

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI PROCESSI CHIMICI DELL'INGEGNERIA



TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA DEI PROCESSI
INDUSTRIALI E DEI MATERIALI

(Laurea triennale DM 270/04 – indirizzo Processi Industriali)

STUDIO DELLA LINEA FANGHI DEL DEPURATORE DI
CONSELVE

Relatore: Ch.mo prof. Lino Conte

Correlatore: Ing. Luigi Falletti

Tutor aziendale: Ing. Andrea Rigato

Laureando: Marco Strada

Anno Accademico 2010-2011

INDICE

INTRODUZIONE	1
CAPITOLO 1 – Normativa sulle acque reflue	3
1.1 D. Lgs. 152/2006: disciplina degli scarichi	3
1.2 D. Lgs. 152/2006: Trattamento di rifiuti presso impianti di trattamento delle acque reflue urbane	6
1.3 Piano Regionale di Risanamento delle Acque	7
1.4 Piano di Tutela delle Acque	10
1.5 Decreto 30 luglio 1999 (Ronchi - Costa)	11
CAPITOLO 2 – Descrizione dei processi depurativi	14
2.1 Pretrattamenti	14
2.2 Depurazione biologica	18
2.3 Trattamento terziario chimico-fisico	23
2.4 Linea fanghi	25
CAPITOLO 3 – Impianto di Conselve	30
3.1 Dati di progetto dell'impianto	30
3.2 Stazione trattamento rifiuti liquidi	32
3.3 Trattamenti primari	34
3.4 Trattamenti secondari	35
3.5 Trattamenti terziari	39
3.6 Trattamenti dei fanghi	44
CAPITOLO 4 – Risultati sperimentali	47
4.1 Obbiettivi, materiali e metodi	47
4.2 Risultati delle analisi	50
CONCLUSIONI	65
BIBLIOGRAFIA	67

INTRODUZIONE

Il lavoro qui presentato è stato svolto nel corso di un tirocinio della durata di circa tre mesi, per un totale di 225 ore, presso la società di servizi idrici integrati Centro Veneto Servizi S.p.a nell'impianto di depurazione delle acque reflue di Conselve (PD).

Lo scopo della tesi è proprio verificare il corretto funzionamento della linea fanghi di Conselve, attraverso l'acquisizione e la misura sperimentale di vari parametri lungo tale linea e attraverso bilanci di materia. Confrontando i dati di progetto con quelli ottenuti dalle analisi si verificherà l'efficacia della depurazione nell'abbattere le principali sostanze inquinanti per l'ambiente e la possibilità di ottenere biogas, attraverso l'utilizzo di un digestore, utilizzando i fanghi prodotti nel processo depurativo.

CAPITOLO 1

Normative sulle acque reflue

Nel presente capitolo saranno trattate in sintesi le normative in materia acque, dalle direttive europee ai più recenti piani regionali per la tutela delle acque.

1.1 D. Lgs. 152/2006: disciplina degli scarichi

Il decreto ha lo scopo di disciplinare la tutela dell'ambiente e in particolare delle acque superficiali, marine e sotterranee nella sua Parte III e relativi allegati. Gli strumenti per la tutela delle acque sono i seguenti:

- a) L'individuazione di obiettivi di qualità ambientale e per specifica destinazione dei corpi idrici;
- b) La tutela integrata degli aspetti qualitativi e quantitativi nell'ambito di ciascun distretto idrografico ed un adeguato sistema di controllo e sanzioni;
- c) Il rispetto dei valori limite agli scarichi fissati dallo Stato, nonché la definizione di valori limite in relazione agli obiettivi di qualità del corpo recettore;
- d) L'adeguamento dei sistemi di fognatura, convogliamento e depurazione degli scarichi idrici, nell'ambito del servizio idrico integrato;
- e) L'individuazione di misure per la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento nelle zone vulnerabili e nelle aree sensibili;
- f) L'individuazione di misure tese alla conservazione, al risparmio, al riutilizzo ed al riciclo delle risorse idriche;
- g) L'adozione di misure per la graduale riduzione degli scarichi, delle emissioni e di ogni altra fonte di inquinamento diffuso contenente sostanze pericolose o per la graduale eliminazione degli stessi allorché contenenti sostanze pericolose prioritarie, contribuendo a raggiungere nell'ambiente marino concentrazioni vicine ai valori del fondo naturale per le sostanze presenti in natura e vicine allo zero per le sostanze sintetiche antropogeniche ;
- h) L'adozione delle misure volte al controllo degli scarichi e delle emissioni nelle acque superficiali secondo un approccio combinato.

Lo scarico è definito nell'articolo 74 come qualsiasi immissione di acque reflue in acque superficiali, sul suolo, nel sottosuolo e in rete fognaria, indipendentemente dalla loro natura inquinante, anche sottoposte a preventivo trattamento di depurazione. Gli scarichi urbani sono acque reflue domestiche: acque reflue provenienti da insediamenti di tipo residenziale e da servizi e derivanti prevalentemente dal metabolismo umano e da attività domestiche. Gli scarichi industriali sono acque reflue industriali: qualsiasi tipo di acque reflue provenienti da edifici od installazioni in cui si svolgono attività commerciali o di produzione di beni, differenti qualitativamente dalle acque reflue domestiche e da quelle meteoriche di dilavamento, intendendosi per tali anche quelle venute in contatto con sostanze o materiali, anche inquinanti, non connessi con le attività esercitate nello stabilimento;

Nell'allegato 6 e nell'articolo 91 del decreto vengono definiti i criteri per individuare le aree sensibili, con possibilità per le Regioni di designarne altre nel proprio territorio. Con il termine area sensibile si identifica un sistema idrico caratterizzato da almeno una delle seguenti caratteristiche: possibile avvenuta di eutrofizzazione del sistema idrico, acque dolci superficiali destinate alla potabilizzazione con concentrazione di nitrati superiore a 50 mg/l oppure aree che necessitano di ulteriori trattamenti per gli scarichi. Gli scarichi in corpi d'acqua superficiali, provenienti da impianti di trattamento delle acque reflue urbane devono essere conformi alle norme di emissione riportate nella tabella 1.1 dell'allegato 5 in generale, anche della tabella 1.2 per le aree sensibili.

Tabella 1.1. *Limiti di emissione per gli impianti di acque reflue urbane*
(Tabella 1 dell'allegato 5 al D.Lgs 152/06)

Potenzialità impianto in A.E.	2.000 – 10.000		> 10.000	
	Concentrazione	% di riduzione	Concentrazione	% di riduzione
Parametri (media giornaliera)				
BOD ₅ (senza nitrificazione) mg/L	≤ 25	70 – 90	≤ 25	80
COD mg/L	≤ 125	75	≤ 125	75
Solidi Sospesi mg/L	≤ 35	90	≤ 35	90

Tabella 1.2. *Limiti di emissione per gli impianti di acque reflue urbane recapitanti in aree sensibili (Tabella 2 dell'allegato 5 al D.Lgs 152/06)*

Parametri (media annua)	Potenzialità impianto			
	10.000 – 100.000		> 100.000	
	Concentrazione	% di riduzione	Concentrazione	% di riduzione
Fosforo totale (P mg/L)	≤ 2	80	≤ 1	80
Azoto totale (N mg/L)	≤ 15	70-80	≤ 10	70-80

Nell'articolo 107, vengono stabiliti i criteri per lo scarico di acque reflue industriali in reti fognarie; i parametri e i limiti sono contenuti nella tabella 3 dell'allegato 5; di seguito viene riportato un elenco non esaustivo di alcuni limiti allo scarico.

Tabella 1.3. *Valori limiti di emissione per acque reflue industriali in fognatura (Tabella 3 dell'allegato 5 al D.Lgs 152/06)*

Parametri	Unità di misura	Scarico in rete fognaria
pH		5,5 - 9,5
SS	mg / L	200
BOD ₅	mg / L	250
COD	mg / L	500
Alluminio	mg / L	2,0
Arsenico	mg / L	0,5
Bario	mg / L	-
Boro	mg / L	4
Cadmio	mg / L	0,02
Cromo totale	mg / L	4
Cromo VI	mg / L	0,2
Ferro	mg / L	4
Manganese	mg / L	4
Mercurio	mg / L	0,005
Nichel	mg / L	4
Piombo	mg / L	0,3
Rame	mg / L	0,4
Stagno	mg / L	-
Zinco	mg / L	1,0
Solfati	mg / L	1000
Cloruri	mg / L	1200
Fluoruri	mg / L	12
Fosforo totale	mg / L	10
Azoto ammoniacale	mg / L	30
Azoto nitroso	mg / L	0,6
Azoto nitrico	mg / L	30

1.2 D.Lgs. 152/2006: Trattamento di rifiuti presso impianti di trattamento delle acque reflue urbane

L'articolo 110 del decreto stabilisce la disciplina per il trattamento dei rifiuti presso impianti di trattamento delle acque reflue urbane. Normalmente tale trattamento non è ammesso, ma vi sono eccezioni.

L'autorità competente, d'intesa con l'Autorità d'ambito, in relazione a particolari esigenze e nei limiti della capacità residua di trattamento, autorizza il gestore del servizio idrico integrato a smaltire nell'impianto di trattamento di acque reflue urbane rifiuti liquidi, limitatamente alle tipologie compatibili con il processo di depurazione.

Il gestore del servizio idrico integrato è autorizzato ad accettare in impianti con caratteristiche e capacità depurative adeguate, che rispettino i valori limite, i seguenti rifiuti e materiali, purché provenienti dal proprio Ambito territoriale ottimale oppure da altro Ambito territoriale ottimale sprovvisto di impianti adeguati:

1. Rifiuti costituiti da acque reflue che rispettino i valori limite stabiliti per lo scarico in fognatura;
2. Rifiuti costituiti dal materiale proveniente dalla manutenzione ordinaria di sistemi di trattamento di acque reflue domestiche previsti;
3. Materiali derivanti dalla manutenzione ordinaria della rete fognaria nonché quelli derivanti da altri impianti di trattamento delle acque reflue urbane, nei quali l'ulteriore trattamento dei medesimi non risulti realizzabile tecnicamente e/o economicamente.

Il gestore del servizio idrico integrato deve indicare la capacità residua dell'impianto e le caratteristiche e quantità dei rifiuti che intende trattare. L'autorità competente può indicare quantità diverse o vietare il trattamento di specifiche categorie di rifiuti.

Il produttore ed il trasportatore dei rifiuti sono tenuti al rispetto della normativa in materia di rifiuti. Il gestore del servizio idrico integrato che tratta rifiuti è soggetto all'obbligo di tenuta del registro di carico e scarico secondo quanto previsto dalla vigente normativa in materia di rifiuti.

1.3 Piano Regionale di Risanamento delle Acque

Il Piano Regionale di Risanamento delle Acque (P.R.R.A.) è stato approvato dalla Regione del Veneto nel 1989 e ha rappresentato, fino ad oggi, lo strumento principale per quanto riguarda la pianificazione degli interventi di tutela delle acque e di prevenzione dai rischi di inquinamento. Il P.R.R.A. si pone come obiettivi il raggiungimento del massimo grado di protezione delle risorse idriche, compatibile con lo stato di fatto infrastrutturale e con le previsioni di sviluppo e il miglioramento dell'ecosistema idrico interno alla regione e all'alto Adriatico. Il P.R.R.A. ha individuato nel territorio regionale zone omogenee caratterizzate da diversi indici di protezione dall'inquinamento in funzione della vulnerabilità dei corpi idrici. Tali zone sono il risultato della intersezione tra le aree tributarie principali e le fasce omogenee.

Per quanto riguarda le caratteristiche geomorfologiche del Veneto, sono state individuate le seguenti fasce territoriali omogenee: fascia di ricarica, fascia costiera, fascia di pianura ad elevata densità abitativa, fascia di pianura a bassa densità abitativa, fascia collinare e montana.

Il Piano disciplina la depurazione degli scarichi per classi di potenzialità degli impianti e per zone territoriali omogenee, richiedendo condizioni più restrittive per aree a vulnerabilità più elevata come la fascia della ricarica degli acquiferi, il bacino scolante della Laguna di Venezia e i corsi d'acqua desinati alla potabilizzazione (Po, Adige, Bacchiglione).

La fig. 1.1 rappresenta i principali bacini idrografici della laguna di Venezia, e in particolare vengono messe in evidenza le zone in cui limiti di accettabilità sono più severi. La zona indicata con Area di Ricarica (AR) non scola superficialmente ma alimenta, tramite falde sotterranee, le risorgive dei corpi idrici settentrionali del Bacino Scolante.

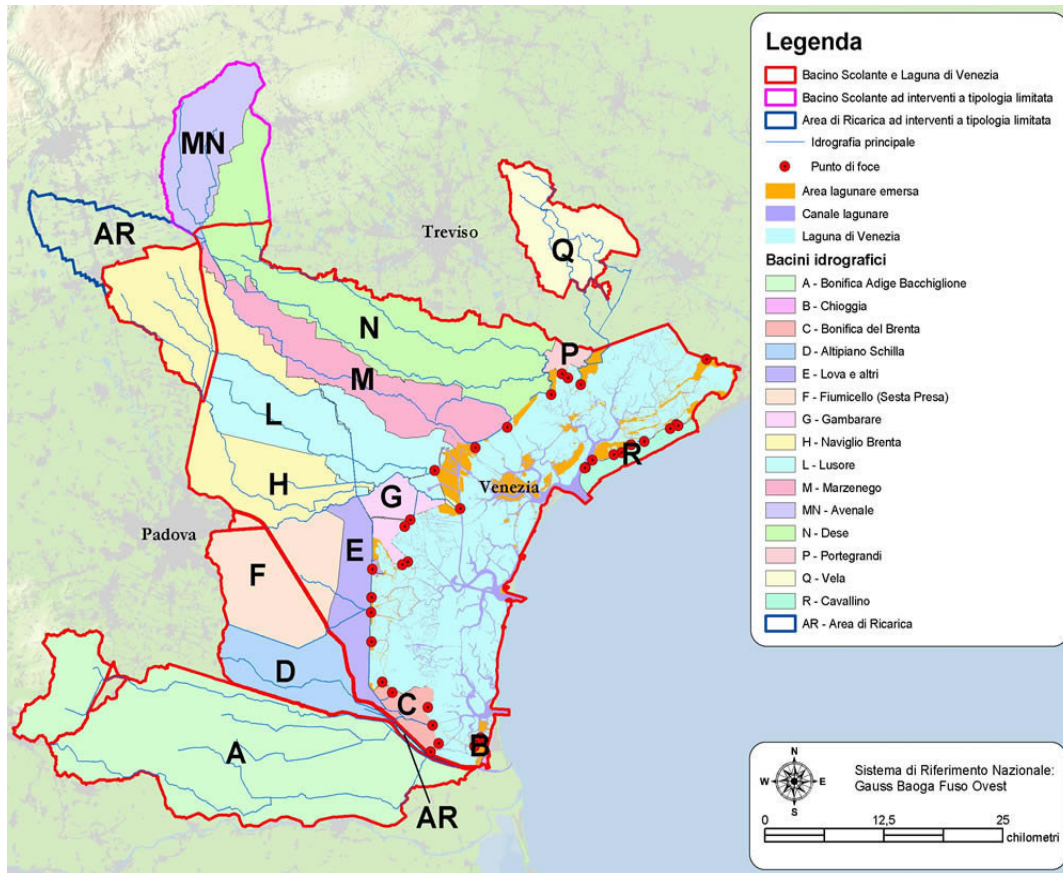


Fig. 1.1: Bacini idrografici principali scolanti nella laguna di Venezia

Le tabelle sottostanti mostrano l'attribuzione del limite allo scarico (colonne C1, C2, A1, A2, A3, L1, L2 e M1) che avviene sulla base dell'appartenenza al sistema idrografico (1 – 13), della zona e della potenzialità in A.E. (Abitante Equivalente). In particolare, per quanto riguarda la potenzialità, in ogni zona è definita una soglia S1 sotto la quale non è richiesto il collettamento dei reflui e non sono imposti valori-limite: tale soglia è 500 A.E. per la fascia montana, 100 A.E. per la fascia di ricarica, 200 A.E. per la pianura ad alta densità abitativa, 500 A.E. per la pianura a bassa densità abitativa, 200 A.E. per la fascia costiera, 100 A.E. per la Laguna di Venezia. E' stabilita inoltre una soglia di abitanti equivalenti $S2 > S1$; per potenzialità tra S1 e S2 gli scarichi collettati sono soggetti ai limiti della colonna C1 (eccetto quelli recapitanti in Laguna di Venezia), mentre oltre S2 i limiti allo scarico sono diversificati in base alla potenzialità e alla zona. La soglia S2 è 500 A.E. nella fascia di ricarica degli acquiferi, 1000 A.E. nella Laguna e bacino scolante, 1500 A.E. nelle altre zone. Per gli scarichi nei laghi il

limite all'azoto totale è 10 mg/l, e il limite al fosforo totale è 0.5 mg/l. Le colonne L1 e L2 per lo scarico in Laguna sono state sostituite dai limiti del D.M. del 30.07.1999 (Ronchi-Costa): SST < 35 mg/l, BOD5 < 25 mg/l, COD < 120 mg/l, NH4-N < 2 mg/l, NO2-N < 0.3 mg/l, NO3-N < 10 mg/l, Tot-P < 1 mg/l.

Tab. 1.4: Attribuzione dei limiti allo scarico secondo il P.R.R.A. del Veneto.

	Bacini idrografici	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
FASCIA MONTANA	500 < A.E. < 1500			C1		C1	C1		C1	C1	C1	C1		C1
	1500 < A.E. < 5000			C1		C1	C2		C1	C1	C1	C2		C1
	5000 < A.E. < 60000			A1		A1	A1		A1	A1	A1	A1		A1
	A.E. > 60000			A2		A1	A2		A2	A1	A1	A2		A2
FASCIA DI RICARICA	100 < A.E. < 500			C1		C1	C1		C1	C1	C1	C1		
	500 < A.E. < 1500			C2		C2	C2		C2	C2	C2	C2		
	1500 < A.E. < 60000			A3		A3	A3		A3	A3	A3	A3		
	A.E. > 60000			A3		A3	A3		A3	A3	A3	A3		
PIANURA AD ALTA DENSITA' ABITATIVA	200 < A.E. < 1500			C1		C1	C1		C1	C1	C1	C1	C1	
	1500 < A.E. < 5000			C2		C2	C2		C2	C2	C2	C2	C2	
	5000 < A.E. < 60000			A1		A1	A1		A1	A1	A1	A1	A1	
	A.E. > 60000			A2		A2	A2		A2	A2	A2	A2	A2	
PIANURA AD BASSA DENSITA' ABITATIVA	500 < A.E. < 1500	C1	C1	C1	C1	C1	C1		C1	C1	C1		C1	C1
	1500 < A.E. < 5000	C2	C2	C2	C2	C2	C2		C2	C2	C2		C2	C2
	5000 < A.E. < 60000	A1	A1	A1	A1	A1	A1		A1	A1	A1		A1	A1
	A.E. > 60000	A1	A1	A2	A1	A1	A2		A2	A1	A1		A1	A2
FASCIA COSTIERA	200 < A.E. < 1500	C1	C1	C1	C1	C1	C1		C1	C1		C1	C1	C1
	1500 < A.E. < 5000	C2	C2	C2	C2	C2	C2		C2	C2		C2	C2	C2
	5000 < A.E. < 60000	A2	A2	A2	A2	A2	A2		A2	A2		A2	A2	A2
	A.E. > 60000	A2	A2	A2	A2	A2	A2		A2	A2		A2	A2	A2
LAGUNA DI VENEZIA (Fascia entro 10km)	100 < A.E. < 1000								C2					
	A.E. > 1000								(*)					
LAGUNA DI VENEZIA (Fascia oltre 10km)	100 < A.E. < 1000								C1					
	A.E. > 1000								(*)					
ACQUE COSTIERE														M1

(*) Limiti aggiornati dal D.M. 30 luglio 1999 "Ronchi-Costa".

