.3 Piano di attività

Lo studio si compone di due fasi di attività: i test di laboratorio (fase 1) e le prove in impianto pilota posizionato presso un impianto di trattamento delle acque reflue (fase 2), durante le quali alcune tecnologie di separazione solido-liquido sono state testate per verificarne le rese di riduzione del carico di solidi e nutrienti nella frazione chiarificata in modo da limitare la quantità di liquame chiarificato da trattare, e consentire l'attivazione di un successivo ulteriore processo di depurazione (configurazione bioreattore in SBR e/o MBR) che a sua volta è stato oggetto di verifica per l'applicabilità a scala di campo.

L'impianto individuato per lo svolgimento delle prove necessarie per la verifica di fattibilità tecnica del percorso sopra descritto, si trova nel Comune di Fonte che dal 2011 è gestito dalla società pubblica Alto Trevigiano Servizi.

La prima fase necessaria per lo sviluppo dell'impianto pilota, svoltasi nel corso del 2010, ha studiato le tecniche e tecnologie più adatte a massimizzare l'efficienza della separazione solido-liquido, sia in termini di solidi totali e volatili, sia per quanto riguarda i principali elementi nutritivi, azoto e fosforo, applicata a 5 diverse tipologie di liquame (bovini da carne e da latte, suini da ingrasso e da riproduzione e vitelli a carne bianca).

Nella seconda fase, svoltasi nel corso del 2013, sono state testate alcune tecnologie di separazione solido-liquido a scala reale per verificarne la capacità di ridurre il carico di solidi e nutrienti nella frazione chiarificata ed è stata verificato il funzionamento di un successivo ulteriore processo di trattamento biologico (configurazione bioreattore in SBR) ai fini dell'abbattimento dell'azoto.

2. PRIMA FASE DELLO STUDIO: PROVE IN LABORATORIO

2.1 Liquami sottoposti a test e modalità di campionamento

Sono stati individuati cinque tipi di allevamento per il prelievo dei campioni da sottoporre alle prove di caratterizzazione e separazione: bovini da latte, vitelli a carne bianca, bovini da carne, suini da ingrasso e suini da riproduzione.

In una prima fase sono stati analizzati due campioni di liquame con contenuti molto diversi di sostanza secca, prelevati in un allevamento di vitelli a carne bianca, con 0,7% di materia secca, ed in un allevamento di bovini da latte, con il 8,3% di materia secca. Il campionamento è stato effettuato prelevando diversi campioni elementari a varie profondità dei bacini di stoccaggio del liquame fresco, successivamente aggregati per formare il campione finale da avviare alle analisi. L'indagine è stata successivamente estesa agli altri tre tipi di liquame identificati per quattro campagne di prelievo per ciascuno dei 5 allevamenti individuati allo scopo di indagare la variabilità dei liquami nel tempo, ottenere dei riscontri significativi sulle rese di separazione ottenute in laboratorio e disporre di materiale per le successive prove di separazione solido-liquido con aggiunta di coagulanti e flocculanti.

Al fine di prelevare dei campioni quanto più rappresentativi della massa dei liquami giacenti in allevamento, si è curata in modo particolare la miscelazione della massa stessa, tenuto conto del contenuto di sostanza secca dei liquami, della dimensione e della forma degli stoccaggi e della presenza di "cappello" sulla superficie o di strati di sedimentazione. In genere si è fatto uso di agitatori a pale mossi dalla presa di potenza di una trattrice agricola, oppure sfruttando la funzione di ricircolo messa in atto con uso della botte spargiliquami (allevamento vitelli a carne bianca) o dell'impianto di separazione solido liquido, mantenendo fermo il dispositivo di separazione e prelevando, periodicamente, i campioni elementari allo sbocco dello scarico di troppo pieno (allevamento di suini da riproduzione). I campioni finali sono stati ottenuti dall'unione di almeno quattro campioni elementari e sono stati confezionati in taniche in HDPE da 10 litri, riempite per circa tre quarti.

2.2 Piano analitico operativo di laboratorio

Sono stati testati diversi metodi di separazione dei solidi grossolani (diametro delle particelle > 0,1 mm), sospesi (diametro tra 0,01 e 0,1 mm) e colloidali (diametro <0,01 mm), per verificare la distribuzione dei nutrienti tra le diverse frazioni; il protocollo di trattamento dei campioni che combina facilità di esecuzione con significatività dei risultati si compone di due fasi:

- filtrazione attraverso setaccio con maglie di 0,1 millimetri per la separazione dei solidi grossolani;
- centrifugazione a 4.000 giri / min per 15 minuti per la separazione dei solidi sospesi.

Sui campioni tal quali e sulle frazioni chiarificate è stata eseguita la determinazione di solidi totali (ST), solidi volatili (SV), azoto Kjeldahl (TKN) e ammoniacale, COD, fosforo totale e solubile, pH e conducibilità, Rame e Zinco (questi ultimi solo su liquami tal quali) mentre sul solido ottenuto dalla filtrazione 0,1 mm e dalla centrifugazione si è misurata la frazione ponderale, i solidi totali (ST), il fosforo totale, il TKN e l'azoto ammoniacale.

Nello specifico il set analitico eseguito dal Laboratorio ARPAV di Treviso è riportato in tabella 3.

Tabella 3 – Elenco dei parametri analizzati nei liquami oggetto dello studio

SET COMPLETO (liquami tal quali)	SET PARZIALE (liquido vagliato e centrifugato)
Sostanza secca totale	Sostanza secca totale
Sostanza secca volatile	Sostanza secca volatile
Sostanza secca inerte (per differenza)	Sostanza secca inerte (per differenza)
Fosforo totale	Fosforo totale
Ortofosfati	Ortofosfati
Fosforo organico (per differenza)	Fosforo organico (per differenza)
COD	COD
TKN	Azoto ammoniacale
Azoto ammoniacale	Azoto Organico (per differenza)
Azoto Organico (per differenza)	
pH	
Conducibilità	
Rame	
Zinco	

La fase di test relativa al trattamento effluenti con agenti flocculanti (polielettroliti) e coagulanti per valutare l'eventuale incremento di efficienza di separazione solido-liquido di componenti organici, azoto e fosforo indotta da ciascuna sostanza a concentrazioni diverse è stata eseguita sui campioni prelevati nei 2 allevamenti a maggior contenuto di solidi totali (vacche da latte e vitelloni).

2.3 Risultati analitici di laboratorio

Liquami tal quali

Sono state eseguite una serie di analisi di laboratorio nel periodo luglio-dicembre 2010 allo scopo di individuare le specifiche caratteristiche qualitative dei liquami prodotti dai cinque allevamenti oggetto della sperimentazione. La caratterizzazione è stata effettuata allo scopo di determinare il contenuto di sostanza secca, sostanza organica, quello dei nutrienti e dei due metalli pesanti principali (Cu e Zn).

In generale è possibile affermare che, ad eccezione dell'allevamento dei suini da riproduzione, i valori riscontrati dei singoli parametri hanno mostrato una variabilità molto contenuta nel tempo.

Nel caso dei liquami dei suini da riproduzione è probabile che la variabilità sia legata alla complessità della rete fognaria dell'allevamento, dotata di una serie di lunghe canalizzazioni servite da stazioni di sollevamento per l'invio dei liquami all'impianto di trattamento. Negli altri allevamenti infatti i liquami vengono raccolti direttamente in una vasca di stoccaggio nei pressi dell'area di stabulazione degli animali.

I grafici di figura 1 e 2 mostrano come il contenuto di Solidi Totali, COD e le forme azotate risultino stabili nel tempo. Maggiore variabilità (figura 3) è stata riscontrata per i composti del fosforo.

I valori medi dei parametri analizzati sono riportati nelle Tabelle 4 e 5 (colonna Liquame).

I dati evidenziano che il contenuto di sostanza secca per gli allevamenti di animali giovani (vitelli a carne bianca e suini da ingrasso) è molto basso (rispettivamente 0,65% e 1,87%) con contenuto di solidi inerti preponderante rispetto a quelli volatili (rispettivamente 73% e 52% del totale). Tale fatto è collegato molto probabilmente al tipo di alimentazione e di metabolismo dell'animale (Hjorth et al. 2001, Meyer and Ristow, 2007). In questi liquami così diluiti l'azoto ed il fosforo sono completamente associati alla frazione liquida (in forma ammoniacale e di ortofosfati).

Nei liquami più densi relativi ad animali meno giovani con contenuto di sostanza secca superiore al 5% è presente una percentuale di azoto organico significativa tra il 40-60% dell'azoto totale mentre il fosforo organico è pari al 36-45% del totale. In questi allevamenti la percentuale di solidi volatili rispetto a quella inerte risulta intorno al 70% del totale, con conseguente notevole incremento del valore di COD nei liquami ad essa associato. Da segnalare la maggior presenza di azoto organico rispetto al totale nei liquami dei bovini da latte rispetto a quelli da carne.

Il pH si mantiene intorno a 8 unità mentre la conducibilità è variabile a seconda del tipo di allevamento: valori più bassi intorno a 1200 mS/cm per vitelli, fino ad un massimo di 3600 mS/cm per bovini da carne e suini da ingrasso.

