

Azione 1.1.5 “Sostegno all’avanzamento tecnologico delle imprese attraverso il finanziamento di linee pilota e azioni di valutazioni su larga scala”

PO FESR Sicilia 2014-2020

Progetto di ricerca

“Nuovi prodotti dalla trasformazione agroindustriale di frutti da colture mediterranee e gestione sostenibile dei sottoprodotti - MedFruit”



Università di Catania



Allegato 22:

“Indagini sperimentali su impianti di trattamento naturale per la depurazione ed il riuso delle acque reflue agroindustriali”

- **Università degli Studi di Catania**
- **CSEI Catania**
- **Centro C.R.I.S.A.M.**

Allegato 21

Indagini sperimentali su impianti di trattamento naturali per la depurazione e il riuso delle acque reflue agroindustriali

1. Premessa

Il progetto “Nuovi prodotti dalla trasformazione industriale di frutti da colture mediterranee e gestione sostenibile dei sottoprodotti – MedFruit” prevede lo svolgimento di un’attività di ricerca sperimentale su sistemi a scala reale e a scala pilota per offrire alle industrie agrumarie soluzioni, economicamente sostenibili per il trattamento ed il riuso delle acque reflue, basate su tecniche di depurazione naturale (lagunaggio e fitodepurazione).

Tali attività sperimentali vengono condotte presso l’impianto di lagunaggio a servizio dell’azienda di trasformazione agrumaria ORTOGEL S.p.A. ubicata nella zona industriale di Caltagirone (37°14’45’’ N, 14°33’52’’ E) e l’impianto di fitodepurazione a scala pilota realizzato in prossimità dell’impianto di lagunaggio e finalizzato all’affinamento di una porzione dei reflui trattati dall’impianto stesso.

2. Descrizione dell’impianto di lagunaggio

L’impianto di trattamento delle acque reflue prodotte dallo stabilimento ORTOGEL è costituito da 3 stagni di lagunaggio aerati denominati S1, S2 ed S3 (Figura 1) aventi volumi utili, rispettivamente, di circa 10.900 m³, 10.900 m³ e 20.000 m³.

Gli invasi sono realizzati in terra, sono impermeabilizzati con un telo in PE termosaldato ed hanno un tirante idraulico massimo di circa 7 m. L’aerazione è assicurata da aeratori galleggianti di potenza elettrica pari a 15 kW ciascuno (Figura 2). Gli aeratori funzionano solo nelle ore notturne o nel fine settimana; l’alimentazione elettrica degli aeratori viene regolata in modo da massimizzare il rendimento di trasferimento dell’ossigeno nello strato superficiale aerobico ed evitando lo sviluppo di esalazioni maleodoranti. Durante le ore diurne è normalmente sospesa l’aerazione delle acque reflue presenti all’interno dei serbatoi al fine di evitare che, durante il passaggio delle acque reflue nei diversi serbatoi o alla sezione finale dell’impianto di trattamento, si verifichino fenomeni di trascinamento del fango biologico.

Figura 1. Sistema di lagunaggio a servizio dell'azienda ORTOGEL s.p.a. (Caltagirone, Catania) costituito da 3 stagni aerati (S1, S2, S3)

Figura 2. Serbatoio S3 a servizio dell'azienda ORTOGEL s.p.a. (Caltagirone, Catania) nel quale risultano installati quattro aeratori galleggianti.

Nel serbatoio S1 vengono convogliate le acque reflue con elevate concentrazioni di sostanza organica ed oli essenziali (Figura 3) mentre, nel serbatoio S2, vengono immessi i reflui con una minore concentrazione di sostanza organica.

Generalmente le acque reflue, dopo un opportuno tempo di detenzione, vengono fatte confluire dal serbatoio S2 al serbatoio S3, mentre il passaggio dei reflui da S1 a S2 avviene solo dopo lunghi tempi di detenzione necessari per l'innocuizzazione degli oli essenziali e l'abbattimento del carico organico. Occasionalmente, le acque reflue dello

stabilimento ORTOGEL con una ridotta concentrazione di sostanza organica e oli essenziali vengono immesse in S3 anziché in S2.

Figura 3. Tubazione di immissione delle acque reflue, con elevata concentrazione di sostanza organica ed oli essenziali, nel serbatoio S1 dell'impianto di lagunaggio a servizio dell'azienda ORTOGEL s.p.a. (Caltagirone, Catania).