Tab. 1.5: Limiti allo scarico secondo il P.R.R.A. del Veneto.

Parametri	C1	C2	A1	A2	A3	L1	L2	M1
Materiale in sospensione totale	200	150	80	80	80			
Solidi sospesi						80	50-80	150
BOD	< 190	80	40	40	40	40	35-50	80
COD	< 380	250	160	160	160	120	80-150	250
Fosforo totale (P) (PO ₄ ³⁻)	20	15	15	10	5	10	1,5-5	20
Ammoniaca totale (NH ₄ ⁺)	30	30	20	15	5	5	2,5	30
Azoto nitroso (N) (NO ₂ ⁻)	2	2	1	0,60	0,2	2	1-2	2
Azoto nitrico (N) (NO ₃ ⁻)	30	30	30	20	20	50	20-50	50

1.4 Piano di Tutela delle Acque

Il Piano di Tutela delle Acque (PTA) sostituisce il precedente P.R.R.A. della Regione Veneto e contiene gli interventi volti a garantire il raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale di cui agli art. 76 e 77 del D.Lgs 152/2006 e contiene le misure necessarie alla tutela qualitativa e quantitativa del sistema idrico. La Regione ha adottato il Piano di Tutela delle Acque con DGR n. 4453 del 29/12/2004; esso è stato successivamente aggiornato ed integrato e si è arrivati ad una nuova versione del Piano, approvato dalla Regione con delibera del Consiglio regionale n. 107 del 05/11/2009. La parte più importante è costituita dalle Norme Tecniche di Attuazione, che contengono misure di base per il conseguimento degli obiettivi di qualità distinguibili nelle seguenti macroazioni:

- misure di tutela qualitativa: disciplina degli scarichi;
- misure per le aree a specifica tutela: zone vulnerabili da nitrati e fitosanitari, aree sensibili, aree di salvaguardia acque destinate al consumo umano, aree di pertinenza dei corpi idrici;
- misure di tutela quantitativa e di risparmio idrico;
- misure per la gestione delle acque di pioggia e di dilavamento.

I limiti allo scarico per le acque reflue urbane contenuti nel Piano sono distinti per zona omogenea di protezione e per potenzialità dell'impianto di trattamento.

Tab. 1.6: Attribuzione dei limiti allo scarico secondo il P.T.A. del Veneto.

A.E.	Fascia montana	Pianura a bassa densità	Pianura ad alta densità	Ricarica acquiferi	Fascia costiera	Acque marine
100						E
200				A		E
500			A	A	A	E
2000	A	A	A	B	A	E
10000	B	C	C	D	C	E
> 10000	C	C	C	D	C	E

Tab. 1.7: Limiti allo scarico secondo il P.T.A. del Veneto.

Parametri	Concentrazioni massime (mg/L) secondo il P.T.A.				
	A	B	C	D	E
Solidi sospesi totali	200	150	35	35	35
BOD ₅	< 190	80	25	25	25
COD	< 380	250	125	125	125
Fosforo totale (come P)	20	15	10	5	20
Ammoniaca totale (NH ₄ ⁺)	30	30	15	5	30
Azoto nitroso (come N)	2	2	0,6	0,2	2
Azoto nitrico (come N)			20	20	50

1.5 Decreto 30 luglio 1999 (Ronchi - Costa)

Il D.M. 30/07/99 stabilisce i limiti allo scarico nella Laguna di Venezia e nel suo bacino scolante in termini di concentrazione, nonché le relative metodiche analitiche; inoltre vieta a partire dal 31/12/2000 l'impiego del cloro gas e dell'ipoclorito nella disinfezione e come "antifouling". Nelle tabelle 1.4 e 1.5 (sezione 1 e 2) sono riportati i limiti per i parametri in relazione ai quali sono fissati gli obiettivi di qualità ed i carichi massimi ammissibili. Tutti gli scarichi in Laguna e bacino scolante devono rispettare i limiti delle sezioni 1 e 2 del D.M. 30/07/99.

Tabella 1.8. Limiti allo scarico nella Laguna di Venezia e nei corpi idrici del suo bacino scolante
(Limiti in µg/l del D.M. 30/07/99 sezione1)

PARAMETRO	LIMITE (µg/l)
Alluminio	500
Antimonio	50
Cobalto	30
Cromo totale	100
Ferro	500
Manganese	500
Nichel	100
Rame	50
Selenio	10
Vanadio	50
Zinco	250
Tensioattivi	500
Fenoli totali	50
Σ solventi organici alogenati*	400
Σ solventi organici aromatici**	100
BOD	25
Azoto totale***	10
Fosforo totale	1
Cloro residuo	0,02

* sommatoria dei seguenti composti: Tetraclorometano, Cloroformio, 1,2-Dicloroetano, Tricloroetilene, Tetracloroetilene, Triclorobenzene, Esaclorobutadiene, Tetraclorobenzene.

** sommatoria dei seguenti composti: Benzene, Toluene, Xileni.

*** sommatoria di: Azoto ammoniacale, Azoto nitrico, Azoto nitroso, Azoto organico.

Tabella 1.9. Limiti allo scarico nella Laguna di Venezia e nei corpi idrici del suo bacino scolante
(Limiti del D.M. 30/07/99 sezione2)

pH		6.0 – 9.0
Materiali grossolani		Assenti
Solisi sedimentabili	mg/l	Eliminati
Solidi sospesi totali	mg/l	35
COD	mg/l O ₂	220
Azoto ammoniacale	mg/l N	2
Azoto nitroso	mg/l N	0,3
Fosfati	mg/l P	0,5
Fluoruri	mg/l	6
Cloruri	mg/l	300 (per il bacino scolante)
Solfati	mg/l SO ₃	500 (per il bacino scolante)
Boro	mg/l	2
Cromo esavalente	mg/l	0,1
Composti organici azotati	mg/l	0,1
Composti organici clorurati	mg/l	0,05
Escherichia coli	UFC/100ml	5.000

Inoltre il fango disidratato deve rispettare i limiti della D.G.R. 2241 del 9/8/2005. In tabella 1.10 sono riportati tali valori:

Tabella 1.10: Limiti delle concentrazioni di metalli (mg/kg_{SS}) nei fanghi.

Metallo	Limiti della D.G.R. 2241
Cadmio	20
Cromo tot.	750
Mercurio	10
Nichel	300
Piombo	750
Rame	1000
Zinco	2500

CAPITOLO 2

Descrizione dei processi depurativi

Gli impianti di depurazione delle acque reflue normalmente comprendono diversi tipi di trattamenti:

1. Pretrattamenti;
2. Depurazione biologica;
3. Trattamento terziario chimico-fisico;
4. Linea fanghi.

2.1 Pretrattamenti

In testa all'impianto arriva la fognatura da depurare (liquami) assieme alle acque di risulta derivanti da alcuni trattamenti depurativi. Generalmente le acque reflue devono essere sollevate al fine di consentire loro di passare per gravità da una sezione dell'impianto di depurazione alla successiva.

Negli impianti di depurazione le macchine operatrici utilizzate per il sollevamento sono le seguenti:

- Pompe;
- Coclee (vite di Archimede);
- Air-lift.

Le pompe di tipo centrifugo hanno caratteristiche idonee a evitare gli intasamenti che possono essere provocati da materiali presenti nel fluido; i canali delle pompe sono quindi sufficientemente larghi e privi di ostacoli.

Negli impianti di grandi dimensioni invece vengono utilizzate le cosiddette coclee, che consistono essenzialmente di una vite senza fine il cui asse di rotazione è sistemato all'interno di un canale inclinato che collega due vasche a quote differenti.

Infine il sollevamento tramite air-lift è costituito essenzialmente da un tubo immerso nel liquido da sollevare; al fondo di tale tubo viene iniettata aria compressa che, emulsionandosi con il liquido presente, ne provoca una diminuzione di densità e quindi induce un flusso verso l'alto della massa liquida.

Le acque sono sottoposte dapprima a un processo di grigliatura fine per intercettare ed eliminare i corpi grossolani, e quindi a un trattamento di dissabbiatura/disoleatura necessario per eliminare sabbie, materiali inerti, oli e grassi.

Le griglie utilizzate negli impianti di depurazione possono essere orizzontali o verticali. Il flusso in ingresso passa attraverso delle barre che bloccano e eliminano il materiale grossolano mentre lasciano passare il liquido ed i solidi di dimensioni inferiori agli interspazi tra le barre. Ogni tipo di griglia si distingue in base alla distanza fra le barre che determinano l'entità della spaziatura. A seconda dello spazio esistente tra una barra di acciaio e l'altra è possibile distinguere griglie grossolane, medie, sottili e fini. Le griglie fini hanno interspazi compresi tra 0,2-0,5 cm e sono molto utili in impianti di trattamento privi di sedimentazione primaria.

La dissabbiatura ha lo scopo di rimuovere sabbie e solidi inerti, normalmente più pesanti e grossolani degli organici, che darebbero inconvenienti quali l'usura delle parti meccaniche o l'accumulo nelle sezioni di impianto successive. Una volta separate, le sabbie sono asportate, quindi lavate, disidratate e avviate a discarica.

I sistemi di rimozione delle sabbie si possono suddividere in:

- Dissabbiatori per gravità;
- Dissabbiatori centrifughi;
- Dissabbiatori areati.

Il dissabbiatore per gravità più comune è del tipo a canale: la sedimentazione è garantita dalla bassa velocità della corrente di liquido da trattare. Le sabbie infatti si depositano per velocità del liquame inferiori a circa 0,3-0,4 m/s. Il fondo del canale è solitamente sagomato per raccogliere il materiale sedimentato, e in maniera da facilitare le operazioni di asportazione della sabbia, solitamente manuali. Negli impianti più grandi si utilizzano solitamente sistemi meccanizzati di asportazione del materiale depositato: lame raschianti, coclee, idroestrattori. Le dimensioni dei manufatti devono rispettare un rapporto profondità/lunghezza utile di circa 1/20.

I sistemi centrifughi sono costituiti da una vasca di forma cilindrico-conica. Il flusso viene immesso tangenzialmente per creare un moto circolare: le sabbie, avendo un peso specifico superiore ai solidi organici presenti nei liquami, tendono a separarsi da questi per forza centrifuga. Una volta raggiunte le pareti della vasca, la sabbia viene frenata e si raccoglie sul fondo da dove viene estratta vengono raccolte sul fondo e quindi estratte. Il sistema può essere privo di organi meccanici (ciclone) oppure la velocità del

moto rotatorio può essere regolata mediante un agitatore a palette coassiale. I tempi di ritenzione del liquido sono solitamente di alcuni minuti.

I dissabbiatori aerati, dal punto di vista del principio di funzionamento, sono sistemi ibridi, cioè l'asportazione sfrutta la forza centrifuga e la gravità. Il manufatto è un canale di sezione asimmetrica. Il liquido percorre il bacino per tutta la sua lunghezza; viene insufflata aria al piede di una parete laterale per creare una corrente ascensionale; l'insufflazione imprime quindi ai liquami che attraversano la vasca un moto elicoidale che provoca la separazione delle particelle minerali con dimensioni fino a pochi decimi di mm che cadono sul fondo, mentre le particelle organiche rimangono in sospensione. L'efficienza della separazione può essere elevata, anche superiore all'80%. Il bacino è solitamente dotato di un carroponete pulitore traslante, di una raschia di fondo per la raccolta delle sabbie e di lama di superficie per la raccolta dei galleggianti. Il sistema permette quindi di unire nello stesso manufatto anche la fase di disoleatura. Le sabbie si accumulano nel fondo a tramoggia e vengono rimosse a mezzo di un estrattore idropneumatico; vengono quindi scaricate in un cassone drenante dove avviene la separazione dalle acque, che ritornano in vasca, mentre le sabbie vengono poi smaltite in siti autorizzati. I tempi di ritenzione del liquido nei dissabbiatori aerati sono solitamente 15-20 minuti.

La disoleatura ha lo scopo di rimuovere oli, grassi, particelle di materiali sintetici e altre sostanze leggere che sono ordinariamente presenti nei liquami urbani. Si tratta di materiali indesiderati, in quanto diminuiscono l'ossigenazione del liquame e causano l'accumulo di schiume nei bacini di trattamento che si trovano a valle dell'impianto, in zone dalle quali sono difficilmente asportabili. In impianti dotati di dissabbiatori longitudinali (specie se aerati) la disoleatura viene attuata nello stesso manufatto, configurato con opportune opere di separazione e sistemi di raccolta. Il bacino è infatti solitamente dotato di un carroponete pulitore traslante: nella parte inferiore ha una raschia di fondo che provvede alla raccolta delle sabbie, e nella parte superiore ha una lama di superficie per la raccolta dei galleggianti. Le sostanze galleggianti che flottano in superficie sono sospinte dal movimento dell'acqua dietro una parete tuffante disposta longitudinalmente alla vasca per essere poi allontanate dalla lama di superficie, che le sospinge in un pozzetto di raccolta. Da questo vengono periodicamente estratte per poi essere smaltite come rifiuto.

La sedimentazione primaria viene utilizzata negli impianti di grandi dimensioni (generalmente sopra i 20.000-30.000 abitanti equivalenti) per separare i solidi sospesi sedimentabili presenti nelle acque in ingresso all'impianto subito dopo le fasi di pretrattamento. Vengono adottati bacini di sedimentazione di tipo circolare dotati di carroponti raschiafanghi rotativi, con una profondità non inferiore a 3 m e con apposite tramogge per la raccolta del fango sedimentato. Il fango primario sedimentato viene periodicamente inviato con apposite pompe di trasferimento al trattamento fanghi. Si ottiene in questo modo un abbattimento del BOD₅ (20-25%), dell'azoto (10%) e del fosforo (10%) riducendo il carico e quindi i consumi delle successive sezioni di trattamento biologico. In presenza di digestione anaerobica del fango, la sedimentazione primaria permette di alimentare il fango fresco direttamente ai digestori biologici anaerobici con un significativo contributo alla produzione di biogas.

In alcuni impianti, e in particolare ove si trattano acque reflue industriali a portata e composizione molto variabili, può essere presente una vasca di equalizzazione con lo scopo di omogeneizzare il carico inquinante affluente e di attenuare le variazioni della portata da inviare ai successivi trattamenti.

Negli impianti autorizzati a trattare anche rifiuti liquidi si ha anche un'apposita sezione di pretrattamento, che in generale comprende grigliatura e dissabbiatura, seguite da eventuali altri trattamenti (chimico-fisici o biologici) che dipendono dalle tipologie e quantità di rifiuti trattati. I rifiuti pretrattati sono in genere avviati alla sedimentazione primaria o al comparto biologico.

2.2 Depurazione biologica

I trattamenti biologici sono realizzati per eliminare dalle acque reflue le sostanze organiche ed inorganiche che possono essere assimilate in via aerobica e/o anaerobica da parte di batteri che formano aggregati delle dimensioni di alcuni mm (fiocchi di fango attivo) sospesi nel liquame e che vengono poi separati dall'acqua depurata in un sedimentatore. I trattamenti biologici principali sono:

- Predenitrificazione;
- Ossidazione - nitrificazione;
- Post-denitrificazione;

- Riaerazione;
- Sedimentazione secondaria.

Nella fig. 2.1 è rappresentato lo schema generale di un processo a fanghi attivi.

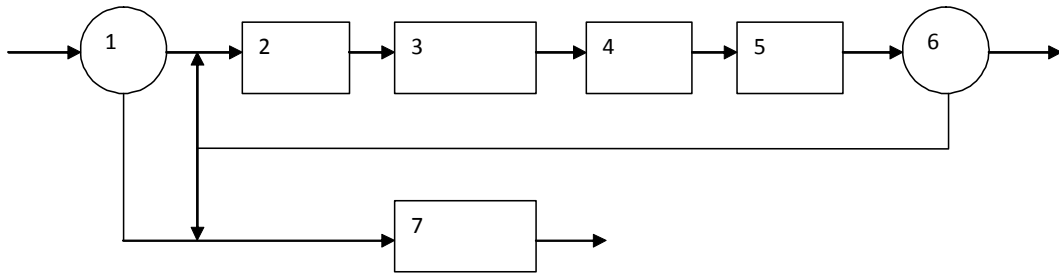


Fig. 2.1: Schema di un processo a fanghi attivi. Legenda: 1 = Sedimentazione primaria; 2 = Predenitrificazione; 3 = Ossidazione-Nitrificazione; 4 = Postdenitrificazione; 5 = Riaerazione; 6 = Sedimentazione secondaria; 7 = Linea fanghi.

Tutti gli impianti di depurazione comprendenti una sezione biologica hanno la vasca di ossidazione-nitrificazione e la sedimentazione secondaria; gli impianti posti in aree con limiti restrittivi all'azoto totale hanno anche la predenitrificazione e in alcuni casi la post-denitrificazione seguita da riaerazione.

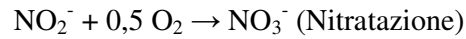
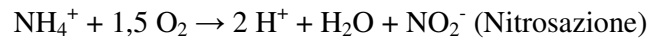
Ossidazione–Nitrificazione

Con l'ossidazione-nitrificazione vengono ridotte le quantità di sostanze organiche e di ammoniaca presenti nelle acque reflue. L'ossidazione è il processo biologico di metabolismo delle sostanze organiche; essa si basa su una prima flocculazione delle sostanze da parte dei fiocchi, quindi sull'idrolisi delle molecole complesse, infine sulla loro ossidazione fino ad acqua e anidride carbonica, con produzione di nuova biomassa. Essa è operata da molti batteri eterotrofi aerobi e facoltativi.

La nitrificazione è la trasformazione dell'azoto organico e ammoniacale in nitrati, con produzione di nuova biomassa; è operata da alcuni particolari batteri strettamente aerobi e autotrofi che utilizzano come fonte di carbonio i bicarbonati dell'acqua.

La trasformazione dell'ammoniaca in nitrati avviene in due stadi distinti: il primo (nitrosazione) è il passaggio da ammoniaca a nitriti e avviene ad opera dei

Nitrosomonas; il secondo (nitratazione) è il passaggio da nitriti a nitrati e avviene ad opera dei Nitrobacter. Le due reazioni sono schematizzate dalle stechiometrie:



La velocità di ossidazione dell'ammoniaca dovuta ai Nitrosomonas è molto minore della velocità di ossidazione da nitriti a nitrati ad opera dei Nitrobacter, quindi il primo stadio è cinematicamente limitante.

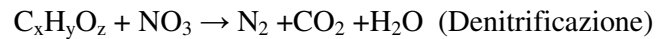
L'ossidazione e la nitrificazione avvengono in vasche dove le acque reflue provenienti dai pretrattamenti o dalla predenitrificazione vengono messe in contatto con i microrganismi (fango attivo); l'ossigeno necessario per il metabolismo dei batteri viene fornito per mezzo di un sistema di compressione e distribuzione di aria. I principali parametri di dimensionamento delle vasche di ossidazione e nitrificazione sono il carico del fango (rapporto tra il carico di sostanza organica in arrivo e la massa batterica presente, unità di misura $\text{kg}_{\text{BOD}}/\text{kg}_{\text{SSVd}}$) e la concentrazione di biomassa; in generale il carico del fango è compreso tra 0.08 – 0.20 $\text{kg}_{\text{BOD}}/\text{kg}_{\text{SSVd}}$ e la concentrazione di biomassa tra 3 – 6 $\text{kg}_{\text{SSV}}/\text{m}^3$.