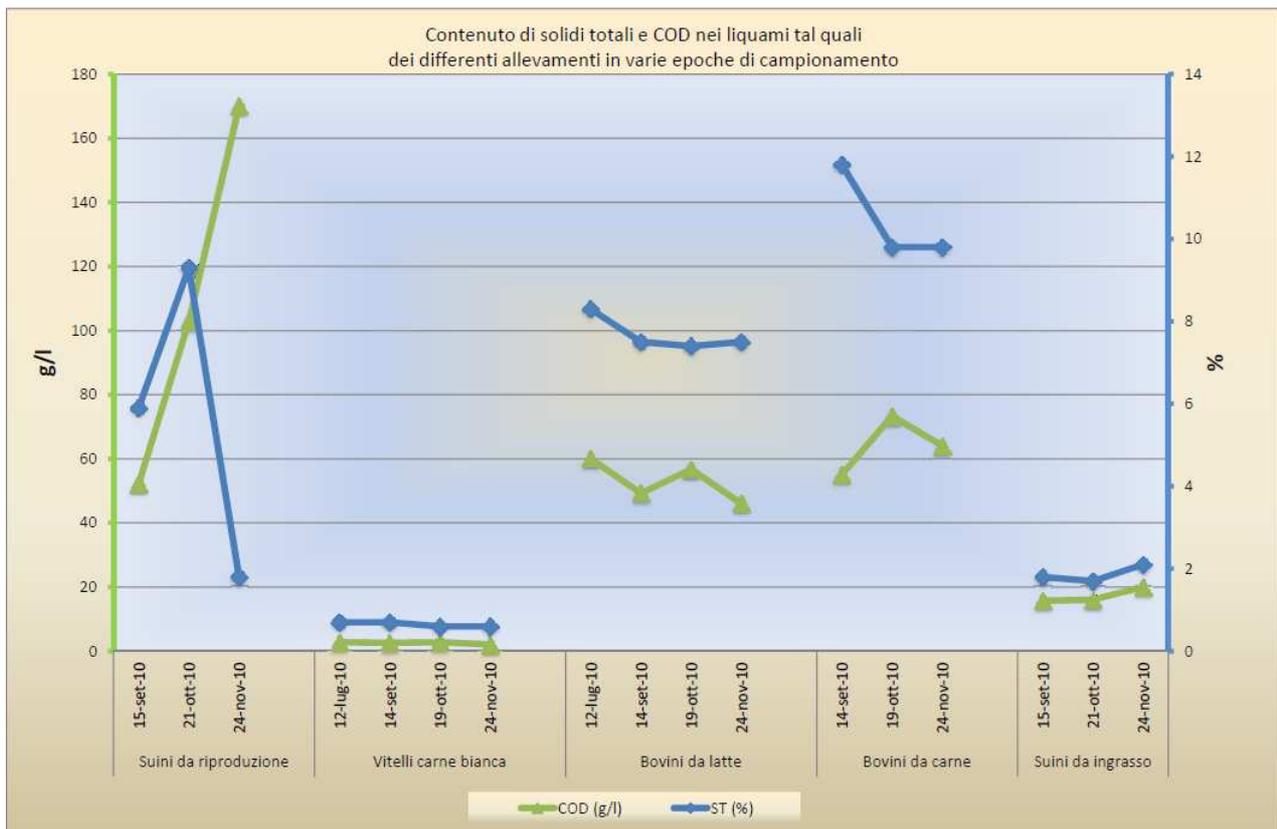


Figura 1 – Andamento del contenuto di COD e solidi totali delle 5 tipologie di effluente considerato nel corso delle 3-4 campagne di prelievo effettuate.

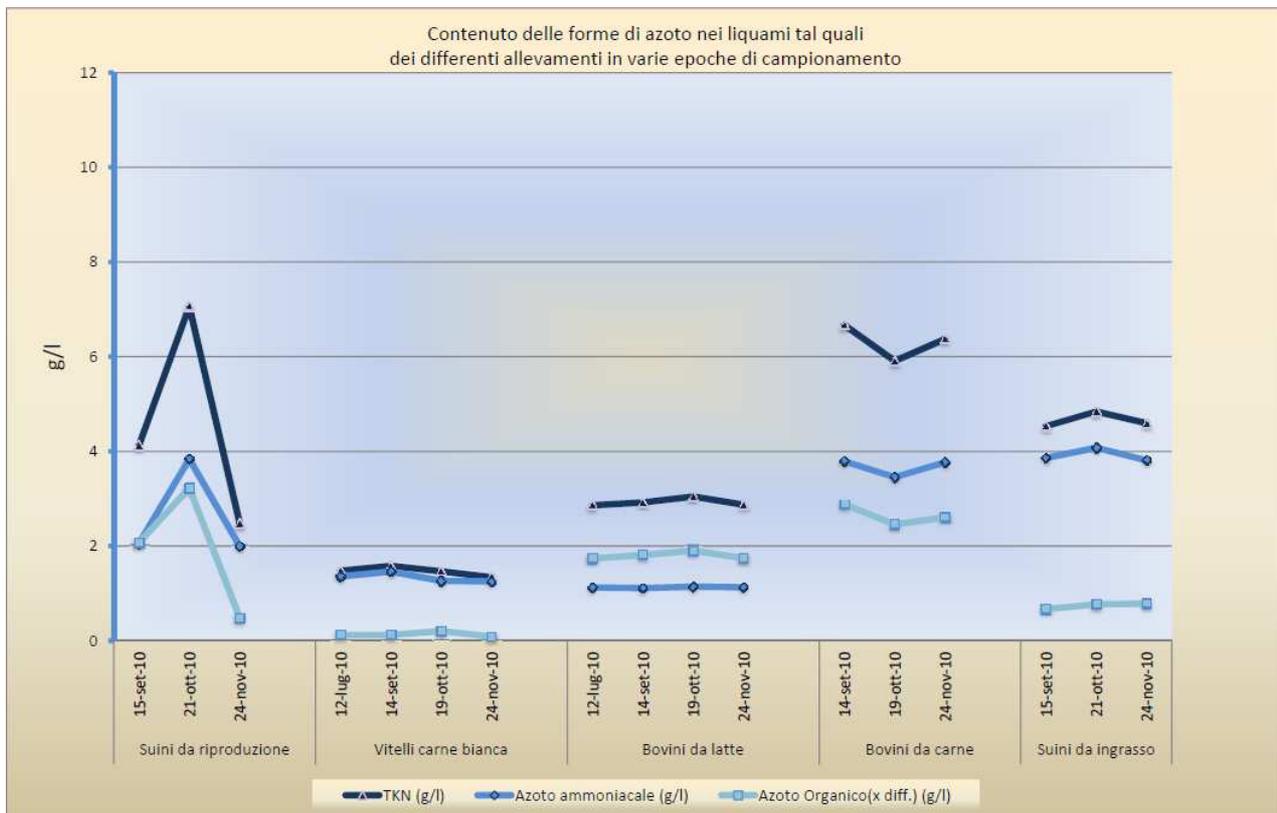


Figura 2 – Andamento del contenuto di azoto totale, ammoniacale e organico delle 5 tipologie di effluente considerato nel corso delle 3-4 campagne di prelievo effettuate.

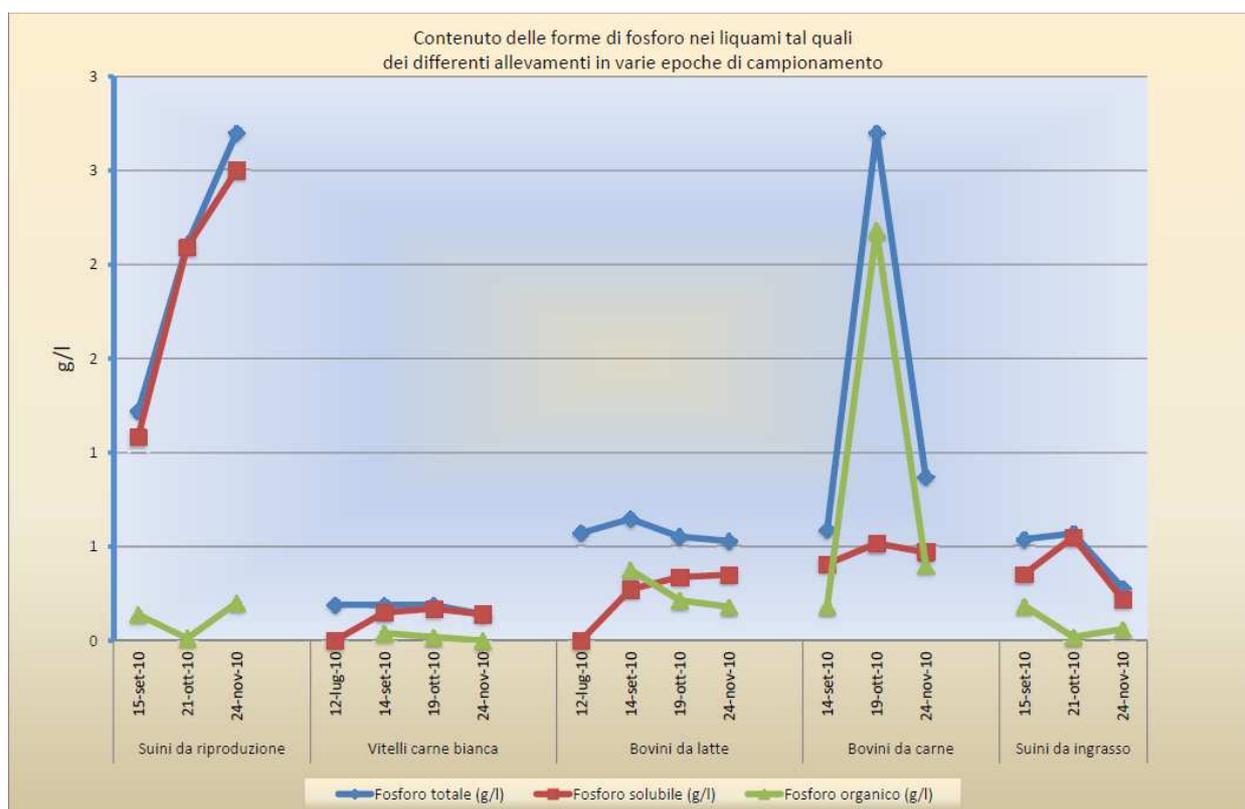


Figura 3 – Andamento del contenuto di fosforo totale, solubile e organico delle 5 tipologie di effluente considerato nel corso delle 3-4 campagne di prelievo effettuate.

Valori contenuti di rame e zinco si segnalano per gli animali bovini adulti mentre per quelli in fase di crescita si sono ottenuti valori più elevati. Vengono confermati valori più elevati a carico degli allevamenti di suini (valori molto variabili nel caso dei suini da riproduzione a conferma di quanto già riportato in precedenza) mentre quelli relativi ai suini da ingrasso risultano confrontabili con i valori riportati da Balsari e al. (2006).

