

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE



TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA CHIMICA
CLASSE 10 INGEGNERIA INDUSTRIALE
(DM 509/99)

VERIFICA DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE
DELLA DITTA MITENI S.P.A.

Relatore: Ch.mo prof. Lino Conte

Correlatore: Ing. Luigi Falletti

Tutor aziendale: Ing. Mauro Cognolato

Laureando: Ivo Casalatina

Anno Accademico 2011-2012

Indice

Introduzione	1
Capito 1: Normative per la tutela delle acque	3
1.1 Il D.lgs. 152/2006	3
1.2 Il piano di tutela delle acque	4
1.3 Scarichi di acque reflue industriali in fognatura	5
Capitolo 2: Trattamenti di depurazione delle acque reflue industriali	9
2.1 Linea trattamento acque	9
2.1.1 Grigliatura	9
2.1.2 Dissabbiatura e disoleatura	10
2.1.3 L'equalizzazione	11
2.1.4 Trattamento con calce	11
2.1.5 Flocculazione	12
2.1.6 Sedimentazione primaria	12
2.1.7 Filtri a sabbia	13
2.1.8 Filtri a carbone	14
2.1.9 Abbattimento dei fosfati	15
2.1.10 Disinfezione	15
2.2 Linea Fanghi	16
2.2.1 Ispessitore	16
2.2.2 Filtropressa	17
2.2.3 Smaltimento del fango	17
Capitolo 3: Caratteristiche dell'impianto di depurazione	19
3.1 Premessa	19
3.2 Separazione degli scarichi	19

3.3 Stoccaggio acque basiche	20
3.4 Stoccaggio acque acide e equalizzazione	20
3.5 Sezione di neutralizzazione	21
3.6 Sezione di flocculazione	22
3.7 Sezione di sedimentazione	22
3.8 Sezione di filtrazione	23
3.9 Sezione d'ispessimento e filtrazione del fango	24
3.10 Scarico nel collettore consortile	25

Capitolo 4: Verifica della funzionalità dell'impianto di depurazione 27

4.1 Obbiettivo dello studio e parametri rilevati	27
4.2 Schema di processo	27
4.3 Dati di progetto	29
4.4 Dati dei campionamenti effettuati	31
4.5 Comparazioni	34

Conclusioni 37

Riferimenti Bibliografici 39

Ringraziamenti 41

Introduzione

Le normative ambientali stabiliscono limiti di emissione sempre più restrittivi per gli scarichi civili e in particolare industriali. Tali scarichi necessitano di accurati trattamenti depurativi, la cui scelta e valutazione è funzione dei tipi e delle quantità di inquinanti da rimuovere.

Obiettivo del tirocinio e della tesi è la valutazione del funzionamento dell'impianto di depurazione interno della ditta Miteni S.p.A., azienda specializzata nella chimica del fluoro che produce intermedi per un'ampia fascia di settori che vanno dall'agrochimica fino ai prodotti farmaceutici e prodotti performance. La Miteni è situata a Trissino e scarica i propri reflui nel depuratore consortile AVS, a cui sono allacciate numerose industrie chimiche e conciarie, i cui reflui necessitano di trattamenti già negli impianti interni dei rispettivi stabilimenti. Per lo studio del funzionamento dell'impianto di depurazione interno della Miteni saranno acquisiti i dati di portata del reflu e i risultati delle analisi chimiche nelle sezioni principali; saranno calcolati i principali parametri effettivi di funzionamento e confrontati con i valori di progetto.

Capitolo 1

Normative per la tutela delle acque

1.1 Il D.Lgs. 152/2006

Per la tutela delle acque si sono succedute nel tempo varie leggi e decreti legislativi. La più importante tuttora vigente è rappresentata dal D.Lgs. 152/2006 [1] che di fatto ha riscritto le regole su valutazione di impatto ambientale, difesa del suolo, tutela delle acque, gestione dei rifiuti, inquinamento atmosferico e risarcimento dei danni ambientali, abrogando o aggiornando la maggior parte dei previgenti provvedimenti a tutela dell'ambiente:

- Legge 319/76 sulla tutela delle acque (legge Merli);
- Legge 36/94 sulla risorsa acqua;
- D.Lgs. 152/99 sulla tutela dell'acqua.

Il D.Lgs. 152/2006 rappresenta quindi il provvedimento nazionale di riferimento in materia ambientale; è organizzato in sei parti, fra esse la Parte III riguarda la tutela delle acque dall'inquinamento ed è divisa in cinque titoli:

- Titolo I - Principi generali e competenze.
- Titolo II - Obiettivi di qualità
- Titolo III - Tutela dei corpi idrici e disciplina degli scarichi. Qui è compresa in particolare la disciplina degli scarichi, con la definizione delle aree sensibili e i limiti di emissione.
- Titolo IV - Strumenti di tutela. Questa parte riguarda i piani di gestione e piani di tutela delle acque, l'autorizzazione agli scarichi e il controllo degli scarichi. Ogni Regione, in base a quanto qui specificato, deve adottare il proprio Piano di Tutela delle Acque.
- Titolo V - Sanzioni. Comprende sanzioni amministrative e penali.

Nel 2010 entra in vigore un nuovo aggiornamento del D.lgs. 152/2006 e cioè il D.M. 08 novembre 2010 n. 260, che aggiorna i criteri per il monitoraggio e la classificazione dei corpi idrici superficiali e sotterranei dal 22 febbraio 2011.

Il DM 260/2010 sostituisce integralmente l'allegato I alla parte III del D.lgs. 152/2006, modificando in particolare il punto "Classificazione e presentazione dello stato ecologico", per renderlo conforme agli obblighi comunitari, attraverso l'inserimento di criteri tecnici per la classificazione dello stato dei corpi idrici.

1.2 Il Piano di Tutela delle Acque (PTA)

Il piano di tutela delle acque (PTA)[2] è la diretta conseguenza dell'articolo 121 del D.lgs. 152/2006. Il piano è volto a garantire il raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale e a definire le misure necessarie alla tutela qualitativa e quantitativa del sistema idrico. Il PTA comprende i seguenti tre documenti [3][4]:

a) "Sintesi degli aspetti conoscitivi":

- organizzazione attuale e stato della pianificazione nel settore idrico;
- descrizione generale dei bacini idrografici;
- corpi idrici oggetto del P.T.A.;
- sintesi delle pressioni e degli impatti esercitati dall'attività antropica sullo stato delle acque superficiali e sotterranee;
- reti di monitoraggio e classificazione dei corpi idrici significativi;
- analisi delle criticità per bacino idrografico.

Questa parte riassume la base conoscitiva con i suoi successivi aggiornamenti e comprende l'analisi delle criticità per le acque superficiali e sotterranee, per bacino idrografico e idrogeologico.

b) "Indirizzi di piano":

- obiettivi;
- individuazione delle aree sensibili, delle zone vulnerabili e delle aree di salvaguardia;
- misure per il raggiungimento degli obiettivi del Piano.

Questo documento contiene l'individuazione degli obiettivi di qualità e le azioni previste per raggiungerli.

c) "Norme tecniche di attuazione (N.T.A.)":

Contengono misure di base per il conseguimento degli obiettivi di qualità distinguibili nelle seguenti macro azioni:

- Misure di tutela qualitativa: disciplina degli scarichi;

- Misure per le aree a specifica tutela: zone vulnerabili da nitriti, aree sensibili, aree di salvaguardia delle acque destinate al consumo umano, aree di pertinenza dei corpi idrici;
- Misure di tutela qualitativa e di risparmio idrico.
- Misure per la gestione delle acque di pioggia e di dilavamento.

1.3 Scarichi di acque reflue industriali in fognatura

Gli scarichi in fognatura di acque reflue industriali devono sottostare a quanto previsto dal D.lgs.152/2006 e s.m.i. Tali scarichi devono rispettare le norme tecniche e i valori limite adottati dal gestore del Servizio Idrico Integrato, e qualora esso non provveda a stabilire propri limiti, sono da ritenersi validi i valori già fissati nella tabella 1 dell'allegato B (limiti per gli scarichi industriali) delle N.T.A. che coincidono con quelli previsti dalla tabella 3, colonna "Scarico in rete fognaria", dell'allegato 5 alla parte III del D.lgs. n.152/2006.