L'impianto di lagunaggio è dotato di quadro di comando dal quale è possibile azionare gli aeratori galleggianti ed eseguire il monitoraggio dei consumi elettrici e dei volumi idrici convogliati ai diversi stagni di lagunaggio (Figura 4).

Figura 4. Quadro di comando degli aeratori galleggianti installati nell'impianto di lagunaggio a servizio dell'azienda ORTOGEL s.p.a. (Caltagirone, Catania).

L'effluente depurato in uscita dall'invaso S3 viene convogliato in una vasca di circa 800 m³. Tale vasca è dotata di un aeratore al fine di assicurare un'adeguata ossigenazione del refluo ed un contatto ottimale tra lo stesso e l'eventuale calce sversata nel medesimo al fine di una sua correzione del pH. La suddetta vasca, con elevati dosaggi di calce, può fungere da chiariflocculatore o, in alternativa, ricircolando il fango, può funzionare come fase di trattamento a fanghi attivi. In seguito le acque vengono trattate da due filtri percolatori il cui effluente viene convogliato in un secondo sedimentatore e da questo, in serie, ad una vasca di ossidazione finale, un sedimentatore finale ed infine allo scarico consortile (Figura 5). I fanghi di supero prodotti dal processo biologico eseguito all'interno delle vasche sopra descritte sono avviati agli invasi aerati al fine della stabilizzazione del pH e dei nutrienti.

Figura 5. Schema dell'impianto di trattamento dei reflui a servizio dell'azienda ORTOGEL s.p.a. (Caltagirone, Catania)

3. Descrizione dell'impianto di fitodepurazione a scala pilota

L'impianto di fitodepurazione a scala pilota esegue il trattamento terziario di una porzione, pari a circa 8-10 m³/giorno, delle acque reflue agrumarie accumulate nel bacino di lagunaggio aerato S3 di proprietà dell'ORTOGEL S.p.A..

L'impianto a scala pilota, realizzato in prossimità degli stagni di lagunaggio, è costituito da un letto a flusso sub-superficiale orizzontale (HF), seguito da un letto filtrante a flusso sub-superficiale verticale (VF) ed un ulteriore bacino di fitodepurazione a flusso superficiale (FWS) (Figura 6). La superficie di ciascun letto filtrante (HF ed VF) è pari a circa 50 m² mentre quella della vasca a flusso superficiale è di circa 90 m².

Figura 6: Vista satellitare dell'impianto di fitodepurazione a scala pilota per l'affinamento di una porzione dei reflui prodotti dallo stabilimento ORTOGEL

Le acque reflue vengono convogliate al letto di fitodepurazione HF per mezzo di una pompa sommersa installata nella sezione di uscita del bacino di lagunaggio S3. Tale pompa è collegata ad un temporizzatore (Figura 7) che impone cicli di azionamento di pochi minuti ogni ora, tali da determinare una portata giornaliera variabile tra i 7 ed i 10 m³.

Le acque reflue vengono immesse in testa al letto di fitodepurazione HF mediante una tubazione di distribuzione in PEBD, del diametro di 50 mm, posta trasversalmente alla direzione del flusso. Tale tubazione presenta, lungo tutta la sua lunghezza, una serie di

braghe in modo tale da permettere un'omogenea distribuzione del refluo in tutta la sezione del letto ed evitare il più possibile i fenomeni di cortocircuitazione idraulica (Figura 8). Un'analogia tubazione trasversale, del diametro di 50 mm fessurata per tutta la sua lunghezza, posta sul fondo del letto nella sua sezione terminale, raccoglie le acque reflue che vengono poi convogliate al pozzetto di uscita.

Figura 7. Quadro di comando (a) delle pompe dell'impianto di fitodepurazione a scala pilota e temporizzatori delle pompe di sollevamento delle acque reflue da S3 ad HF e dall'uscita HF a VF (b).

Figura 8. Tubazione di distribuzione delle acque reflue all'interno del letto di fitodepurazione HF.

Il fondo e le sponde della vasca sono stati impermeabilizzati mediante l'apposizione di una guaina in PVC, che è stata posata in opera tra due teli di tessuto non tessuto.