Tabella 4 - Caratteristiche chimico-fisiche dei liquami bovini e relative frazioni liquide separate (medie di 3/4 campionamenti)

Parametri	u.m.	Vitelli carne bianca			Bovini da latte			Bovini da carne		
		liquame	<0,1 mm	0,1÷0,01 mm	liquame	<0,1 mm	0,1÷0,01 mm	liquame	<0,1 mm	0,1÷0,01 mm
ST	%	0,65	0,63	0,57	7,68	4,28	2,27	10,47	5,30	3,47
SV	% s.s.	27,10	24,61	18,8	77,7	64,43	54,00	77,1	68,70	64,6
Sost. inerte	% s.s.	72,90	75,39	81,2	22,3	35,57	46,0	22,9	31,31	35,4
P Totale	g/l	0,18	0,17	0,15	0,58	0,43	0,13	0,72	0,59	0,20
P Solubile (orto)	g/l	0,15	0,16	0,14	0,32	0,26	0,05	0,46	0,40	0,05
P organico	g/l	0,03	0,01	0,01	0,26	0,17	0,08	0,26	0,19	0,15
COD	g/l	2,58	2,52	1,87	52,99	44,75	18,50	64,11	51,67	37,00
TKN	g/l	1,47	1,42	1,44	2,92	2,65	1,78	6,32	5,99	5,42
N Ammoniacale	g/l	1,33	1,39	1,40	1,13	1,13	1,08	3,67	3,74	3,73
N Organico	g/l	0,13	0,04	0,04	1,80	1,53	0,71	2,65	2,26	1,69
N org./TKN	%	9	2,5	3	61	57,2	40	42	37,66	31
pH		8,10	---	---	8,17	---	---	8,25	---	---
Conducibilità	mS/cm	1213	---	---	1728	---	---	3677	---	---
Rame	mg/kg s.s.	108	---	---	37	---	---	40	---	---
Zinco	mg/kg s.s.	619	---	---	297	---	---	272	---	---

Tabella 5 - Caratteristiche chimico-fisiche dei liquami suini e relative frazioni liquide separate (medie di 3/4 campionamenti)

Parametri	u.m.	Suini da riproduzione			Suini da ingrasso		
		liquame	<0,1 mm	0,1÷0,01 mm	liquame	<0,1 mm	0,1÷0,01 mm
ST	%	5,67	5,55	3,05	1,87	1,93	1,50
SV	% s.s.	67,70	68,81	61,60	48,2	51,32	43,70
Sost. inerte	% s.s	32,40	31,19	38,40	51,8	48,69	56,30
P Totale	g/l	2,01	1,55	0,19	0,46	0,33	0,13
P Solubile(orto)	g/l	1,89	1,35	0,13	0,37	0,26	0,10
P organico	g/l	0,12	0,20	0,06	0,09	0,07	0,03
COD	g/l	102,27	81,0	51,00	17,24	15,33	11,40
TKN	g/l	4,56	5,35	4,00	4,66	4,80	4,32
N Ammoniacale	g/l	2,63	3,03	2,97	3,91	3,99	3,89
N Organico	g/l	1,93	2,32	1,03	0,74	0,81	0,42
N org./TKN	%	38	44	23	16	17	10
pH		7,88	---	---	8,18	---	---
Conducibilità	mS/cm	2820	---	---	3603	---	---
Rame	mg/kg s.s.	834	---	---	131	---	---
Zinco	mg/kg s.s.	1220	---	---	784	---	---

Liquami vagliati a 100 µ

Le caratteristiche della frazione liquida dei liquami più diluiti (vitelli a carne bianca e suini da ingrasso) sottoposti a vagliatura risultano sostanzialmente simili a quelle di partenza; anche quelle relative ai suini da riproduzione (nonostante il contenuto di sostanza secca del 5,7%) non subiscono variazioni significative se non per il contenuto di fosforo con una riduzione del 23% e del COD (20%). Le frazioni liquide dei liquami dei bovini da latte e da carne subiscono invece delle modificazioni molto significative con questi tipo di trattamento: in particolare si evidenzia una riduzione del contenuto di sostanza secca dell'ordine del 50% a causa della notevole presenza di fibre indigerite. Una diminuzione meno marcata si è riscontrata nei confronti del COD (16%-19%) e del fosforo totale (18-26%). Il contenuto dei composti azotati rimane quasi inalterato essendo questo di norma associato a particelle di dimensioni inferiori a 125 micron.

Liquami vagliati a 100 µ e centrifugati

Le caratteristiche medie delle frazioni liquide dei liquami dopo vagliatura (la vagliatura preliminare si è resa necessaria per una migliore operatività del laboratorio) e centrifugazione sono riportate nelle colonne "0,1÷0,01 mm" delle tabelle 4 e 5. Per l'allevamento dei vitelli a carne bianca è possibile affermare che non vi sono state variazioni di sorta rispetto al liquame di partenza, ciò in ragione della sostanziale presenza di nutrienti e sostanza organica allo stato disciolto o associate a particelle molto piccole. Nella frazione liquida dei liquami da suini da ingrasso è stata ottenuta una riduzione del contenuto di Solidi totali (20%), del COD (34%) e del fosforo totale (72%) mentre i composti azotati sono rimasti pressoché inalterati rispetto alla concentrazione iniziale. In quella dei suini da riproduzione si è ottenuta una riduzione della concentrazione di partenza dei Solidi totali pari al 46%, del COD pari al 50%, del fosforo totale pari al 93% e dell'azoto totale pari al 12% nella sua frazione organica (47% di riduzione dell'azoto organico contenuto nel liquame tal quale).

Infine nei bovini da latte e da carne si evidenzia una frazione liquida contenente in media il 70% in meno solidi totali, dal 42 al 65% in meno di COD ed una riduzione intorno al 75% del fosforo totale. Nel caso dei bovini da latte si riscontra una riduzione del 39% dell'azoto totale (61% dell'azoto organico) mentre nel caso dei bovini da carne si è ottenuta una riduzione del 14% dell'azoto totale (36% dell'azoto organico). In effetti Hjorth et al. (2001) riportano che nei liquami bovini una percentuale superiore all'80% di azoto e fosforo è contenuta nella frazione particellare inferiore a 0,125 mm mentre indagini più dettagliate indicano che il 70% di N e P indisciolti si trovano associati a particelle con dimensioni comprese tra 0.45 -250 μm . Secondo Møller et al. (2002) nel chiarificato in uscita da centrifugazione non risultano presenti particelle di dimensioni superiori a 0,025 mm indicando che le centrifughe riescono a trasferire nella frazione solida quasi tutte le particelle di diametro $>0,02$ mm. Egli riporta anche nel caso dei separatori elicoidali con maglie di 1 mm si sono ottenute rese di abbattimento del 30%, 15% e 8% rispettivamente per ST, TP e TN mentre nel caso di centrifughe si sono ottenute rese di 65%, 82% e 49% rispettivamente per ST, TP e TN con liquami bovini freschi (2 settimane). Appare quindi evidente l'interesse nell'utilizzo di centrifughe nell'abbattimento dei nutrienti anche se con maggiori costi di esercizio (4.0 kWh/ton in Møeller et al. 2000).

2.4 Bilanci di massa derivanti dai risultati dei test di laboratorio

Allo scopo di determinare le rese di separazione quantitative dei vari parametri analizzati mediante trattamento di vagliatura e centrifugazione si è provveduto ad eseguire una serie di pesate su campioni del liquame di partenza, del liquame vagliato 100 micron, del solido ottenuto dalla vagliatura, del surnatante centrifugato e del sedimento di fondo dopo centrifugazione. Su tutte queste frazioni si è provveduto alle determinazioni analitiche.

I bilanci di massa sono stati eseguiti utilizzando le medie delle concentrazioni dei singoli parametri e dei pesi delle varie frazioni.

Nei liquami con elevato contenuto di Solidi totali si è avuta difficoltà ad apprezzare con precisione le due frazioni del surnatante e del sedimentato dopo centrifugazione.

Le rese determinate sono da considerarsi indicative, anche se confrontabili con quelle ottenute da Balsari et al. (2006), in quanto necessariamente basate su quantità iniziali limitate (dell'ordine di 1 litro) e con tenori di sostanza secca delle frazioni solide significativamente diversi da quelli ottenibili con le macchine separatrici a scala reale.

Si ricorda infine che il grado di vagliatura (100 micron) è difficilmente ottenibile da questo tipo di macchine separatrici.

Azienda Agricola BIN (vitelli a carne bianca con ST 0,65%)

Non sono presenti solidi grossolani >100 μ . La centrifugazione dei liquami ha una efficacia pressochè nulla visto il contenuto di solidi totali molto basso: la separazione dei ST è pari al 13% e dell'azoto totale al 3% (70% dell'organico). E' opportuno verificare le rese di

separazione ottenibili con condizionamento chimico prima della centrifugazione. Sembra tuttavia che la separazione S/L con centrifuga su questo tipo di liquame non risulti economicamente conveniente se non in un'ottica di un impianto consortile dove i liquami vengono omogeneizzati con altri di diversa natura.

Sistemi di S/L come DAF (flottatori) seguiti da osmosi inversa od in alternativa finissaggio con fitodepurazione o trincee drenanti risultano sicuramente più indicati per le caratteristiche qualitative dei liquami in questione.

Azienda Agricola Milani (suini da riproduzione con ST 5,7%)

Le rese di separazione sono state ottenute con una qualche difficoltà in ordine alla variabilità dei liquami di partenza riscontrata. E' presente un ridotto contenuto di solidi grossolani separabili tramite vagliatura 100 micron (2,5% del t.q.) con effetti minimi sulla riduzione dei solidi totali (5%) e del fosforo totale (20%); gli altri parametri non risultano in alcun modo influenzati da questo trattamento S/L.

Rese di separazione dei contaminanti molto interessanti si sono riscontrate con la separazione S/L mediante centrifugazione pari a circa il 50% dei Solidi totali ed il 70% dell'azoto organico (30% circa del totale) e del fosforo totale. Rimangono da testare le rese ottenibili con questa tipologia di separazione utilizzando un condizionamento chimico del liquame prima della centrifugazione.

Azienda Agricola Suin Piave (suini da ingrasso con ST 1,9%)

Anche in questo caso il contenuto di solidi grossolani è alquanto ridotto (5% del totale); mediante vagliatura è apprezzabile una riduzione del 5% dei ST e del 50% del fosforo totale.

La separazione S/L attuata mediante centrifugazione consente la produzione di una frazione solida pari al 10% del liquame di partenza, la quale contiene il 30% dei ST ed il 20-25% dell'azoto totale e del fosforo totale. Anche in questo caso occorre valutare la S/L mediante condizionamento con agenti chimici; tuttavia visto il ridotto contenuto di azoto organico rispetto al totale risultano consigliabili per questo tipo di liquame sistemi di separazione S/L analoghi a quelli già indicati per i vitelli a carne bianca.

Azienda Agricola Fogal (bovini da latte con ST 7,7%)

Questo allevamento provvede ad una diluizione dei liquami per consentire il loro ricircolo tramite pompa sommersa posta sottogrigliato allo scopo di effettuare la pulizia dei canali di scolo. Questo tipo di liquami è caratterizzato da un elevato contenuto di solidi totali (7,7%) con una presenza preponderante di solidi grossolani assieme ad un elevato contenuto di azoto organico rispetto al totale (60%). Attraverso vagliatura si è ottenuta una frazione solida quantitativamente significativa (40% del liquame di partenza) con una sostanza secca del 13,1% (in sistemi a scala reale si riescono ad ottenere umidità intorno al 26%).