I gestori degli impianti di depurazione devono consegnare annualmente alla Provincia e all'Autorità Ambito Territorio Ottimale (AATO) un rapporto con un elenco degli insediamenti produttivi autorizzati allo scarico in fognatura pubblica. Il gestore ha la facoltà di stabilire limiti di emissione in fognatura superiori a quelli presenti nella tabella 1, colonna "Scarico in fognatura", dell'allegato B (Limiti per gli scarichi industriali) delle N.T.A., tranne che per le sostanze chimiche pericolose individuate nella tabella 3 dell'allegato C delle norme tecniche di attuazione. Tale decisione può essere adottata in relazione agli insediamenti produttivi allacciati alla fognatura e alla capacità depurativa, legata quindi alle tecnologie presenti, che possiede il depuratore del Servizio Idrico Integrato.

In tabella 1 sono riportati i limiti allo scarico per i reflui industriali in rete fognaria.

Tabella 1(°): Limiti di emissione in acque superficiali e in fognatura, applicati agli scarichi industriali

Numero parametro	PARAMETRI	U.M.	Scarico in rete fognaria **
1	pH		5,5 - 9,5
2	Temperatura	°C	(1)
3	Colore		Non accettabile con diluizione 1:40
4	Odore		Non deve essere causa di molestie
5	Materiali grossolani		Assenti
6	Solidi sospesi totali (2)	mg/L	≤ 200
7	BOD ₅ (come O ₂) (2)	mg/L	≤ 250
8	COD (come O ₂) (2)	mg/L	≤ 500
9	Alluminio	mg/L	≤ 2
10	Arsenico*	mg/L	≤ 0,5
11	Bario	mg/L	-
12	Boro	mg/L	≤ 4
13	Cadmio*	mg/L	≤ 0,02
14	Cromo totale*	mg/L	≤ 4
15	Cromo VI*	mg/L	≤ 4
16	Ferro	mg/L	≤ 0,005
17	Manganese	mg/L	≤ 4
18	Mercurio*	mg/L	≤ 0,3
19	Nichel*	mg/L	≤ 0,4
20	Piombo*	mg/L	≤ 0,03
21	Rame*	mg/L	-
22	Selenio*	mg/L	≤ 1
23	Stagno*	mg/L	≤ 1
24	Zinco*	mg/L	≤ 0,3
25	Cianuri totali (come CN)	mg/L	≤ 2
26	Cloro attivo libero	mg/L	≤ 2
27	Solfuri (come H ₂ S)	mg/L	≤ 1000
28	Solfiti (come SO ₃)	mg/L	≤ 1200
29	Solfati (come SO ₄) (3)	mg/L	≤ 12
30	Cloruri (3)	mg/L	≤ 10
31	Fluoruri	mg/L	≤ 30
32	Fosforo totale (come P) (2)	mg/L	≤ 0,6
33	Azzoto ammoniacale (come NH ₄) (2)	mg/L	≤ 30
34	Azoto nitroso (come N) (2)	mg/L	≤ 0,6
35	Azoto nitrico (come N) (2)	mg/L	≤ 30
36	Grassi e olii animali e vegetali	mg/L	≤ 40
37	Idrocarburi totali*	mg/L	≤ 10
38	Fenoli*	mg/L	≤ 1
39	Aldeidi	mg/L	≤ 2

40	Solventi organici aromatici*	mg/L	≤ 0,4
41	Solventi organici azotati*	mg/L	≤ 0,2
42	Tensioattivi totali	mg/L	≤ 4
43	Pesticidi fosforati*	mg/L	≤ 0,1
44	Pesticidi totali (esclusi fosforati)*	mg/L	≤ 0,05
	Tra cui:	mg/L	
45	Aldrin	mg/L	≤ 0,01
46	Dieldrin	mg/L	≤ 0,01
47	Endrin	mg/L	≤ 0,002
48	Isodrin	mg/L	≤ 0,002
49	Composti organici alogenati*	mg/L	≤ 2
50	Escherichia coli (4)	UFC/100 mL	-
51	Saggio di tossicità acuta (5)		Il campione non è accettabile quando, dopo 24 ore, il numero degli organismi immobili è uguale o migliore del' 80% del totale

(°) Tabella 3 Allegato 5 del D.lgs. n. 152/2006, Parte terza. * Parametri corrispondenti alla Tabella 5, Allegato 5 del D.lgs. n. 152/2006, Parte terza. ** i limiti per lo scarico in rete fognaria sono obbligatori in assenza di limiti stabiliti dal gestore del servizio idrico integrato ad approvati dall'amministrazione pubblica responsabile o in mancanza di un impianto finale di trattamento in grado di rispettare i limiti di emissione dello scarico finale. Limiti diversi devono essere resi conformi alle indicazioni della nota 2 alla Tabella 5 relativa a sostanze pericolose, oppure il gestore del servizio idrico integrato può adottare limiti diversi da quelli indicati in Tabella 3, purché lo scarico finale della fognatura rispetti la Tabella 3 oppure i limiti stabiliti dalle Regioni, ad esclusione dei parametri Cd, Cr VI, Hg, Pb, Solventi organici azotati, composti organici alogenati (compresi i pesticidi clorurati), pesticidi fosforati, composti organici dello stagno.

1. Per i corsi d'acqua la variazione massima fra temperature medie di qualsiasi sezione del corso d'acqua a monte e a valle del punto d'immissione non deve superare i 3°C. Su almeno metà di qualsiasi sezione a valle, tale variazione non deve superare 1°C. Per i laghi la temperatura dello scarico non deve superare i 30°C e l'incremento di temperatura del corpo recipiente non deve in nessun caso superare i 3°C oltre 50 m di distanza dal punto d'immissione. Per i canali artificiali, il massimo valore medio della temperatura dell'acqua di qualsiasi sezione non deve superare i 35°C. La condizione suddetta è subordinata all'assenso del soggetto che gestisce il canale. Per il mare e per le zone di foce di corsi d'acqua non significativi, la temperatura dello scarico non deve superare i 35°C e l'incremento di temperatura del corpo recipiente non deve in nessun caso superare i 3°C oltre i 1000 m di distanza dal punto d'immissione. Deve inoltre essere assicurata la compatibilità ambientale dello scarico con il corpo recipiente ed evitata la formazione di barriere termiche alla foce dei fiumi.
2. Per quanto riguarda gli scarichi di acque reflue industriali recapitanti direttamente in aree sensibili, la concentrazione di Fosforo totale e di Azoto totale deve essere rispettivamente di 1 e 10 mg/L.
3. I limiti non valgono per lo scarico in mare; in tal senso, le zone di foce sono equiparate alle acque marine costiere purché almeno sulla metà di una qualsiasi sezione a valle dello scarico non vengano disturbate le naturali variazioni della concentrazione di solfati o cloruri.
4. In sede di autorizzazione allo scarico dell'impianto per il trattamento di acque reflue urbane, da parte dell'autorità competente andrà fissato il limite più opportuno in relazione alla situazione ambientale e igienico- sanitaria del corpo idrico recettore e agli usi esistenti. Si consiglia un limite non superiore ai 5000 UFC/100 mL.
5. Il saggio di tossicità è obbligatorio. Oltre al saggio su *Daphnia magna* possono essere eseguiti saggi di tossicità acuta su *Ceriodaphnia dubia*, *Selenastrum capricornutum*, batteri bioluminescenti o organismi quali *Artemia salina* per scarichi di acqua salata, o altri organismi tra quelli che saranno indicati in sede di aggiornamento delle metodiche analitiche (che avviene mediante Decreto Ministeriale su proposta di ANPA ora APAT). In caso di esecuzione di più test di tossicità, si consideri il risultato peggiore. Il risultato positivo della prova di tossicità non determina l'applicazione diretta delle sanzioni, bensì l'obbligo di approfondimento delle indagini analitiche, la ricerca delle cause di tossicità e la loro rimozione.