In uscita dalle vasche, la torbida (miscela di acqua e fango attivo) passa alla fase di sedimentazione secondaria, dove il fango fioccoso sedimenta separandosi dalle acque limpide che sfiorano in superficie. Il funzionamento del sedimentatore secondario è del tutto simile a quello di un sedimentatore primario. Il fango depositatosi sul fondo con una concentrazione di circa 6 – 10 $\text{kg}_{\text{SSV}}/\text{m}^3$ viene in parte ricircolato tramite pompe alle vasche di ossidazione o di predenitrificazione (ove presente) con lo scopo di mantenere in queste la concentrazione ottimale di microrganismi, e in parte estratto ed inviato come "fango di supero" al trattamento fanghi. I principali parametri di funzionamento del sedimentatore secondario sono il carico idraulico superficiale, ossia il rapporto tra la portata di reflu e la superficie (unità di misura $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$) e il carico di solidi sospesi, ossia il rapporto tra la quantità di solidi apportati dalla torbida compreso il ricircolo e la superficie (unità di misura $\text{kg}_{\text{SST}}/\text{m}^2\text{h}$). Valori usuali sono rispettivamente 0.3 – 1.0 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ e 3 – 6 $\text{kg}_{\text{SST}}/\text{m}^2\text{h}$.

Denitrificazione

Con la denitrificazione viene ridotta la quantità dei nitrati presenti nel liquame trattato.

La denitrificazione è il processo biologico di riduzione dei nitrati per mezzo di batteri denitrificanti presenti in ambiente privo di ossigeno. I microrganismi denitrificanti metabolizzano la sostanza organica utilizzando l'ossigeno dei nitrati e riducendo questi ultimi ad azoto gassoso. I prodotti della reazione di denitrificazione sono: microrganismi, acqua, anidride carbonica e azoto gassoso. La reazione è questa:



Come si nota, i batteri necessitano di una fonte organica di carbonio che può essere il liquame o un composto organico puro come il metanolo.

La reazione avviene in vasche dove vengono posti in contatto i fanghi di ricircolo provenienti dalla sedimentazione secondaria (che contengono i batteri e i nitrati) e/o il liquame proveniente dal processo di ossidazione-nitrificazione (che contiene i nitrati) con le acque reflue in ingresso (che contengono il carbonio organico). Secondo i casi, si ha la predenitrificazione o la post-denitrificazione.

In un impianto di predenitrificazione la sostanza organica necessaria al processo è ricavata dal liquame in ingresso; nella post-denitrificazione, invece, si utilizza la sostanza organica residua a valle dell'ossidazione del liquame (carbonio endogeno) oppure si aggiunge un composto organico esterno puro (glucosio, etanolo, metanolo, melassa, etc.). Nelle seguenti figure sono rappresentati gli impianti di denitrificazione.

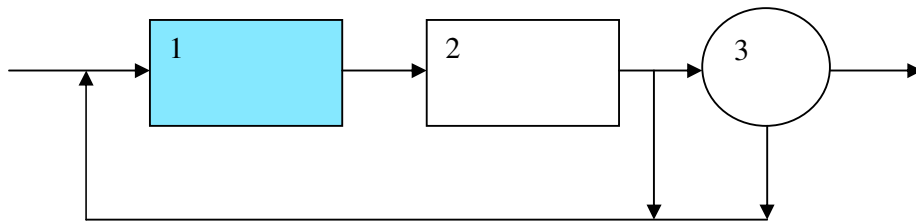


Fig. 2.2: Impianto a fanghi attivi con predenitrificazione. Legenda: 1 = Predenitrificazione; 2 = Ossidazione-Nitrificazione; 3 = Sedimentazione secondaria.

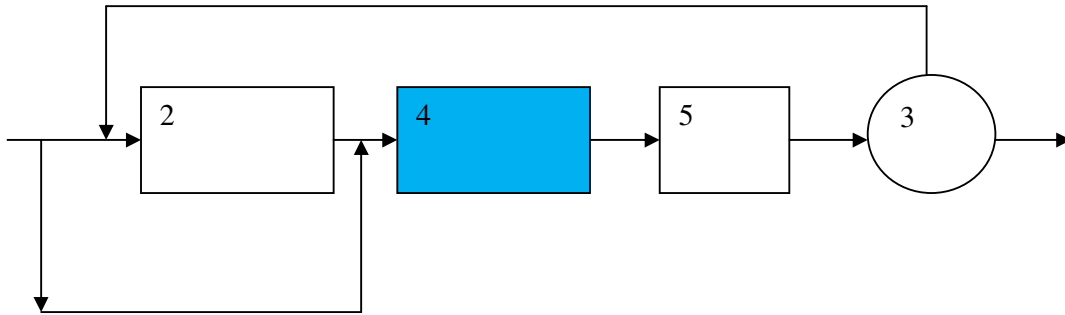


Fig. 2.3: Impianto a fanghi attivi con post-denitrificazione. Legenda: 2 = Ossidazione-Nitrificazione; 3 = Sedimentazione secondaria; 4 = Post-denitrificazione; 5 = Riaerazione.

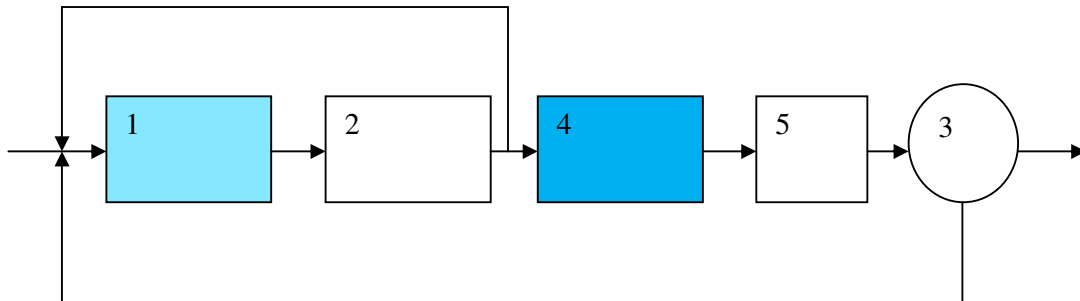


Fig. 2.4: Impianto a fanghi attivi con pre-denitrificazione e post-denitrificazione. Legenda: 1 = Pre-denitrificazione; 2 = Ossidazione-Nitrificazione; 3 = Sedimentazione secondaria; 4 = Post-denitrificazione; 5 = Riaerazione.

Lo schema di fig. 2.2 prevede il ricircolo di nitrati provenienti del reattore di ossidazione-nitrificazione mentre la fonte di carbonio è costituita dal liquame in ingresso senza il pretrattamento di sedimentazione primaria. Il rendimento del processo dipende dalle portate dei ricircoli contenenti i nitrati; la concentrazione di NO_3 in uscita è tanto più bassa più alto è tale rapporto. Aumentando i ricircoli si potrebbe aumentare il rendimento, ma i costi di pompaggio e la maggiore complessità dell'impianto lo sconsigliano. I ricircoli del fango e del liquame ossidato vengono mescolati prima di entrare nella vasca di denitrificazione per eliminare l'ossigeno disciolto in eccesso dato che una concentrazione troppo elevata di O_2 inibirebbe il processo di denitrificazione. Quindi occorre evitare eccessive portate di ricircolo di torbida aerata. Uno dei difetti di questo tipo di impianto è che per il suo funzionamento occorre una costanza di qualità e

quantità di liquame entrante e un rapporto abbastanza costante di BOD_5/N . Tali condizioni non sono verificate soprattutto nei periodi notturni.

L'impianto schematizzato in fig. 2.3 è composto da un reattore di ossidazione-nitrificazione seguito da un reattore di denitrificazione. In questo caso il substrato organico è rimosso prima della denitrificazione privando quest'ultima dell'apporto ottimale di substrato carbonioso. La reazione avviene ugualmente seppure a velocità notevolmente ridotte rispetto agli impianti con la predenitrificazione, dato che viene utilizzato il carbonio endogeno del fango e del liquame depurato. Per ottenere efficienze di denitrificazione elevate il volume del reattore deve essere molto maggiore rispetto alla predenitrificazione. Per questo motivo tale schema di processo viene utilizzato solo quando si richiedono basse efficienze di denitrificazione oppure quando il rapporto BOD_5/N del liquame grezzo è troppo basso per sostenere una predenitrificazione o troppo variabile. Come si vede dallo schema, parte del liquame in ingresso può essere avviato direttamente alla denitrificazione per aumentare il substrato carbonioso nella vasca anossica, ma bisogna tener conto che così facendo si ha una equivalente quantità di azoto ammoniacale residuo non nitrificato.

L'impianto di fig. 2.4 è composto da una vasca di predenitrificazione seguita da un bacino di ossidazione-nitrificazione e quindi una vasca di post-denitrificazione seguita dalla riaerazione e dal sedimentatore secondario. Anche qui la vasca di post-denitrificazione, dove viene utilizzato carbonio endogeno, ha una velocità di denitrificazione molto bassa rispetto alla vasca di predenitrificazione. Il vantaggio di questo tipo di impianto è che si possono raggiungere rendimenti di rimozione dell'azoto totale anche superiori al 95%.

Riaerazione

A valle della vasca di post-denitrificazione si pone una vasca aerata per eliminare le bollicine di azoto che dovessero rimanere attaccate sulla superficie dei fiocchi di fango e per evitare che la denitrificazione continui nella fase di sedimentazione finale (cosa che causerebbe la flottazione del fango alla superficie del decantatore).

2.3 Trattamento terziario chimico-fisico

Lo scopo dei trattamenti chimico-fisici è rimuovere dalle acque le sostanze colloidali e sospese residue, le sostanze organiche non biodegradabili, i metalli ed i microrganismi residui prima dello scarico finale. Trattamenti di questo tipo sono:

1. Chiariflocculazione;
2. Filtrazione su sabbia;
3. Disinfezione tramite raggi UV.

Chiariflocculazione

La chiariflocculazione è un trattamento con lo scopo di eliminare dalle acque le sostanze sospese e colloidali. Questo processo unisce in sé tre processi diversi, la coagulazione, la flocculazione e la sedimentazione. I materiali in sospensione sono troppo piccoli per precipitare e hanno una carica elettrica generalmente negativa che provoca repulsione fra le particelle. La coagulazione serve appunto ad eliminare le repulsioni elettroniche in modo da formare particelle più grandi che possono precipitare; per ottenere questo effetto si usano prodotti come i sali di Fe^{3+} e Al^{3+} . Gli agenti coagulanti vengono aggiunti al refluo in apposite vasche dotate di agitatore che creando un moto vorticoso permette una buona dispersione del prodotto. A questo punto i fiocchi che si sono formati si ingrandiscono attraverso un processo che si chiama flocculazione. Per favorire il processo, all'acqua vengono aggiunti appositi agenti flocculanti: i più usati oggi sono i polielettroliti (polimeri solubili in acqua, nelle cui catene sono presenti dei gruppi funzionali ionizzabili). In questa fase l'acqua è agitata in modo sensibilmente minore rispetto alla coagulazione, perché si deve impedire che i fiocchi formati si rompano. I fiocchi così formati si possono poi far precipitare in una apposita vasca decantatrice di tipo lamellare oppure di tipo simile a quelli utilizzati per la sedimentazione secondaria nei processi biologici, in cui il tempo di permanenza è di 3-4 ore.

Questi tre processi in passato venivano eseguiti in apparecchi diversi; oggi invece sono disponibili apparecchi che eseguono tutte e tre queste operazioni insieme, dove il contatto fra acqua da trattare e gli opportuni reagenti (sali di alluminio, sali di ferro, polielettrolita, ecc..) avviene in una vasca di reazione munita di agitazione lenta.

Filtrazione su sabbia

La filtrazione su sabbia è finalizzata all'abbattimento dei solidi sospesi ancora contenuti nel refluo a valle della sedimentazione o della chiariflocculazione. Il filtro è costituito da un letto di sabbia fine, di altezza di circa 1-1.2 m, supportato da uno strato di ghiaia di spessore pari a 0,3 m e da un sistema di drenaggio. Solitamente si installa una batteria di filtri a sabbia aperti a filtrazione rapida. Il mezzo filtrante può essere costituito da un unico strato di sabbia monogranulare o da più strati di diverse dimensioni. Come materiali di riempimento si utilizzano silice, antracite (carbone di qualità superiore), granato (minerali neosilicati: silicati o alluminio-silicati) o ilmenite (minerale di ferro e titanio). La filtrazione viene realizzata con un ciclo discontinuo: quando le perdite di carico attraverso la sezione filtrante raggiungono valori eccessivi e/o il flusso in uscita dal filtro risulta eccessivamente torbido, il filtro viene escluso e sottoposto al lavaggio del letto di sabbia utilizzando un flusso misto di acqua e di aria in controcorrente. Il ciclo di lavaggio ha una durata di circa 30 minuti.

Disinfezione tramite raggi UV

Il trattamento tramite raggi UV viene effettuato per l'abbattimento della carica microbiologica presente nel refluo finale. L'esposizione per alcuni secondi alla luce prodotta da speciali lampade a mercurio a bassa pressione permette l'eliminazione dei batteri. I moduli di lampade sono installati all'interno di un canale aperto posto immediatamente a valle della filtrazione su sabbia. E' inoltre previsto un sistema di pulizia delle lampade mediante anelli raschiatori attivati ad intervalli di tempo prefissati; questo sistema permette la rimozione dello strato di impurità che si deposita sui tubi di quarzo che proteggono le lampade dal contatto dall'acqua. Le acque surnatanti vengono tutte riciclate in testa all'impianto di depurazione. Esistono altri tipi disinfezione ad esempio disinfezione tramite clorazione o tramite ozonizzazione. La clorazione mira a distruggere la carica microbica presente nel refluo o a inibirne l'attività. Questo trattamento può avvenire mediante l'utilizzo di cloro gassoso o di ipocloriti. Invece l'ozonizzazione è una tecnica di disinfezione delle acque che impiega ozono (O_3), un gas prodotto mediante scariche elettriche ad alto voltaggio in una apposita camera nella quale viene fatto passare un flusso d'aria o di ossigeno. L'ozono è utilizzato per la sua elevata efficacia nei confronti di batteri e virus, ma è molto costoso.

2.4 Linea fanghi

I microrganismi cresciuti a seguito della metabolizzazione delle sostanze organiche, il cosiddetto "fango di supero", sono allontanati dal sistema depurativo e trattati con una serie di processi volti a diminuirne la putrescibilità e il volume, in vista del loro smaltimento finale. Tali processi si suddividono in:

1. Pre-ispessimento;
2. Digestione aerobica o anaerobica;
3. Post-ispessimento;
4. Disidratazione.

Pre-ispessimento

Il pre-ispessimento del fango è necessario per ridurre il volume del fango che poi viene inviato alla digestione. I fanghi arrivano in un bacino a piana circolare detto pre-ispessitore dinamico e dotato di ponte raschiatore; qui il fango viene concentrato per gravità in modo da ridurre le portate da avviare alla digestione anaerobica. La percentuale di sostanza secca nel fango aumenta dal 3% in ingresso al 5% dopo il pre-ispessitore; le acque surnatanti vengono sfiorate da uno stramazzone ed inviate in testa all'impianto.

Digestione aerobica o anaerobica (stabilizzazione biologica):

La digestione è un processo biologico finalizzato alla riduzione della massa di fango di supero e può essere di tipo anaerobico o aerobico. I residui della reazione di digestione, dopo la riduzione della massa di microrganismi sono in sintesi:

- Per la digestione aerobica: acqua e anidride carbonica;
- Per la digestione anaerobica: acqua, metano, anidride carbonica.

La digestione aerobica mira principalmente alla stabilizzazione del fango cioè alla diminuzione della sua putrescibilità mediante fermentazione aerobica eterotrofa, e come obiettivo secondario alla riduzione del suo volume mediante separazione dell'acqua, e quindi alla riduzione della carica batterica.

Il fango proveniente dalla sedimentazione, secondaria e/o primaria, viene introdotto in una vasca areata dove permane in media per 15-20 giorni. La struttura e le apparecchiature di un digestore di questo tipo sono molto simili a quelle di una vasca a

fanghi attivi (ossidazione-nitrificazione): la fondamentale differenza consiste nel fatto che il digestore non viene alimentato con liquame ma con il fango stesso, quindi i batteri nel digestore aerobico devono utilizzare la sostanza organica presente nel fango stesso. La diminuzione della carica batterica eterotrofa è dovuta a una velocità di crescita delle cellule batteriche inferiore alla loro morte. Il fango si considera digerito quando ha subito una riduzione dei solidi volatili del 40%.

La digestione anaerobica del fango mira alla stabilizzazione del materiale organico, alla distruzione di eventuali microorganismi patogeni e alla riduzione del volume del fango; il prodotto più importante della digestione anaerobica è il biogas, formato da metano e anidride carbonica. Il digestore anaerobico è un reattore in cui viene immesso il fango che permane lì per circa 30 giorni a temperatura controllata. In tale reattore si svolgono una serie di processi che portano la sostanza del fango fino a biogas, acqua e una massa stabilizzata; in sintesi, la digestione anaerobica si svolge in tre fasi:

- Idrolisi delle sostanze organiche complesse;
- Fermentazione acida con diminuzione di pH e sviluppo di gas maleodoranti;
- Fermentazione basica con aumento di pH e con sviluppo di gas inodori (metano e anidride carbonica).

La digestione, essendo un metabolismo biologico, risente della temperatura e delle sue variazioni: un aumento di temperatura della massa del fango favorisce lo sviluppo dei batteri e rende più veloci i metabolismi, con conseguente diminuzione del tempo richiesto e del volume del digestore necessario. La temperatura in genere è mantenuta per riscaldamento sui 30-40 °C (digestione mesofila), anche se non mancano applicazioni del processo termofilo (60-70°C). Il risultato di tale digestione è la produzione di biogas, in cui circa il 60-70% è metano, mentre il restante 30-40% è anidride carbonica. Il biogas prodotto viene stoccato in opportuni serbatoi chiamati gasometri e quindi avviato agli utilizzi (riscaldamento del digestore stesso, produzione di energia elettrica). In generale il contenuto di solidi volatili del fango è ridotto del 50%.

I digestori anaerobici possono essere di due tipi:

- Digestori “freddi”, senza riscaldamento, detti a basso carico;
- Digestori con riscaldamento detti a “medio carico”.

I primi lavorano in zone stratificate e quindi non richiedono miscelazione; inoltre, essendo non riscaldati dall'esterno, risentono negativamente degli effetti delle basse temperature e necessitano di buone coibentazioni verso l'esterno (fig. 2.5).

Nei secondi, invece, tramite una pompa viene spillata una opportuna portata di fango e fatta passare in uno scambiatore di calore esterno al digestore; qui il fango acquista la quantità di calore necessaria e viene rimesso nel digestore. In questo modo si mantiene la massa di fango ad una temperatura ottimale e si compensano le eventuali dispersioni di calore con l'esterno. La miscelazione avviene grazie allo spillamento e in alcuni casi anche mediante l'utilizzo di una pompa di circolazione che aspira il fango in digestione e lo rimette in testa al digestore (fig. 2.6).