Il letto di inerti, vegetato con *Phragmites australis*, è costituito da un primo sottile strato di materiale vagliato proveniente dagli scavi, posto a diretto contatto con il telo di tessuto non tessuto al fine di salvaguardare la sottostante guaina, ed un secondo strato di pietrisco lavico avente una dimensione granulometrica costante pari a circa 8-10 mm.

Nelle sezioni di ingresso e di uscita è stato posto del pietrame lavico con una dimensione granulometrica grossolana (80-100 mm) al fine di evitare fenomeni di intasamento e favorire una distribuzione omogenea del liquame.

Nel pozzetto di uscita è presente una tubazione in PEBD la cui quota viene regolata manualmente, tramite una curva a 90°, al fine di poter variare il livello idrico all'interno del letto filtrante (Figura 9). Da tale pozzetto le acque trattate vengono convogliate ad una vasca di accumulo in calcestruzzo, della capacità di 10 m³, che costituisce il serbatoio di carico del successivo letto di fitodepurazione VF (Figura 10).

Figura 9. Sistema di regolazione del livello idrico nel letto HF.



Figura 10. Vasca di accumulo, in calcestruzzo, delle acque reflue trattate dal letto HF.

In tale serbatoio è stata installata un'elettropompa sommersa per l'alimentazione discontinua del letto di fitodepurazione VF, che presenta una larghezza di circa 5 m ed una lunghezza di circa 10 m.

Per la realizzazione del mezzo filtrante sono stati impiegati, procedendo dalla superficie verso il fondo del letto, i seguenti materiali (Figura 11): ghiaia 0-5 mm (5 cm), sabbia lavica (10 mm), ghiaia 0-5 mm (15 cm), ghiaia 5-10 mm (15 cm), ghiaia 10-15 mm (15 cm), ghiaia 25-40 mm (40 cm).

Figura 11: Particolare della stratificazione del mezzo filtrante del letto di fitodepurazione a flusso sub-superficiale verticale

Nella vasca VF i liquami vengono immessi dall'alto mediante tubazioni in PEBD forate (fori di 25 mm e interasse 500 mm) del diametro di 40 mm che distribuiscono i reflui sull'intera superficie del letto. In corrispondenza di ciascun foro di distribuzione del refluo è stata posizionata una mattonella per evitare la formazione di canali di erosione sulla superficie filtrante.

Il sistema di drenaggio è costituito da una tubazione drenante del tipo DN 50 mm innestata su una T 90°, e su tre tubazioni DN 50 mm poste ad un'interdistanza di circa 1,50 m. Sul fondo del letto sono altresì collocate quattro tubazioni di aerazione in PVC corrugato flessibile, del diametro nominale di 50 mm, con fessure drenanti realizzate perpendicolarmente all'asse del tubo.

Anche questo letto di fitodepurazione è stato vegetato con *Phragmites australis*.

Le acque in uscita da VF vengono convogliate alla vasca a flusso superficiale che presenta una larghezza di circa 5 m ed una lunghezza di circa 10 m. Il tirante idrico all'interno della vasca è pari a circa 70 cm.

Le acque reflue vengono immesse nel bacino di fitodepurazione mediante una tubazione in PEBD del DN 40 mm posta nella sezione di ingresso (Figura 12a). Un'analogia tubazione in PEBD, del diametro di 40 mm, posta circa 5 cm al di sotto del pelo libero nella sua sezione terminale, raccoglie le acque reflue trattate che vengono poi convogliate al pozzetto di uscita. In tale pozzetto è stato installato un sistema di regolazione del livello idrico, simile a quello sopra descritto per il letto HF ed una pompa che rilancia le acque reflue trattate nel bacino S3 (Figura 12b).

Figura 12. Tubazione di immissione dei reflui (a) e pozzetto di uscita (b) della vasca FWS

Nella sezione terminale del bacino di fitodepurazione, per una lunghezza di circa 1,5 m, è stata collocato del pietrisco lavico, di dimensione granulometrica pari a circa 0-5 mm, con funzione di abbattimento degli eventuali SST presenti nel refluo. Su tale materiale inerte sono state poste a dimora piantine di *Vetiveria zizanioides*. Al fine di migliorare le capacità di filtrazione del sistema ed aumentare la superficie di attecchimento dei microrganismi artefici della degradazione della sostanza organica, è stata installata, in prossimità della sezione terminale del sistema FWS, una struttura galleggiante, realizzata con culmi di bambù e canna gigante, sulla quale sono state fissate delle piante di *Typha latifolia*.