Capitolo 2

Trattamenti di depurazione delle acque reflue industriali

Gli impianti industriali hanno problematiche molto differenti rispetto agli impianti civili. La causa di questa differenza risiede in una moltitudine di fattori:

- Portate molto variabili, spesso discontinue nella giornata e nella settimana;
- Reflui con caratteristiche determinate dalle produzioni in atto;
- Possibilità di inquinanti altamente pericolosi per l'ambiente e l'uomo;
- Rete di adduzione al depuratore generalmente molto corta.

La variabilità della portata e delle caratteristiche dei reflui industriali sono il risultato di più fattori: fermi impianto, lavaggi delle apparecchiature, cambi di produzione, lavorazioni in discontinuo, sospensione di attività per manutenzione. Quindi la progettazione e la gestione degli impianti di depurazione industriali devono essere sempre molto accurate.

2.1 LINEA TRATTAMENTO ACQUE

2.1.1 Grigliatura

La grigliatura ha lo scopo di trattenere i solidi grossolani come stracci, plastica, ramaglie e ghiaia; tali solidi infatti possono danneggiare le apparecchiature e causare intasamenti. Le griglie possono essere realizzate con barre di acciaio[5], con sistemi di pulizia generalmente automatica a pettine o doppio pettine o scalini. Nella sezione delle griglia la velocità di passaggio è compresa tra 0,6 - 0,9 m/s, valori adatti ad evitare la sedimentazione delle particelle e il trascinarsi dei solidi.

Le griglie vengono classificate secondo la luce di passaggio ossia la distanza tra le barre; in particolare si possono distinguere:

- grigliatura grossolana, con interasse compreso tra 5 e 10 cm;
- grigliatura media, con interasse compreso tra 2,5 e 5 cm;
- grigliatura fine, con interasse compreso tra 1 e 2,5 cm.

2.1.2 Dissabbiatura e disoleatura

La dissabbiatura è prevista nei depuratori collegati ad una rete fognaria che raccoglie acque di prima pioggia in cui sono presenti solidi inorganici come sabbie o terricci di diametro medio maggiore di 0,2 mm[6]. Le sabbie provocano forti abrasioni alle giranti delle pompe e inoltre possono sedimentare in zone di calma provocando intasamenti o accumuli, pertanto devono essere rimosse.

La struttura adibita alla sedimentazione delle sabbie è il dissabbiatore, in cui il refluo scorre a una velocità tra i 20-30 cm/s. La stazione di dissabbiatura è generalmente costruita in calcestruzzo armato, formata da due canali utilizzati in modo alternato per permettere la pulizia del fondale senza interrompere il flusso. I dissabbiatori più moderni sono aerati in direzione ortogonale al flusso del refluo in modo da far urtare le particelle di sabbia nelle pareti e facilitarne la deposizione.

Spesso la dissabbiatura è abbinata alla disoleazione. Grassi e oli presenti nelle acque possono ricoprire le particelle organiche con un velo impedendo il passaggio di ossigeno e di conseguenza la respirazione dei batteri aerobi. La disoleazione è impiegata anche in trattamenti depurativi industriali in cui sia importante il recupero di grassi o oli, per il loro riutilizzo o per limitarne i quantitativi allo scarico.

I disoleatori sono vasche dotate di una zona di calma e aerate in modo che gli oli risalgano alla superficie e si accumulino nella zona di calma, da cui verranno poi asportati tramite un carroponete con lama tipo “va e vieni” e accumulati in una tramoggia. Spesso questa fase viene abbinata alla dissabbiatura all’interno di un unico bacino aerato dotato sia della tramoggia di fondo per la raccolta della sabbia sia della zona di calma in superficie per la raccolta degli oli e dei grassi.

2.1.3 L'equalizzazione

La variabilità della portata e della composizione dei reflui industriali rende necessaria una stazione di equalizzazione a monte del depuratore, realizzata tramite vasche di compensazione. L'equalizzazione svolge un ruolo decisivo nella gestione e nell'efficienza delle successive stazioni dell'impianto, oltre a dare notevoli vantaggi di tipo economico.

L'equalizzazione ha il compito, fondamentale nei piccoli impianti, di uniformare la portata idrica e il carico inquinante alle stazioni a valle. Talvolta è necessaria una miscelazione al fine di evitare la sedimentazione delle particelle sedimentabili con conseguente diminuzione del volume utile nella vasca e con il rischio, nel caso di punta idrica, di sollevamento del sedimentato verso le stazioni successive.

I vantaggi derivanti dall'adozione di una stazione di equalizzazione sono:

- Una riduzione dei volumi delle vasche nei trattamenti successivi, in particolar modo nella sedimentazione primaria e secondaria, altrimenti dimensionate sulle punte di carico idrico;
- Gestione semplificata dei dispositivi adottati: l'impiego dei reagenti e coagulanti tramite pompe dosatrici è minore e meno variabile, evitando oscillazioni del pH ed una migliore formazione dei fiocchi di fango.

2.1.4 Trattamento con calce

Il trattamento con calce fa parte dei trattamenti chimico-fisici solitamente utilizzati in impianti industriali per la precipitazione di molti cationi e alcuni anioni. Come reagenti si utilizza in genere la calce viva (CaO), dosata tramite coclea in acqua per formare una sospensione che viene inviata al reattore. L'utilizzo della calce ha più obiettivi nel processo depurativo:

- precipitazione di idrati di magnesio;
- precipitazione di ortofosfati di calcio;
- neutralizzazione delle acque in caso di forte acidità;
- precipitazione di idrati di metalli pesanti;
- precipitazione di fluoruri.

La quantità di calce viene stabilita in base a prove eseguite sul refluo da trattare.

2.1.5 Flocculazione

Scopo della flocculazione è rendere sedimentabili le particelle colloidali, che si respingono per le cariche elettriche dello stesso segno, in genere negative, presenti sulla loro superficie. Con la flocculazione le sospensioni colloidali sono destabilizzate per azione di sali di metalli bivalenti o trivalenti. I reagenti maggiormente utilizzati sono il solfato di alluminio, il solfato ferroso o ferrico, il cloruro ferrico, il policloruro di alluminio e l'ossido di alluminio.

L'aggiunta del reagente avviene in condizioni di mescolamento veloce con tempi di residenza che non superano i 2 minuti; queste condizioni favoriscono l'intimo contatto tra il flocculante e le particelle colloidali, il fenomeno della destabilizzazione elettrica è molto veloce e avviene in frazioni di secondo. In una fase successiva si procede con un mescolamento lento per favorire la coagulazione delle particelle in fiocchi facilmente sedimentabili. Talvolta le due fasi vengono eseguite in un'unica vasca con caratteristiche intermedie per velocità di mescolamento e tempo di residenza. La coagulazione/flocculazione permette rendimenti depurativi fino al 70% del COD e del 90% dei solidi sospesi.

2.1.6 Sedimentazione primaria

La sedimentazione è basata sulla deposizione delle particelle per gravità in una vasca in condizioni di calma con fondo inclinato del 7-8%; le due situazioni ideali sono quella delle particelle granulari isolate (sedimentazione individuale) e delle particelle fiocose (sedimentazione di massa), nei decantatori reali si hanno condizioni intermedie. Il fango depositatosi nel fondo è convogliato verso il centro della vasca, dove è presente una canaletta che lo invia ai trattamenti della linea fanghi.

Il trattamento di decantazione è caratterizzato da due parametri principali, ossia il carico idraulico superficiale C_{is} e il tempo di residenza medio τ .

Il primo è definito come:

$$C_{is} = \frac{Q}{S}$$

dove:

C_{is} = Carico idraulico superficiale [m/h]

Q = Portata in ingresso [m³/h]

S = Area del sedimentatore [m²]

Dimensionalmente il carico idraulico superficiale è una velocità, ossia la velocità posseduta dal fluido lungo la risalita verso la canaletta di sfioro.