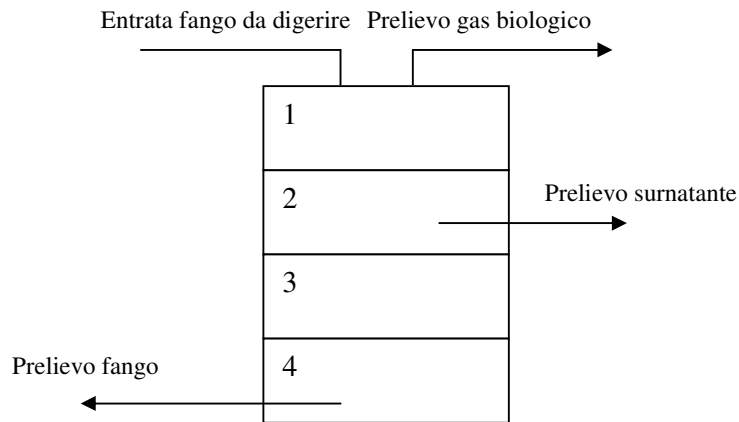


Fig. 2.5: Schema di un digestore non riscaldato. Legenda: 1 = accumulo gas biologico; 2 = surnatante; 3 = fango in digestione; 4 = fango ispessito e digerito.

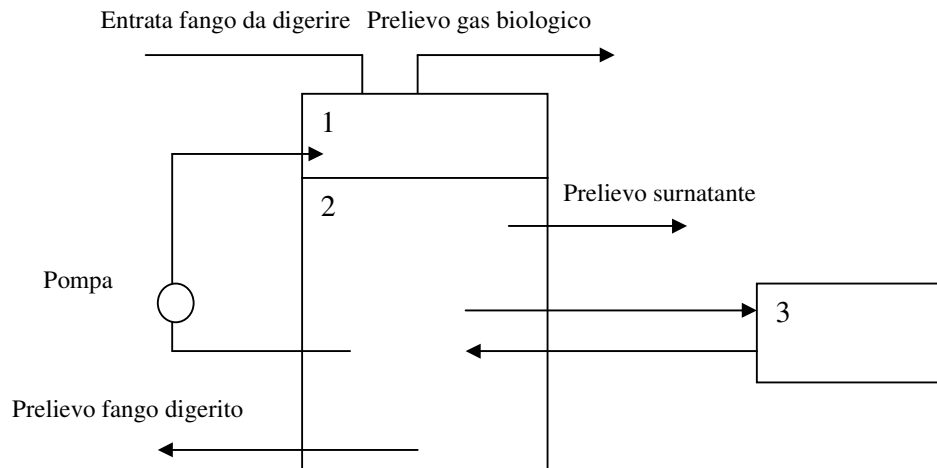


Fig. 2.6: Schema di un digestore riscaldato. Legenda: 1 = accumulo gas biologico; 2 = fango in digestione e in miscelazione; 3 = scambiatore di calore.

Post-ispessimento

Con il post-ispessimento si riduce ulteriormente il volume del fango digerito separandone l'acqua contenuta sino ad ottenere una concentrazione di sostanza secca superiore. Anche qui si ha un bacino a piana circolare nel quale il fango staziona per un certo tempo e viene addensato; l'acqua drenata è ricircolata in testa all'impianto.

Disidratazione

I fanghi provenienti dal post-ispessimento vengono ulteriormente ridotti di volume mediante disidratazione meccanica con centrifughe o con nastro presse.

Le nastro presse sono costituite da due nastri mossi da una serie di rulli di differente diametro, il loro percorso è molto articolato con numerosi cambi di direzione. In questo modo il fango, essendo intrappolato tra i nastri, risulta spremuto durante l'avvolgimento dei rulli. Nel movimento le tele tendono a chiudersi sottoponendo il fango a una forte compressione, mentre nei cambi di direzione il fango subisce grandi sforzi di taglio dalle tele a contatto. Questi sforzi provocano la separazione della fase liquida dal fango disidratandolo. La portata specifica di alimentazione del fango deve presentare valori attorno a $1-8 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ (per metro quadro di nastro), e la velocità della tela deve essere all'incirca 30-60 m/h.

Nelle centrifughe la disidratazione invece avviene per effetto della rotazione. Il fango, che ha peso specifico maggiore dell'acqua, è spinto verso la periferia e trasportato da un nastro elicoidale verso lo scarico; l'acqua di supero è scaricata dall'estremità opposta. La velocità di rotazione della macchina varia, a seconda del suo diametro, da 1500-1600 giri al minuto. A seconda delle caratteristiche dei fanghi trattati le centrifughe producono un fango con una concentrazione di solidi variabile tra il 15-30%. In assenza di condizionamento chimico (processo mirato a migliorare le caratteristiche di filtrabilità dei fanghi e l'efficienza dei trattamenti di disidratazione) il rendimento dell'abbattimento dei solidi varia tra il 50-80%; mentre un idoneo condizionamento chimico si possono raggiungere rendimenti di circa 80-95%. Dopo centrifugazione il fango è avviato allo stoccaggio e quindi allo smaltimento.

CAPITOLO 3

Impianto di Conselve

3.1 Dati di progetto dell'impianto

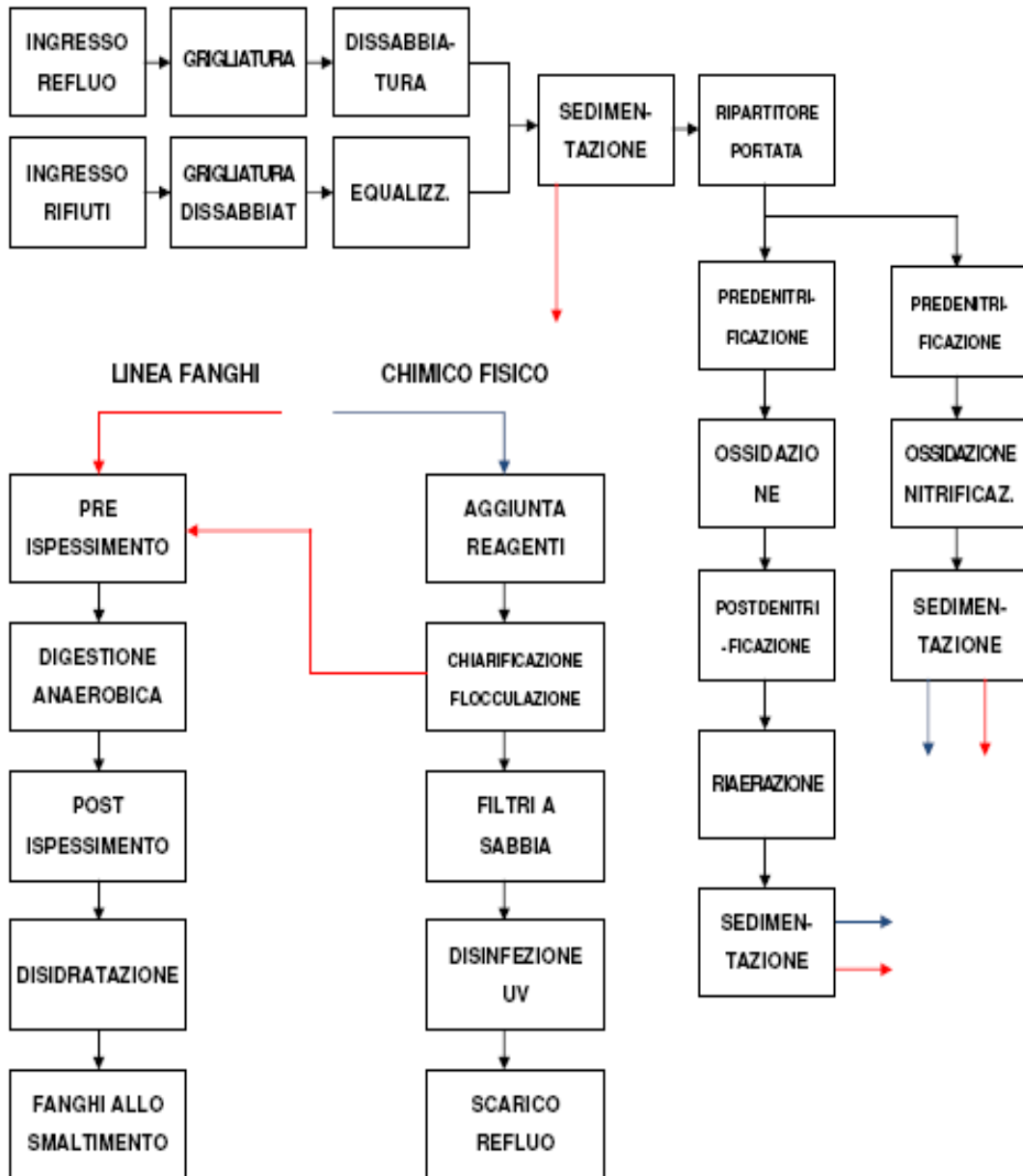
L'impianto di depurazione di Conselve (PD) del Centro Veneto Servizi SpA tratta i reflui fognari dei Comuni di Conselve, Bagnoli, Terrassa Padovana, Arre, Cartura, S. Pietro Viminario e Tribano frazione Olmo; esso è inoltre autorizzato a trattare rifiuti liquidi extrafognari in linea acque e in linea fanghi. L'effluente finale deve rispettare i limiti del D.M. 30/7/99 (Bacino scolante in Laguna di Venezia). Nella tab. 3.1 sono riassunti i principali dati di progetto dell'impianto.

Tab. 3.1: Principali parametri di progetto dell'impianto di depurazione di Conselve.

POTENZIALITA'	46.880	Ab.Eq.
PORTATA GIORNALIERA	6.937	m ³ /d
PORTATA IN INGRESSO STAZIONE BOTTINI	200	m ³ /d
PORTATA GIORNALIERA COMPLESSIVA	7.137	m ³ /d
PORTATA ORARIA MEDIA Q24	297	m ³ /h
PORTATA ORARIA DI PUNTA Q _{pn}	708	m ³ /h
B.O.D. ₅ CARICO GIORNALIERO	3.380	Kg/d
AZOTO TOTALE GIORNALIERO	640	Kg/d
FOSFORO TOTALE GIORNALIERO	79	Kg/d
RIFIUTI LIQUIDI AUTORIZZATI	200	ton/d
RIFIUTI DIRETTAMENTE ALLA LINA FANGHI (CER 190805)	100	ton/d

Nei paragrafi seguenti saranno descritti i principali trattamenti depurativi presenti nell'impianto di Conselve.

Diagramma a blocchi impianto di Conselve:



- Alla linea fanghi
- Al chimico fisico
- Collegamenti

3.2 Stazione trattamento rifiuti liquidi

L'impianto di trattamento bottini ha una potenzialità complessiva pari a 200 t/giorno; esso può ricevere rifiuti liquidi biocompatibili dei seguenti codici CER:

CODICI CER	DESCRIZIONE
02 01 01	Fanghi dal operazioni di lavaggio e pulizia.
02 01 06	Feci animali urine e letami (comprese le lettiere usate), effluenti...
02 01 99	Rifiuti non specificati altrimenti, limitante alle soluzioni acquose a prevalente natura organica, provenienti da operazioni di lavaggio e pulizia.
02 02 01	Fanghi dal operazioni di lavaggio e pulizia.
02 02 04	Fanghi da trattamento sul posto di effluenti.
02 02 99	Rifiuti non specificati altrimenti, limitante alle soluzioni acquose a prevalente natura organica, provenienti da operazioni di lavaggio e pulizia.
02 03 01	Fanghi derivanti da operazioni di lavaggio, pulizia, sbucciatura, centrifugazione e separazione dei componenti.
02 03 04	Scarti inutilizzabili per il consumo o la trasformazione.
02 03 05	Fanghi dal trattamento sul posto di effluenti.
02 03 99	Rifiuti non specificati altrimenti, limitante alle soluzioni acquose a prevalente natura organica, provenienti da operazioni di lavaggio e pulizia.
02 04 03	Fanghi dal trattamento sul posto di effluenti.
02 04 99	Rifiuti non specificati altrimenti, limitante alle soluzioni acquose a prevalente natura organica, provenienti da operazioni di lavaggio e pulizia.
02 05 02	Fanghi dal trattamento sul posto di effluenti.
02 05 99	Rifiuti non specificati altrimenti, limitante alle soluzioni acquose a prevalente natura organica, provenienti da operazioni di lavaggio e pulizia.
02 06 03	Fanghi dal trattamento sul posto di effluenti.
02 06 99	Rifiuti non specificati altrimenti, limitante alle soluzioni acquose a prevalente natura organica, provenienti da operazioni di lavaggio e pulizia.
02 07 01	Fanghi da operazioni di lavaggio, pulizia e macinazione della materia prima.
02 07 02	Rifiuti dalla distillazione di bevande alcoliche.

02 07 05	Fanghi dal trattamento sul posto di effluenti.
02 07 99	Rifiuti non specificati altrimenti, limitante alle soluzioni acquose a prevalente natura organica, provenienti da operazioni di lavaggio e pulizia.
16 03 06	Rifiuti organici non contenenti sostanze pericolose, limitatamente al lavaggio dei cassonetti R. U. .
19 05 99	Rifiuti non specificati altrimenti, limitatamente acque di percolazione centri di compostaggio.
19 06 05	Liquidi prodotti dal trattamento anaerobico di rifiuti di origine animale e vegetale.
19 06 06	Digestato prodotto dal trattamento anaerobico di rifiuti di origine animale e vegetale.
19 07 03	Percolato di discarica non contenente sostanze pericolose.
19 08 02	Rifiuti dell'eliminazione della sabbia.
19 08 05	Fanghi prodotti dal trattamento delle acque reflue urbane.
19 08 99	Rifiuti non specificati altrimenti, limitante alle soluzioni acquose a prevalente natura organica, provenienti da operazioni di lavaggio e pulizia.
20 01 08	Rifiuti biodegradabili di cucine e mense allo stato liquido.
20 03 03	Residui delle pulizia stradale, limitatamente alle caditoie.
20 03 04	Fanghi dalle fosse settiche.
20 03 06	Rifiuti delle pulizia delle fognature.

I rifiuti recapitati all'impianto tramite autobotte sono sottoposti a dissabbiatura e disoleatura in un impianto compatto installato in parallelo alla linea principale; essi sono poi inviati ad una vasca di equalizzazione del volume di 200 m³ aerata a mezzo di diffusori a microbolle. Infine essi vengono pompati, insieme al liquame proveniente dalla linea principale alla sedimentazione primaria.

3.3 Trattamenti primari

I liquami arrivano all'impianto tramite condotte in pressione e sono sottoposti ai trattamenti primari qui di seguito descritti.

Grigliatura fine:

La grigliatura è del tipo meccanizzato e costituita da una struttura in lamiera e profilati piatti in acciaio zincato, la luce fra le barre è 3 mm, larghezza 1 m, lunghezza totale 2 m.

Dissabbiatura e disoleatura:

Per la separazione delle sabbie e dei materiali inerti è presente una vasca di dissabbiatura del tipo aerato longitudinale, dimensionata in modo da assicurare alla massima portata di progetto (708 m³/h) un tempo di ritenzione di 5 minuti; questa vasca ha una lunghezza di 13,2 m, una larghezza 3,2 m, una profondità utile di 1,5 m e quindi un volume utile di 63,2 m³.

L'aerazione, eseguita con tubi ceramici porosi disposti su un lato lungo della vasca, oltre a favorire la separazione delle particelle minerali che urtano nelle pareti laterali della vasca e quindi precipitano al fondo, fa flottare alla superficie gli oli e i grassi. Le sabbie vengono raccolte tramite un raschiatore di fondo in una tramoggia in testa alla vasca e da qui rimosse a mezzo idroestrattore pneumatico. Le sostanze galleggianti che flottano in superficie, vengono allontanate da una lama di superficie che le sospinge in un pozzetto di raccolta da dove vengono periodicamente estratte.

Sedimentazione primaria:

Vista il basso valore del carico organico in entrata, la sedimentazione primaria, con superficie di 539,8 m² e un volume utile di 1071 m³, non è attualmente in uso.

Ripartizione della portata:

In questa sezione il liquame afferente viene suddiviso in due correnti eguali e avviato alle due linee parallele di trattamento biologico.

3.4 Trattamenti secondari**Ossidazione biologica Linea 1:**

Il comparto di ossidazione biologica a disposizione nella Linea 1 è composto da due vasche uguali ciascuna delle quali ha un volume utile di 1.344 m^3 ; i parametri di progetto sono:

- Volume utile complessivo	2.688	m^3
- Carico organico giornaliero BOD_5	1.690	kg/d
- Azoto totale giornaliero TKN	320	kg/d
- Portata media oraria giornaliera	148	m^3/h
- Portata di punta giornaliera	354	m^3/h

Adottando una concentrazione del fango nella miscela aerata $\text{Ca} = 4,5 \text{ kg}_{\text{SS}}/\text{m}^3$, il fattore di carico organico risulta pari a $0,14 \text{ kg}_{\text{BOD}}/\text{kg}_{\text{SSd}}$ ($1690 / 2688 \times 4,5$). Il tempo di ritenzione idraulico è pari a 18,1 ore con la portata media e 7,6 ore con la portata di punta.

Ossidazione biologica Linea 2:

Il comparto di ossidazione biologica nella Linea 2 è composto a due vasche uguali ciascuna delle quali ha un volume utile di 1.348 m^3 ; i parametri di progetto sono:

- Volume utile complessivo	2.696	m^3
- Carico organico giornaliero BOD_5	1.690	kg/d
- Azoto totale giornaliero TKN	320	kg/d
- Portata media oraria giornaliera	148	m^3/h
- Portata di punta giornaliera	354	m^3/h

Adottando una concentrazione del fango nella miscela aerata $\text{Ca} = 4,5 \text{ kg}_{\text{SS}}/\text{m}^3$, il fattore di carico organico risulta pari a $0,13 \text{ kg}_{\text{BOD}}/\text{kg}_{\text{SSd}}$. Il tempo di ritenzione idraulico è pari a 18,1 ore con la portata media e 7,6 ore con la portata di punta.

Complessivamente il volume di ossidazione biologica a disposizione è 5.384 m^3 .

La produzione complessiva prevista di fango di supero, considerando l'abbattimento di $3.380 \text{ kg}_{\text{BOD}}/\text{d}$ e assumendo un fattore specifico di $0,9 \text{ kg}_{\text{SS}}/\text{kg}_{\text{BOD}}$ abbattuto, è pari a $3.042 \text{ kg}_{\text{SS}}/\text{d}$.

Il fabbisogno di ossigeno nel processo ossidativo per mantenere il processo biologico di ossidazione, mantenendo una concentrazione di $3 \text{ mg}/\text{l O}_2$ e considerando le condizioni operative peggiori (estive con temperature di 20°C), è di $139 \text{ kg}/\text{h}$ per entrambe le linee (Linea 1 e Linea 2). Dato che l'ossigeno viene alimentato nelle vasche di ossidazione utilizzando aria atmosferica la portata necessaria per mantenere la concentrazione di O_2

sarà, complessivamente, pari a 10.592 Nm³/h; 5.296 Nm³/h per ciascuna vasca. Calcolando un coefficiente maggiorativo di punta pari al 25 % sarà necessario una portata complessiva di aria pari a 13.240 Nm³/h.

Le vasche di ossidazione della Linea 1 sono munite di diffusori d'aria a bolle fini tramite candele porose. Nelle vasche della Linea 2 vi sono invece 768 diffusori a disco a membrana a bolle fini, con una portata d'aria di 6,7 Nm³/h per ciascuno.

Il fabbisogno d'aria massimo per i comparti biologici ossidativi è complessivamente pari a 13.240 Nm³/h, a cui sono da aggiungere 321 Nm³/h per il comparto di riaerazione posto tra la post-denitrificazione e la sedimentazione secondaria.