Le attività progettuali hanno previsto una serie di sopralluoghi presso l'impianto di trattamento dei reflui dell'ORTOGEL al fine di verificare e programmare le attività necessarie alla sua ottimizzazione per garantire il regolare svolgimento delle attività sperimentali.

Nel corso del primo sopralluogo è stato constatato che:

- l'area adiacente all'impianto di fitodepurazione risultava occupata da una vegetazione infestante notevolmente sviluppata (Figura 13);
- la superficie dei letti di fitodepurazione risultava caratterizzata da estese aree coperte da vegetazione infestante e da un notevole numero di piante di *Phragmites australis* completamente disseccate (Figura 14);
- il volume di accumulo delle acque reflue all'interno della vasca a flusso superficiale risultava significativamente ridotto a causa dell'incontrollato sviluppo della *Phragmites australis* (Figura 15);
- la struttura galleggiante, collocata nella vasca FWS, presentava rilevanti danni, tali non poterne ripristinare l'originaria funzionalità, e la sezione terminale a flusso sub-superficiale risultava priva di vegetazione (Figura 15b);

Figura 13: Area adiacente all'impianto di fitodepurazione a scala pilota occupata dalla vegetazione infestante.

Figura 14: Vista dei letti di fitodepurazione HF (a) e VF (b) nel corso del primo sopralluogo.

Figura 15: Vista della sezione di ingresso (a) e finale (b) della vasca FWS nel corso del primo sopralluogo.

Sulla base di quanto constatato in sede di sopralluogo e di quanto programmato in sede di proposta progettuale, sono state eseguite le seguenti attività:

- *area adiacente all'impianto*: sfalcio della vegetazione infestante e preparazione del terreno per la prossima messa a dimora delle colture vegetali che verranno irrigate con le acque reflue trattate dall'impianto di fitodepurazione a scala pilota (Figura 16);
- *letti HF e VF*: sfalcio e rimozione della vegetazione infestante e delle piante disseccate; messa a dimora di circa 4 rizomi/m² di *Phragmites australis*; pulizia delle tubazioni di distribuzione e raccolta delle acque reflue; concimazione azotate e fosfatice per favorire lo sviluppo delle piante di *Phragmites australis* (Figura 17);
- *vasca FWS*: sfalcio e rimozione delle piante di *Phragmites australis* e della vegetazione infestante presente sulle sponde e sul fondo del bacino; realizzazione di una struttura galleggiante con tubi in PVC sulla quale sono state

poste a dimora piante di *Typha latifolia*; messa a dimora di circa 4 rizomi/m² di *Phragmites australis* nella sezione terminale a flusso sub-superficiale (Figura 18);

- *sistema di ricircolo e scarico*: posa in opera di una tubazione in PEBD diametro 50 per il ricircolo, in testa ad HF, di una porzione dei reflui in uscita da FWS; ripristino della tubazione di scarico, di una porzione dei reflui in uscita da FWS, nel serbatoio S3; installazione, nelle tubazioni di ricircolo e scarico, di valvole e contatori volumetrici per, rispettivamente, regolare e verificare i volumi idrici ricircolati e scaricati (Figura 19);

Figura 16: Vista, a luglio 2020, dell'area adiacente all'impianto di fitodepurazione a scala pilota (a) e dell'area nella quale verranno poste a dimora colture da biomassa irrigate con le acque reflue trattate dall'impianto di fitodepurazione (b).

Figura 17: Vista, a luglio 2020, dei letti HF (a) e VF (b) in seguito al completamento delle operazioni di manutenzione.



Figura 18: Vista, a luglio 2020, della vasca FWS in seguito al completamento delle operazioni di manutenzione.

Figura 19: Tubazione di ricircolo, in testa ad HF, di una porzione dei reflui in uscita da FWS (a) e valvole e contatori volumetrici per, rispettivamente, la regolazione e verifica dei volumi idrici ricircolati e scaricati in S3.