Il secondo è definito come:

$$\tau = \frac{V}{Q}$$

dove:

τ = Tempo di detenzione medio [h]

V = Volume della vasca [m³]

Q = Portata in ingresso [m³/h]

Il C_{is} e il τ sono i parametri idraulici principali che regolano il dimensionamento di un sedimentatore; essi devono rimanere rigorosamente entro certi limiti per evitare il sollevamento del letto di fango formatosi e il suo riversamento verso i trattamenti successivi. I valori usuali per il C_{is} non vanno oltre 1 m/h sulla portata di punta massima per quanto riguarda il C_{is} ; il tempo di detenzione è dell'ordine di alcune ore. La sedimentazione offre un rendimento depurativo oltre il 60% sui solidi sospesi totali.

2.1.7 Filtri a sabbia

La filtrazione a sabbia è posta normalmente a valle della sedimentazione e ha la funzione di affinare l'effluente del decantatore rimuovendo le particelle sfuggite. La filtrazione viene eseguita facendo scorrere l'acqua attraverso un letto di sabbia, di granulometria generalmente costante, dall'alto verso il basso; il diametro del granello di sabbia è compreso tra 1 e 2 mm. I solidi vengono trattenuti negli interstizi fra i granuli di sabbia e dalle particelle precedentemente depositate.

Affinché il filtro non s'intasi, con un eccessivo aumento delle perdite di carico e rilascio di solidi sospesi, si provvede a lavaggi in controcorrente. I lavaggi possono essere regolati con un controllo delle perdite di carico, secondo il volume di acqua che transita attraverso il filtro oppure a tempo. Una volta azionato il lavaggio in controcorrente, un flusso di acqua mista ad aria proveniente dal basso solleva il letto staccando e trascinando i solidi all'uscita, da cui poi sono ricircolati in testa all'impianto. I filtri a sabbia vengono generalmente installati a coppie, con un filtro in funzione e uno in controlavaggio per non interrompere la marcia dell'impianto. Il parametro principale di dimensionamento è il carico idraulico superficiale ossia il rapporto tra la portata e la superficie; varia in genere tra 10 – 20 m³/m²h.

2.1.8 Filtri a carbone

Il filtraggio su carboni attivi è utilizzato nei trattamenti chimico-fisici come affinamento del refluo prima dello scarico in fognatura pubblica o in acque superficiali. Il processo sfrutta l'enorme superficie attiva dei micropori (fino a 1000 m²/g) posseduta dal carbone per adsorbire sostanze quali cloro attivo o molecole organiche disciolte. Il carbone viene "attivato" grazie ad un trattamento di riscaldamento alla presenza di agenti chimici (acido cloridrico, cloro, anidride carbonica) che genera moltissimi micropori.

I filtri a carbone attivo sono molto simili ai filtri a sabbia; solitamente si usa porre una filtrazione rapida su sabbia prima del passaggio su carboni attivi, onde evitare che particelle in sospensione otturino i pori del carbone.

Quando i pori del carbone attivo sono saturi delle sostanza adsorbite, si provvede ad una rigenerazione con un moderato riscaldamento tramite gas inerte che strappa le sostanze dai carboni. La rigenerazione provoca un lieve calo dell'attività del carbone. Anche in questo caso per evitare l'arresto della marcia dell'intero impianto si installano i filtri a coppie, in modo da tenerne uno in marcia e l'altro pronto a subentrare al momento della rigenerazione. Nonostante tali accorgimenti è necessario cambiare l'intero letto filtrante ogni qual volta non riesca più a garantire un adeguato rendimento depurativo.

2.1.9 Abbattimento dei fosfati

I fosfati nelle acque reflue possono essere presenti sia come ortofosfati (PO_4^{3-}) sia in composti cristallini a base di Ca, Fe, Al oppure in forma organica. L'abbattimento dei fosfati può essere condotto sia per via biologica, sia attraverso un trattamento chimico-fisico basato sull'uso di sostanze che formano fosfati insolubili poi separati con la decantazione. Le sostanze maggiormente usate sono la calce, il solfato di alluminio (AlSO_4) e i sali di ferro come solfato ferroso, solfato ferrico o cloruro ferrico.

2.1.10 Disinfezione

La disinfezione è necessaria se il refluo uscente dai decantatori secondari presenta una forte carica batterica. Essa può essere condotta attraverso vari metodi:

- Clorazione. Rappresenta il metodo di gran lunga più utilizzato e si basa sull'uso di cloro gassoso, ipoclorito di sodio o biossido di cloro. Fra questi prodotti il biossido di cloro è il più efficace e anche quello che forma meno sottoprodotti nocivi.
- Ozonizzazione. L'ozono è prodotto tramite scariche elettriche ad alto voltaggio attraverso le quali si fa fluire aria o ossigeno. Il risultato è una molecola O_3 molto aggressiva in particolar modo verso le membrane cellulari dei microorganismi con cui viene a contatto. L'ozono ossida anche molecole organiche come i coloranti.
- Acido peracetico. Solitamente si trova diluito in soluzioni che vanno dal 5% al 15% a causa della particolare instabilità. È un potente biocida grazie alle alterazioni che riesce a provocare su strutture cellulari quali enzimi e membrane.
- Raggi UV. La radiazione UV ha un efficace potere battericida e non comporta l'utilizzo di sostanze chimiche, però la sua azione è fortemente influenzata dalla torbidità dell'acqua.

2.2 TRATTAMENTO FANGHI

2.2.1 Ispessitore

Una volta che il fango di supero viene estratto dal fondo della vasca di decantazione, è inviato alla linea trattamento fanghi; normalmente il fango di supero ha una portata molto minore rispetto al refluo trattato, quindi viene estratto in discontinuo.

Normalmente il fango viene dapprima avviato ad un accumulo per renderne omogeneo il flusso ai trattamenti successivi e quindi ad un ispessimento; queste due funzioni possono essere svolte anche dallo stesso ispessitore.

Questo trattamento è basato sugli stessi principi della decantazione: il fango viene posto in una vasca in condizioni di calma, si addensa sul fondo e l'acqua surnatante viene rimandata in testa all'impianto. Le differenze costruttive più evidenti tra la decantazione e l'ispessimento sono:

- la dimensione; l'ispessitore è molto più piccolo del decantatore, data la portata minore da trattare;
- in installazioni industriali può non essere necessaria un'opera in muratura e quindi si realizza un ispessitore in acciaio inox;
- il fondo dell'ispessitore è molto più inclinato, poiché si vuole formare un letto di fango più spesso;
- la lama raschiatrice che porta il fango alla tramoggia centrale è munita di paletti verticali con la doppia funzione di creare canali preferenziali per la risalita del liquido e rompere i fiocchi in modo da evitare un'eccessiva viscosità del fango.

I parametri di riferimento per il dimensionamento idraulico di questo trattamento come precedentemente illustrato sono:

- Carico idraulico superficiale: si assume un valore tra 0,5 – 1 m/min;
- Tempo di residenza medio; si assume un valore di 1-2 giorni, a seconda che l'ispessitore sia utilizzato prevalentemente come vasca di accumulo o con funzione di concentrazione del fango.

2.2.2 Filtropressa

La depurazione ha lo scopo di concentrare l'inquinante in sospensione e disciolto in acqua in modo da ottenere un materiale "palabile" di facile spostamento e smaltimento. Il fango di supero una volta concentrato nell'ispessitore ha il 95-98% di frazione acquosa, e per motivi pratici ed economici si deve procedere ad una disidratazione. La disidratazione, totale o parziale, è raggiungibile attraverso vari trattamenti, per lo più fisici, che si basano sull'evaporazione della frazione liquida o sulla spremitura del fango.

La filtropressa è costituita da una serie di piastre filtranti con altrettante tele su cui viene pompato il fango. Non potendo passare attraverso le tele, esso si concentrerà nella luce libera tra di esse, mentre l'acqua scorrerà in apposite canalette di raccolta e sarà ricircolata in testa all'impianto. Una volta terminata la spremitura, le piastre si apriranno e tramite adeguati sistemi di scuotimento il fango pressato cadrà in una tramoggia di raccolta.