La quantità di aria insufflata è regolata in relazione alle effettive necessità per mezzo di un inverter asservito ad una sonda di misura dell'ossigeno disciolto.

Ricircolo fanghi:

Per potere mantenere nelle vasche la concentrazione fissata di fango attivo pari a 4,5 kg SS/m³ il fango di ricircolo dovrà avere una concentrazione pari a 9 kg SS/m³ per cui la portata di ricircolo sarà complessivamente:

$$R = SS/(SSR - SS) = 4,5 / (9 - 4,5) = 1,00 \quad Q = 297 \text{ m}^3/\text{h}$$

dove Q = portata oraria media m³/h.

Nitrificazione:

L'azoto presente nei liquami viene in parte utilizzato per i processi di crescita e riproduzione dei batteri. Il fabbisogno di N per la sintesi è circa di 96 Kg N/d (4 kg N/h). L'azoto residuo da rimuovere, considerando entrambe le linee (Linea 1 più Linea 2), risulta essere 544 kg/d. L'impianto, dimensionato per avere all'uscita una concentrazione di azoto totale pari a 7 mg/l alla temperatura di 12°C, è in grado di mantenere in tutti i periodi dell'anno una resa di nitrificazione e denitrificazione adeguate a rispettare i limiti del D.M. 30/07/1999. Nei periodi dell'anno in cui la temperatura è più alta l'impianto può dare maggiori rese di rimozione dell'azoto; ma la denitrificazione (in particolare la post-denitrificazione) necessita anche di maggiore quantità di sostanza organica, che viene fornita con dosaggio di metanolo nella fase di post-denitrificazione.

La velocità di nitrificazione a 20°C è circa 100 gN/kgSSn*h, dove SSn indica la quantità di batteri nitrificanti presenti nel sistema; quando la temperatura scende a 12°C la velocità effettiva è solo 20 kgN/kgSSn*h. La quantità di biomassa necessaria per la

nitrificazione risulta pertanto pari a 1.116 kgSSn, quindi la biomassa totale è 22.320 kgSS; con una concentrazione in vasca di 4,5 kgSS/m³ il volume necessario per la nitrificazione è pari a 4.960 m³. Pertanto il volume previsto per il comparto di ossidazione-nitrificazione (5.384 m³) è più che sufficiente.

Pre-denitrificazione:

Assumendo, per le vasche di pre-denitrificazione, una concentrazione in uscita di nitrati pari a 6 mg/l (21 kgN/d), risulta necessario denitrificare 250 kgN/d. Il dimensionamento del comparto di denitrificazione viene effettuato considerando il funzionamento nel periodo invernale che rappresenta la condizione più restrittiva.

Assumendo una temperatura di 13°C ad una velocità di denitrificazione di 0,045 kgN/kgSSv d si ottiene un volume complessivo della vasca di 1.964 m³.

Nell'impianto si hanno due vasche di pre-denitrificazione a pianta rettangolare avente il seguente volume:

- volume utile 904 m³
- volume utile 1.100 m³

Il volume totale è 2.004 m³, sufficiente a coprire il volume richiesto per la denitrificazione. Le vasche sono equipaggiate ciascuna con due elettromiscelatori sommersi per assicurare un'adeguata miscelazione del liquame.

Ricircolo Nitrati:

Si prevede un ricircolo di liquame ossidato pari a 445,5 m³/h, cioè un valore elevato per consentire una spinta rimozione dei nitrati.

Denitrificazione Linea 2:

Il trattamento di denitrificazione viene effettuato in due fasi (pre-denitrificazione e post-denitrificazione) poste rispettivamente a monte e a valle della vasca di ossidazione.

Pre-denitrificazione:

Per le vasche di pre-denitrificazione si assume una concentrazione di uscita di azoto nitrico di 10 mg/l (35,7 kgN/d) pertanto sarà necessario denitrificare 236 kgN/d.

Il dimensionamento, come fatto in precedenza, è effettuato nel periodo invernale che rappresenta la condizione più sfavorevole alla denitrificazione. Considerando una

temperatura di 12°C ad una velocità di denitrificazione di 0,04 kgN/kgSSV d si ottiene un volume complessivo pari a 2.079 m³. Il volume utile dell'impianto è di 2.083 m³ sufficiente a coprire il volume richiesto.

Ricircolo nitrati:

Si prevede un elevato ricircolo di liquame ossidato pari a 445 m³/h, per consentire una spinta per la rimozione dei nitrati.

Post-denitrificazione:

Per la vasca di post-denitrificazione si assume una concentrazione di azoto nitrico in ingresso di 10 mg/l (35,7 kgN/d) ed una concentrazione in uscita di 6 mg/l (21,4 kgN/d) pertanto sarà necessario denitrificare 14,3 kgN/d. Adottando una velocità di denitrificazione pari a 0,015 kgN/kgSSV d ad una temperatura di 12°C si ottiene un volume complessivo di 455 m³. La vasca di post-denitrificazione a pianta rettangolare presente nell'impianto ha un volume di 600 m³. Il metanolo, in caso di necessità, viene dosato a monte delle sezione di post-denitrificazione.

Riaerazione:

Il comparto di riaerazione ha sostanzialmente la funzione di bloccare il processo di denitrificazione ed effettuare lo stripping delle bolle di azoto. È presente una vasca del volume di 363 m³ in grado di garantire, con portata media, un tempo di ritenzione di circa 2 ore.

La fornitura di aria, per effettuare lo stripping, è calcolata tenendo conto della necessità di ossidare eventuali sostanze aggiunte dall'esterno, come substrato carbonioso residuo dalla fase precedente. Mantenendo una concentrazione di ossigeno disciolto di 4 mg/l si ottiene un fabbisogno d'aria di 321 Nm³/h.

Sedimentazione finale:

La miscela aerata in uscita dalla vasca di ossidazione passa alla sedimentazione finale dove il fango attivo sedimenta sul fondo della vasca separandosi dalle acque. Le acque sfiorano nella canaletta periferica posta in superficie e sono avviate allo scarico. Le vasche sono del tipo a pianta circolare, con immissione e diffusione centrale della torbida; esse sono equipaggiate di carroponate con lama raschiafango per convogliare i

fanghi sedimentati in una tramoggia centrale di raccolta, e di lama superficiale che convoglia le eventuali sostanze galleggianti verso una tramoggia periferica con scivolo. I fanghi sedimentati e raccolti nella tramoggia centrale vengono in parte ricircolati in testa all'impianto di depurazione biologica per mantenere una concentrazione di fango ben determinata nelle vasche, e in parte scaricati come fanghi di supero e avviati alla digestione anaerobica.

Per la Linea 1 sono presenti due sedimentatori circolari secondari del volume unitario di 1.227 m^3 , per un volume utile complessivo di 2.454 m^3 e una superficie di circa 1468 m^2 . Il sedimentatore della Linea 2, anch'esso circolare, ha una superficie utile di 589 m^2 e un volume utile di 2168 m^3 .

3.5 Trattamenti terziari

Il trattamento di terzo stadio che viene utilizzato è composto da un primo comparto per l'abbattimento dei metalli pesanti basato sui processi di coagulazione, flocculazione-precipitazione e chiarificazione mediante un sedimentatore, e dalle successive sezioni di filtrazione rapida su sabbia per la rimozione dei solidi sospesi residui e di disinfezione mediante raggi UV per l'abbattimento del carico microbiologico.

Centrale di sollevamento:

La centrale di sollevamento riceve le acque provenienti dalla sezione di sedimentazione finale della Linea 1 e 2 ed è stata dimensionata sulla portata massima prevista di $708 \text{ m}^3/\text{h}$. La portata sollevata, dopo che sono stati dosati i reagenti necessari per le operazioni successive, viene inviata al successivo trattamento di chiariflocculazione.

Miscelazione veloce reagenti:

La vasca di miscelazione veloce dei reagenti viene dimensionata in base ai seguenti parametri:

Tempo di contatto: 30 secondi alla portata di punta, che corrispondono a 1,13 min alla portata media di $289 \text{ m}^3/\text{h}$. Il volume della vasca di miscelazione veloce risultante è di $5,9 \text{ m}^3$. Nella vasca di miscelazione veloce vengono dosati in automatico la calce e il cloruro ferrico mediante pompe dosatrici.

Sezione di coagulazione/flocculazione:

Per rimuovere le sostanze colloidali presenti nell'acqua sfiorata dalla sedimentazione viene aggiunto all'acqua il cloruro ferrico (FeCl_3) che neutralizza la carica posseduta dalle particelle e facilita la formazione di fiocchi sedimentabili. Come coadiuvante della coagulazione viene inoltre utilizzato latte di calce; per favorire l'aggregazione dei fiocchi (flocculazione), viene dosato direttamente nel comparto di flocculazione, un polielettrolita. Sono presenti una serie di vasche con differenti funzioni per compiere le operazioni di dosaggio dei vari reagenti.

Dosaggio reagenti

Calce idrata: La calce viene immessa per mezzo di un dosatore volumetrico in un serbatoio agitato nel quale si forma una sospensione acquosa del 5%. La portata oraria della sospensione acquosa è di 283 l/h. La quantità giornaliera di calce idrata è di 340 kg/d.

Cloruro ferrico: Il dosaggio di FeCl_3 serve a flocculare il materiale colloidale e ad abbattere il fosforo presente nella portata d'acqua da depurare. Alla portata massima di 708 m³/h la quantità di cloruro ferrico dosato è di 184 kg/h con una quantità giornaliera di 4418 kg/d. Sono installati due serbatoi di stoccaggio di volume pari a 10 m³ tali da garantire una autonomia di 15 giorni all'impianto alla portata media di 289 m³/h. In condizioni di portata media (289 m³/h), il consumo giornaliero di cloruro ferrico è pari a 1853 kg/d.

Polielettrolita: Per favorire il processo di flocculazione all'acqua vengono aggiunti appositi agenti flocculanti: polielettroliti. Nell'impianto è presente una stazione automatica di preparazione del polielettrolita che comprende tre vasche per la dissoluzione della polvere, per la manutenzione e per lo stoccaggio della soluzione.

La quantità oraria dosata è di 0,57 kg/h si ha quindi una portata giornaliera di 14 kg/d con una concentrazione della soluzione acquosa del 0,1%.

Flocculazione:

La flocculazione, situata dopo la sezione di dosaggio dei reagenti, richiede lunghi tempi di contatto ed una agitazione molto blanda; le condizioni ottimali si ottengono con più comparti in serie, eventualmente con velocità di miscelazione decrescenti.

Vi sono due vasche in serie di profondità pari a 3,5 m e per un volume totale di 354 m³ che corrisponde ad un tempo di ritenzione complessivo nella sezione di flocculazione di 30 min alla portata di punta di 708 m³/h.

Sezione di chiarificazione:

La vasca di chiarificazione è del tipo circolare a letto di fango: la corrente di liquido ascendente viene fatta passare attraverso uno strato sospeso di fiocchi per cui all'effetto primario di deposizione se ne somma uno di filtrazione della torbida attraverso lo strato suddetto. Il liquido chiarificato fuoriesce dall'alto del bacino come di consueto.

Per il dimensionamento della vasca sono stati utilizzati i seguenti parametri:

- tempo di ritenzione: 2 h alla portata di punta;
- carico idraulico superficiale: 2 m/h.

Risulta necessario un volume complessivo di 1417 m³ ed una superficie di 354 m².

Per la vasca di chiarificazione si sono adottate le seguenti misure:

- diametro: 22 m;
- superficie utile: 380 m²;
- profondità media della vasca: 4 m.

Il tipo di vasca di chiarificazione presenta una zona centrale cilindrica posta sopra allo sbocco delle tubazioni di alimentazione, con una pompa di ricircolo a pale a numero di giri variabile con portata pari a 180 m³/h. Il fango esce dalla parte inferiore del cilindro e si distribuisce con un certo spessore su tutta la superficie della vasca, formando il letto di fango. Questo poi viene prelevato e inviato alla linea fanghi.

Produzione fanghi:

Con i dosaggi indicati in precedenza e considerando che l'acqua depurata biologicamente in uscita dalla sedimentazione secondaria abbia un contenuto di 20 mg/l di solidi sospesi, la produzione di fango può essere calcolata in base alle considerazioni esposte in seguito.

Precipitazione fosforo:

La quantità di solidi prodotti dalla precipitazione del fosforo con sali di ferro è di 2,5 kg SS per ogni kg di Fe.

Con il dosaggio visto in precedenza di 4540 kg/d di soluzione al 14% risulta un quantitativo di solidi totali prodotti di 1589 kg/d.

Precipitazione carbonati con calce:

La quantità di solidi prodotti dalla precipitazione di carbonati mediante calce Ca(OH)_2 è di 1,35 kg SS per ogni kg di calce.

Con il dosaggio di 340 kg/d di calce risulta un quantitativo di solidi totali prodotti di 459 kg/d.

Aggiungendo il residuo di solidi sospesi in uscita dalla sedimentazione secondaria di 340 kg/d e tenendo conto del quantitativo del polielettrolita dosato nel comparto di flocculazione di 14 kg/d i solidi totali prodotti ottenuti sono 2671 kg/d.

Assumendo una concentrazione del 2%, la portata di fango risulta essere di 134 m³/d (5,6 m³/h).

Il calcolo sviluppato è di tipo prudenziale, perché si considera che la portata di punta, di 708 m³/h, sia continuativa nell'arco delle 24 ore. Tutte le apparecchiature per il prelievo e per il trattamento dei fanghi sono dimensionate su tale valore di punta.

Filtrazione rapida su sabbia:

Il comparto di filtrazione è posto tra la chiarificazione e la disinfezione finale, e la sua funzione è abbattere le particelle di solidi sospesi ancora contenute nel refluo. Nell'impianto si ha una batteria di filtri rapidi, ciascuno riempito con uno strato di sabbia di altezza pari a 1 m. Per mantenere costante la portata del liquido nei filtri sono state installate valvole di regolazione sul flusso in uscita (una per ogni letto filtrante).

La determinazione della superficie filtrante necessaria è stata effettuata assumendo una velocità di filtrazione pari a 6 m/h sulla portata di punta; ogni filtro ha una superficie utile pari 43 m² e quindi la superficie totale è 129 m².

La filtrazione viene realizzata con un ciclo discontinuo: quando le perdite di carico attraverso la sezione filtrante raggiungono valori eccessivi e/o il flusso in uscita dal filtro risulta eccessivamente torbido, il filtro viene escluso e sottoposto al lavaggio del letto di sabbia utilizzando un flusso misto di acqua e di aria in controcorrente. Il ciclo di lavaggio ha una durata di circa 30 minuti.

Disinfezione finale tramite raggi U.V.:

Il trattamento di disinfezione finale per l'abbattimento della carica microbiologica presente nel refluo viene effettuato mediante esposizione per alcuni secondi alla luce UV prodotta da speciali lampade al mercurio a bassa pressione. Esse sono montate in moduli e installate all'interno di un apposito canale aperto posto immediatamente a

valle della sezione di filtrazione. Inoltre è previsto un sistema di pulizia mediante anelli raschiatori attivati ad intervalli prefissati per la rimozione dello strato di impurità che si deposita sui tubi di quarzo che proteggono le lampade dal contatto dall'acqua.

Il dimensionamento della sezione di disinfezione è stata effettuata assumendo i seguenti parametri:

- Portata: 450 m³/h (pari a 1,5 volte la portata media);
- Solidi Sospesi: 5 mg/l;
- Trasmittanza (su uno spessore di 10 mm): 0,65;
- Coliformi totali in ingresso: 1.500.000 UFC.

La configurazione di impianto e la potenzialità installata assicurano, in condizioni di carico di punta pari a 708 m³/h, l'abbattimento del 99,9% del carico microbiologico in ingresso garantendo di conseguenza, con un buon margine di sicurezza, il rispetto del limite allo scarico fissato dal DM 30/7/99. Con tali parametri è stata ipotizzata una resa di abbattimento del 99,99%, che equivale ad un valore di coliformi totali in uscita pari a 150 UFC, con dose di irraggiamento superiore a 57 MJ/cm². La vasca di disinfezione realizzata ha lunghezza totale di 12,5 m e larghezza variabile da 0,43 m nel comparto dove sono installati i moduli di lampade UV a 2 m nella sezione di scarico finale. Il volume totale della vasca è di circa 33 m³.

3.6 Trattamento dei fanghi

Pre-ispessimento:

L'ispessimento del fango è necessario per ridurre il volume del fango da inviare al successivo trattamento di digestione. I fanghi primari assieme ai fanghi secondari vengono inviati in un ispessitore meccanizzato a pianta circolare con fondo a tramoggia. Il volume utile del pre-ispessitore è di 154,6 m³ e diametro di 7,5 m con una superficie utile di 126 m². Le acque surnatanti vengono sfiorate da un opportuno stramazzo ed inviate in testa all'impianto.

Digestione anaerobica:

La stabilizzazione del fango è ottenuta per via anaerobica in un digestore riscaldato e agitato, secondo uno schema con processo monostadio in campo mesofilo con temperatura nell'intervallo ottimale 32-35° C. Il digestore anaerobico ha un volume di

1372 m³ ed è sufficientemente sovradimensionato da far fronte alle punte improvvise di carico. Il riscaldamento del digestore avviene tramite uno scambiatore di calore a camicia d'acqua posto all'esterno in apposito locale ed inserito sulla condotta di ricircolo. L'agitazione del fango è ottenuta con l'insufflazione di biogas pressurizzato da un compressore rotativo a palette, attraverso lance affondate nella massa di fango; tale mescolamento è essenziale per l'efficienza del processo di digestione provvedendo a distribuire a tutta la massa di fango il calore fornito, ed evitando nel contempo l'eccessivo addensamento del fango sul fondo del digestore stesso.

Il biogas prelevato dal digestore attraverso una campana, è opportunamente disidratato, filtrato, ed alimentato agli utilizzi previsti; la portata è misurata costantemente. La quantità di biogas che non è immediatamente consumabile è immagazzinata in un gasometro del volume di 300 m³. Il gas biologico prodotto è impiegato per la produzione di energia elettrica con recupero di calore dai gas di scarico. E' presente una stazione di cogenerazione.

Al momento il digestore non è ancora in funzione in quanto non si hanno a disposizione una quantità sufficiente di fanghi primari sufficiente al funzionamento.

Post – ispessimento:

La sezione di post-ispessimento è necessaria per aumentare il tenore in sostanza secca nei fanghi digeriti e per avere a disposizione un accumulo fra il digestore e la disidratazione meccanica. La sezione è costituita da una vasca a pianta circolare con fondo conico a tramoggia ed è del tipo ad addensamento meccanizzato. Il volume utile è di 154,6 m³ e diametro di 7,5 m. Le acque surnatanti vengono inviate in testa all'impianto.

La produzione giornaliera di fango di supero calcolata per l'intero impianto, assumendo una produzione di 0,9 Kg SS/Kg B.O.D.₅ abbattuto è pari a 3.042 Kg SS/d.

A questo valore viene aggiunto un 25% per tenere conto della presenza del trattamento di defosfatazione ottenendo così una produzione di 3.802 Kg SS/d. Ipotizzando una concentrazione di 9 Kg SS/m³, andranno all'accumulo 380 m³ di fango al giorno.

I parametri funzionali sono:

- carico superficiale	30,3	KgSS / m ² d
- tempo di ritenzione	1,04	gg
- grado di ispessimento	3	%
- volume fango ispessito	127	m ³ / d

Disidratazione meccanica dei fanghi:

Il fango digerito ed ispessito proveniente dal post-ispessitore viene disidratato meccanicamente mediante utilizzo di una centrifuga. È presente inoltre una nastropressa.