4. Metodologia

Le attività sperimentali hanno previsto l'esecuzione di campionamenti, con frequenza variabile, delle acque reflue in ingresso ed in uscita dai singoli stadi di trattamento di lagunaggio e fitodepurazione (Figura 20): Serbatoio S2; Serbatoio S3; Uscita HF; Uscita VF; Uscita FWS.

Figura 20: Punti di campionamento delle acque reflue in corrispondenza dell'ingresso all'invaso S2 e dell'uscita dell'invaso S3, del letto HF, del letto VF e della vasca FWS.

I campioni, prelevati dal giugno 2020, sono stati determinati, dal laboratorio di “Igiene Ambientale e degli Alimenti” dell’Università degli Studi di Catania, i seguenti parametri chimico-fisici e microbiologici: pH; colore; odore; materiali grossolani; solidi sospesi totali; BOD₅; COD; solfuri (come H₂S); solfiti (come SO₃); solfati (come SO₄); cloruri; fluoruri; fosforo totale (come P); azoto ammoniacale (come NH₄); azoto nitroso (come N); azoto nitrico (come N), azoto totale e saggio di tossicità acuta.

Sulle acque invase in S2 ed S3, in occasione di ciascun campionamento eseguito dall’ottobre 2020, sono stati rilevati in situ i seguenti parametri: Conducibilità Elettrica, Ossigeno Disciolto, pH, Potenziale Redox, Temperatura. I rilievi sono stati eseguiti con un misuratore di qualità multi-parametrico HI-9828 dell’HANNA INSTRUMENTS.

Nel periodo di giugno 2020 – ottobre 2020, i bacini S2 ed S3 sono stati gestiti in batch. Per tale periodo è stata eseguita una valutazione dell’efficienza del sistema secondo la seguente formula:

$$\eta (\%) = [(Li - Le) / Li] \times 100$$

dove Li è la concentrazione di un determinato parametro nelle acque reflue immesse nel bacino all’inizio del periodo di monitoraggio ed Le è la concentrazione del medesimo parametro al termine del periodo di monitoraggio.

Per il sistema di fitodepurazione le efficienze di rimozione (E) dei diversi inquinanti monitorati sono state valutate applicando la seguente formula:

$$E = \frac{(C_{in} - C_{out})}{C_{in}} \times 100\%$$

dove C_{in} e C_{out} sono, rispettivamente, le concentrazioni del parametro rilevate in ingresso ed in uscita dal sistema.

I valori rilevati sono stati confrontati con i limiti imposti dalla Tabella 3, Parte terza, Allegato 5 al D.Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii. per lo scarico in rete fognaria e su corpo idrico superficiale.

5. Risultati

Ai fini di una corretta interpretazione analitica e metodologica si evidenzia che, da giugno 2020 fino ad ottobre 2020, gli invasi di lagunaggio sono stati gestiti con

modalità di accumulo a batch mentre, nel successivo periodo d'indagine, la gestione è stata in continuo.

Nelle acque reflue accumulate in S2 ed S3 i valori di temperatura hanno avuto un andamento simile a quello della temperatura atmosferica con i valori più elevati rilevati ad ottobre 2020 (media pari a circa 23° C) e quelli più bassi a gennaio 2021 (media pari a circa 12 °C).

Nell'invaso S2 i valori di pH hanno evidenziato, per effetto dell'immissione di reflui freschi, una tendenza all'acidificazione nel corso del periodo d'indagine con valori medi compresi tra 6,5 (gennaio 2021) e 8,3 (ottobre 2020). Nell'invaso S3 il processo di acidificazione è risultato più contenuto con un valore massimo di 8,8 rilevato ad ottobre 2020 e minimo di 8,1 a gennaio 2021.

La variazione della modalità gestionale da batch in continuo ha influito anche sui valori del potenziale redox delle acque invase in S2 che si sono incrementati dall'iniziale valore medio di circa -245 mV a circa -100 mV registrato al termine del periodo d'indagine. Al contrario, nel bacino S3 i valori del potenziale redox sono risultati pressoché costanti con un valore medio di circa -40 mV.

L'ossigeno disciolto, nelle acque invase in S2, è risultato costantemente inferiore all'1% mentre, in S3, sono state rilevate concentrazioni decrescenti nel corso del periodo d'indagine con valori medi del 68% rilevati ad ottobre 2020 ed inferiori all'1% a gennaio 2021.