Sono presenti alcune varianti di filtropressa in cui la spremitura viene effettuata tramite un fluido di servizio. Le piastre in cui arriva il fango vengono schiacciate da membrane contenenti un altro fluido (quasi sempre acqua) pompato ad alta pressione. Poiché per raggiungere tali prevalenze le pompe sono spesso volumetriche a pistoncini, questo tipo di macchina ha il vantaggio di pompare un liquido chiaro, senza solidi sospesi come l'acqua e non un fango, evitando fenomeni di battimento e rottura della pompa stessa.

Con la filtropressatura il fango può raggiungere il 25-30% di secco.

2.2.3 Smaltimento del fango

I fanghi trattati, a seconda della loro origine e delle caratteristiche, possono essere smaltiti o riutilizzati nei seguenti modi:

- per incenerimento;
- in discariche controllate per rifiuti speciali;
- su suolo adibito ad uso agricolo;
- su suolo adibito non ad uso agricolo;
- in impianti di compostaggio.

Per quanto riguarda la situazione italiana, si ha uno smaltimento in discarica che si aggira attorno al 55% del fango prodotto, mentre un 33% viene riutilizzato in agricoltura.

Per il solo riutilizzo dei fanghi in agricoltura, l'allegato C del D.lgs. 152/2006 consente lo spandimento dei fanghi sul suolo a beneficio dell'agricoltura e dell'ambiente. Il fango per essere riutilizzato in agricoltura deve sottostare a precisi parametri, come la quantità di azoto e fosforo, nonché caratteristiche di putrescibilità, contenuto molto basso di metalli e microorganismi patogeni.

Capitolo 3

Caratteristiche dell'impianto di depurazione

3.1 Premessa

Il depuratore Miteni, posto a sud dello stabilimento, entra in funzione nella prima metà del 2000 e va a sostituire il vecchio depuratore localizzato nella zona nord. La nuova installazione nasce dalla necessità di fare spazio a nuovi edifici e aumentare nel contempo la capacità depurativa in previsione di un incremento della produzione.

Il compito dello studio e della progettazione fu affidato ad una società esterna specializzata nel settore, che completò il collaudo funzionale nell'aprile del 2000. Nonostante le scelte fatte durante la progettazione e la messa in opera del depuratore, la conduzione dello stesso ha subito una ottimizzazione nella gestione per adattarsi alle esigenze della produzione e conseguentemente al tipo di refluo da trattare. Di seguito sarà esposta la configurazione attuale dell'impianto; essa differisce marginalmente rispetto a quella pianificata nel progetto in particolare per la separazione degli scarichi: questi, anziché essere divisi in acque acide concentrate e acque acide diluite, sono invece divisi tra acque acide e acque basiche.

3.2 Separazione degli scarichi

Le acque in arrivo al depuratore sono divise in acide e basiche. Le acque acide ($\text{pH}=1\div 2$)[8] presentano concentrazioni elevate di acido fluoridrico e cloridrico, oltre ad una serie di tensioattivi. Le acque basiche, che sono solo una piccola parte della portata totale, provengono dall'abbattimento dei fumi nel forno presente nel reparto elettrofluorurazione (ECF) oltre che da alcuni processi nella zona fluoro aromatici (FA). Per evitare la formazione di sali, che comprometterebbero le condutture, le due linee sono tenute divise e miscelate adeguatamente nel primo reattore (R-01) in cui avviene la neutralizzazione con soda.

3.3 Stoccaggio acque basiche

Le acque basiche (pH=11÷12), come già detto, contribuiscono poco alla portata, tuttavia si preferisce stoccarle e dosarle opportunamente nel primo reattore di neutralizzazione. A causa delle caratteristiche particolarmente corrosive di tali acque, il serbatoio utilizzato è costruito in vetroresina e rivestito internamente con materiali resistenti ai composti fluorurati. Il serbatoio ha in dotazione un troppo pieno di emergenza che permette lo scarico nella vasca di emergenza, una pompa di ricircolo che evita la sedimentazione dei solidi sospesi e permette un adeguata miscelazione. Il dosaggio delle acque basiche è a portata fissata, controllato da un misuratore di portata collegato alla pompa di dosaggio.

3.4 Stoccaggio acque acide ed equalizzazione

Il refluo acido, che corrisponde alla quasi totalità dell'acqua da trattare, proviene da molte zone dell'impianto, e comprende:

- acque di processo da reparti e laboratori;
- rilancio da pozzetti interni ai reparti;
- acque acide di lavaggio fumi dei due inceneritori presenti;
- acque da lavaggio apparecchiature e pavimenti;
- acque di prima pioggia.

Attraverso le apposite tubazioni in materiale plastico o tramite condotta interrata, le acque di rifiuto arrivano alla vasca di accumulo-equalizzazione. Tale vasca ha un volume di 400 m³ ed è stata in seguito divisa in due V-04A e V-04B[9]. La vasca di equalizzazione è dotata di agitatori elettromeccanici a pale, regolatore di livello, e di un sistema di troppo pieno che consente di riversare le acque in eccesso verso la vasca di emergenza che funge anche da accumulo per le acque di prima pioggia provenienti dalle aree convogliate. Una pompa preleva il refluo dalla vasca di equalizzazione e lo invia al reattore R-01, che è il primo dei reattori di neutralizzazione; la sua portata massima in caso di pioggia è 70 m³/h, valore doppio della normale portata di refluo. Il misuratore di livello collegato alla pompa ordina lo spegnimento della stessa se il livello nella vasca scende sotto un minimo.

3.5 Sezione di neutralizzazione

Le acque acide provenienti dalla vasca di equalizzazione, e dal serbatoio di raccolta delle acque basiche sono miscelate nel primo reattore di neutralizzazione R-01 e in seguito riversate per caduta nel secondo, R-02. Poiché in questa vasca il refluo ha ormai un pH vicino alla neutralità, non è presente il rivestimento in vetroresina installato in altri serbatoi. Ogni reattore del volume di 25 m³, che assicura un tempo di ritenzione medio di 21 minuti, superiore al valore minimo previsto (15 minuti). Le due vasche in serie assicurano, anche singolarmente, un tempo di reazione adeguato anche in caso di manutenzione di una delle due.

Le vasche di neutralizzazione sono dotate di agitatore elettromeccanico a pale, valvola pneumatica per il dosaggio della calce e sonda del pH.

Nella prima vasca di reazione sono dosati due reagenti in funzione della portata in ingresso e in base al pH all'interno del reattore:

- Coagulante a base di policloruro di alluminio;
- Sospensione di idrossido di calcio o latte di calce.

Il coagulante è dosato tramite una pompa dalla portata massima di 35 l/h in una quantità proporzionale alla portata di refluo in ingresso all'impianto. Nel progetto si prevedeva lo stoccaggio del coagulante in un serbatoio di 10 m³ che dava una autonomia di 70 giorni con un dosaggio di 6 l/h; ma con tali tempi di detenzione nei serbatoi, in particolar modo nel periodo invernale il coagulante tendeva a cerificare con conseguenti problemi alle pompe. Si è allora deciso di utilizzare una vasca trasportabile di 1 m³ che offre un'adeguata autonomia in regime di portata standard senza un eccessivo ristagno.

Il secondo reagente è la sospensione di calce e ha più funzioni: neutralizzazione delle acque acide ad un pH compreso tra 5,5 e 9,5 (limite consentito allo scarico), precipitazione dei fluoruri come CaF₂ e dei solfati come CaSO₄. La regolazione del latte di calce è effettuata tramite due valvole collegate a misuratori di pH. L'idrossido di calcio è stoccato in un silos da 80 m³ e dosato tramite coclea in un serbatoio di miscelazione e maturazione. Nella relazione tecnica descrittiva e nello schema a blocchi è suggerita una sospensione al 5% di calce, ma da prove sul campo si è ritenuta migliore una concentrazione compresa tra il 2÷2,5%. Questa concentrazione è ritenuta migliore perché evita oscillazioni del pH della vasca di neutralizzazione e evita fenomeni di intasamento delle valvole e delle tubazioni.