Questa frazione contiene il 70% dei Solidi totali iniziali, il 45% dell'azoto totale (55% dell'azoto organico) ed il 55% del fosforo totale. La successiva fase di centrifugazione consente di ottenere una frazione solida pari al 12% del liquame di partenza (secco del 12%) nella quale sono contenuti il 17% dei solidi totali, il 24% dell'azoto totale ed il 25% del fosforo totale. Complessivamente quindi i sistemi di separazione S/L testati in laboratorio consentono di ottenere su questo tipo di liquame una frazione solida, ancorchè molto umida, pari al 50% del liquame di partenza nella quale sono contenuti il 90% dei Solidi totali, il 70% dell'azoto totale (85% dell'azoto organico) e l'80% del fosforo totale. I dati emersi da queste prove risultano quindi molto interessanti (anche valutando l'apporto dell'ammoniaca residua contenuta nell'umidità della frazione solida) e consentono di affermare che questi tipi di trattamento sono sicuramente impiegabili per la rimozione dei nutrienti anche se rimane ancora da valutare l'aspetto economico ad essi collegato.

Azienda Agricola Merlo (bovini da carne con ST 10,5%)

Il liquame di questa tipologia di allevamento è caratterizzato da un elevato tenore di solidi totali con una significativa frazione di solidi grossolani; il contenuto di azoto totale ancorchè significativamente più elevato rispetto a quello dei bovini da latte (+100%) mostra tuttavia un percentuale di azoto organico più bassa rispetto alla precedente tipologia di allevamento (40% Norg/TKN).

Anche in questo caso con la vagliatura a 100 micron del liquame si ottiene una frazione solida pari al 50% del liquame di partenza (secco del 14%); in essa è contenuto il 75% dei solidi totali, il 55% dell'azoto totale (60% dell'azoto organico) ed il 65% del fosforo totale.

A seguito della centrifugazione della fase liquida passante al vaglio si ottiene una frazione solida pari al 15% del liquame di partenza con tenore di secco pari all' 8,8%. In questa frazione è contenuto il 15% dei solidi totali, il 15% dell'azoto totale (20% azoto organico) ed il 30% del fosforo totale presenti nel liquame di partenza.

In totale quindi i test di separazione S/L in questo tipo di liquame hanno evidenziato la produzione di una frazione solida pari al 65% del totale iniziale (con umidità relativa media dell'11,5%). Complessivamente il 90% dei ST, il 70% dell'azoto totale (80% dell'azoto organico) ed il 95% del fosforo totale del liquame di partenza sono contenuti nella frazione solida ottenuta.

Questi valori sono confrontabili con quelli ottenuti con il liquame prodotto dall'allevamento di bovini da latte e quindi valgono le medesime considerazioni finali già riportate in precedenza. Si ricorda che nelle elevate rese di trasferimento dell'azoto totale gioca un ruolo importante l'azoto ammoniacale contenuto nell'umidità della frazione solida. Nella realtà quindi in funzione di un tenore di secco più elevato nella frazione solida (25-30%) ci si dovrà aspettare una resa sensibilmente inferiore per l'azoto totale: nel lavoro di Balsari et al. (2006) per questo parametro si è ottenuta una resa massima intorno al 30% con liquame bovino al 4,0% di ST e viene riportata inoltre una separazione mediante

centrifugazione del 70% degli ST e del 90% del fosforo totale (come P₂O₅) in liquami di bovini da latte con ST del 6,0%.

2.5 Utilizzo di reagenti per incrementare la separazione Solido/Liquido

Sono state effettuate prove di laboratorio allo scopo di individuare eventuali sostanze (flocculanti di varia natura, coagulanti, ecc.) in grado di incrementare le rese di abbattimento dei nutrienti e della sostanza secca registrate con i processi fisici di vagliatura e centrifugazione. Tutte le prove ad eccezione di un test preliminare hanno utilizzato liquame bovino tal quale e vagliato a 100 micron. Le prime risultanze visive ed analitiche hanno evidenziato la mancanza un effetto significativo da parte di tutta la serie di polielettroliti e biopolimeri impiegati a meno di impiegare quantità improponibili degli stessi per costi e diluizione del liquame.

I primi test effettuati con l'impiego di coagulanti quali FeCl₃ hanno fornito dei riscontri interessanti rispetto alla riduzione di TKN e Solidi Totali nella frazione liquida. Tuttavia una serie ulteriore di prove effettuate su liquame vagliato e diluito (conc. ST 1%) per evidenziare meglio l'aspetto visivo legato alla sedimentazione dei solidi, con utilizzo di FeCl₃, AlSO₄, FeSO₄ non hanno dato riscontri interessanti. Non vengono quindi confermate le risultanze riportate in vari studi (Sherman et al., 2000) che riportano un incremento del 50% delle rese di abbattimento dei nutrienti in liquami bovini diluiti con ST pari all'1% di mediante aggiunta di coagulanti a base di Fe e Al.

Da segnalare come in base alle prove effettuate sembra che il contenuto di solidi disciolti e colloidali nel liquame di vitelloni costituisca il 2% di ST su un totale di 9,8% di ST, pari ad una frazione del 20% della quantità complessiva di solidi presenti.

Tabella 5 - Prove di chiarificazione con utilizzo di FeCl₃ su campione di liquame di bovini da carne filtrato 100 µm diluito 1:5. Verifica dell'azione del coagulante su pH, TKN, conducibilità, sostanza secca e torbidità.

Conc. finale [Fe] mg/l su liquame filtrato 100 µm	Vml soluzione FeCl ₃ 100 g/l aggiunti su 100ml liquame filtrato 100µm diluito 1:5	Mg soluzione FeCl ₃ 100 g/l aggiunti su 100ml liquame filtrato 100µm diluito 1:5	Peso (g) campione coagulato centrifugato	Peso (g) surnatante campione coagulato centrifugato	Peso (g) frazione solida dal campione coagulato centrifugato	pH	conducibilità mScm ⁻¹	torbidità (NTU)	N tot mg/l	secco %
BIANCO CAMPIONE DILUITO 1:5			49,66	44,42	5,24	8,34	8,02	942	960	0,552
80	0,23	0,248	54,38	48,98	5,40	8,21	8,03	989	962	0,540
172	0,5	0,539	53,83	48,79	5,04	8,13	8,13	981	941	0,547
344	1	1,078	53,27	47,35	5,92	8,09	8,24	887	926	0,519
689	2	2,155	54,04	47,94	6,10	7,95	8,54	857	959	0,519
1033	3	3,233	53,64	46,90	6,74	7,80	8,79	938	930	0,516
1722	5	5,389	54,46	46,06	8,40	7,49	9,17	851	929	0,508

Tabella 6 - Prove di chiarificazione con utilizzo di $AlSO_4$ su campione di liquame di bovini da carne filtrato 100 μm diluito 1:5. Verifica dell'azione del coagulante su pH, TKN, conducibilità, sostanza secca e torbidità.

Conc. finale [Al] mg/l su liquame filtrato 100 μm	Peso (g) campione coagulato centrifugato	Peso (g) surnatante campione coagulato centrifugato	Peso (g) frazione solida dal campione coagulato centrifugato	pH	conducibilità $mScm^{-1}$	torbidità (NTU)	N tot mg/l	secco %
0	49,35	45,25	4,1	8,36	8,05	1290	960	0,570
11	51,57	48,08	3,49	8,18	8,17	1380	998	0,559
55	50,92	47,37	3,55	8,20	8,19	1310	1001	0,564
110	50,50	46,34	4,16	8,12	8,24	1360	997	0,561
275	49,75	45,18	4,57	7,96	8,38	1370	962	0,555
495	50,48	45,37	5,11	8,03	8,45	1220	974	0,549
991	50,00	42,89	7,11	7,88	8,73	1100	967	0,536
1486	49,09	40,24	8,85	7,43	8,94	670	901	0,486
1982	50,05	43,34	6,71	7,13	9,12	490	889	0,495

3. SECONDA FASE DELLO STUDIO: PROVE IN IMPIANTO PILOTA

3.1 Predisposizione dell'impianto pilota

L'installazione di un impianto pilota all'interno dell'area dell'impianto del Comune di Fonte sito in via Castellana, la cui localizzazione è evidenziata nella mappa riportata in figura 4, ha lo scopo di testare l'applicabilità del sistema di separazione S/L e trattamento biologico di abbattimento dell'azoto degli effluenti zootecnici all'interno di una struttura adibita alla depurazione di reflui provenienti da pubblica fognatura.



Figura 1 – Localizzazione dell'area del depuratore di Fonte

La tavola riportata in figura 5 individua la superficie dedicata all'installazione dell'impianto pilota all'interno del perimetro del depuratore comunale, così come prevista dal progetto. In essa è indicato il posizionamento delle vasche e delle apparecchiature necessarie alla sperimentazione, dei serbatoi di stoccaggio degli effluenti trattati nonché i percorsi dei mezzi adibiti al carico/scarico degli effluenti palabili e non.

La sperimentazione era previsto si svolgesse in 10 mesi nel corso dei quali effettuare prove di separazione S/L con separatore elicoidale (6 mesi), estrattore centrifugo (6 mesi) e trattamento biologico con reattore SBR (2 mesi) con presenza contemporanea dei tre sistemi utilizzati per i test.