Nelle centrifughe la disidratazione avviene per effetto della rotazione. Per tale effetto il fango, che ha maggiore peso specifico dell'acqua, viene spinto verso la periferia e trasportato da un nastro elicoidale verso lo scarico. L'acqua di supero viene scaricata dall'estremità opposta. La velocità di rotazione della macchina varia, a seconda del suo diametro, da 1500-1600 giri al minuto. Nell'impianto non è previsto un trattamento chimico prima della disidratazione quindi il grado di secco raggiunto è del 25% circa. Le nastropresse sono costituite da due nastri mossi da una serie di rulli di differente diametro, il cui percorso è molto articolato con numerosi cambi di direzione. Nel movimento le tele tendono a chiudersi sottoponendo il fango a una forte compressione mentre, nei cambi di direzione, il fango subisce grandi sforzi di taglio dalle tele a contatto. Questi sforzi provocano la separazione della fase liquida dal fango disidratandolo, ottenendo però un grado di secco, inferiore a quello risultante dalla centrifuga, intorno al 20%. La portata specifica di alimentazione del fango deve presentare valori attorno a 1-8 m³/h per metro quadro di nastro. La velocità della tela deve essere circa 30-60 m/h. Normalmente nell'impianto la nastropressa non è utilizzata, entra in funzione solo nel caso di necessità. Il fango disidratato prodotto viene riciclato in impianti autorizzati per la produzione di COMPOST.

CAPITOLO 4

Risultati sperimentali

4.1 Obiettivi, materiali e metodi

Scopo della tesi è la valutazione del funzionamento della linea fanghi dell'impianto di depurazione di Conselve precedentemente descritto nel capitolo 3. Il periodo di studio va da Aprile 2011 a Giugno 2011.

Per questo studio sono stati acquisiti dal gestore dell'impianto (Centro Veneto Servizi SpA con sede a Monselice) i seguenti dati:

- portata giornaliera [m^3/d] di liquame in arrivo all'impianto mediante fognatura, nel periodo di studio;
- portata giornaliera [m^3/d] di rifiuto liquido (bottini) derivante dall'espurgo di fosse settiche;
- portata giornaliera [m^3/d] di liquame complessivamente trattato dall'impianto (derivante dalla somma delle due voci sopra);
- concentrazioni dei principali inquinanti (BOD_5 , COD, SST) [mg/L] in ingresso e in uscita;
- portata giornaliera [m^3/d] di fango di supero prodotto ed inviato alla linea fanghi.

Sono state condotte inoltre analisi chimiche specifiche su campioni di acqua prelevata all'ingresso e all'uscita dell'impianto, e su campioni di fango prelevati dalle vasche di ossidazione biologica e dalla linea fanghi (ispessimento e disidratazione).

Settimanalmente è stato determinato il volume dei solidi sospesi in cono Imhoff, anche detto volume del fango, relativo al fango attivo delle vasche di ossidazione biologica n. 1 e n. 2, al fango presente nel pozzetto di ricircolo fanghi ("fango di supero" o "fango di ricircolo") e relativo all'entrata e all'uscita dell'impianto.

Tale analisi si effettua prelevando un campione di 1 litro di fango ed introducendolo in un cono Imhoff graduato. Con il passare del tempo si nota una separazione tra la parte solida del fango e l'acqua, per effetto della gravità. Dopo 30 minuti, si osserva il livello della parte solida; tale livello corrisponde al volume di solidi sospesi da determinare e si misura in ml/l.

Ogni tre – quattro giorni è stata condotta la determinazione del contenuto di solidi sospesi totali nel refluo grezzo in entrata, nell'effluente depurato, nei fanghi attivi delle vasche di ossidazione n. 1 e n. 2 e nei pozzetti di ricircolo fanghi.

Per questa prova il campione (da 50 a 100 ml) viene filtrato e portato a secco mediante riscaldamento a 105 °C in un forno per 24 ore; al termine del riscaldamento il campione viene pesato. Tale peso viene moltiplicato per rapportare il valore a 1 l e ottenere la concentrazione di solidi sospesi totali (volatili e non volatili) in g/l.

Settimanalmente è stata condotta la determinazione dei “solidi totali volatili” relativa al fango presente nelle vasche di ossidazione biologica n. 1 e n. 2 e al fango presente nel pozzetto di ricircolo fanghi (“fango di supero” o “fango di ricircolo”). Le sostanze solide volatili sono determinate per differenza tra i solidi sospesi totali e il residuo secco a 550°C (solidi non volatili), e corrispondono alla sostanza organica presente nel campione. Nel fango delle vasche di ossidazione biologica e dei ricircoli i SSV sono circa il 70-75% dei SST, e rappresentano approssimativamente la biomassa attiva.

Settimanalmente è stata determinata la domanda biochimica di ossigeno (BOD₅) e la domanda chimica di ossigeno (COD) dell'acqua in ingresso e in uscita dall'impianto.

BOD₅ (Biochemical Oxygen Demand): La domanda complessiva di ossigeno richiesto dai microrganismi per degradare la sostanza organica presente nei liquami, può essere espressa tramite il BOD. Per i liquami domestici, nelle misurazioni del BOD convenzionalmente si fa riferimento a un periodo di 5 giorni. La determinazione del BOD viene effettuata diluendo un campione dell'acqua da analizzare con acqua deionizzata satura di ossigeno, introducendo in esso un inoculo di microrganismi, sigillando il campione per impedire che altro ossigeno passi in soluzione e quindi conservandolo al buio alla temperatura di 20 °C per 5 giorni; al termine di questo periodo viene analizzato l'ossigeno disciolto residuo, e la differenza costituisce la quantità consumata dal processo di ossidazione biologica.

COD (Chemical Oxygen Demand): La domanda chimica di ossigeno serve a misurare la quantità di ossigeno richiesta per ossidare chimicamente tutte le sostanze ossidabili presenti nei liquami (biodegradabili e non biodegradabili).

Ogni tre – quattro giorni è stata condotta la determinazione dei composti azotati: azoto ammoniacale, azoto TKN (Kjeldahl), azoto nitroso e azoto nitrico.

L'analisi dell'azoto ammoniacale si effettua trattando il campione in ambiente alcalino con ipoclorito di sodio, fenolo e nitroprussiato di sodio; si forma un colore verde del quale si legge l'assorbanza. Per questa analisi sono state utilizzate le cuvette-test della

Dr. Lange: in esse sono già dosati i reagenti, è sufficiente aggiungere il campione e leggere l'assorbanza allo spettrofotometro.

L'analisi dell'azoto TKN (Kjeldahl) si determina mineralizzando il campione a caldo per 30 minuti in ambiente di acido solforico concentrato e in presenza di sodio persolfato; in questo modo l'azoto organico viene trasformato in azoto ammoniacale. Si lascia quindi raffreddare e si esegue l'analisi come per l'azoto ammoniacale. Generalmente all'uscita di un depuratore coincide con l'azoto ammoniacale, in quando l'azoto organico è già stato idrolizzato durante il tempo di residenza del refluo nell'impianto.

L'azoto nitrico si determina dalla reazione del campione con solfanilammide e naftiletildiammina in ambiente acido; si forma un colorante azoico fucsia del quale si legge l'assorbanza. Per questa analisi sono state utilizzate le cuvette-test della Dr. Lange: in esse sono già dosati i reagenti, è sufficiente aggiungere il campione e leggere l'assorbanza allo spettrofotometro.

Infine l'azoto nitrico si determina trattando il campione con 2,6-dimetilfenolo in ambiente acido, dando luogo alla formazione di un colore rosso-viola di cui si legge l'assorbanza. Anche per questa analisi sono state utilizzate le cuvette-test della Dr. Lange: in esse sono già dosati i reagenti, è sufficiente aggiungere il campione e leggere l'assorbanza allo spettrofotometro.

Generalmente l'azoto totale in ingresso coincide con l'azoto TKN, non essendoci nitriti e/o nitrati, mentre in uscita è la somma di azoto ammoniacale, nitroso e nitrico.

4.2 Risultati delle analisi

Le portate medie di liquame e di bottini in ingresso all'impianto sono riassunte nella seguente tabella 4.1.

Tab. 4.1 Portate in ingresso all'impianto [m^3/d]

Portata giornaliera	6937
Portata in ingresso sezione bottini	200
Portata giornaliera complessiva	7137

Si riporta di seguito le Figure 4.1, 4.2, 4.3 che indicano l'andamento del BOD₅, del COD e dell'azoto totale in ingresso e in uscita dall'impianto:

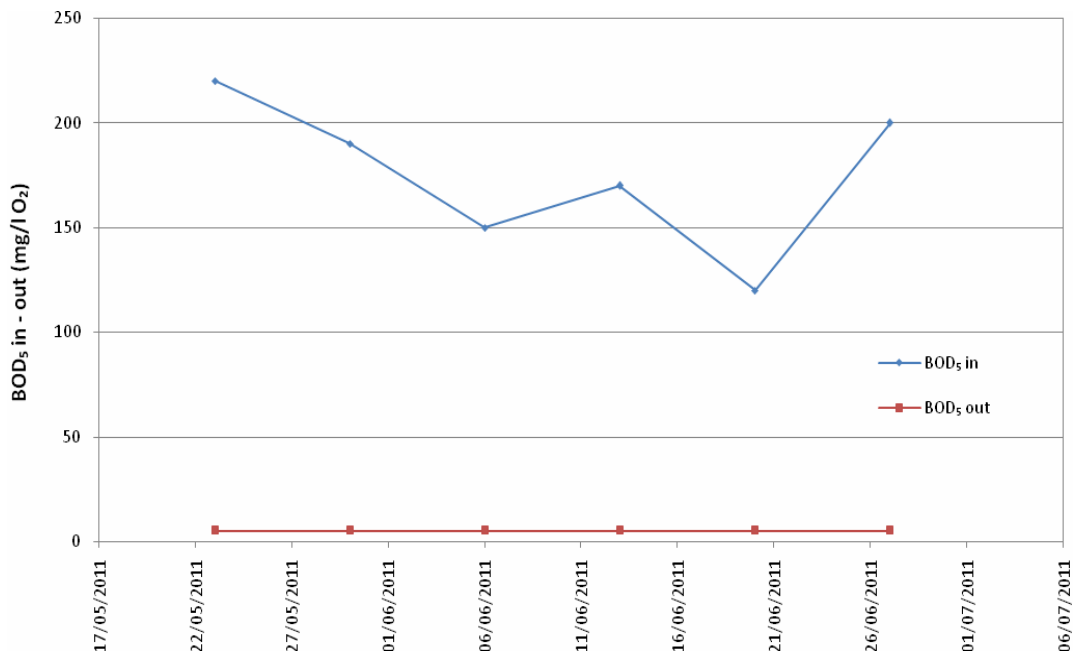


Fig. 4.1 Concentrazione di BOD₅ in ingresso e in uscita dall'impianto di depurazione [mg/l O₂]

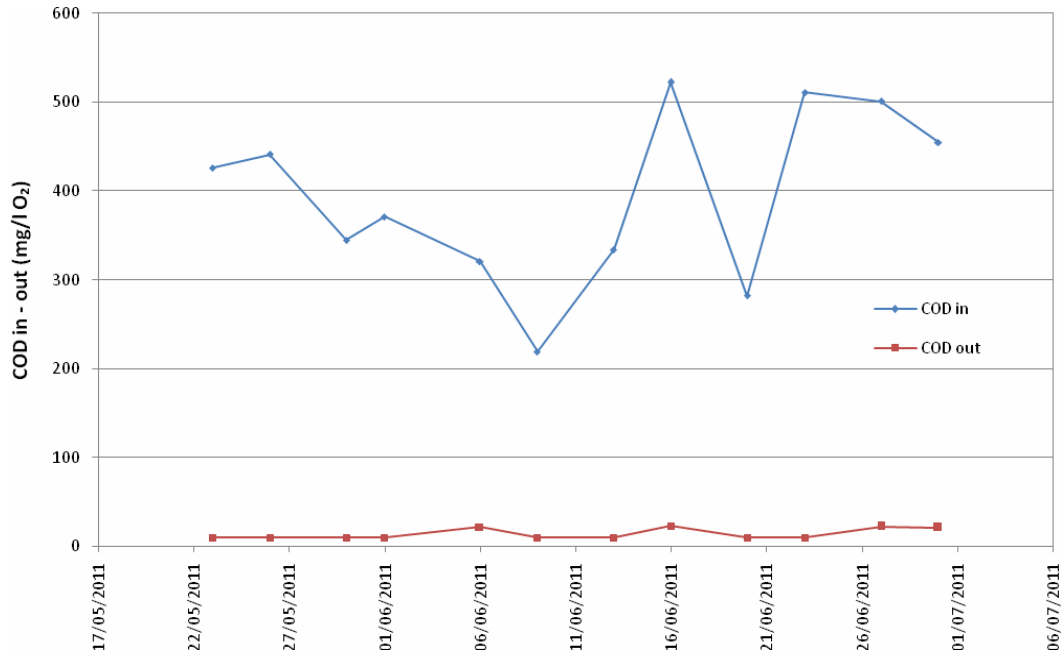


Fig. 4.2 Concentrazione di COD in entrata e in uscita dall'impianto di depurazione [mg/l O₂]

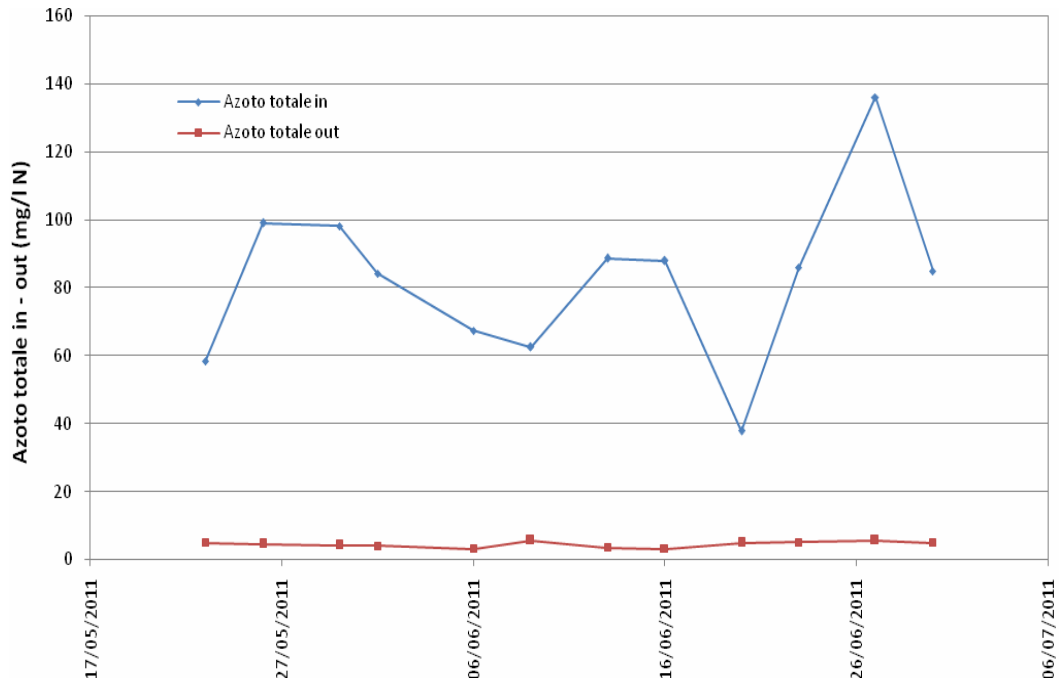


Fig. 4.3 Concentrazione di Azoto totale in entrata e in uscita dell'impianto di depurazione [mg/l N]

La concentrazione di COD in uscita dall'impianto, qualora non rilevabile ossia con un valore inferiore a 20 mg/l, è stata assunta pari a metà del limite di rilevabilità ossia 10 mg/l nel grafico e per il calcolo del valor medio. Analogamente per il BOD il limite di rilevabilità è 10 mg/l, e nei campioni con risultati inferiori al limite è stato assunto un valore pari a 5 mg/l.

La Tabella 4.2 contiene le concentrazioni medie [mg/l] dei principali inquinanti (BOD₅, COD, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, N totale, SST) in ingresso e in uscita dall'impianto.

Tab. 4.2 *Concentrazioni medie dei principali inquinanti in ingresso e in uscita dall'impianto.*

Parametro	BOD ₅	COD	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	N totale	SST
Unità di misura	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]
Entrata	170	384	86,4	0,06	< 1,1	77,7	158
Uscita	< 10	21	0,43	0,07	2,9	4,3	< 10

La Tabella 4.3 riporta i carichi medi [kg/d] dei principali inquinanti (BOD₅, COD, N totale, SST) in ingresso e in uscita dall'impianto, i carichi abbattuti e le relative rese di abbattimento. I carichi sono stati determinati dal prodotto della portata media trattata e delle concentrazioni di inquinanti in ingresso e in uscita rispettivamente.

Tab. 4.3 *Carichi medi in ingresso e in uscita dall'impianto [kg/d], i carichi abbattuti [kg/d] e le rese di abbattimento dei principali inquinanti [%]*

Parametro	BOD ₅	COD	NH ₄ ⁺	N totale	SST
Ingresso (kg/d)	1213	2742	617	555	1127
Uscita (kg/d)	71	147	3	31	71
Carichi abbattuti (kg/d)	1142	2595	614	524	1056
Rese (%)	94,1%	94,6%	99,5%	94,4%	93,6%

La portata media di fango di ricircolo nel periodo studiato è stata 7128 m³/d pari a 297 m³/h, mentre la portata complessiva diretta alla linea fanghi è stata 220 m³/d.

Le figure da 4.4 a 4.9 riportano l'andamento del contenuto dei solidi sospesi totali (SST) nelle vasche della linea 1, della linea 2 e del ricircolo fanghi. La Tabella 4.4 riassume i valori medi delle concentrazioni di Solidi sospesi totali presenti nelle varie vasche e nei ricircoli.