Il serbatoio di miscelazione della calce è posto prima del serbatoio di maturazione da cui essa viene dosata nel reattore. In caso di avaria della pompa dosatrice, la pompa usata per trasferire il latte di calce dal primo al secondo serbatoio può essere utilizzata come nuova pompa dosatrice senza interrompere la marcia dell'impianto.

3.6 Sezione di flocculazione

All'uscita dei reattori R-01 e R-02 il refluo va per caduta nelle vasche di flocculazione, poste una di seguito all'altra, e del volume di 3 m³ ciascuna. Tali vasche (R-03 e R-04) sono costruite in cemento armato e sono dotate di un agitatore meccanico per garantire la miscelazione.

In tali reattori viene dosato un polielettrolita che ha lo scopo di agglomerare i fiocchi di fango favorendo la sedimentazione successiva. La soluzione di polielettrolita viene preparata a partire dal reagente solido in 3 bacini miscelati; l'ultima vasca è tenuta come accumulo per dosare la soluzione formata ai reattori R-03 e R-04. Tali vasche sono dotate di misuratore di livello collegato alle pompe, agitatore meccanico a pale, pompa.

3.7 Sezione di sedimentazione

All'uscita dei reattori l'effluente neutralizzato entra nella vasca di sedimentazione circolare costruita in cemento armato e avente superficie 113 m², altezza 4 m e volume 330 m³.

I parametri idraulici di questo sedimentatore, carico idraulico superficiale e tempo di residenza, calcolati sulla punta di 70 m³/h sono:

$$C_{is} = \frac{70}{113} = 0,62 \frac{m}{h}$$

Il C_{is} , carico idraulico superficiale, risulta ampiamente entro il valore di 1 m/h, usato da molti progettisti come valore massimo di riferimento.

$$\tau = \frac{330}{113} = 4,7 \text{ ore}$$

Il τ , tempo di residenza medio, rientra nei parametri usati in molti sedimentatori.

La vasca di sedimentazione è dotata di:

- Motoraschiatore a motore centrale con la funzionalità di raccogliere il materiale sedimentato e accompagnarlo verso la canaletta di asportazione fanghi al centro della vasca;
- Pompa per il trasporto del materiale sedimentato verso la vasca di ispessimento nella linea fanghi;
- Misuratore di portata del chiarificato in uscita, verso i filtri a sabbia.

La pompa per l'estrazione del fango dal fondo della vasca ha una portata di 10 m³/h ma funziona ad intervalli regolari, 5 minuti di marcia e 10 minuti di arresto, per un totale di 3 m³/h di media. All'uscita del decantatore è presente una stazione di controllo della qualità dell'effluente costituita da una vasca in cemento armato del volume di 6 m³ ove sono posti un misuratore di pH, un misuratore di torbidità e un misuratore di portata.

I controlli sono eseguiti per regolare il funzionamento dell'impianto in particolare delle sezioni di neutralizzazione e chiariflocculazione. Nel caso il chiarificato non risponda alle caratteristiche previste, è automatico il blocco dell'impianto onde evitare il rapido intasamento dei filtri a sabbia.

3.8 Sezione di filtrazione

La sezione di filtrazione è l'unica superstite del vecchio impianto di depurazione, dimensionata per una portata di 70 m³/h e ancora compatibile con le nuove esigenze di impianto. Essa è comprensiva di due filtri a sabbia e di tre coppie di filtri a carbone attivo.

I filtri a sabbia, come quelli a carbone, sono alimentati alternativamente: mentre un filtro è in fase di controlavaggio, l'altro è in marcia e viceversa, questo sempre per garantire la costante funzionalità dell'impianto. Quando le perdite di carico aumentano, per ripristinare le condizioni ottimali all'interno del filtro a sabbia, il sistema provvede al controlavaggio con acqua di rete e un flusso di aria compressa.

I filtri a carbone, oltre al normale controlavaggio con acqua di rete, sono periodicamente rigenerati con vapore acqueo; questo provoca il desorbimento delle sostanze adsorbite, e dopo essere stato condensato in uno scambiatore di calore è inviato in un separatore di fase che opera una separazione in tre fasi distinte: fase organica leggera, fase organica pesante, acqua inquinata da solventi. L'acqua di rete destinata ai controlavaggi è stoccata nel serbatoio V-09 dal volume di 150 m³. L'acqua di controlavaggio contenente i solidi staccatisi dai granuli di sabbia viene fatta ricircolare in testa all'impianto nella prima vasca di neutralizzazione (R-01).

3.9 Sezione d'ispessimento e filtrazione del fango

Il fango di supero in uscita dal sedimentatore è rilanciato dalla pompa P-08 al centro dell'ispessitore con una portata media di 3 m³/h. L'ispessitore, viste le minori dimensioni rispetto al sedimentatore, è costruito in acciaio al carbonio verniciato anziché in muratura, ed è sopraelevato rispetto al piano campale. L'ispessitore ha una superficie utile di 15,8 m², un'altezza di 5,2 m e un volume totale di 60 m³; esso è dotato di un motoraschiatore con motore centrale che convoglia il fango concentrato verso la successiva stazione della linea fanghi, e di un torbidimetro per il controllo di eventuali fuoriuscite di fango. Il fango addensato è inviato alla filtropressa e alla conseguente disidratazione, il chiarificato viene invece fatto ricircolare nel primo reattore (R-01).

I parametri idraulici dell'ispessitore sono i seguenti:

$$C_{is} = \frac{3}{15,8} = 0,19 \frac{m}{h}$$

$$\tau = \frac{60}{3} = 20 \text{ h}$$

Il fango addensato viene inviato alla filtropressatura; il liquido surnatante viene inviato alla vasca di ripresa fanghi munita di una pompa sommersa, e assieme all'eventuale materiale flottato in superficie del decantatore viene inviato alla prima vasca di neutralizzazione(R-01).

3.10 Scarico nel collettore consortile

In seguito alla filtrazione su carboni attivi, l'effluente depurato passa in un canale di calma dove sono presenti 2 stazioni preposte al controllo qualità e uno sfioratore a "V" per la misurazione della portata in uscita. Il campionamento per il controllo del livello di inquinanti residui è eseguito con media oraria o con spillamento istantaneo. Le finalità del controllo sono duplici: la prima è monitorare il normale funzionamento dell'impianto di depurazione, la seconda è evidenziare accidentali fuoriuscite di sostanza inquinante dalla zona produttiva. Il secondo dei due campionatori è fiscale, di conseguenza piombato, e serve all'autorità di competenza per controllare i parametri allo scarico.

Capitolo 4

Verifica della funzionalità dell'impianto di depurazione

4.1 Obiettivo dello studio e parametri rilevati

Obiettivo di questo studio è verificare l'efficienza dell'impianto di depurazione dello stabilimento Miteni, in particolare confrontando i dati di progetto con i dati effettivi nelle attuali condizioni di esercizio.

Per questa verifica verranno controllati i principali inquinanti presenti nelle acque reflue trattate al neutralizzatore. Il progetto iniziale dell'impianto era basato su alcune specie chimiche in particolare: fluoruri, cloruri, solfati, nitriti e nitrati. A tali inquinanti, tuttora presenti nei reflui grezzi dello stabilimento, se ne sono aggiunti altri che hanno assunto importanza via via crescente nel tempo a seguito delle produzioni in corso; questi sono in particolare il COD e i Tensioattivi totali.