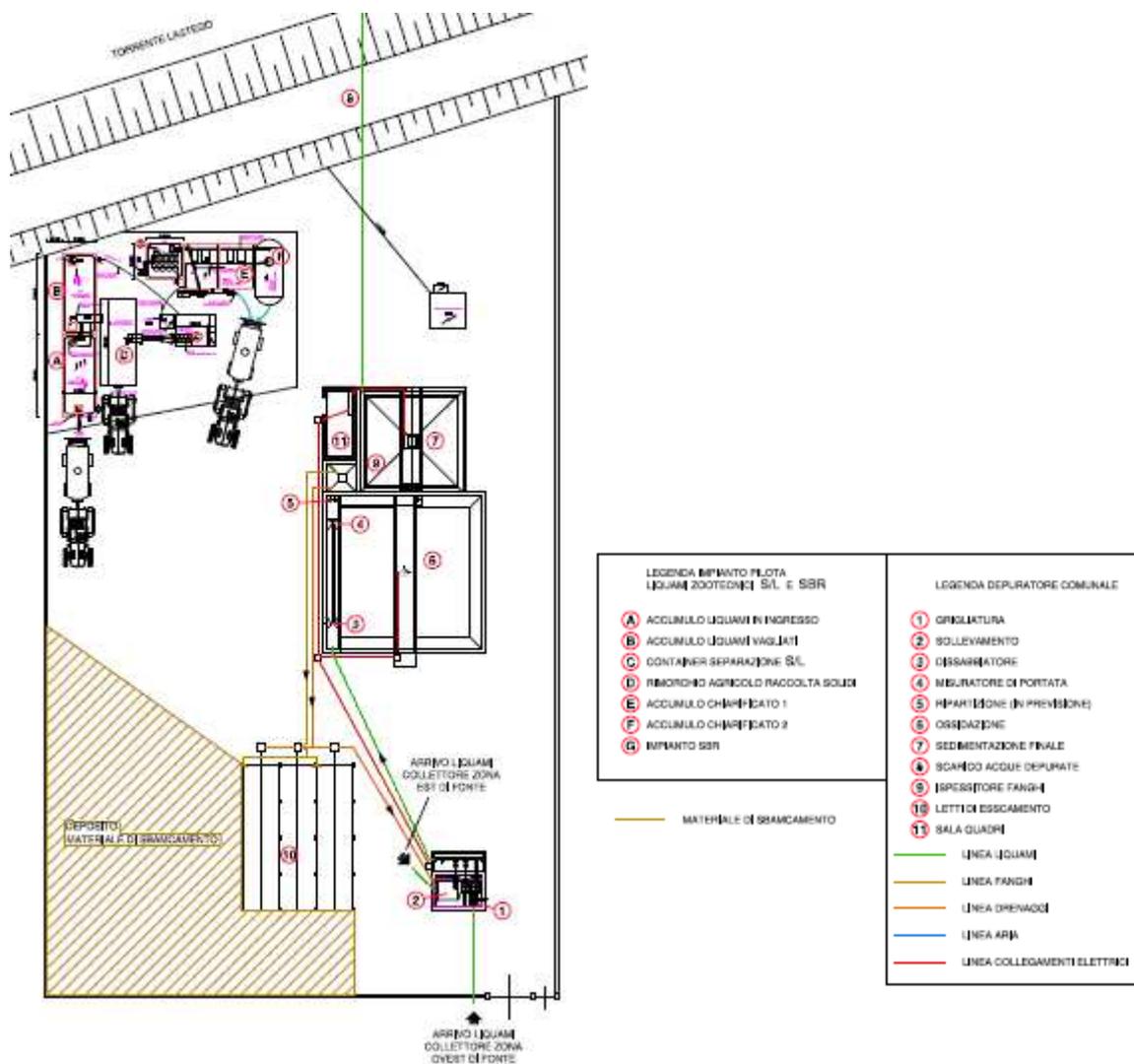


Figura 2 – Disposizione dell'impianto pilota nell'area tecnica del depuratore

Tutti i test utilizzano liquami bovini con elevato contenuto di sostanza secca provenienti da aziende agricole limitrofe, che vengono trasportati a cura di un'azienda agricola

sul liquame fresco sia dopo l'aggiunta di prodotti chimici vari attraverso un processo di flocculazione.

E' prevista la possibilità di utilizzare direttamente l'estrattore centrifugo dalla prima vasca di arrivo in modo da testare le rese di abbattimento per tre diverse configurazioni possibili: solo estrattore centrifugo, solo separatore elicoidale e separatore elicoidale con estrattore centrifugo in serie.

Il chiarificato viene poi inviato ad un serbatoio di stoccaggio (V4) del volume di circa 30 m³ tramite pompa sommersa di rilancio posizionata in un contenitore di piccole dimensioni (1 m³).

Il liquame chiarificato viene direttamente allontanato dall'impianto per l'utilizzo agronomico o inviato al trattamento biologico mediante impianto pilota SBR con capacità di trattamento indicativa di 0,1 m³/g per consentire l'abbattimento della sostanza organica e dell'azoto.

Tale impianto (V3) prevede una vasca fuori terra del volume indicativo di 11,4 m³ dotata di mixer sommerso ed aerazione ad insufflazione d'aria e pompa di scarico dell'effluente all'interno di un serbatoio di stoccaggio (V5).

L'attività di indagine consiste nel monitoraggio di tutti i parametri operativi e di processo per la valutazione tecnica ed economica (costo di investimento di impianti e di gestione) dei processi da testare a scala di impianto, in relazione a diversi livelli di riduzione di COD, ST, azoto e fosforo.

L'impianto ha la possibilità di registrare il consumo di energia elettrica, di acqua potabile e di reagenti impiegati.

3.3 Piano delle attività

E' stato redatto un programma delle prove sperimentali suddividendo le attività secondo la tipologia delle prove, in base alla combinazione di trattamento da eseguire, alla durata ed al periodo temporale di esecuzione, con previsione delle date di campionamento ed analisi.

E' stata definita una check-list, comprensiva di tutte le operazioni previste su separatore elicoidale e centrifuga da compilare da parte del tecnico incaricato. Tale check-list è stata successivamente semplificata e suddivisa in diverse tipologie in funzione dei trattamenti eseguiti alla luce delle effettive esigenze di cantiere .

E' stato definito un panel analitico per ciascuna matrice da analizzare (precedentemente identificata) nonché l'elenco delle attività analitiche da eseguire per ciascuna attività sperimentale.

3.4 Campionamento ed analisi

Prelievo ed accettazione campioni

I campioni sono stati prelevati a cura del tecnico addetto alla gestione dell'impianto, sulla base delle indicazioni fornite da ARPAV, facendo precedere al campionamento una adeguata miscelazione del materiale da campionare; la raccolta ed il trasferimento dei campioni al laboratorio ARPAV sono stati eseguiti utilizzando gli appositi contenitori forniti da ARPAV.

Metodi di analisi

I metodi utilizzati sono riportati nelle tabelle 7 e 8 suddivisi tra metodi per campioni di materiale palabile e per campioni di materiale liquido non palabile.

Parametro	Metodo	Descrizione
Solidi Sospesi Totali	CNR IRSA Q64 Vol.2 1984	Metodo gravimetrico: pesata del residuo solido dopo filtrazione ed essiccazione
Azoto Ammoniacale	ISO 7150-1 : 1984	Metodo spettrofotometrico manuale, dopo reazione colorimetrica con ipoclorito e salicilato, con produzione di indofenolo
Azoto Ammoniacale	UNI 10780 : 1998	Titolazione dopo basificazione e distillazione
Azoto Totale Kjeldahl	UNI 10780 : 1998	Titolazione dell'ammoniaca raccolta in una soluzione di acido borico, dopo distruzione della sostanza organica con acido solforico, basificazione con NaOH e distillazione in corrente di vapore

Tabella 7 – Metodi di analisi utilizzati per i separati solidi

Parametro	Metodo	Descrizione
Sostanza Secca	CNR IRSA Q64 Vol.2 1984	Metodo gravimetrico: pesata prima e dopo essiccazione
COD	ISO 15705 : 2002	Metodo spettrofotometrico manuale: ossidazione con bicromato di potassio e determinazione del CrIII prodotto
Azoto Totale	ISO 11905-1 : 2001	Metodo spettrofotometrico manuale: ossidazione totale dell'azoto a nitrato e reazione s nitro fenolo
Azoto Ammoniacale	ISO 7150-1 : 1984	Metodo spettrofotometrico manuale, dopo reazione colorimetrica con ipoclorito e salicilato, con produzione di indofenolo
Azoto Nitroso	ISO 6777 : 1984	Metodo spettrofotometrico manuale, dopo reazione colorimetrica a diazo-derivato
Fosfati	ISO 6878-1 : 1986	Metodo spettrofotometrico manuale, dopo reazione colorimetrica a blu-difosfomolibdato
Fosforo Totale	UNI EN ISO 11885 : 2009	Spettrofotometria di emissione al plasma (ICP-OES) dopo mineralizzazione

Tabella 8 – Metodi di analisi utilizzati per i liquami

3.5 Attività sperimentali

Le attività sperimentali eseguite sono le seguenti:

- 1) prove di separazione solido-liquido del liquame bovino con separatore elicoidale dotato di vaglio con grado di filtrazione 0,6 mm;

- 2) prove di separazione solido-liquido del liquame bovino con separatore elicoidale dotato di vaglio con grado di filtrazione 0,4 mm;
- 3) prove di separazione solido-liquido del liquame bovino con separatore elicoidale dotato di vaglio con grado di filtrazione di 0,2 mm;
- 4) prove di separazione solido-liquido del liquame bovino con separatore centrifugo senza utilizzo di polielettrolita;
- 5) prove di separazione solido-liquido del liquame bovino con separatore centrifugo con utilizzo di polielettrolita;
- 6) prove di separazione solido-liquido del liquame bovino con separatore elicoidale dotato di vaglio con grado di filtrazione di 0,2 mm, seguito da estrattore centrifugo senza utilizzo di polielettrolita;
- 7) prove di separazione solido-liquido del liquame bovino con separatore elicoidale dotato di vaglio con grado di filtrazione 0,2 mm, seguito da estrattore centrifugo con utilizzo di polielettrolita del medesimo tipo utilizzato nell'attività 5;
- 8) prove di trattamento con impianto SBR sul liquido chiarificato ottenuto dopo attività miste di separazione solido/liquido.

L'operatività dell'impianto pilota è stata effettuata dalla ditta SIBA spa, incaricata di fornire il servizio di noleggio del sistema di separazione solido-liquido e di trattamento SBR.

3.6 Risultati

Dai dati sperimentali relativi all'efficienza di separazione della sostanza secca, azoto e fosforo ottenuti su liquami bovini con contenuto di ST oltre il 7%, mediante separazione solido/liquido attuata con separatore elicoidale o mediante estrattore centrifugo è possibile evidenziare come anche all'interno dello stesso allevamento vi possano essere variazioni significative delle caratteristiche dei liquami da trattare (nel nostro caso si è passati ad esempio da un valore di 7,1 % a 11,7% con un rapporto di N_{tot}/ST costante del 5-6% ed un rapporto N_{amm}/N_{tot} fisso del 51%) ragion per cui risulta opportuno prevedere una vasca di accumulo ed omogeneizzazione prima di qualsiasi trattamento di separazione S/L.

Risultati del trattamento con separatore elicoidale

In merito ai dati ottenuti dalle prove con separatore elicoidale si evidenzia in generale una variabilità alquanto marcata, legata essenzialmente al contenuto dei solidi presenti nel liquame in ingresso con un incremento delle rese di separazione all'aumentare del contenuto di sostanza secca nel liquame.

Le prove sono state condotte con un modello SEPCOM V150 V22C verticale della ditta WAM 5,5 kW con portata max di 20 m³/h il quale ha caratteristiche diverse dai modelli orizzontali normalmente in uso in quanto, a fronte di costi di investimento più contenuti, non ha la possibilità di regolare la contropressione necessaria a variare il contenuto di secco ottenibile nella frazione palabile.

