



## **Deliverable D8 Action B4**

### **Environmental and economic indicators for Taya denitrification process**



## Summary

Within the LIFE DOP project, a denitrification system was monitored to evaluate denitrification of the digestate.

The denitrification system is inserted as the last link of a logic of integrated management of nutrients, which has its hinges in the anaerobic digestion of wastewater, the export of the separated solid in areas with low zootechnical intensity, the virtuous management of the separated liquid for injection or Fertigation and possibly the denitrification of reduced quantities of separated liquid to reduce the nitrogen still in excess with low environmental impact systems and low energy consumption.

The system monitored is the Taya system, a technology that exploits the Venturi effect to apply effective ventilation with low energy consumption. A pilot of the system was placed at a Mantuan company.

The pilot plant during the test was fed with the separated liquid fraction of digestate.

The test lasting from March to the end of August produced positive results that we can summarize below:

- abatement of total nitrogen on average 90%.
- abatement of ammonia nitrogen N-NH<sub>4</sub> settled at values ranging from 93 to 98%.
- abatement of the phosphorus content on average by 86%

Final conclusions drawn from the work: there is a significant reduction of total nitrogen close to 90% of the initial content. The energy and economic costs have been calculated and compared with the costs of a traditional denitrification process, and are around 70% of traditional ones. The only drawback is the high retention time needed and thus the high surface needed for the installation



Summary.....	2
Introduzione .....	3
La Tecnologia Taya .....	3
L'operatività all'interno del progetto LIFE.....	4
Materiali e metodi .....	4
Risultati .....	7
Ammoniaca.....	7
Azoto totale .....	8
Conducibilità.....	14
Solidi sospesi totali e volatili :TSS e VSST.....	16
Fosforo.....	17
Parametri ambientali e gestionali .....	18
Quantità di refluo in ingresso e tempo di ritenzione .....	20
Verifica delle emissioni di ammoniaca.....	20
Valutazione energetica.....	20

## Introduzione

Nell'ambito del progetto LIFE DOP, è stato monitorato un sistema di denitrificazione per valutare la denitrificazione del digestato.

Il sistema di denitrificazione si inserisce come ultimo anello di una logica di gestione integrata dei nutrienti, che ha i suoi cardini nella digestione anaerobica dei reflui, l'esportazione del separato solido in zone a bassa intensità zootecnica, la gestione virtuosa del separato liquido per iniezione o fertirrigazione ed eventualmente la denitrificazione di ridotti quantitativi di separato liquido per ridurre l'azoto ancora in eccesso con sistemi a basso impatto ambientale e basso consumo energetico.

Il sistema monitorato è il sistema Taya, tecnologia che sfrutta l'effetto Venturi per applicare una areazione efficace e a basso consumo energetico. Un pilota del sistema è stato collocato presso una azienda mantovana.

### La Tecnologia Taya

Questa tecnologia è stata sviluppata in Israele dove dal 2009 trova applicazioni in diversi ambiti

- Civile per la depurazione delle acque reflue
- Industriale
- Agricolo per la depurazione delle acque reflue o dei liquami zootecnici.

Tale applicazione non è mai stata testata in ambiente padano con frazione liquida di digestato. I principali motivi di indagine riguardano la possibilità di denitrificare materiali già esausti e



stabilizzati, come quelli provenienti dalla digestione anaerobica, senza l'uso di carbonio aggiunto per supportare la denitrificazione.

L'impianto consiste in due bacini che vengono riempiti con il refluo da trattare. In questi bacini sono posti dei materiali inerti (ghiaia o più spesso lamellari alveolari di plastica) su cui i batteri, naturalmente contenuti nei reflui, formano un biofilm. L'uso di sole due pompe elicoidali (quindi a basso consumo energetico) consente una modulazione del livello dei reflui tra questi due bacini sfruttando anche il principio dei vasi comunicanti. L'alternanza quindi di una fase "sommersa" anaerobica ad una "emersa" aerobica espone o no i batteri a contatto con l'ossigeno creando i presupposti per il completarsi del ciclo della nitro-denitro e quindi dell'abbattimento dell'azoto organico con la produzione di azoto molecolare in atmosfera senza la produzione di gas climalteranti.

La nitro-denitro oggi trova la sua applicazione mediante impianti complessi, costosi per la realizzazione, di non facile gestione da parte degli operatori agricoli e, soprattutto, energivori. La principale caratteristica della tecnologia TAYA invece è quella di associare ad una altissima efficacia un costo energetico sensibilmente inferiore.

## L'operatività all'interno del progetto LIFE

Nel progetto LIFE, è stata inserita questa prova per valutarne l'efficacia su un digestato proveniente da biogas alimentato con **solii reflui zootecnici bovini**.

Ricordiamo che la diffusione dei digestori, pur con la valorizzazione agronomica del digestato inserito in una logica di scambio e/o di mercato e l'applicazione delle migliori tecniche colturali allo scopo indicate in questo progetto LIFE, in qualche caso potrebbe porre il problema di un esubero dell'azoto di origine zootecnica

## Materiali e metodi

La prova condotta presso l'azienda Gemelli di Pegognaga (MN), è stata attuata tramite un impianto pilota. (Foto n. 1)



Foto 1: il Pilota

I due contenitori della foto n.1 collegati tra loro da un sistema di pompe realizzano il sistema venturi su cui si basa la tecnologia.

In foto 2 il particolare della struttura alveolare in plastica inserita nei cassoni dell'impianto pilota per favorire l'insediamento del biofilm.



Foto 2: struttura in plastica per sostenere il biofilm microbico

L'alimentazione dell'impianto pilota con il digestato è stata realizzata con l'ausilio di contenitori della capienza di un mc. ( foto n.3 ). L'alimentazione era assicurata da un sistema di pompaggio sotto il controllo del software



**Foto 3: Sistema di alimentazione del pilota**

Il sistema oltre alla sorveglianza in loco era assistito da una gestione in remoto informatizzata. I parametri di funzionamento, portata di pompaggio dell'influente e tempo di ritenzione, sono stati aggiustati sulla base delle informazioni ricevute dai campionamenti del materiale.