4.2 Schema di processo

In figura 1 viene riportato lo schema di processo o PFD. Il PFD è un utile rappresentazione grafica che illustra i principali trattamenti e gli stream presenti in impianto. In tale schema vengono riportate con alcune sigle le principali apparecchiature, le lettere indicano il tipo di apparecchiatura mentre il numero le identifica in ordine progressivo:

- “V-xx” principali serbatoi o vasche (Vessel);
- “R-xx” reattori (Reactor);
- “S-xx” stazioni di filtrazione (Separator);
- “E-xx” scambiatori di calore (Exchanger);
- “P-xx” pompe (Pumps);
- “M-xx” agitatori (Mixer);

- “LD-xx“ misuratore di livello;

Per una maggiore comprensione si è deciso di indicare i flussi con diverse colorazioni:

-  Acqua di rete;
-  Acque da depurare;
-  Acque depurate;
-  Fanghi a smaltimento;

legenda:

- V-01, serbatoio acque basiche;
- V-04, vasca di equalizzazione o raccolta acque acide;
- V-05, serbatoio di stoccaggio coagulante;
- V-06, sedimentatore;
- V-07, ispessitore;
- V-08, ripresa fanghi da filtropressa;
- V-09, serbatoio acqua di rete per controlavaggio dei filtri;
- V-10, silos per stoccaggio calce;
- V-11, vasca preparazione latte di calce;
- V-12, vasca per dosaggio latte di calce;
- V-13, IBC(Intermediate Bulk Container) per stoccaggio flocculante;
- V-15, vasca di ripresa chiarificato;
- V-16, fiorentina per la separazione di fase dell'organico;
- V-17, pozzetto scarico e ripresa effluente depurato;
- V-18, serbatoio per travaso flocculante;
- V-19, serbatoio preparazione flocculante;
- V-20, serbatoio dosaggio flocculante;
- R-01/02, prima e seconda vasca di neutralizzazione;
- R-03/04, prima e seconda vasca di flocculazione;
- S-01, filtropressa;
- S-03/04, filtri a sabbia;
- S-05/06/07/08/09/10, filtri a carbone;
- Scambiatore di calore per condensare il vapore acqueo per rigenerazione filtri a carbone.

4.3 Dati di progetto

Il PFD è sicuramente un'utile rappresentazione del processo e delle principali utenze ad esso collegate, tuttavia per una più agevole trattazione dei dati relativi alle concentrazioni calcolate in fase di progettazione, è più utile il BFD (Block Flow Diagram). Il BFD, raffigurato in figura 2, è una rappresentazione meno dettagliata ma permette di avere, grazie alla sua semplicità, un immediata visione dei principali flussi e ricircoli.

Di seguito viene riportato lo schema a blocchi dell'impianto con le tabelle riassuntive delle concentrazioni e dei carichi inquinanti di progetto. Le numerazioni presenti nello schema a blocchi fanno riferimento ai principali flussi.

Il tipo di trattamento scelto e il dimensionamento del depuratore è stato fatto per abbattere principalmente i fluoruri e i solfati. La tabella 1 mostra che la concentrazione e le portate ponderali degli inquinanti (fluoruri e solfati) rimangono costanti dopo il trattamento con calce. Come ipotesi iniziale, si può assumere che la reazione di neutralizzazione con il latte di calce decorra completamente all'interno dei reattori R-01÷04, questa ipotesi è stata usata anche in fase di progettazione nella determinazione delle concentrazioni nei vari flussi dell'impianto di depurazione.

Dall'andamento delle concentrazioni e portate ponderali illustrate nella Tabella 1 si può notare come nei reattori avviene un consistente abbattimento dei fluoruri e solfati, mentre essi non svolgono un'azione incisiva nei confronti degli altri inquinanti. I filtri a sabbia, avendo la principale funzione di trattenere i solidi sospesi e le particelle non sedimentabili sfuggite ai trattamenti precedenti, risultano sostanzialmente influenti nei confronti delle sostanze disciolte. I filtri a carbone invece risultano importanti nell'abbattimento dei tensioattivi totali.

Di seguito viene riportata la tabella 2[7], riferita al flusso 12 dello schema a blocchi e relativa allo scarico secondo le previsioni teoriche.

Tab. 2: Concentrazioni degli inquinanti in uscita dal depuratore secondo progetto.

	Acque in uscita	
COD	mg/l	--
Fluoruri F⁻	mg/l	8,68
Cloruri Cl⁻	mg/l	1304
Solfati SO₄⁻²	mg/l	1278
Nitrati NO₃⁻	mg/l	75
Nitriti NO₂	mg/l	0,9
Tensioattivi Totali	mg/l	--

È possibile calcolare un'efficienza di abbattimento da progetto. Nella tabella 3 viene riportato il rendimento depurativo dei reattori R-01÷04, che coincide con il rendimento depurativo dell'impianto.

Tab. 3: Rendimenti depurativi previsti secondo basi di progetto.

	Rendimenti depurativi
	R-01÷04
COD	--
Fluoruri F⁻	99,3 %
Cloruri Cl⁻	10,6 %
Solfati SO₄⁻²	42,5 %
Nitrati NO₃⁻	11%
Nitriti NO₂	14%
Tensioattivi Totali	--

4.3 Dati dei campionamenti effettuati

Nell'impianto vengono eseguiti giornalmente campionamenti ed analisi dei parametri inquinanti in uscita, mentre i valori in ingresso sono controllati saltuariamente. Le acque in ingresso sono suddivise tra acque acide e acque basiche, e come già detto nel capitolo 3 tali acque vengono miscelate successivamente nel primo reattore di neutralizzazione. Di seguito vengono riportate le concentrazioni medie rilevate nel periodo di campionamento.

Tab. 4: Concentrazioni degli inquinanti nelle acque acide stoccate nella vasca di equalizzazione V-04.

	Acque Acide	
COD	mg/l	149
Fluoruri F⁻	mg/l	2154,9
Cloruri Cl⁻	mg/l	1325,5
Solfati SO₄⁻	mg/l	1890,6
Nitrati NO₃⁻	mg/l	12,8
Nitriti NO₂	mg/l	0,1
Tensioattivi Totali	mg/l	17

Tab. 5: Concentrazioni degli inquinanti nelle acque basiche nel serbatoio V-01.

	Acque basiche	
COD	mg/l	54500
Fluoruri F⁻	mg/l	11473,5
Cloruri Cl⁻	mg/l	90,2
Solfati SO₄⁻	mg/l	634,5
Nitrati NO₃⁻	mg/l	5
Nitriti NO₂	mg/l	0
Tensioattivi Totali	mg/l	122

Tali concentrazioni fanno riferimento al refluo presente rispettivamente nelle vasche V-04 e nel serbatoio V-01. Le due acque hanno una portata media giornaliera di:

- 840 m³/die (35 m³/h) per le acque acide;
- 3 m³/die (0,12 m³/h) per le acque basiche;

Il refluo viene in seguito miscelato nel reattore R-01 con una portata complessiva di 35,12 m³/h avente le concentrazioni riportate in tabella 6:

Tab. 6: Concentrazioni degli inquinanti nella portata in ingresso al reattore R-01.

	Refluo in ingresso	
COD	mg/l	342,5
Fluoruri F⁻	mg/l	2188
Cloruri Cl⁻	mg/l	1321
Solfati SO₄⁻	mg/l	1913
Nitrati NO₃⁻	mg/l	12,8
Nitriti NO₂	mg/l	0,1
Tensioattivi Totali	mg/l	17,4

Da una prima analisi si può notare che le acque basiche, nonostante una portata limitata (0,12 m³/h pari allo 0,34% della portata in ingresso), danno un apporto notevole in termini di COD. Infatti nel refluo derivante dalla miscelazione delle acque acide con quelle basiche la concentrazione di COD è molto superiore a quella della sola componente acida passando da 149 mg/l a 342 mg/l con un aumento del 130 %. Si registrano anche aumenti, sia pure minori, dei fluoruri e dei solfati.

Di seguito vengono riportate, nella tabella 7 e tabella 8, le concentrazioni del refluo in uscita dal sedimentatore (punto 6 dello schema a blocchi) e dal depuratore stesso (scarico finale e punto 12 dello schema a blocchi).

Tab. 7: Concentrazioni degli inquinanti nella portata in uscita dal decantatore.