Tabella 9 - Confronto tra efficienze ottenute con separatore elicoidale e dati di letteratura

Liquame bovino (%SS)	ST%	Ntot%	Ptot%
Risultati presente studio (9,6%)	46-60	26-39	23-46
Balsari et al. (8,5%)	65-78	28-36	70
ERSAF	30-40	15-25	10-20

Ciò probabilmente spiega perché i valori di sostanza secca ottenuti sulla frazione palabile (17-18%) risultano inferiori (tab. 9) a quelli riportati in letteratura, pari al 24-26% (Balsari et al., 2006) per liquami bovini con sostanza secca dell'8,5% e simile contenuto di nutrienti. Anche le efficienze di separazione ottenute nel presente studio risultano inferiori a quelle del lavoro citato ed in particolare per quanto riguarda il fosforo. Dati riportati dall'ERSAF (2011) risultano invece in linea con quelli ottenuti dalla presente sperimentazione anche se non viene riportata la concentrazione di sostanza secca nei liquami di partenza.

Le prove condotte con vagli di diverso grado di filtrazione disponibile (0,25 , 0,4 e 0,6 mm) non hanno evidenziato incrementi significativi nelle efficienze di separazione ottenute per cui risulta più indicato l'uso dei vagli con maggior grado di filtrazione (0,6 mm) ai fini di ottimizzare la velocità delle operazioni di vagliatura. Dati commerciali e di letteratura riportano infatti che per liquami bovini con tenore di secco confrontabile sono stati utilizzati gradi di filtrazione di 0,5-1 mm mentre nella sperimentazione di Balsari e al. si è utilizzato un separatore della ditta Chior con vaglio di 1,5 mm. Quest'ultima sperimentazione ha inoltre verificato che per liquami bovini concentrati ad un aumento della portata trattata dalla macchina separatrice corrisponde anche un incremento dell'efficienza di separazione.

Nelle prove effettuate la frazione liquida ottenuta dalla separazione rappresenta il 60-80% del totale consentendo quindi una notevole riduzione (20-40%) del volume complessivo del liquame in ingresso. Tali valori sono più elevati rispetto a quelli riportati in letteratura (10-20%) pur con una frazione di solidi presenti nel liquame chiarificato (6%) più alta rispetto ai corrispondenti (3,2%). Ciononostante il quantitativo di solido separato riscontrato di 200-300 kg per m³ di liquame avviato alla separazione risulta confrontabile con quanto riscontrato da Balsari e al. (2006).

La concentrazione di azoto nella frazione liquida ottenuta dopo separazione risulta confrontabile con quella presente nel liquame in ingresso mentre quella del fosforo subisce una lieve diminuzione dell'ordine del 10-20%.

Il sistema di separazione usato, similmente agli altri separatori elicoidali, ha un costo di investimento ridotto, elevata portata di trattamento, ridotti consumi energetici e costi di gestione minimi in quanto esente da manutenzione. La tipologia di macchina testata ad asse verticale ha mostrato inizialmente difficoltà di scivolamento laterale del materiale separato con accumulo superiore dello stesso fino a formare intasamenti e blocco del funzionamento. Tale problema è stato successivamente risolto mediante l'aggiunta di palette laterali in grado di disperdere il flusso solido in uscita dall'apertura sommitale.

Altre esperienze (Møeller e al., 2002) hanno evidenziato che liquami bovini con contenuto di ST del 6,4% sottoposti a separazione con pressa elicoidale producono una frazione solida con secco del 36% ed una liquida con secco pari al 4,6%, un contenuto di P e N nel palabile rispettivamente dello 0,2% e 0,6% mentre il contenuto di questi nutrienti nella frazione liquida risulta essere dell'0,06% e 0,4%. L'efficienza di rimozione così ottenuta risulta pari al 30% della ST, del 15,5 % relativamente al fosforo e del 7,6% dell'azoto contenuto: valori sicuramente inferiori a quelli ottenuti nelle prove sperimentali ma anche rispetto a quelli dichiarati dalle fonti bibliografiche precedentemente citate.

Risultati del trattamento con estrattore centrifugo

E' stato utilizzato un estrattore centrifugo Pieralisi mod. Baby 2 –DFA con portata idraulica di 4 m³/h, giri tamburo 5200 al minuto, forza centrifuga max di 3500 g, potenza motore 7,5 kW e motore raschiafango 0,18 kW.

In media la concentrazione di sostanza secca del liquame in ingresso si è mantenuta intorno al 8-8,5% con punte dell'11,7%, mentre quella del liquido separato è stata dell'ordine del 4%. Il contenuto di sostanza secca della frazione solida separata è risultata intorno al 25% tranne che nelle prove di separazione in serie con il separatore elicoidale.

La quantità di frazione solida ottenuta si aggira intorno ai 200 kg/m³ di liquame in ingresso con valori confrontabili tra le prove condotte con e senza polielettrolita. La riduzione del volume ottenuta nell'attività n. 4 è stata dell'ordine del 20% con punte del 30%, confrontabile con quello ottenuta con utilizzo del polielettrolita (20%).

Rispetto alle prove con separatore elicoidale si è ottenuta una concentrazione di sostanza secca inferiore nel liquame chiarificato mentre il tenore di sostanza secca della frazione palabile risulta più elevato.

Le rese di abbattimento di N e P sono risultate rispettivamente dell'ordine del 25-30% e del 40-70% nel caso del fosforo. Valori simili si sono ottenuti con l'utilizzo di additivi chimici con un leggero incremento della efficienza di separazione del Fosforo (55-75%).

Dati di letteratura (Balsari et al, 2006) relativi a prove di separazione con estrattore centrifugo su liquami bovini con tenore di sostanza secca del 6%, effettuati con la stessa macchina in uso nella sperimentazione (Pieralisi Baby 2) ma con portata più bassa (0,8 e 0,7 m³/h), evidenziano un tenore in sostanza secca della frazione solida molto più elevato, dell'ordine del 29-39%, ed una presenza di ST nella frazione liquida inferiore (3%) rispetto ai valori riscontrati nella presente lavoro.

Ciò è probabilmente dovuto alla minore portata di alimentazione utilizzata nelle prove di bibliografia citate.

Tabella 10 - Confronto tra efficienze ottenute con estrattore centrifugo e dati di letteratura

Liquame bovino (%ST)	ST%	Ntot%	Ptot%
Prove sperimentali presente studio (8,6%)	60	27	75
Balsari et al. (8,5%)	69	26	92
ERSAF	54-69	20-25	76-94

Anche in questo caso le rese di separazione ottenute nelle prove sperimentali risultano confrontabili con quelle ottenute da Balsari ed al. (2006) e da quelle riportate nella scheda tecnica dell'ERSAF (2011). Møeller e al. (2002) indicano efficienze di separazione da liquami bovini freschi con contenuto di ST del 6,4%, pari al 65% di sostanza secca, 82% di Fosforo e 49% di Azoto, valori paragonabili a quelli ottenuti nell'attività n. 6 con liquami all'11,7% di ST.

L'utilizzo di additivi chimici nei test effettuati non ha portato a significativi incrementi nelle efficienze di separazione se non un lieve aumento nella separazione del fosforo che comunque risulta comunque molto elevata anche con la sola azione meccanica.

L'uso dell'estrattore centrifugo richiede una manutenzione assidua ed un periodico lavaggio con acqua dopo ogni ciclo di funzionamento allo scopo di evitare incrostazioni e depositi che possono impedire la normale rotazione del tamburo e della coclea. Richiede anche frequenti ingrassaggi degli organi in movimento che, assieme ai consumi energetici specifici elevati, aumentano i costi di gestione di questa tipologia di macchine rispetto ai più semplici separatori elicoidali (in ragione anche dalla minor portata trattabile).

Questi maggiori costi di gestione fanno sì che gli estrattori centrifughi non vengano usati molto spesso nella separazione solido/liquido di liquami freschi. Un altro problema che si è

riscontrato è la formazione di schiume persistenti dovute allo sbattimento del liquame fresco: in vasche con franco minimo potrebbero crearsi dei problemi di fuoriuscita, disinnesci, sporcamenti, ecc....

Nelle attività con i separatori elicoidali e centrifughi in serie e con e senza aggiunta di additivi chimici si sono ottenuti le maggiori efficienze di separazione in particolare con un elevato tenore di solidi presenti nel liquame. Tuttavia l'adozione di un simile sistema di trattamento risulta di fatto non sostenibile anche nei casi di utilizzazione consortile od in centri di trattamento che potrebbero ammortizzare le spese su un volume elevato di liquame da trattare proprio a causa delle insufficienti capacità di lavoro e degli elevati costi di gestione e manutenzione.

Valutazione complessiva dei risultati del trattamento di separazione S/L

Ai fini di una valutazione complessiva comparativa tra i diversi sistemi di separazione le efficienze di abbattimento per solidi totali (ST), azoto totale (Ntot) e fosforo totale (Ptot) ottenute nelle prove di separazione solido/liquido attuate con liquami aventi un tenore di sostanza secca in ingresso confrontabile (7,7%), sono insieme rappresentate in fig. 7.

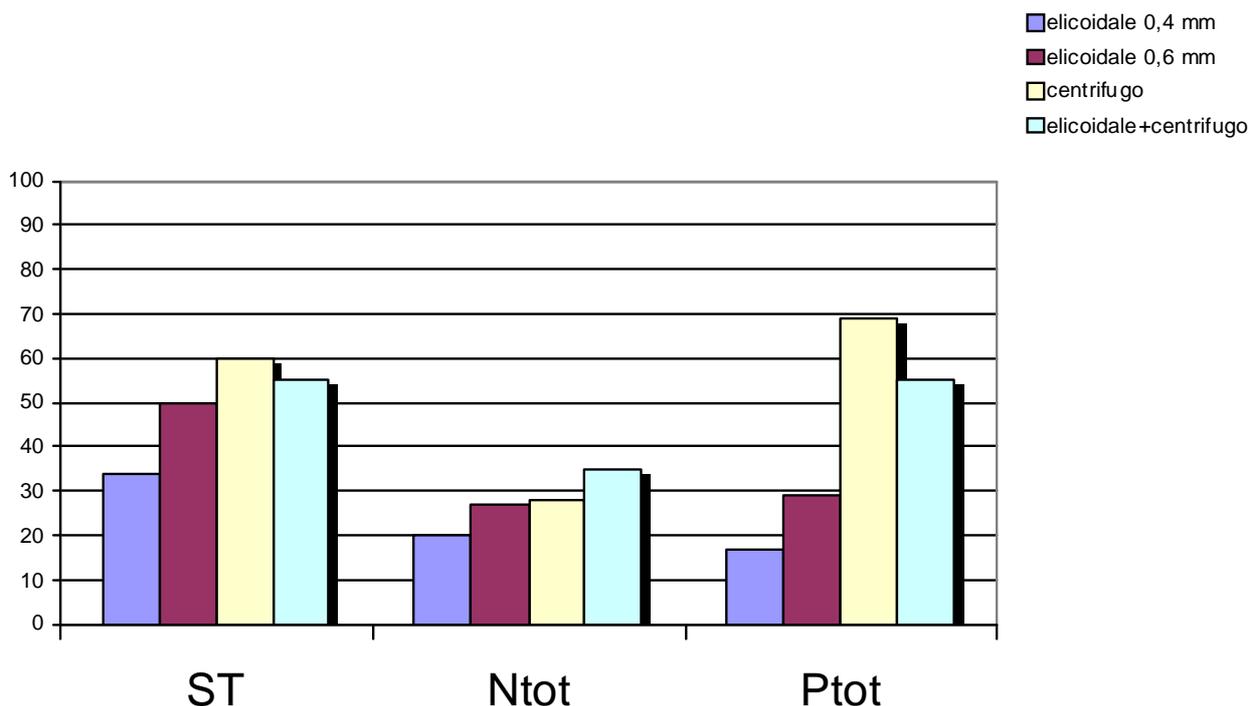


Figura 7 - Confronto tra rese di abbattimento ottenute con diverse prove di separazione S/L.