La Conducibilità Elettrica, nei reflui accumulati all'interno di S2 ed S3, ha mostrato un andamento simile in entrambi i bacini. In particolare, nel periodo compreso tra ottobre 2020 e gennaio 2021, il valore medio di C.E. si è ridotto da circa 2.950 µS/cm a circa 2.100 µS/cm.

Nella sottostante Tabella 1 vengono sintetizzati i risultati delle analisi chimico-fisiche e microbiologiche condotte sui campioni di acque reflue prelevati in S2 ed in S3.

Tabella 1: Concentrazioni dei parametri chimico-fisici rilevati nelle acque invase nel Serbatoio S2 nel periodo giugno 2020 – gennaio 2021

Parametri	Unità di misura	Invaso S2			Invaso S3		
		Valore Minimo	Valore Massimo	Valore Medio	Valore Minimo	Valore Massimo	Valore Medio
pH	//	6,50	8,30	7,68	8,10	8,80	8,50
Colore <i>Hanzen</i> <1:20		< 1:20	< 1:20	<1:20		<1:20	<1:20
Odore	//	No Molestie	No Molestie	No Molestie	No Molestie	No Molestie	No Molestie
Materiali Grossolani	//	Assenti	Assenti	Assenti	Assenti	Assenti	Assenti
Solidi Sospesi Totali	mg/L	30	800	293	10	130	47
BOD ₅ (Come O ₂)	mg/L	70	885	347	60	172,00	112
COD	mg/L	175	1920	792	137,00	384,00	232
Solfuri	mg/L	<0,01	8,00	1,17	<0,01	0,39	0,03
Solfiti	mg/L	2,7	29,0	11,1	<0,01	0,20	0,01
Solfati	mg/L	13,0	211,0	75,7	8,0	27,0	19,7
Cloruri	mg/L	93	152	118	100	148	119
Fluoruri	mg/L	0,20	2,70	0,86	0,30	5,90	1,58
Azoto ammoniacale	mg/L	4,70	90,00	28,24	<0,6	23,80	8,11
Azoto nitroso	mg/L	<0,08	< 0,08	<0,08	<0,08	0,64	0,18
Azoto nitrico	mg/L	< 0,20	<0,20	< 0,20	< 0,20	3,00	0,66
Azoto totale	mg/L	9	95	41	1,20	28,00	13,18
Fosforo Totale	mg/L	2,2	9,9	5,0	2,40	7,67	5,97
Oli essenziali	mg/L	0,01	0,23	0,06	0,00	10,40	1,34
Tossicità acuta con batteri bioluminescenti	% Inibizione	17	99	74	<11	85	16
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL	0	12.000	2.982	0	70.000	8.855

La variazione di gestione del sistema di lagunaggio, da batch a continuo, ha determinato, come ci si aspettava, un incremento delle concentrazioni medie della totalità dei parametri chimico-fisici a causa dell'immissione di reflui "freschi".

Nel corso della gestione a batch, non sono state rilevate, negli invasi di lagunaggio, efficienze di rimozione significative a causa del breve periodo d'indagine e delle limitate concentrazioni di inquinanti.

Le risultanze delle analisi condotte sui campioni di acque reflue prelevati nei diversi stadi di trattamento fitodepurativo vengono sintetizzate nella sottostante Tabella 2.

Tabella 2: Concentrazioni medie e relative deviazioni standard (Dev. St.) dei parametri chimico-fisici e microbiologici rilevati nelle acque reflue prelevate in ingresso ed in uscita dai diversi stadi di trattamento di fitodepurazione nel periodo ottobre 2020 – gennaio 2021 (4 campioni per ciascun punto di campionamento)