La prova sul pilota è iniziata nel mese di marzo e si è conclusa il 30 di settembre, Durante questo periodo il protocollo operativo ha prodotto 97 campioni di refluo ( influente ed effluente ) per 478 determinazioni analitiche. I primi mesi sono stati necessari per avviare correttamente il processo biologico e settare il protocollo di campionamento.

Le analisi di monitoraggio sono state: ammoniaca, nitrati, nitriti, pH, conducibilità, azoto totale, BOD5, COD, TSS, VSS, TS, fosforo totale.

I metodi utilizzati sono indicati in tabella

pH	CNR IRSA n 64 1985
Solidi Totali (% tq)	CNR IRSA n 64 1985
Solidi Volatili (%ST)	ANPA 2001
Azoto totale (%ST)	G.U. 180 5 Agosto 1986
Azoto ammoniacale (mg/l)	CNR IRSA n 64 1985
Azoto nitrico	CNR IRSA n 64 1985
BOD	APAT CNR IRSA 5120 MAN 29 2003
COD	APAT CNR IRSA 5130 MAN 29 2003
TSS	BIORESOURCE TECHNOLOGY 57, 1996 259-263
VSS	BIORESOURCE TECHNOLOGY 57, 1996 259-263



P totale	CNR IRSA n 64 1985
Campionamento aria per emissioni	UNI EN 13284-1:2003.
Determinazione NH3 aria	APAT CNR IRSA 4030 metodo a2 manuale 29 (2003)

I campionamenti sono iniziati il 22 maggio, dopo la preparazione del pilota e la sua inseminazione con i fanghi provenienti dal depuratore del Comune di Pegognaga. Detta procedura è stata necessaria per l'accelerazione della formazione del biofilm sul substrato alveolare delle piastre di plastica. Nella sezione risultati sono riportati e discussi i valori di tutti i parametri monitorati durante il test.

## Risultati

### Ammoniaca

Sono riportati i grafici che mostrano il grado di abbattimento dell'ammoniaca tra il digestato in entrata ed il refluo in uscita dopo il trattamento. Si evidenzia durante il processo una riduzione media pari al 96,74% dell'ammoniaca inizialmente presente. I dati numerici in forma tabellare sono riportati in tabella 1.

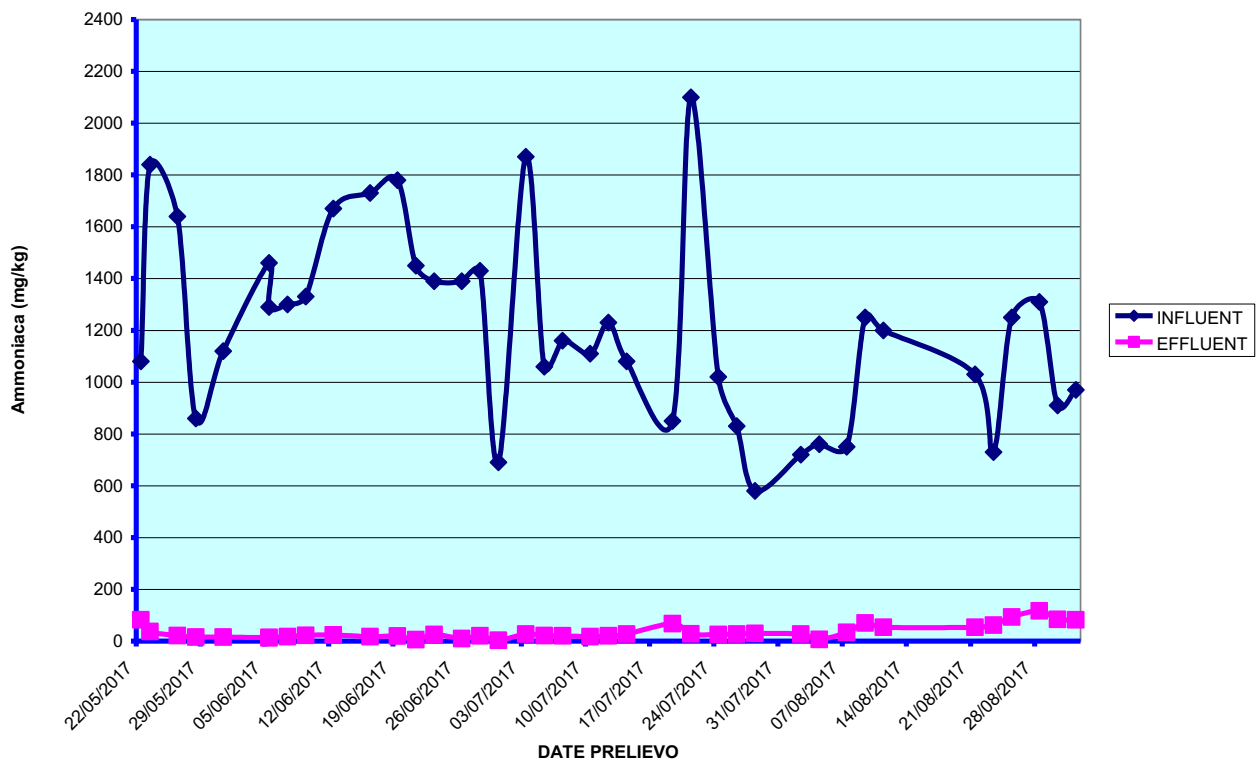
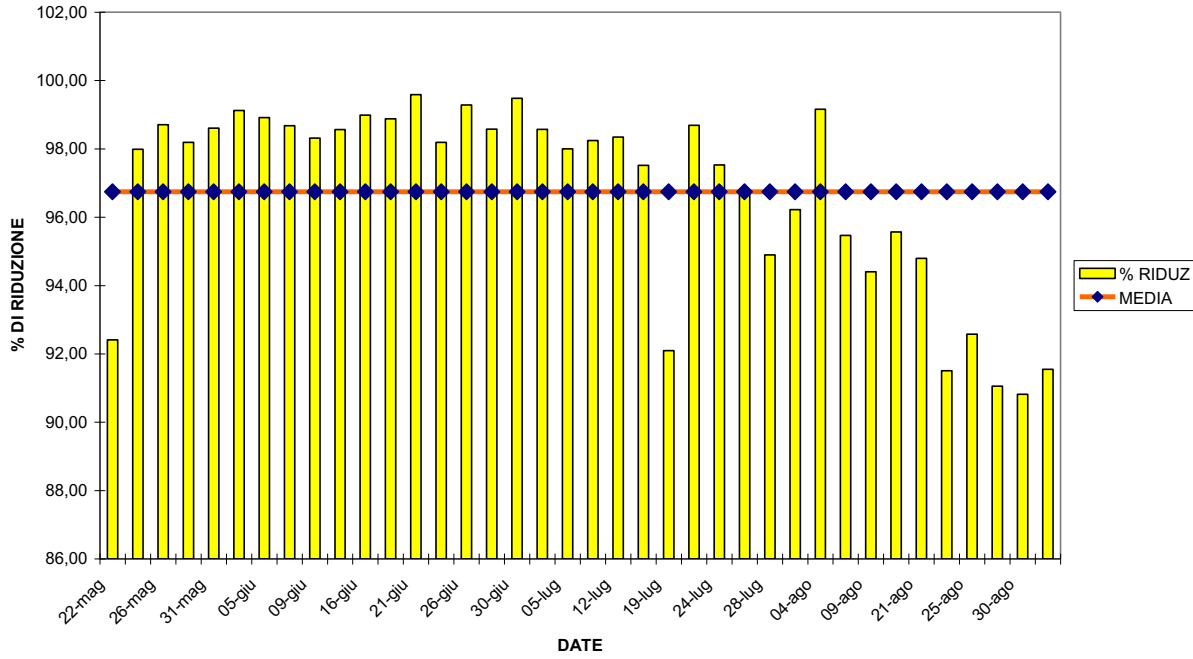