L'andamento delle efficienze di separazione conferma quanto già evidenziato in letteratura e cioè che in presenza di liquame bovino dall'elevato tenore di solidi, le efficienze di

abbattimento dell'azoto e dei solidi totali sono simili tra le due tipologie di macchine mentre per il fosforo l'estrattore centrifugo ha efficienze molto maggiori.

La riduzione di volume degli effluenti zootecnici, ottenibile con il separatore elicoidale, risulta essere funzione del tenore iniziale della sostanza secca e può variare dal 20 al 35% (si consideri tuttavia che l'umidità della frazione palabile ottenuta è inferiore a quella riportata in letteratura). Quella ottenibile con l'estrattore centrifugo è risultata essere pari al 15-25%, con un maggior contenuto di sostanza secca nella frazione palabile (27% contro il 17% del separatore elicoidale).

Da un'analisi dei dati raccolti durante la sperimentazione è possibile comparare le portate di effluenti trattate ed i relativi consumi elettrici registrati (consumi comprensivi di miscelazione e sollevamento) nelle prove con il separatore elicoidale e quelle con la sola centrifuga. Nelle tabelle 11 e 12 vengono indicati anche i dati più affini reperiti in bibliografia.

Tabella 11- Confronto tra fabbisogni energetici del separatore elicoidale con diversi gradi di filtrazione e dati di letteratura con medesima tipologia di liquami

ATTIVITÀ N.	PORTATA TRATTATA m ³ /h	CONSUMI ELETTRICI SPECIFICI kW/m ³
1	2,5	0,85
2	5,0	0,85
3	3,0	1,20
Balsari et al.	15,0	0,65

Tabella 12 - Confronto tra fabbisogni energetici dell'estrattore centrifugo e dati di letteratura con medesima tipologia di liquami

ATTIVITÀ N.	PORTATA TRATTATA m ³ /h	CONSUMI ELETTRICI SPECIFICI kW/m ³
4	1,0	3,25
5	1,0	3,13
Balsari et al.	0,8	5,5

Dai dati sopra riportati risulta evidente come nel caso dell'estrattore centrifugo i consumi elettrici specifici siano molto più elevati di quelli del separatore elicoidale e che per quest'ultimo è indicato l'uso del vaglio più grossolano con i liquami testati.

E' quindi possibile affermare che nel caso della tipologia di liquami oggetto della sperimentazione è consigliabile l'adozione di separatori elicoidali in grado di ottenere efficienze di separazione dell'azoto dell'ordine del 25% ed una riduzione complessiva dei volumi intorno al 20% piuttosto che l'uso di estrattori centrifughi che hanno maggiori costi a fronte di limitati incrementi delle rese di separazione ad eccezione del fosforo.

In caso di riutilizzo di impianti di depurazione di liquami civili dismessi o in via di dismissione è possibile usufruire delle vasche esistenti come accumulo ed omogeneizzazione dei liquami in ingresso e stoccaggio di quelli chiarificati, nonché impiegare i sistemi esistenti di disidratazione del fango di supero civile ove esistenti (estrattore centrifugo + dosaggio polielettrolita) per la separazione di S/L di effluenti zootecnici ottenendo delle notevoli economie di scala; sistemi di disidratazione del fango sono generalmente presenti solo negli impianti con capacità di trattamento medio-grandi (>10.000 ab. eq.).

E' evidente che realizzando un trattamento consortile degli effluenti zootecnici nei siti dismessi degli impianti si verrebbero a creare notevoli economie di scala: ad esempio realizzando un trattamento S/L di effluenti con separatore elicoidale con potenzialità di 150 m³/g si ridurrebbero i costi di investimento a valori intorno a 0,12 €/m³ (riduzione del 60%) oltre ad una riduzione sensibile anche di quelli di gestione. L'utilizzo della frazione palabile in zone non vulnerabili ai nitrati lontane dal luogo di produzione risulterebbe poi più facilmente gestibile con un servizio unico di trasporto ed utilizzazione agronomica extra aziendale.

Risultati del trattamento con impianto SBR

Nei due mesi di sperimentazione il processo biologico si è attivato ed ha consentito rese interessanti di abbattimento dei vari parametri: è stato giornalmente monitorato il parametro chiave, l'azoto ammoniacale, che ha evidenziato un valore sostanzialmente stabile intorno ai 20 mg/l, valore confermato dalle analisi di laboratorio che hanno dato il risultato di 13 mg/l. Lo sviluppo dell'attività biologica viene confermato anche dall'incremento dei solidi totali presenti nel reattore dall'inizio alla fine della sperimentazione in assenza di spurghi (da 3,2 a 4,9 g/l).

COD

Il COD nel liquame utilizzato per alimentare il processo è pari a 29.000 mg/l mentre quello in uscita risulta di 4.750 mg/l; valore elevato indice di una consistente frazione di COD non biodegradabile presente nei liquami.

La resa di abbattimento ottenuta è:

$$\text{Resa di abbattimento COD} = (29.000 - 4.750) / 29.000 = 84\%$$

Valore sicuramente molto elevato ed in linea con quelli di letteratura.

FOSFORO

La concentrazione del fosforo totale in ingresso risulta pari a 280 mg/l mentre quella in uscita è pari a 100 mg/l, con una resa di abbattimento del :

$$\text{Resa di abbattimento Fosforo} = (280 - 100) / 280 = 64\%$$

per il solo trattamento biologico senza precipitazione chimica. Questa riduzione di 180 mg/l è comparabile con quella ipotizzata in letteratura pari all'1% del BOD₅ abbattuto (in questo caso 123 mg/l circa).

La resa complessiva di abbattimento del fosforo (separazione S/L + trattamento biologico) risulta quindi di :

$$\text{Resa complessiva di abbattimento Fosforo} = (1200 - 100) / 1200 = 92\%$$

Dati di letteratura (ERSAF-scheda tecnica) riportano valori indicativi intorno al 75% con punte del 95% per impianti in continuo.

AZOTO

Per quanto riguarda l'azoto è possibile calcolare una resa di abbattimento quasi totale dell'ammoniaca; da una concentrazione iniziale di 1600 si è arrivati a 13 mg/l.

$$\text{Resa di abbattimento Namm} = 1600 - 13 / 1600 = 99\%$$

Una resa così elevata potrebbe essere dovuta sicuramente al basso carico ed in parte anche ad un effetto di stripping del sistema di insufflazione d'aria.

La concentrazione di azoto totale presente nel liquame in ingresso è di 2500 mg/l, suddivisi in 1600 mg/l di azoto ammoniacale (64%) ed il rimanente 36% di azoto organico (assenti nitriti e nitrati); quella riscontrata in uscita risulta essere di 590 mg/l così costituiti:

Azoto ammoniacale	13 mg/l
Azoto nitroso	1,6 mg/l
Azoto nitrico	370 mg/l
Azoto organico	205 mg/l

Una prima valutazione di questi dati indica la presenza di un azoto organico residuo non biodegradabile intorno ai 200 mg/l (pari all'8-10% del TKN e al 20% dell'azoto organico iniziale) ed una presenza ancora significativa di nitrati non abbattuti per mancanza di

condizioni ottimali (ambiente anaerobico, substrato organico, ecc.) che tuttavia potrebbero essere eliminati migliorando le condizioni del processo biologico.

La resa di abbattimento dell'azoto totale (escludendo i nitrati) risulta essere di:

$$\text{Resa di abbattimento } N_{\text{tot}} = (2500-220)/2500 = 91\%$$

La resa reale con i dati attuali (comprensiva della frazione di nitrati ancora presenti) risulta invece:

$$\text{Resa di abbattimento } N_{\text{tot}} = (2500-590)/2500 = 68\%$$

La resa complessiva di abbattimento dell'azoto, comprensiva anche della fase di separazione solido-liquido iniziale è pari a:

$$\text{Resa di abbattimento } N \text{ (comprensiva dei nitrati presenti)} = (5300-590)/5300 = 89\%$$

$$\text{Resa di abbattimento } N \text{ (senza nitrati)} = 5300-220 / 5300 = 96\%$$

Il liquame così trattato ha comunque caratteristiche tali da non poter essere scaricato in acque superficiali ma deve essere avviato all'utilizzazione agronomica od allo scarico in fognatura, previa deroga ai limiti concessa dal gestore del servizio idrico integrato a causa delle frazioni di COD ed Azoto non biodegradabili che rimangono presenti nel liquame trattato.

4. CONCLUSIONI

Le prove condotte su liquami bovini ad elevato tenore di sostanza secca presso l'impianto pilota installato nell'area dell'impianto comunale di Fonte hanno evidenziato come anche con tecnologie semplici e poco costose (separatore elicoidale con vaglio da 0,6 mm) sia possibile ottenere una riduzione volumetrica del liquame prodotto pari ad almeno il 20% con un abbattimento dell'azoto intorno al 25-30%.

I costi complessivi calcolati anche per allevamenti di dimensioni medio-piccole (5.000 m³/anno) risultano inferiori a 1,00 €/m³.

L'uso degli estrattori centrifughi comporta costi molto più elevati a fronte di incrementi minimi nelle rese di separazione, ad eccezione del fosforo, motivo per cui non si ritiene consigliabile la sua utilizzazione se non per particolari situazioni. Anche l'aggiunta di polielettrolita in fase di separazione mediante centrifuga non ha incrementato significativamente le rese di abbattimento.

Tutti i dati sperimentali ottenuti durante le prove di separazione solido-liquido risultano in linea con quanto riportato da studi di letteratura eseguiti in condizioni similari.

Le prove condotte per verificare la rimozione biologica dell'azoto via nitro-denitro hanno evidenziato dati in linea con la bibliografia e la possibilità di ottenere una rimozione molto elevata dell'azoto contenuto nei liquami con rese che oscillano tra il 70 ed il 90% che, se unite a quelle ottenibili con la separazione preliminare S/L, consentono un abbattimento pressoché totale (90-96%) dell'azoto. I relativi costi complessivi (ammortamento + gestione) di entrambe le fasi di trattamento risultano dell'ordine di 5 €/m³.