Parametri	Unità di misura	Ingresso HF		Uscita HF		Uscita VF		Uscita FWS	
		Media	Dev. St.	Media	Dev. St.	Media	Dev. St.	Media	Dev. St.
pH	//	8,38	0,30	8,28	0,31	8,20	0,42	8,23	0,30
Colore	Hanzen	<1:20	-	<1:20	-	<1:20	-	<1:20	-
Odore	//	No Molestie	-	No Molestie	-	No Molestie	-	No Molestie	-
Materiali Grossolani	//	Assenti	-	Assenti	-	Assenti	-	Assenti	-
Solidi Sospesi Totali	mg/L	57	52	27	26	17	18	25	16
BOD ₅ (come O ₂)	mg/L	114	37	85	37	94	58	65	26
COD	mg/L	261	97	197	81	257	168	150	43
Solfuri	mg/L	0,10	0,20	0,04	0,09	<0,01	-	0,04	0,09
Solfiti	mg/L	<0,01	-	<0,01	-	<0,01	-	<0,01	-
Solfati	mg/L	14,3	12,45	9,0	8,04	9,5	2,12	6,5	4,51
Cloruri	mg/L	118,3	14,01	125,3	24,49	128,0	1,41	126,3	34,95
Fluoruri	mg/L	1,8	2,72	1,5	1,97	1,8	2,05	1,0	1,45
Azoto ammoniacale	mg/L	13,0	7,86	6,5	5,23	4,4	6,15	2,6	3,48
Azoto nitroso	mg/L	0,04	0,09	< 0,08	-	< 0,08	-	< 0,08	-
Azoto nitrico	mg/L	0,06	0,12	<0,20	-	<0,20	-	<0,20	-
Azoto totale	mg/L	17,8	7,85	9,3	6,08	5,0	7,07	4,0	4,55
Fosforo Totale	mg/L	6,47	0,82	5,10	0,98	4,75	0,21	5,04	0,34
Oli essenziali	mg/L	0,08	0,07	0,07	0,09	0,08	0,11	0,04	0,04
Tossicità acuta con batteri bioluminescenti	% Inibizione	21	43	48	48	<11	-	37	45
<i>Escherichia coli</i> UFC/100 mL	17.595		34.937	242	270	6.000	8.485	563	558

Analizzando, per il sistema di fitodepurazione, le efficienze di rimozione dei principali parametri chimico-fisici si rilevano delle ridotte percentuali con valori compresi tra circa il 21% (P_{TOT}) ed il 79% (N_{TOT}) (Figura 21). Tali limitate efficienze di rimozione sono da ascrivere, presumibilmente, alle ridotte concentrazioni di inquinanti in ingresso all'impianto di fitodepurazione ed alla fase di start-up necessaria alla formazione di un'adeguata flora microbica.

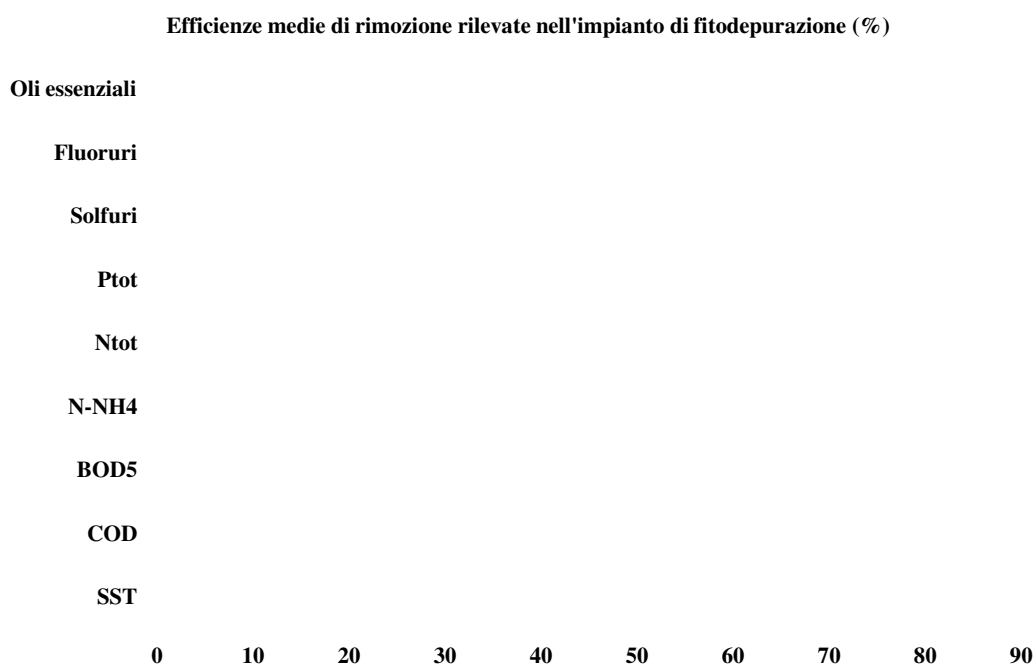


Figura 21: Efficienze medie di rimozione dei principali parametri chimico-fisici rilevate, in uscita dall'impianto di fitodepurazione a scala pilota dell'Ortogel S.p.A., nel periodo compreso tra ottobre 2020 e gennaio 2021.