Figura 1: andamento della concentrazione di ammoniac in influente ed efluente durante il period di test

**RIDUZIONE PERCENTUALE DELL'AMMONIACA**

**Azoto totale**

Dai risultati riportati in tabella 1 ed evidenziati nelle figure, si verifica un significativo abbattimento dell'azoto totale oltre che di quello in forma ammoniacale, abbattimento prossimo al 90% del contenuto iniziale.




**Tabella 1: sintesi dei parametri monitorati**

day	TS	TS	N TOT	N TOT	NH4-N	NH4-N	COD	COD	BOD5	BOD5	pH	pH	Conducibilità	Conducibilità	TSS	VSS	TSS	VSS	Ptotale	Ptotale
	%	%	g/Kg	g/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg			mS/cm	mS/cm	%	%	%	%	mg/Kg	mg/Kg
	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	in	out	out	in	out
22-mag	5.67	1.08	3.01	0.33	1080	82	54100	11100	19400	4000	8.97	8.96	14.48	7.66	2.92	2.92	0.16	0.16	361	54
23-mag					1840	37														
26-mag			3.04	0.3	1640	21.2														
28-mag	6.34	1.18	3.09	0.3	860	15.6	49700	11020	18000	4000	8.98	8.26	15.52	8.24	2.40	2.40	0.28	0.28		
31-mag					1120	15.6														
05-giu			2.94	0.29	1460	12.8														
05-giu	5.99	1.3	2.94	0.33	1290	14	53800	6720	19000	2000	8.73	8.56	16.9	9.3	1.48	1.48	0.34	0.34		
07-giu					1300	17.2														
09-giu			2.79	0.49	1330	22.4														
12-giu	6.15	1.54	2.91	0.41	1670	24	43700	10800	15000	4000	9	8.64	13.58	8.04	2.22	2.22	0.30	0.29		



16-giu			2.92	0.25	1730	17.6														
19-giu	6.08	1.01	2.95	0.29	1780	20	X	X	X	X	8.55	7.79	12.12		3.15	3.14			540	95
21-giu					1450	6								5.39			0.27	0.27		
23-giu			2.78	0.29	1390	25.2														
26-giu	6.66	1.12	2.94	0.24	1390	10	56900	9110	20000	3000	9.03	8.49	14.87		2.53	2.53				
28-giu					1430	20.4								6.84			0.14	0.14		
30-giu			2.53	0.3	690	3.6														
03-lug	7.04	1.44	2.7	0.34	1870	26.8	54600	10810	19000	3800	9.28	8.97	11.4		2.60	2.53			612	107
05-lug					1060	21.2								6.78			0.25	0.24		
07-lug			1.7	0.38	1160	20.4														
10-lug	5.59	1.58	2.3	0.51	1500	18	44800	12040	14000	4300	9.21	8.38	10.9		1.23	1.23				
10-lug					1110	17.2								6.47			0.39	0.39		
12-lug					1230	20.4														
14-lug			2.41	0.45	1080	26.8														
19-lug	6.32	1.45	2.69	0.42	850	67.2	20400	7800	7340	2810	8.79	9.04	14.18		4.41	4.41				