Tutta la bibliografia consultata è unanime nell'evidenziare l'importanza delle economie di scala nella riduzione dei costi di investimento e, in misura più contenuta, anche di quelli di gestione: ciò in ragione del fatto che la potenzialità delle apparecchiature elettromeccaniche da utilizzare ed esistenti sul mercato consente un utilizzo temporaneo ridotto nell'arco della giornata (2/3 ore in quanto le portate minime dei separatori elicoidali risultano dell'ordine dei 15- 20 m³/h). Ecco perché il riutilizzo di impianti civili dismessi o in via di dismissione come centri di trattamento consortile di effluenti zootecnici potrebbe essere una soluzione per contenere ulteriormente i costi ma soprattutto dare una risposta efficace alla carenza di volumi di stoccaggio presenti presso gli allevamenti. Infatti la volumetria delle vasche esistenti potrebbe essere utilmente impiegata come accumulo/omogeneizzazione dei liquami prima del trattamento e come stoccaggio di quelli chiarificati, consentendo di espandere l'operatività nell'arco di tutte le ore lavorative della giornata ed ottenere un risparmio fino al 70% nei costi di trattamento (a cui va dedotto il costo di trasporto del liquame dall'azienda al centro consortile).

La stessa capacità volumetrica delle vasche degli impianti dismessi invece, viste le risultanze delle prove di abbattimento biologico dell'azoto nell'SBR pilota, non sarebbe sufficiente per essere utilizzata come reattore biologico (necessario un rapporto di circa 1:50 tra volume dei liquami in ingresso e quello del reattore).

Nell'ipotesi di poter utilizzare le strutture dismesse od in via di dismissione degli impianti di depurazione a servizio di reti fognarie civili è quindi ipotizzabile il seguente schema di filiera per la riduzione dell'azoto per gli allevamenti di bovini da carne presenti nell'area dell'alta Castellana:

1. trasporto, a cura degli allevatori, del liquame tal quale presso l'impianto di depurazione e contestuale restituzione del liquame chiarificato;
2. trattamento spinto del solido mediante separatore elicoidale presso l'impianto con invio della frazione palabile a valorizzazione agronomica (produzione di fertilizzanti) in zone non vulnerabili e riduzione del 20% del volume complessivo del liquido da avviare a utilizzo agronomico e del 25% dell'azoto contenuto nei liquami con costi inferiori di circa il 60% rispetto al trattamento eseguito presso la propria azienda

(fatti salvi i costi relativi al trasporto del liquame presso il centro di trattamento variabili tra 1 e 4 €/m³ a seconda della distanza dell'allevamento dal centro di trattamento);

3. trattamento del liquame chiarificato nelle vasche di stoccaggio liquami esistenti presso gli allevamenti, adeguatamente implementate con apparecchiature di miscelazione ed aerazione per funzionare come reattori SBR, ai fini dell'abbattimento dell'azoto con processo biologico di denitrificazione con rese dell'ordine del 90% complessivo (separazione S/L + processo biologico).

Tale filiera necessiterebbe della creazione di un service consortile per la gestione dell'impianto centrale di trattamento (ex impianto di depurazione) e per il trasporto della frazione palabile in zone non vulnerabili ai nitrati anche mediante una eventuale valorizzazione agronomica della stessa in impianti di produzione di concimi organici o ammendanti.

Già la fase di trattamento di separazione in impianto consortile consentirebbe la riduzione del 20% dei volumi delle vasche di stoccaggio e del 25% delle superfici agricole necessarie alla fertirrigazione in caso di utilizzo agronomico senza altri trattamenti.

Nell'ipotesi invece di sottoporre il liquame chiarificato al trattamento di denitrificazione in azienda si potrebbe arrivare ad una riduzione fino al 50% del totale dei volumi di stoccaggio necessari per l'allevamento e ad una riduzione delle superfici necessarie per l'utilizzo agronomico dei liquami che vanno dal 70 fino anche al 90%, a fronte di costi quantificabili intorno a 2,5 €/m³ (60% di quelli di letteratura- ERSAF).

Nell'ipotesi di filiera sopra descritta ed avendo la disponibilità di vasche di stoccaggio liquami, a fronte di un costo complessivo di trattamento pari a circa 2,8 €/m³ (a cui va sommato quello relativo al trasporto del liquame presso l'impianto dismesso) si otterrà una riduzione cautelativa del 80% della superficie richiesta per l'utilizzazione agronomica e conseguentemente dei costi di trasporto e distribuzione in campo dei liquami che, presumibilmente, sarebbe anche superiore al maggior costo dovuto al trasporto dei liquami tal quali presso l'impianto consortile.

I costi stimati per il trattamento sono sicuramente inferiori a quelli riportati in letteratura di 4,1-5,5 €/m³ a dimostrazione della fattibilità economica e della convenienza dell'ipotesi di progetto di riutilizzo degli impianti dismessi per il trattamento degli effluenti zootecnici. Resta tuttavia da definire il rapporto tra la proprietà degli impianti di depurazione dismessi, o che lo potrebbero essere in futuro, ed il soggetto che potrebbe gestire l'attività di trattamento dei liquami conferiti dagli allevamenti.

5. BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., 2012. Nitrati da problema a risorsa. Veneto Agricoltura, Progetto Riducereflui.
- Balsari, P., Gioelli, F., Dinuccio, E., Santoro, E., 2006. Monitoraggio degli impianti di separazione solido liquido dei liquami di suini e di bovini. Relazione finale della ricerca, Università di Torino.
- Boursier, H., Beline, F., Paul, E., 2005. Piggery wastewater characterization for biological nitrogen removal process design. *Bioresource Technology* 96 (2005) 351–358.
- Burton, C.H., Tuner, C., 2003. *Manure Management-treatment strategies for sustainable agriculture*. 2nd Ed. Silsoe Research Institute, Wrest Park, Silsoe, Bedford, UK 490 pp.
- Chastain, J.P., Vanotti, M.B., Wingfield, M.M., 2001. Effectiveness of liquid-solid separation for treatment of flushed dairy manure: a case of study. *Appl. Eng. Agric.* 17, 343-354.
- Christensen, M.L., Hjorth, M., Keidinga, K., 2009. Characterization of pig slurry with reference to flocculation and separation. *Water Research* 43 (2009) 773–783.
- Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste, 2008. Gestione e riduzione dell'azoto di origine zootecnica, Soluzioni tecnologie ed impiantistiche. Quaderni della ricerca, n. 93/2008.
- Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste, 2011. Portale Nitrati, Soluzioni tecnologiche. http://www.ersaf.lombardia.it/servizi/notizie/notizie_homepage_agricoltura.aspx.
- Fangueiro, D., Senbayran, M., Trindade, H., Chadwick, D., 2008. Cattle slurry treatment by screw press separation and chemically enhanced settling: Effect on greenhouse gas emissions after land spreading and grass yield. *Bioresource Technology* 99 (2008) 7132–7142.
- Flotats, X., Bonmatí, A., Fernández, B., Magrí, A., 2009. Manure treatment technologies: On-farm versus centralized strategies. NE Spain's case study. *Bioresource Technology* 100 (2009) 5519–5526.
- Garcia, M.C., Szogi, A.A., Vanotti, M.B., Chastain, J.P., Millner, P.D., 2009. Enhanced solid-liquid separation of dairy manure with natural flocculants. *Bioresource Technology* 100 (2009) 5417–5423.
- Hjorth, M., Christensen, K.V., Christensen, M.L., 2008. Flocculation, coagulation, and precipitation of manure affecting three separation techniques. *Bioresource Technology* 99 (2008) 8598–8604.
- Hjorth, M., Christensen, K.V., Christensen, M.L., Sommer S.G. 2010. Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agron. Sustain. Dev.* (2011) 153-180.
- Jørgensen, K., Jensen, L.S., 2009. Chemical and biochemical variation in animal manure solids separated using different commercial separation technologies. *Bioresource Technology* 100 (2009) 3088–3096.
- Meyer, D., Ristow, P.L., Lie, M., 2007. Particle size and nutrient distribution in fresh dairy manure. *Applied Engineering in Agriculture*. Vol 23(1): 113-117.
- Møller, H.B., Sommer, S.G., Ahring, B.K., 2002. Separation efficiency and particle size distribution in relation to manure type and storage conditions. *Bioresource Technology* 85 (2002) 189–196.

- Møller, H.B., Lund, I., Sommer, S.G., 2000. Solid-liquid separation of livestock slurry: efficiency and cost. *BioresourceTechnology* 74 (2000) 223-229.
- Powers, W.J., Flatow, L.A., 2002. Flocculation of swine manure: influence of flocculant, rate of addition and diet. *Appl. Eng. Agric.* 18, 609-614.
- Sherman, J.J., Van Horn, H.H., Norstedt, R.A., Use of flocculants in dairy wastewaters to remove phosphorus. *AppliedEngineering in agriculture* (2000) Vol 16(4): 445-452.
- Vanotti, M.B., Hunt, P.G., 1999. Solids and nutrient removal from flushed swine manure using polyacrylamides. *Trans ASAE* 42 (6), 1833-1840.
- Vanotti, M.B., Rashash, D.M.C., Hunt, P.G., 2002. Liquid-solids separation of flushed swine manure with PAM: effect of wastewater strength. *Trans. ASAE* 45, 1959-1969.
- Vanotti, M.B., Rice, J.M., Ellison, A.Q., Hunt, R.G., Humenik, F.J., Baird, C.I., 2005 Solid-liquid separation of swine manure with polymer treatment and sand filtration. *Trans. ASAE* 48, 1567-1574.
- Walker, P., Kelley, T., 2003. Solids, organic load and nutrient concentration reductions in swine waste slurry using a polyacrylamide (PAM)-aided solids flocculation treatment. *BioresourceTechnology* 90 (2003) 151–158
- Walker, P.M., Wade, C.A., Kelley, T.R., 2010. Evaluation of a polyacrylamide assisted solid/liquid separation system for the treatment of liquid pig manure. *Biosystemsengineering* 105 (2010) 241–246.
- Westerman, P.W., Bicudo, J.R., 2000. Tangential flow separation and chemical enhancement to recover swine manure solids, nutrients and metals. *BioresourceTechnology* 73 (2000) 1-11.

Servizio Osservatorio Suolo e Bonifiche

Via Santa Barbara, 5/a
31100 Treviso, Italy
Tel. +39 0422 558620
Fax +39 0422 558516
E-mail: ssu@arpa.veneto.it

Dicembre 2013