Dal confronto dei risultati analitici con i limiti legislativi imposti dalla Tabella 3, Parte terza, Allegato 5 al D.Lgs. 152/2006 per lo scarico in fognatura e su corpo idrico superficiale emerge che la totalità dei campioni sono risultati compatibili ai limiti per lo scarico in fognatura già in ingresso all'impianto di fitodepurazione con la sola eccezione del parametro *Escherichia coli* che ha costantemente raggiunto valori inferiori ai limiti normativi solo dopo il trattamento fitodepurativo (Tabella 3). Quest'ultimo ha svolto un importante ruolo nell'incremento del numero di campioni compatibili con i limiti normativi per lo scarico in corpo idrico superficiale per i seguenti parametri: SST, BOD₅, COD, Solfuri, N-NH₄ ed *Escherichia coli*.

Tabella 3. Percentuali di campioni, prelevati in uscita dagli impianti di lagunaggio e fitodepurazione dell'Ortogel S.p.A., conformi ai limiti imposti dal D.Lgs. 152/2006 per lo scarico in fognatura ed in corpo idrico superficiale delle acque reflue industriali.

	<i>Limite scarico in fognatura D.Lgs. 152/06</i>	<i>% campioni conformi scarico in fognatura</i>	<i>Limite scarico in acque superficiali D.Lgs. 152/06</i>	<i>% campioni conformi scarico acque superficiali</i>
pH	5,5 – 9,5		5,5 – 9,5	
Uscita S3		100		100
Uscita FWS		100		100
Colore non	percett. dil. 1:40		non percett. dil. 1:20	
Uscita S3		100		100
Uscita FWS		100		100
Odore No molestie			No molestie	
Uscita S3		100		100
Uscita FWS		100		100
Mat. Gross. Assenti			Assenti	
Uscita S3				
Uscita FWS				
SST 200 m	g L ⁻¹		80 mg L ⁻¹	
Uscita S3		100		75
Uscita FWS		100		100
BOD₅ 250 m	g L ⁻¹		40 mg L ⁻¹	
Uscita S3		100		0
Uscita FWS		100		25
COD 500 m	g L ⁻¹		160 mg L ⁻¹	
Uscita S3		100		25
Uscita FWS		100		50
Solfuri 2 m	g L ⁻¹		1 mg L ⁻¹	
Uscita S3		100		75
Uscita FWS		100		100
Solfiti 2 m	g L ⁻¹		1 mg L ⁻¹	
Uscita S3		100		100
Uscita FWS		100		100
Solfati 1.000 m	g L ⁻¹		1.000 mg L ⁻¹	
Uscita S3		100		100
Uscita FWS		100		100
Cloruri 1.200 m	g L ⁻¹		1.200 mg L ⁻¹	
Uscita S3		100		100
Uscita FWS		100		100
Fluoruri 12 m	g L ⁻¹		6 mg L ⁻¹	
Uscita S3		100		100
Uscita FWS		100		100
N ammoniacale 30 m	g L ⁻¹		15 mg L ⁻¹	
Uscita S3		100		75
Uscita FWS		100		100
N nitroso 0,6 m	g L ⁻¹		0,6 mg L ⁻¹	
Uscita S3		100		100
Uscita FWS		100		100
N nitrico 30 m	g L ⁻¹		20 mg L ⁻¹	
Uscita S3		100		100
Uscita FWS		100		100
Fosforo Totale 10 m	g L ⁻¹		10 mg L ⁻¹	
Uscita S3		100		100
Uscita FWS		100		100
Tossicità acuta -			50% Inibizione	
Uscita S3				75
Uscita FWS				50
E. coli 5.000 UFC 100 mL ⁻¹			5.000 UFC 100 mL ⁻¹	
Uscita S3		75		75
Uscita FWS		100		100