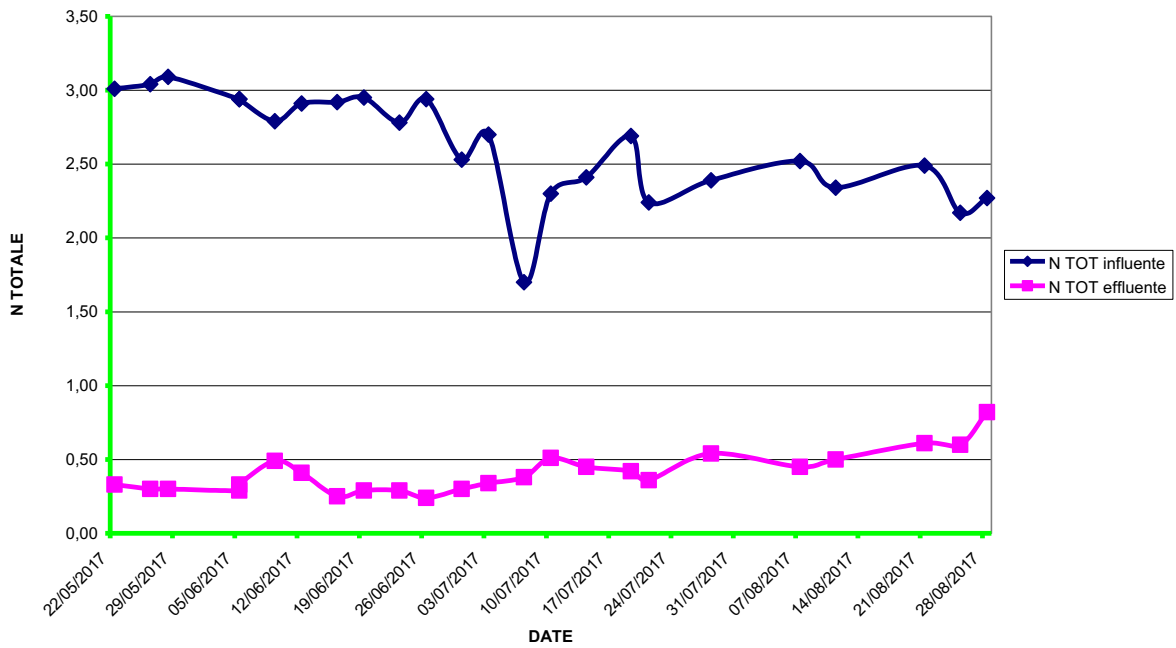
21-lug			2.24	0.36	2100	27.6								7.16			0.27	0.27	244	103
24-lug	4.89	1.43	7.3	0.39	1020	25.2	36200	10610	11000	4000	8.94	8.74	12.87		2.98	2.98				
26-lug					830	26.8								7.66			0.33	0.33		
28-lug			2.39	5.4	580	29.6														
		1.76		0.52	960	20.8		14200		5100		8.43								
02-ago					720	27.2								7.53			0.30	0.30		
04-ago			2.05	0.45	760	6.4														
07-ago	6.2	1.61	2.52	0.45	750	34	33700	9060	12000	3200	8.67	8.19	11.48		X	X				
09-ago					1250	70								7.73						
11-ago			2.24	0.5	1200	53.2														
22-ago	5.3	2.01	2.49	0.61	1030	53.6	41900	13860	X	X	8.83	8.56	12.57		X	X			414	115
23-ago					730	62								8.61						
25-ago			2.17	0.6	1250	92.8														
28-ago	5.17	2.84	2.27	0.82	1310	117.2	27950	14290	10000	5000	8.57	8.05	13.3		X	X				
30-ago					910	83.6								10.62						

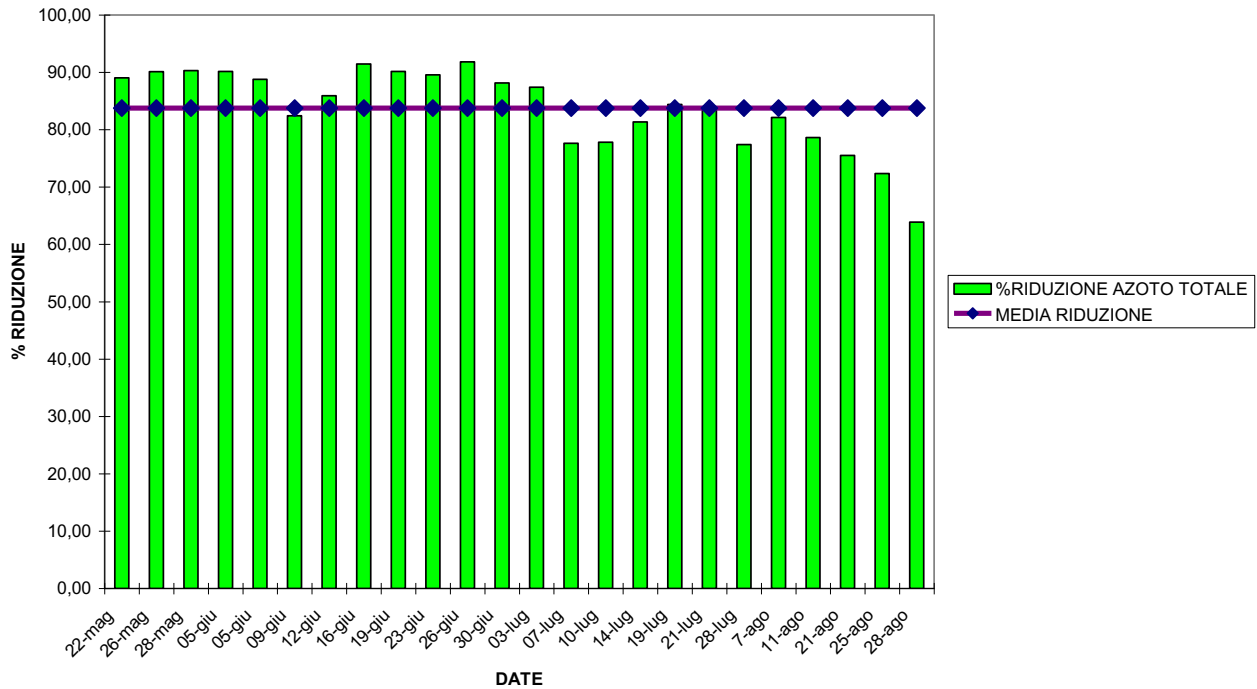


01-set			1.93	0.49	970	82	X	X	X						X	X				
04-set	4.58	2.36	1.91	0.65	1020	82.4	X	X	X		8.63	8.71	13.09		X	X				
06-set					920	76								10.09						
08-set				0.64	892	83														