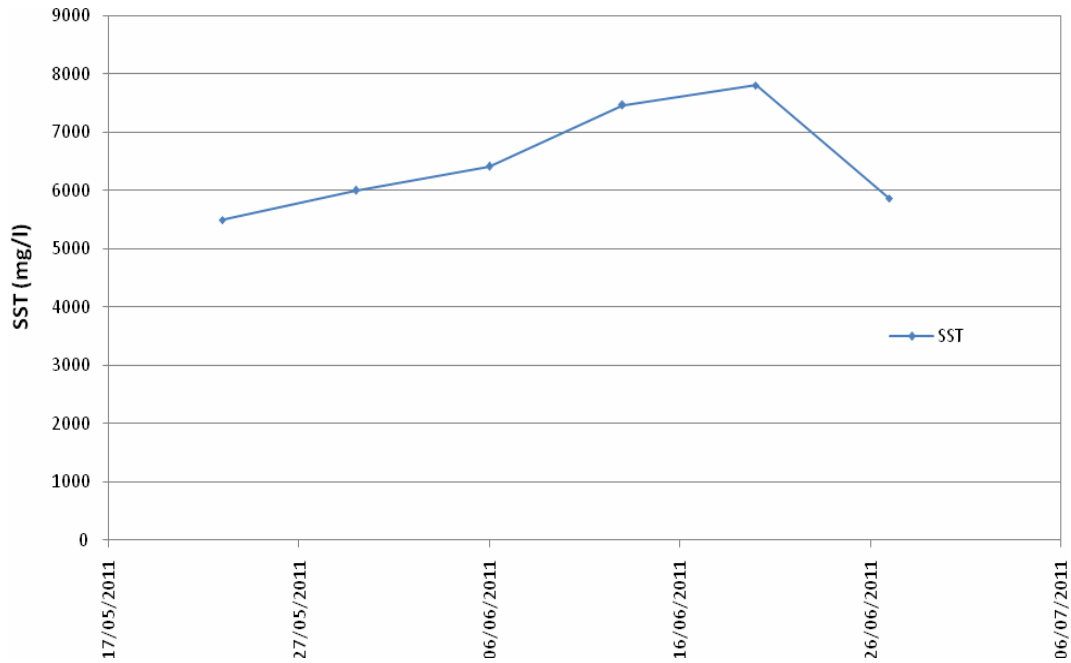


Fig. 4.4 Andamento Solidi sospesi totali nella vasca di ossidazione n. 1 della Linea 1 [mg/l]

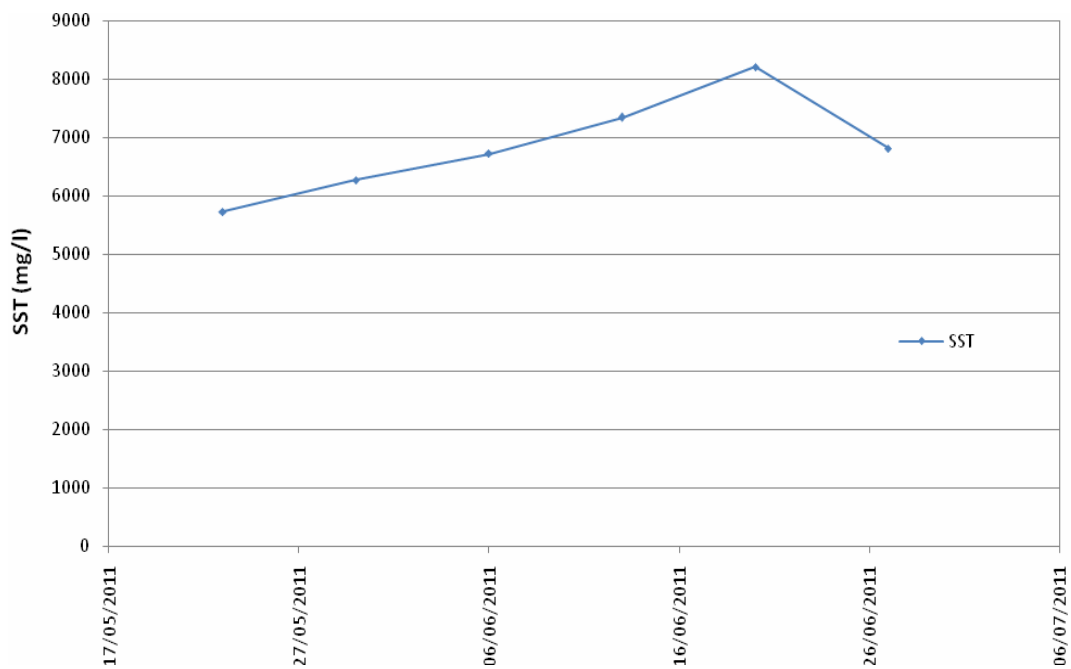


Fig. 4.5 Andamento Solidi sospesi totali nella vasca di ossidazione n. 2 della Linea 1 [mg/l]

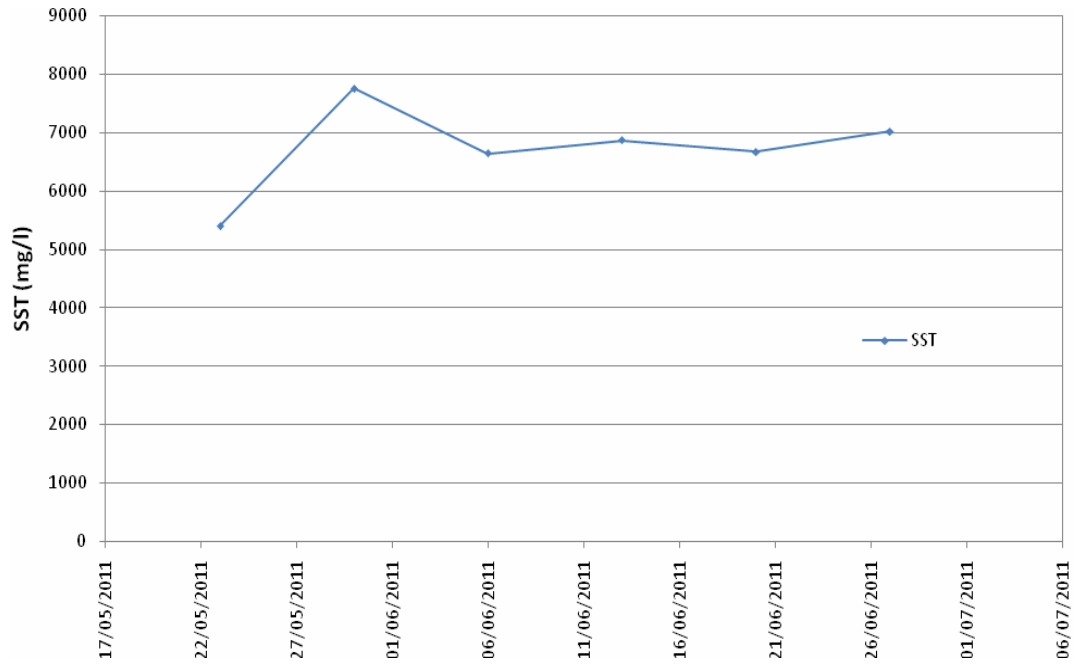


Fig. 4.6 Andamento Solidi sospesi totali nella vasca di ossidazione n. 1 della Linea 2 [mg/l]

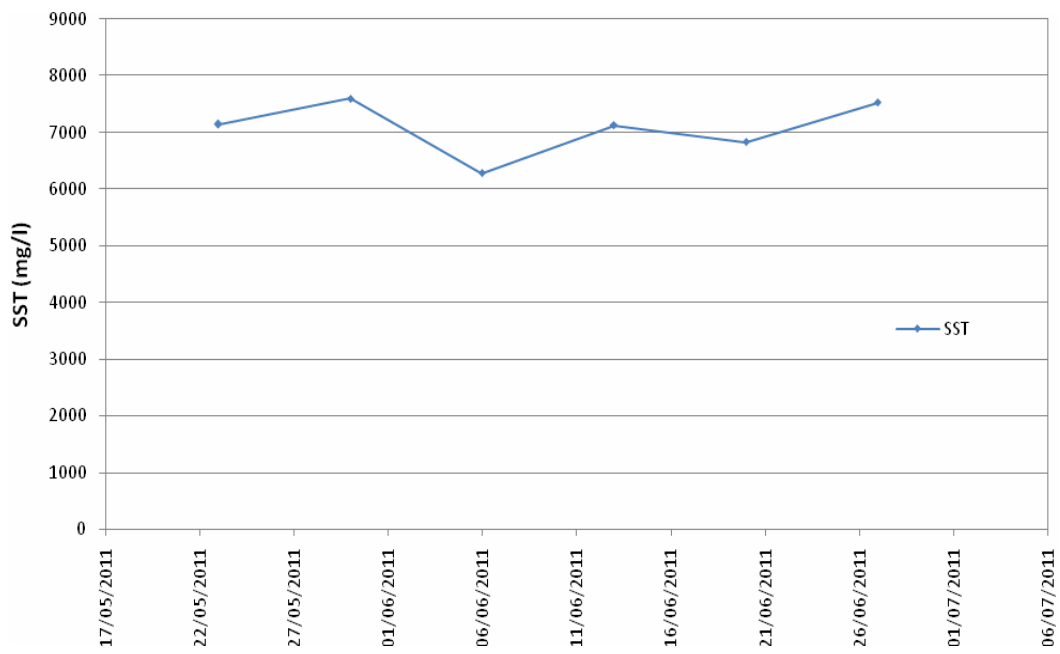


Fig. 4.7 Andamento Solidi sospesi totali nella vasca di ossidazione n. 2 della Linea 2 [mg/l]

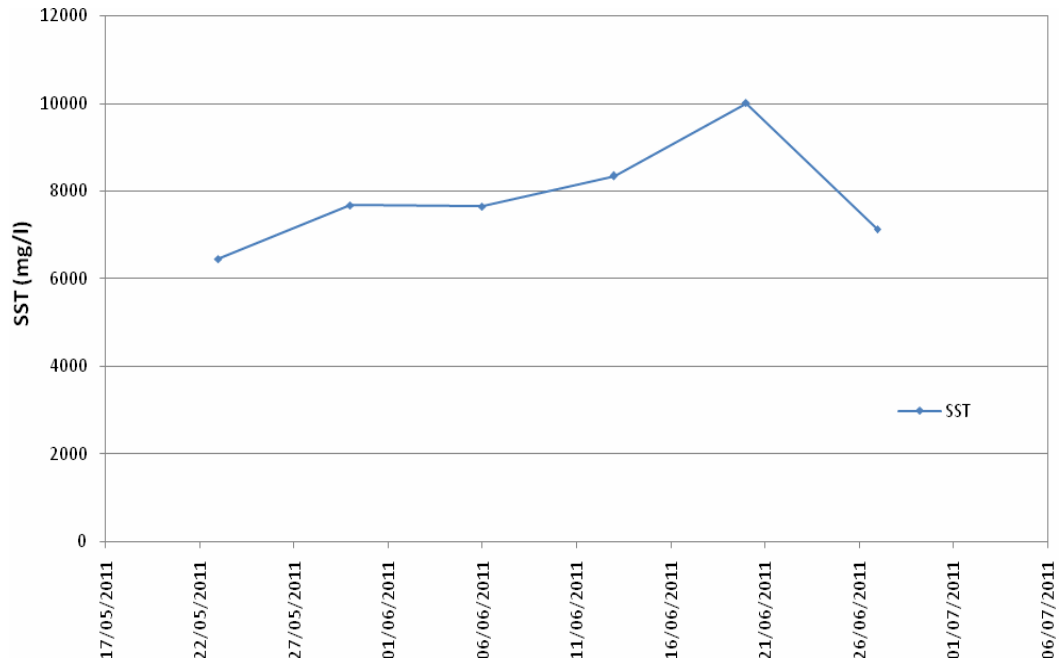


Fig. 4.8 Andamento Solidi sospesi totali nel ricircolo dei fanghi della Linea 1 [mg/l]

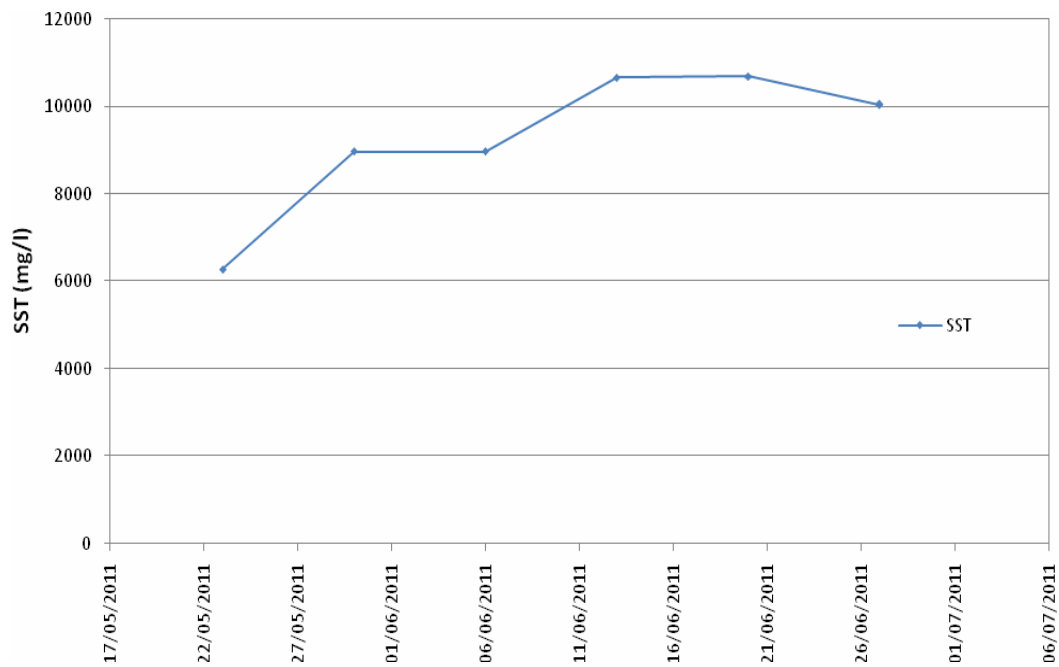
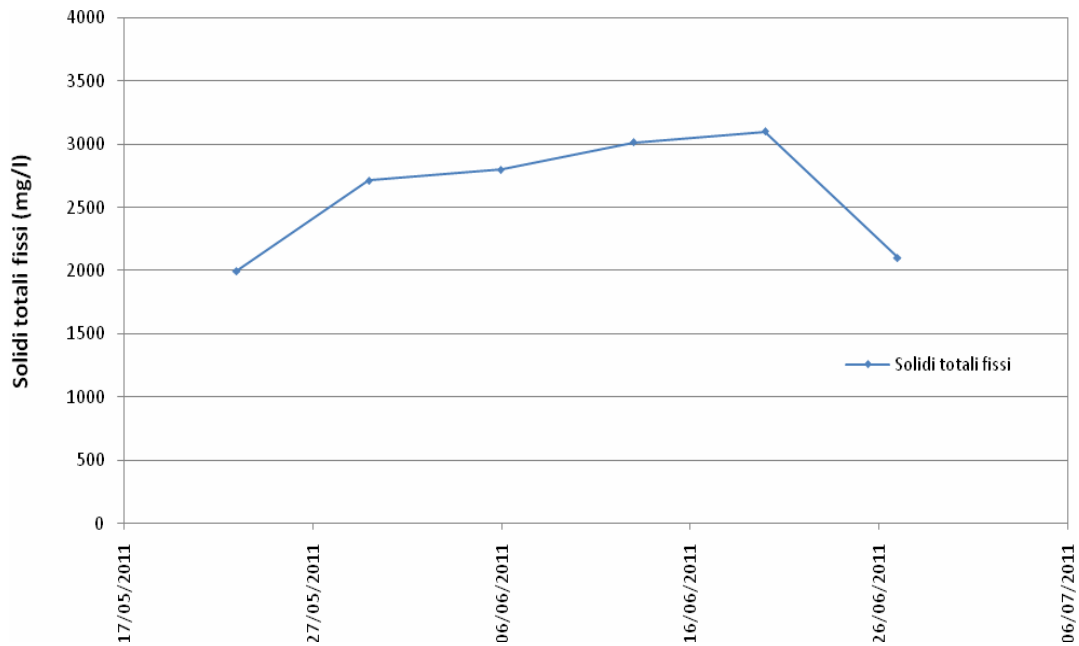


Fig. 4.9 Andamento Solidi sospesi totali nel ricircolo dei fanghi della Linea 2 [mg/l]

Tab. 4.4 Valori medi dei Solidi sospesi totali nelle varie vasche e ricircoli [mg/l]

SST	Ox 1 – Linea 1	Ox 2 - Linea 1	Ox 1 - Linea 2	Ox 2 - Linea 2	Ricircolo Linea 1	Ricircolo Linea 2
Unità di misura	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Valore medio	6508	6847	6727	7086	7874	9266

Le figure da 4.10 a 4.16 riportano l'andamento del contenuto dei solidi totali fissi nelle vasche della linea 1 e 2 e del ricircolo fanghi. La Tabella 4.5 riassume i valori medi delle concentrazioni di residuo secco a 550°C (Solidi totali fissi) presenti nelle varie vasche e nei ricircoli.

**Fig. 4.14** Andamento Solidi totali fissi nella vasca di ossidazione n. 1 della Linea 1 [mg/l]

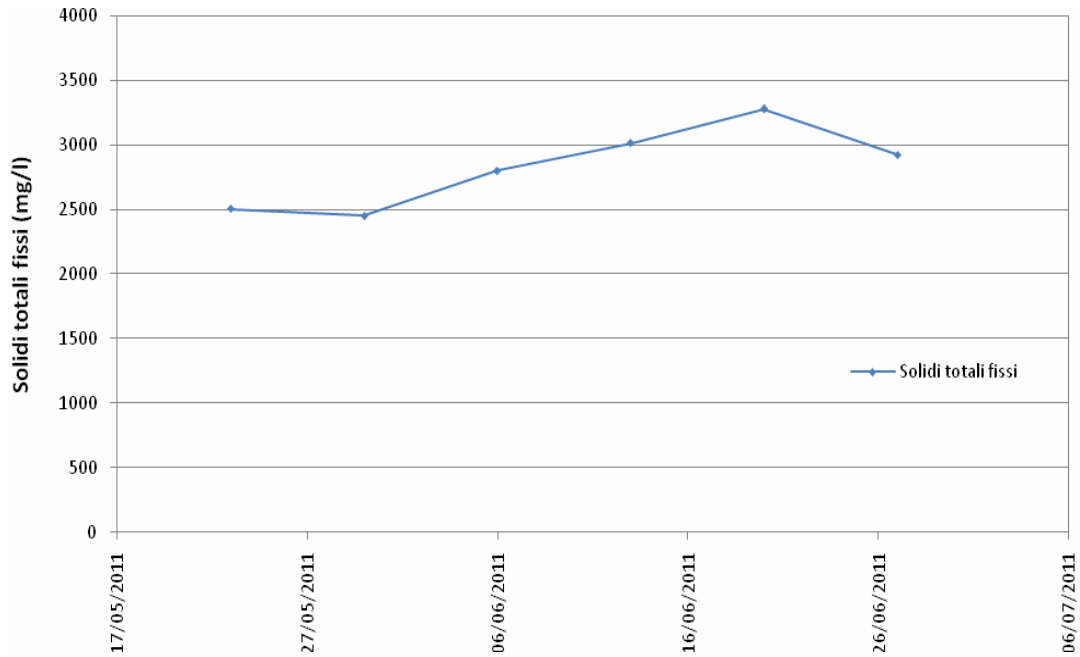


Fig. 4.15 Andamento Solidi totali fissi nella vasca di ossidazione n. 2 della Linea 1 [mg/l]

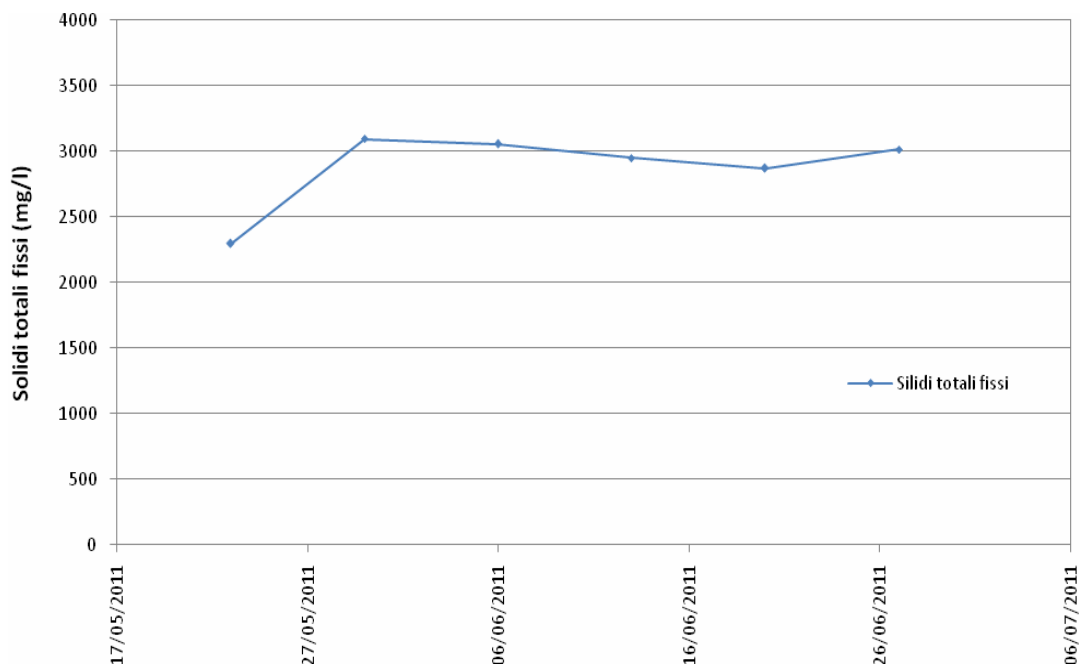


Fig. 4.16 Andamento Solidi totali fissi nella vasca di ossidazione n. 1 della Linea 2 [mg/l]