### CONFRONTO AZOTO TOTALE INFLUENTE EFFLUENTE

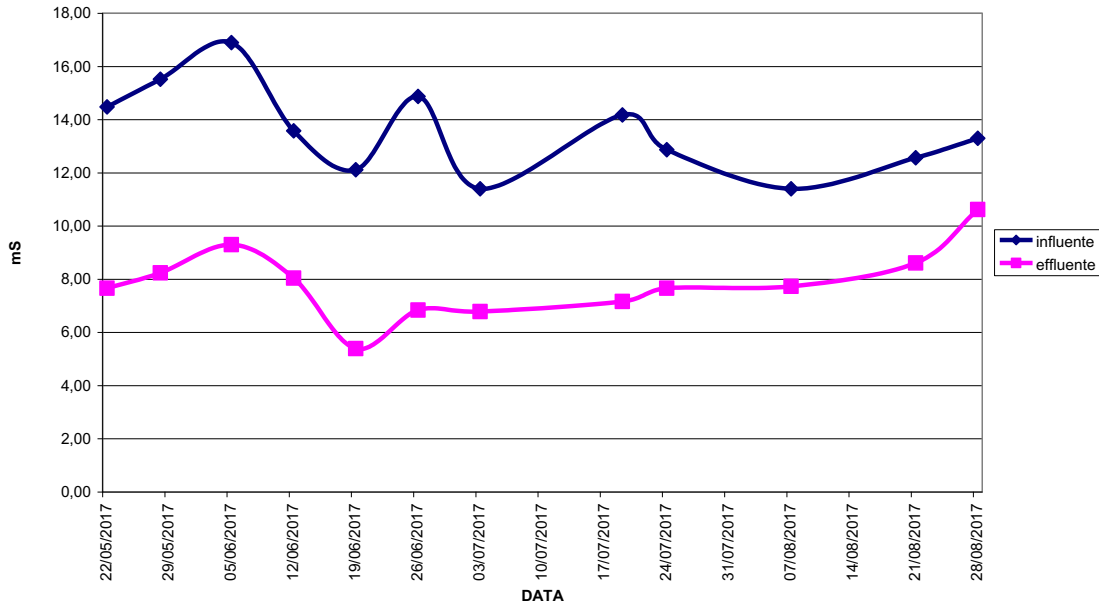


**RIDUZIONE PERCENTUALE AZOTO TOTALE**

**Conducibilità**

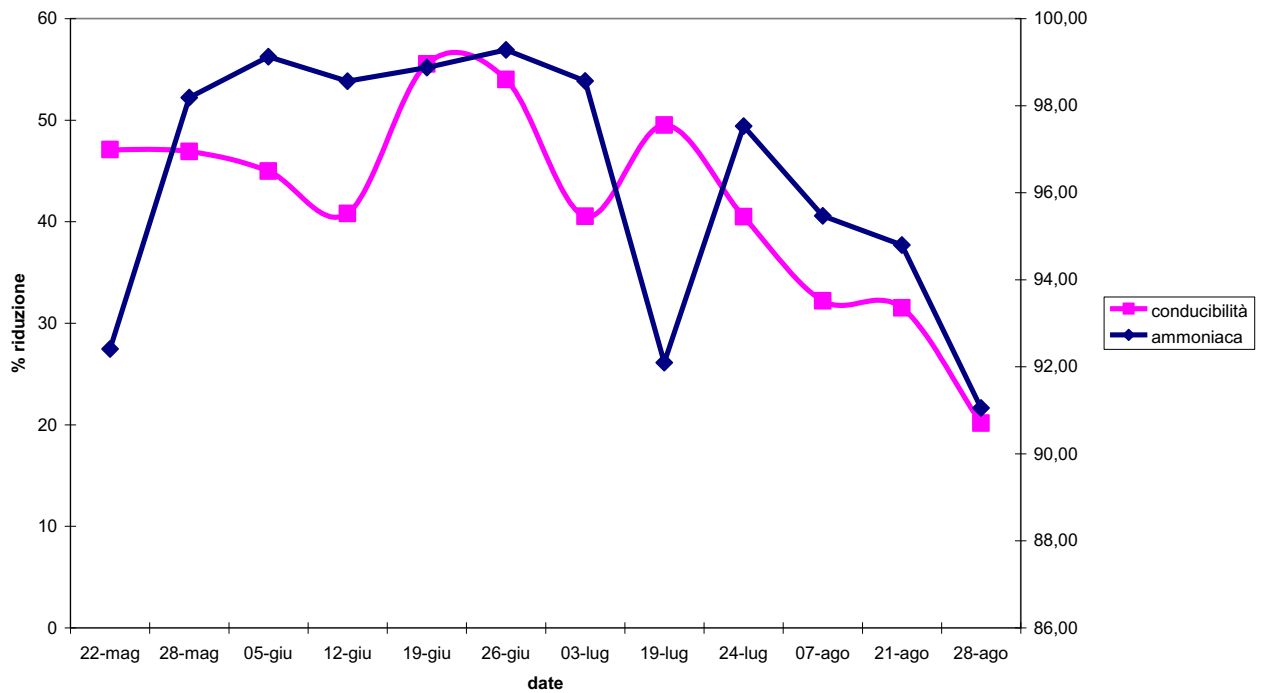
La conducibilità elettrica di un liquame dipende dalle concentrazione di cationi presenti . Nel caso dei reflui zootecnici è quindi funzione della concentrazione di ammoniaca. I valori misurati di conducibilità sono coerenti con le percentuali di riduzione dell'ammoniaca, il grafico della riduzione percentuale della conducibilità segue infatti l'andamento della riduzione dell'azoto ammoniacale



confronto conducibilità INFLUENTE EFFLUENTE

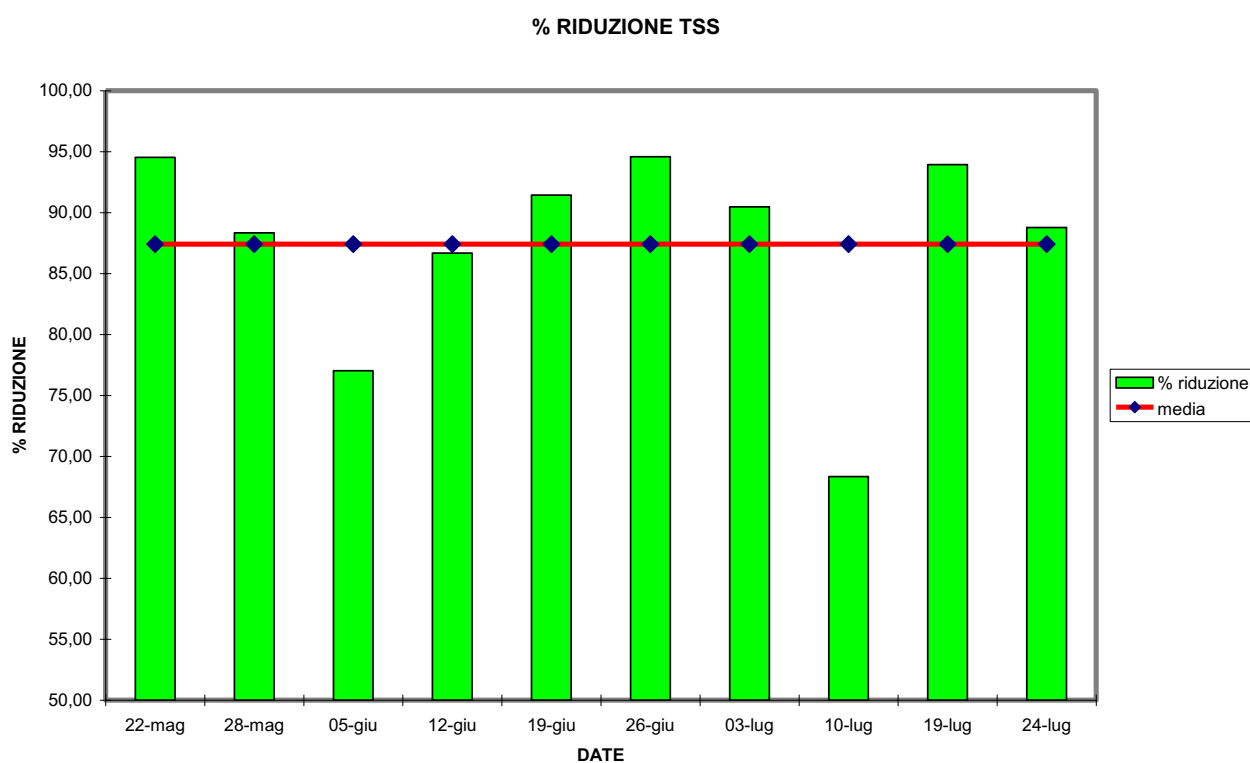


confronto riduzione conducibilità e ammoniaca



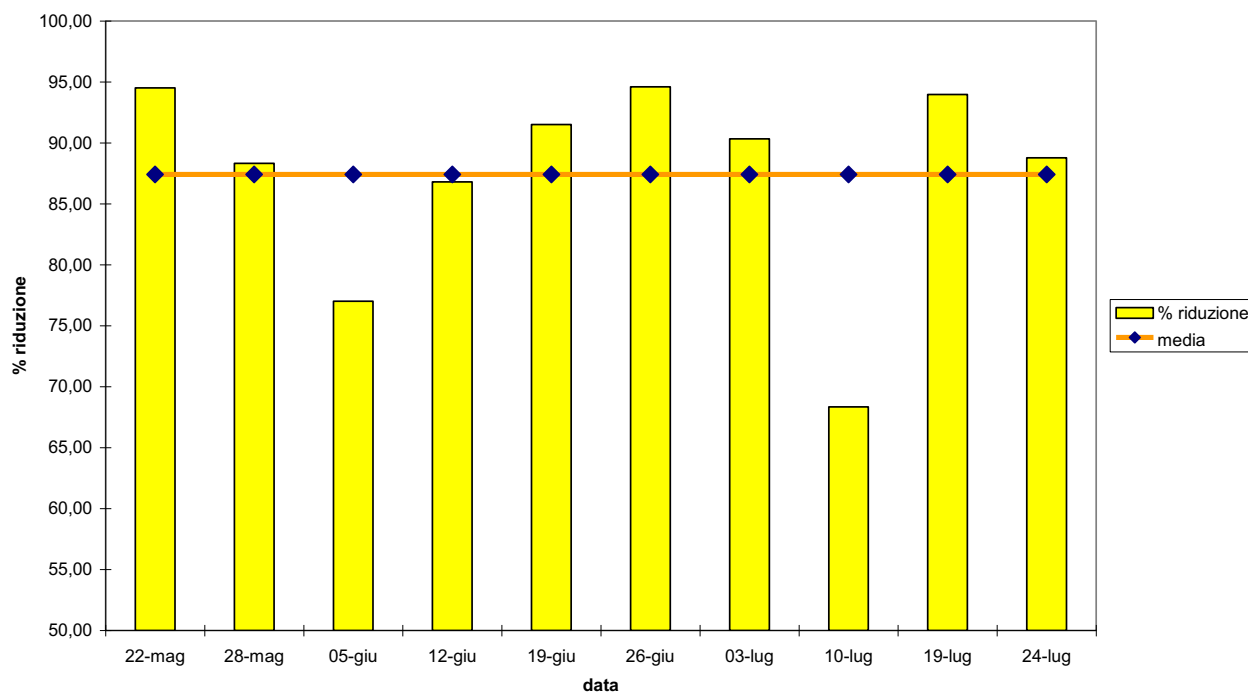
## Solidi sospesi totali e volatili :TSS e VSST

L'azione dei batteri che mineralizzano la sostanza organica e la formazione seppur minima di fanghi, determinano la riduzione di questi parametri nella misura evidenziata nei grafici sottostanti superiore mediamente all'87%.