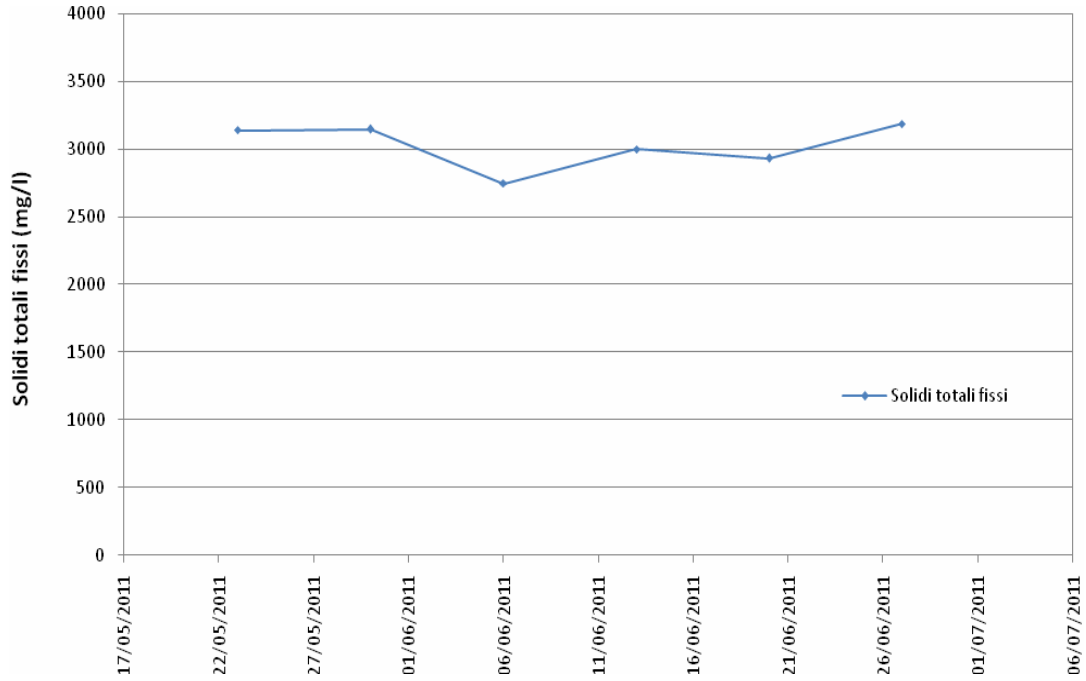


Fig. 4.17 Andamento Solidi totali fissi nella vasca di ossidazione n. 2 della Linea 2 [mg/l]

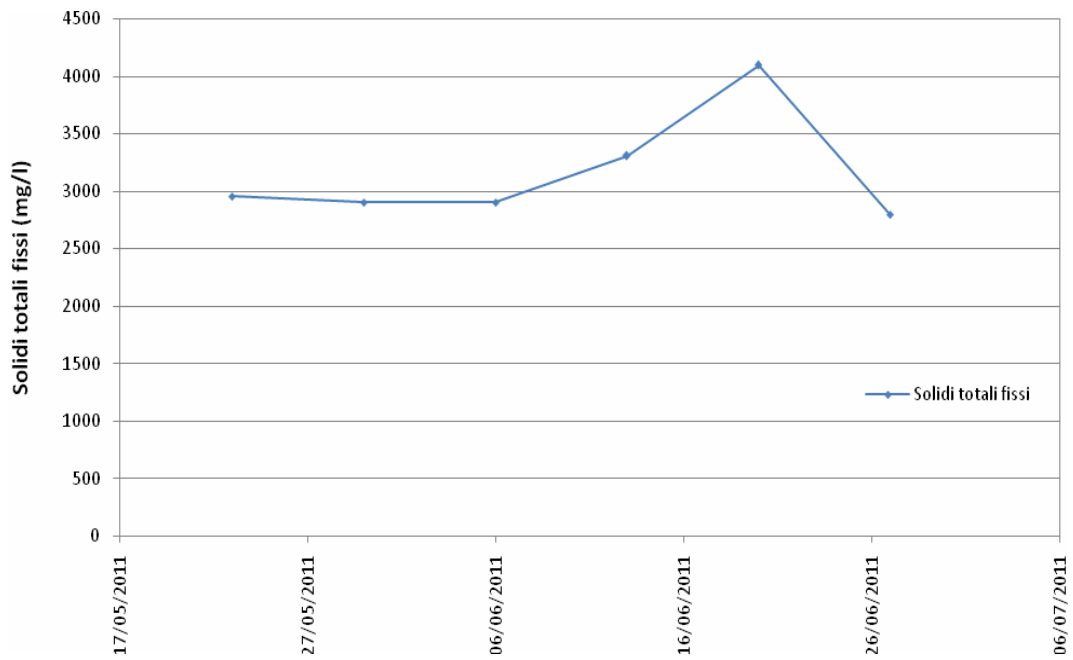


Fig. 4.18 Andamento Solidi totali fissi nel ricircolo fanghi della Linea 1 [mg/l]

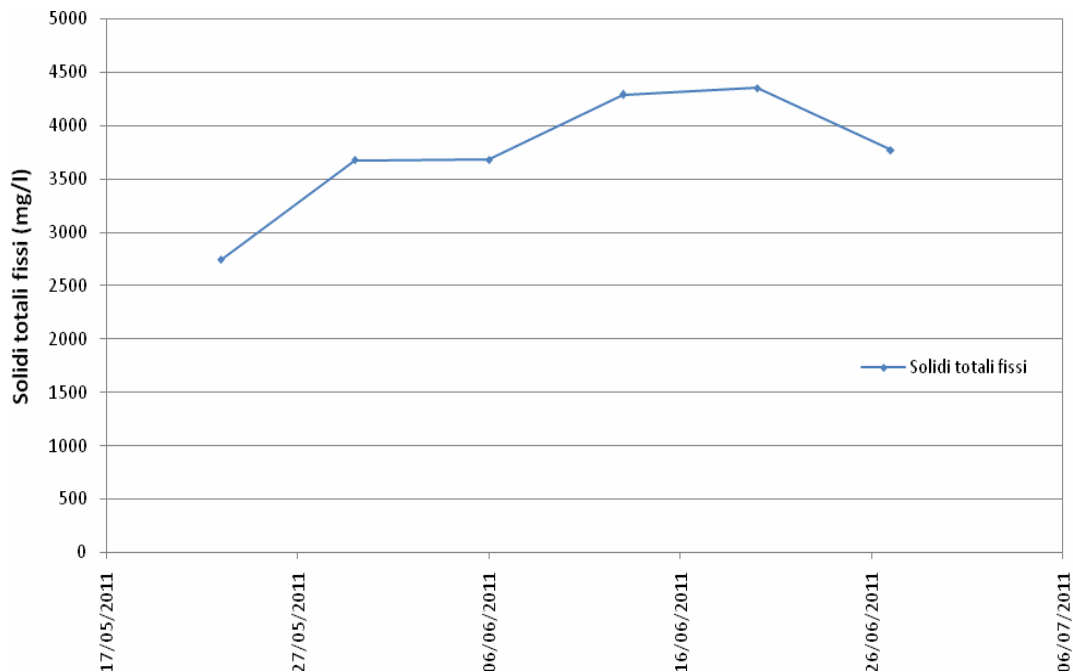


Fig. 4.19 Andamento Solidi totali fissi nel ricircolo fanghi della Linea 2 [mg/l]

Tab. 4.5 Valori medi dei Solidi totali fissi (residuo secco) nelle varie vasche e ricircoli [mg/l]

Solidi totali fissi	Ox 1 – Linea 1	Ox 2 - Linea 1	Ox 1 - Linea 2	Ox 2 - Linea 2	Ricircolo Linea 1	Ricircolo Linea 2
Unità di misura	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Valore medio	2620	2830	2828	3023	3161	3749

Prendendo i valori medi dei Solidi sospesi totali e dei Solidi totali fissi e facendo la differenza si può ricavare il valor medio dei Solidi volatili presenti nelle varie vasche e nei ricircoli. La tabella 4.6 riassume tali valori.

Tab. 4.6 Valori medi della differenza tra i Solidi sospesi totali e Solidi totali fissi nelle varie vasche e ricircoli.

Solidi volatili	Ox 1 – Linea 1	Ox 2 - Linea 1	Ox 1 - Linea 2	Ox 2 - Linea 2	Ricircolo Linea 1	Ricircolo Linea 2
Unità di misura	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Valore medio	3888	4017	3899	4063	4713	5517

L'indice SVI di Mohlmann è una misura della sedimentabilità di un fango in ml/g ed è il rapporto tra il volume del fango nel cono Imhoff dopo 30' e la concentrazione dei SST. Si considerano in buone condizioni i fanghi con SVI minore di 100 ml/g. Per l'impianto di Conselve i valori medi, minimi e massimi dell'indice SVI del fango nelle vasche di ossidazione biologica e nel ricircolo sono riportati nella Tabella 4.7.

Tab. 4.7 Valori medi, minimi e massimi dell'indice SVI nelle vasche di ossidazione biologica e nel ricircolo fanghi [ml/g]

SVI	Ox 1 - Linea 1	Ox 2 - Linea 1	Ox 1 - Linea 2	Ox 2 - Linea 2	Ricircolo Linea 1	Ricircolo Linea 2
Massimo	153	132	148	139	133	143
Medio	109	108	119	119	103	105
Minimo	75	72	84	92	85	89

Dai valori della tabella si vede che il fango dell'impianto di Conselve ha mediamente valori dell'indice SVI di poco superiori a 100 ml/g, con massimi fino a 153 ml/g segno di qualche occasionale difficoltà di sedimentazione.

La concentrazione dei Solidi sospesi totali nel fango di supero avviato alla Linea fanghi si calcola come valor medio tra le due concentrazioni nei ricircoli, dato che il fango di supero è estratto dal fondo dei sedimentatori:

$$(9266 + 7874) / 2 = 8570 \text{ mg/l (8,57 kg/m}^3\text{)}$$

Nell'impianto di Conselve durante il periodo studiato non sono stati estratti fanghi dai sedimentatori primari, non in funzione, quindi l'unico fango di supero estratto deriva dai sedimentatori secondari, e la sua portata media complessiva giornaliera è 220 m³/d. Tali fanghi vengono inviati al trattamento di digestione anaerobica. La quantità di solidi secchi (SST) provenienti dai sedimentatori secondari è calcolabile dal prodotto della portata volumetrica media giornaliera per la media delle concentrazioni di SST dei fanghi secondari dei due sedimentatori (8,57 kg/m³), ossia 1885 kg_{SST}/d. L'età del fango di supero è definita come rapporto tra la quantità totale di biomassa presente nell'impianto e la quantità giornaliera che viene spurgata, ossia:

$$\theta = \frac{V_{\text{vasche}} \cdot [SST]_{\text{vasche}}}{\Delta SST_{\text{sup}} + Q \cdot [SST]_{\text{out}}}$$

dove:

V_{vasche} = volume complessivo delle vasche [m^3];

$[SST]_{\text{vasche}}$ = concentrazione media del fango nelle vasche [$\text{kg}_{\text{SST}}/\text{m}^3$];

ΔSST_{sup} = quantità media di fango secondario estratto giornalmente [$\text{kg}_{\text{SST}}/\text{d}$];

Q = portata media di liquame trattato nell'impianto [m^3/d];

$[SST]_{\text{out}}$ = concentrazione di solidi sospesi nell'effluente depurato [$\text{kg}_{\text{SST}}/\text{m}^3$].

Pertanto in questo impianto l'età del fango di supero è:

$$\theta_a = (10474 \times 6,79) / (1885,4 + 7137 \times 0,01) = 36,3 \text{ d}$$

Tenendo conto della presenza della linea fanghi, l'età complessiva del fango si calcola come somma dell'età del fango della linea acque con l'età del fango della linea fanghi.

Considerando il volume del digestore anaerobico di 1371 m^3 e una concentrazione di fango pari a $8,57 \text{ kg}/\text{m}^3$, dato che il digestore non è in funzione, l'età del fango risulta:

$$\Theta_f = (1371 \times 8,57) / (1885,4 + 7137 \times 0,01) = 6 \text{ d}$$

Complessivamente:

$$\Theta = \Theta_a + \Theta_f = 42,3 \text{ d}$$

I fanghi, dopo essere passati dal digestore, sono inviati alla vasca di ispessimento. Assumendo una concentrazione di $8,57 \text{ kg}_{\text{SST}}/\text{m}^3$ e una portata di $2356 \text{ kg}_{\text{SST}}/\text{d}$ (valore che comprende la produzione di fango pari a $1885 \text{ kg}_{\text{SST}}/\text{d}$ più un coefficiente del 25% per tenere conto del fango chimico prodotto nella defosfatazione) andranno all'accumulo 275 m^3 di fango al giorno.

I fanghi ispessiti passano alla disidratazione meccanica dove, per mezzo di una centrifuga, raggiungendo una percentuale di secco pari al 28%.

Mettendo in relazione i dati ottenuti sperimentalmente con quelli di progetto possiamo costruire le seguenti tabelle:

Tab.e 4.8 Valori sperimentali e di progetto di SST [kg/m^3] e del fattore di carico organico [$\text{kg}_{\text{BOD}}/\text{Kg}_{\text{SST}} \text{ d}$]

Ossidazione biologica - Linea 1			
Dati di progetto		Dati sperimentali	
SST	Fc	SST	Fc
4,5	0,14	6,67	0,06

Ossidazione biologica - Linea 2			
Dati di progetto		Dati sperimentali	
SST	Fc	SST	Fc
4,5	0,14	6,9	0,06

Ricircolo - Linea 1			
Dati di progetto		Dati sperimentali	
SST	9	SST	7,8

Ricircolo - Linea 2			
Dati di progetto		Dati sperimentali	
SST	9	SST	9,26

Nel periodo considerato la concentrazione di SST nelle vasche di ossidazione n. 1 e n. 2 è superiore a quella di progetto. Considerando inoltre che la concentrazione di BOD₅ in ingresso è inferiore abbiamo che il fattore di carico organico risulta minore a quello di progetto per entrambe le linee:

$$F_c = \frac{Q \cdot [\text{BOD}_5]}{V \cdot [\text{SST}]}$$

[BOD₅] = concentrazione di BOD₅

[SST] = concentrazine di SST

$$[\text{BOD}_5]_{\text{progetto}} = 473 \text{ mg/l } (0,473 \text{ kg}/\text{m}^3)$$

$$[\text{BOD}_5]_{\text{sperimentale}} = 170 \text{ mg/l } (0,17 \text{ kg}/\text{m}^3)$$

E' stata calcolata prima un'età del fango di 42,3 d. Dai dati di progetto si può calcolate un'età del fango pari a 23 d in linea acque e un'età del fango di 6 d in linea fanghi.

Complessivamente si ha:

$$\Theta = \Theta_a + \Theta_f = 29 \text{ d}$$

In generale, maggiore è l'età del fango maggiore risulta il grado di stabilizzazione del fango stesso. L'età del fango effettiva è molto superiore rispetto a quella di progetto ed

è tipica di un fango molto stabilizzato, idoneo allo smaltimento o il compostaggio senza necessità di un ulteriore trattamento di stabilizzazione prima della disidratazione. L'impianto di Conselve attualmente non ha il digestore in funzione ma ciò non provoca alcun problema nella stabilizzazione del fango dato che si ha un'età di 36,3 d in uscita dalla linea acque.

Sul fango disidratato sono state anche determinate le concentrazioni di metalli, riportate in mg/kg_{SS} nella tabella 4.9 accanto ai limiti della D.G.R. 2241 del 9/8/2005. Tutti i metalli rientrano ampiamente nei limiti, e tutto il Cr è in forma trivalente.

Tab.e 4.9 Concentrazioni di metalli (mg/kg_{SS}) nei fanghi

Metallo	Limiti della D.G.R. 2241	Fango dopo centrifugazione
Cadmio	20	4
Cromo tot.	750	65
Nichel	300	41,5
Piombo	750	31,4
Zinco	2500	621

CONCLUSIONI

L'obiettivo del lavoro svolto presso l'azienda di servizi idrici integrati Centro Veneto Servizi S.p.a era verificare il funzionamento dell'impianto di depurazione di Conselve, in particolare per quanto riguarda la linea fanghi.

Per tale scopo sono state eseguite periodiche analisi in vari punti della linea acque e della linea fanghi: ingresso, uscita, vasche di ossidazione biologica, sedimentatori, ricircolo, ispessitore, centrifuga. Sono state inoltre acquisite dal gestore le portate di acque e fanghi dell'impianto.

Dal calcolo dei carichi inquinanti trattati dalla linea acque è risultato che l'impianto rimuove complessivamente 1142 kgBOD/d con una resa del 94%.

Il fango presente nelle vasche biologiche, che ha in media una concentrazione pari a 6,8 kg_{SST}/m³ di cui 4 kg_{SSV}/m³, ha un indice SVI pari in media a 114 ml/g, valore più alto di 100 ml/g ritenuto garanzia di buona sedimentabilità, ma comunque viene addensato efficacemente dai sedimentatori secondari fino a 8,5 kg_{SST}/m³ di cui 5,1 kg_{SSV}/m³.

I sedimentatori primari dell'impianto non sono in funzione per evitare che la sostanza organica in ingresso, inferiore ai valori previsti in fase di progetto, sia rimossa lì prima di raggiungere le vasche di predenitrificazione. Quindi l'unico fango estratto dalla linea acque è il fango secondario di supero dai sedimentatori secondari. La quantità estratta giornalmente è 220 m³/d ossia 1885 kg_{SST}/d in termini ponderali. Risulta così una produzione specifica di fango pari a 1,6 kg_{SST}/kg_{BOD}, e un'età del fango pari a 43 giorni. Se si considera il fango chimico prodotto dalla defosfatazione si ottiene una portata di 2356 kg_{SST}/d. Andranno così all'accumulo 275 m³/d con una produzione specifica di fango pari a 2 kg_{SST}/kg_{BOD}.

Questi valori indicano una buona stabilizzazione del fango, fatto particolarmente importante considerando che il digestore anaerobico non è attualmente in funzione, e ciononostante il fango può essere avviato direttamente all'ispessimento e alla disidratazione senza necessità di ulteriori trattamenti biologici.

Dopo l'ispessimento il fango esce con un contenuto di secco pari a 3%, e dopo la disidratazione con la centrifuga la sua percentuale di secco raggiunge il 28%; il fango disidratato viene inviato al compostaggio. Le analisi dei metalli eseguite sul fango disidratato hanno evidenziato che tutte le concentrazioni sono ampiamente al di sotto dei limiti di legge.