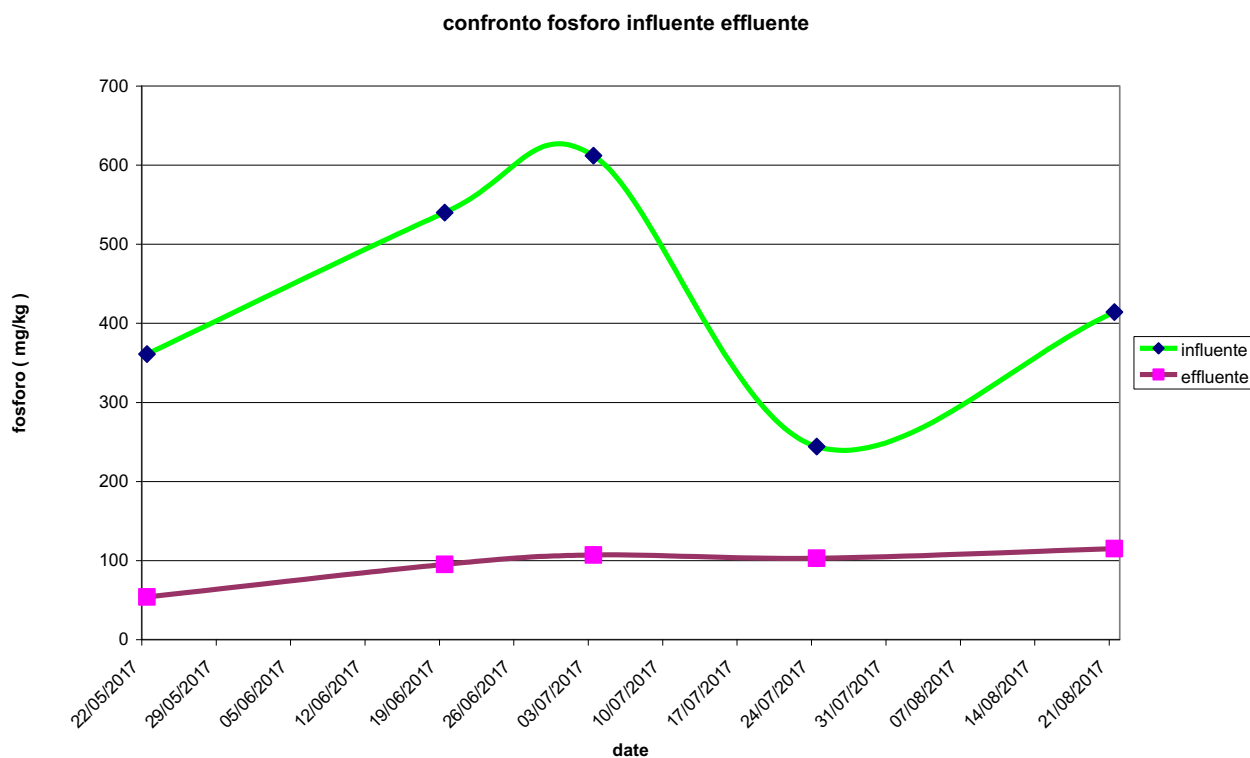


% riduzione VSS tra influente ed effluente



## Fosforo

Il fosforo e la sua rimozione dalla frazione liquida è corrispondente alla formazione di fanghi. I valori e la percentuale di rimozione dalla frazione liquida sono evidenziati nei grafici sotto riportati. La percentuale della riduzione del fosforo è mediamente prossima al 76 %.



## Parametri ambientali e gestionali

Dal momento che la tecnologia di trattamento dei reflui è basata su processi microbiologici, è fondamentale considerare le temperature ambiente e di esercizio dell'impianto pilota. Di seguito i grafici delle temperature ambientali e di esercizio del pilota.

Grafico delle temperature ambientali

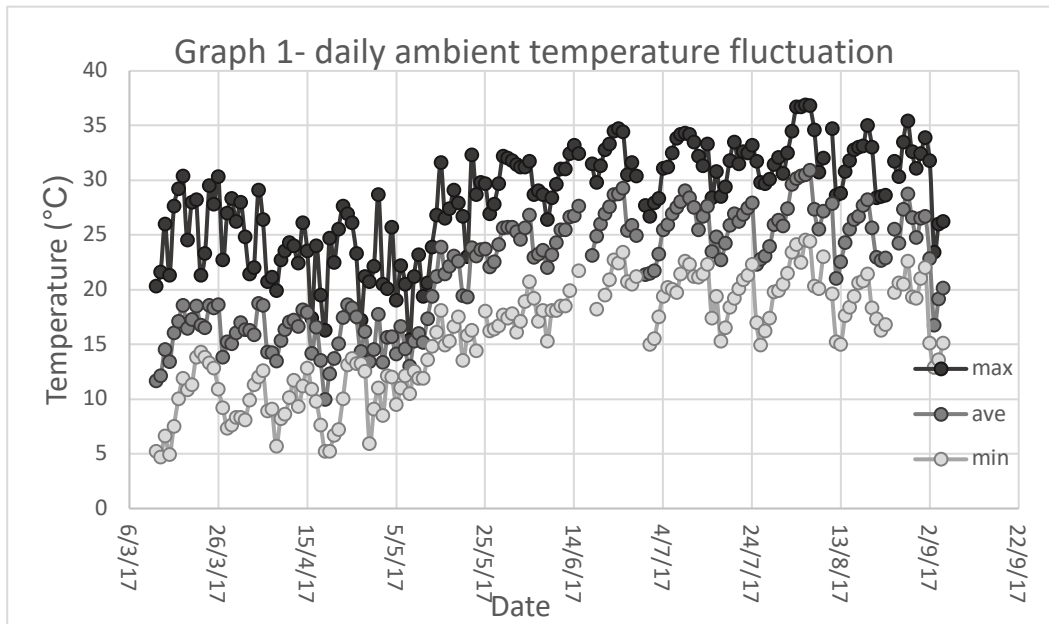
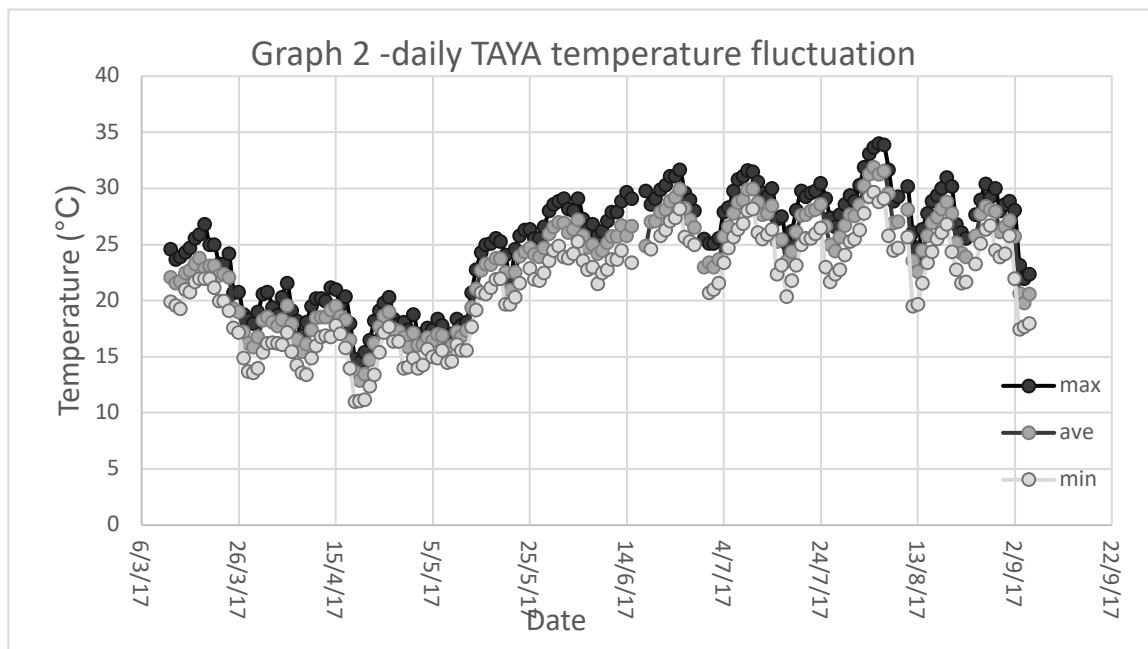


Grafico delle temperature di esercizio del pilota



Il pilota ha mostrato ottime performances in un intervallo di temperatura tra 25 e 30 C°. rispetto all'utilizzo per la denitrificazione del digestato si possono ipotizzare temperature in scala reale abbastanza prossime a questi valori, infatti il digestato esce dagli impianti ad una temperatura di 27-42°C e può essere impiegato del calore, spesso sottoutilizzato negli impianti di biogas, per



mantenere la temperatura superiore ai 20 gradi anche nei periodi invernali, per i 20-25 gg necessari al processo biologico.

### Quantità di refluo in ingresso e tempo di ritenzione

Le portate di materiale in ingresso non sono state aumentate gradualmente. All'inizio sono stati alimentati al pilota con 25 l/d per passare nella fase da luglio a settembre a 60 l/d.

Il tempo di ritenzione del refluo da trattare, cioè il tempo durante il quale il refluo rimane nell'impianto di trattamento, dipende dalla percentuale di abbattimento dell'azoto che intendiamo raggiungere e dalla vitalità ed efficienza dei batteri coinvolti nel processo.

Durante la sperimentazione il tempo di ritenzione è stato settato considerando i valori di azoto totale,  $\text{NH}_4^+$ , pH, conducibilità, TS, TSS, VSS di influente ed effluente, e i relativi coefficienti di abbattimento. In media i risultati sopra descritti sono stati ottenuti mantenendo il digestato nel pilota **per 23 giorni**.

### Verifica delle emissioni di ammoniaca

Le concentrazioni di ammoniaca, misurate sui campioni di aria alla superficie del pilota, convogliata e raccolta attraverso cappa acceleratrice, hanno dimostrato una perdita di azoto in forma ammoniacale inferiore allo 0.5% dell'azoto totale presente nel digestato.

Da questi dati, come auspicato, si verifica che il processo di denitrificazione funziona correttamente fino alla riduzione totale dell'azoto a  $\text{N}_2$ , le emissioni di ammoniaca non sono significative.

### Valutazione energetica

Come abbiamo ricordato all'inizio, uno degli aspetti caratterizzanti la tecnologia TAYA, è la bassa richiesta di energia.

Facendo uno scale up dei consumi del pilota, tenendo conto dei tempi di ritenzione e delle caratteristiche del digestato in entrata (azoto totale e contenuto di sostanza secca) nonché delle performances di abbattimento (azoto totale, COD e BOD, sostanza secca) è stato possibile, confrontando anche con le performances di impianti di scale reale, ricostruire un valore affidabile per il consumo energetico.

In un impianto che debba trattare 100 mc/giorno di questo refluo, il consumo energetico può oscillare tra i 101.000 e 116.000 Kwh/anno, quindi circa 2,7 e i 3,17 kwh per mc trattato, rispetto i 13-17 kwh/m<sup>3</sup> dei processi tradizionali.

Considerato un costo medio dell'energia pari a 0,20 euro/kwh (tasse incluse) il costo sarà pari rispettivamente a 0,54 o 0,64 euro/m<sup>3</sup> trattato. In tabella 2 la sintesi.

#### Tabella 2: sintesi consumi energetici e costi per la denitrificazione



	kwh/m <sup>3</sup> digestato	kwh/kgN	Euro/m <sup>3</sup>	Euro/kg azoto
Processo denitrificazione classico	13-17	3.4-4.3	2.6-3.4	0.6-0.8
Processo Taya	2.7-4	0.35-0.7	0.54-0.8	0.07-0.14

In base ai dati attualmente disponibili i valori di costo per impianti di depurazione biologica/denitrificazione che trattino reflui analoghi a quelli considerati (alto valore TS e ammoniaca) oscillano tra 1.5 - 3 €/mc ( Progetto ReduCaReflui – Regione Veneto ).

Un altro parametro di valutazione della convenienza energetica di questa tecnologia sono i Kwh per kg di azoto rimosso.

Nel caso analizzato i 36.500 mc di digestato apportano all'impianto circa 105.000 kg di azoto. Data l'efficienza di rimozione dimostrata pari mediamente all'84 %, in un anno si riescono ad asportare 88.200 kg di azoto. Quindi il costo energetico per kg di azoto asportato potrà oscillare tra 0,23 € e 0,26 €.

Dalla letteratura , in merito a questo parametro si leggono valori sensibilmente più alti:

0,66 € / kg per impianti nitro –denitro senza uso di carbonio esterno fino a 1,36 con uso di carbonio esterno.