	Acque in uscita decantatore	
COD	mg/l	565
Fluoruri F⁻	mg/l	36,1
Cloruri Cl⁻	mg/l	612
Solfati SO₄⁻	mg/l	694
Nitrati NO₃⁻	mg/l	6,1
Nitriti NO₂	mg/l	0
Tensioattivi Totali	mg/l	18,1

È da notare che la portata in uscita dal sedimentatore ha una concentrazione di COD e tensioattivi superiore alla portata in ingresso; questo è imputabile agli

spandimenti raccolti in un pozzetto e rilanciati da una pompa al centro del sedimentatore, by-passando le vasche di reazione (R-01/02/03/04); in tal modo gli spandimenti si miscelano con l'acqua che già ha subito il trattamento con calce. La tabella 8 riporta le concentrazioni rilevate in uscita dal depuratore (punto 12 dello schema a blocchi). Un'altra causa di tale aumento può essere attribuito al metodo di campionamento, nel nostro caso un campionamento istantaneo, che non tenendo conto del tempo di ritenzione medio del refluo nell'impianto, offre un'analisi in uscita dal sedimentatore di alcune ore precedenti.

Tab. 8: Concentrazioni degli inquinanti nella portata in uscita dal depuratore.

	Acque in uscita	
	mg/l	
COD	mg/l	600
Fluoruri F⁻	mg/l	14,6
Cloruri Cl⁻	mg/l	592
Solfati SO₄⁻⁻	mg/l	634,5
Nitrati NO₃⁻	mg/l	5
Nitriti NO₂	mg/l	0
Tensioattivi Totali	mg/l	3,64

Si nota come nella realtà sia il decantatore sia i filtri riescano comunque a svolgere un'azione depurativa con eccezione di COD e tensioattivi, per il fatto che la reazione prosegue anche al di fuori dei reattori e per fenomeni secondari non sempre chiari. Nella tabella 9 sono riportate le efficienze depurative nei principali punti di interesse dell'impianto.

Tab. 9: Rendimenti depurativi nel mese di dicembre in uscita dal sedimentatore e in uscita dai filtri a carbone.

	Rendimenti depurativi	
	R-01÷04 e V-06	S-03÷10
COD	0%	0%
Fluoruri F⁻	98,4%	59,6%
Cloruri Cl⁻	53,7%	3,3%
Solfati SO₄⁻⁻	63,7%	8,6%
Nitrati NO₃⁻	52,3%	18,0%
Nitriti NO₂	100,0%	--
Tensioattivi Totali	0%	79,9%

La prima colonna fa riferimento al rendimento combinato delle vasche di reazione e del decantatore, mentre la seconda colonna fa riferimento al rendimento depurativo dei filtri a sabbia e dei filtri a carbone. Il rendimento depurativo del parametro COD è zero, poiché è presente un aumento del COD stesso tra uscita e entrata per in motivi sopra descritti. L'abbattimento dei nitriti è del 100%, poiché le piccole quantità in ingresso vengono rimosse completamente e all'uscita la loro concentrazione è sotto il limite di rilevabilità.

4.4 Comparazione

Dopo aver reperito i dati di progetto e i dati relativi al funzionamento attuale è possibile fare un confronto diretto. Le tabelle 10, 11, 12 mettono in relazione le previsioni e i dati reali delle portate ponderali in entrata, uscita e il rendimento teorico del depuratore confrontato con quello rilevato sul campo.

Tab. 10: Comparazione tra le portate ponderali orarie dei singoli inquinanti in ingresso al depuratore.

	Portate ponderali	
	Progetto Kg/h	Attuale Kg/h
COD	--	12,0
Fluoruri F⁻	46,787	76,84
Cloruri Cl⁻	52,5	46,4
Solfati SO₄²⁻	79,5	67,18
Nitrati NO₃⁻	3	0,45
Nitriti NO₂	0,038	Tracce
Tensioattivi Totali	--	0,61

Tab. 11: Comparazione tra le portate ponderali orarie dei singoli inquinanti in uscita dal depuratore.

	Portate ponderali	
	Progetto Kg/h	Attuale Kg/h
COD	--	21,1
Fluoruri F⁻	0,34	0,51
Cloruri Cl⁻	51	20,8
Solfati SO₄²⁻	50	22,28
Nitrati NO₃⁻	2,952	0,18
Nitriti NO₂	0,038	0
Tensioattivi Totali	--	0,13

Tab. 12: Comparazione tra le efficienze di abbattimento dei singoli inquinanti nel depuratore.

	Rendimenti depurativi	
	Progetto	Attuale
COD	--	0%
Fluoruri F⁻	99,30%	99,30%
Cloruri Cl⁻	10,60%	55,20%
Solfati SO₄⁻⁻	42,50%	66,80%
Nitrati NO₃⁻	11%	60,90%
Nitriti NO₂	14%	100%
Tensioattivi Totali	--	79,10%

Dalla tabella 10 si nota come le portate ponderali in ingresso, a fronte dei cambiamenti descritti, siano cambiate nel corso degli anni:

- Aumento del 64% nei fluoruri;
- Diminuzione del 12% nei cloruri;
- Diminuzione del 16% nei solfati;
- Diminuzione del 85% nei nitrati;

Come conseguenza del cambiamento delle concentrazioni in ingresso si ha, rispetto ai parametri di progetto, un aumento dei fluoruri in uscita, mentre gli altri inquinanti rimangono nei limiti di progetto.

Le efficienze calcolate sulle concentrazioni mostrano che l'abbattimento dei fluoruri rimane perfettamente in linea con i dati progettuali, e un aumento della portata ponderale di tale inquinante in uscita è dovuto esclusivamente ad un sostanziale aumento della stessa portata in entrata. Nel caso dei cloruri, solfati, nitriti e nitrati il depuratore riesce addirittura ad avere efficienze superiori a quelle previste.

CONCLUSIONI

Nell'impianto di depurazione oggetto dello studio, a fronte di notevoli oscillazioni di portate e carichi inquinanti, non sono mai stati superati i valori limite allo scarico, anche grazie all'attenta gestione da parte del personale.

Da un confronto tra i dati di progetto e i dati storici dell'impianto, si può evidenziare che la portata è rimasta pressoché invariata, mentre i carichi inquinanti sono variati negli anni a seguito di cambiamenti nei processi produttivi. Le efficienze delle singole stazioni di trattamento risultano superiori rispetto a quelle di progetto, in quanto l'impianto è stato progettato in modo cautelativo.

L'attuale efficienza dell'abbattimento dei fluoruri è del 99,3% dando piena conferma alle basi di progetto; inoltre, nonostante l'aumento del carico di fluoruri in ingresso al depuratore da 46,787 Kg/h a 76,84 Kg/h, è stato sempre rispettato il limite. I solfati vengono abbattuti con un'efficienza superiore rispetto ai valori di progetto (66,8% contro una previsione del 42,5%) e il reattore ha ancora una capacità residua.

La resa di abbattimento dei composti dell'azoto (nitriti e nitrati) è molto elevata, rispettivamente 60,9% e 100% (rimozione completa). È da sottolineare però l'interruzione, nel periodo in cui sono state svolte le analisi, di processi produttivi che scaricherebbero quantitativi di azoto nitroso e nitrico più alti di quelli evidenziati nel mese di dicembre. La conseguenza di questa interruzione ha portato ad diminuzione della portata ponderale di composti dell'azoto in entrata; Tale quantità è pressoché completamente rimossa nell'impianto di depurazione. Le concentrazioni di questi inquinanti, in seguito ai fermi in corso, sono le più influenzate dalle produzioni e non rappresentano un dato medio significativo, non assumibile come comportamento abituale del neutralizzatore nei confronti di tali composti.

Il depuratore risulta quindi sovradimensionato idraulicamente e per la maggior parte degli inquinanti fatta eccezione per il fluoro, che comunque viene abbattuto garantendo il rispetto dei limiti. Nell'ottica di un continuo e volontario miglioramento da parte dell'azienda con l'adozione di tecnologie sempre migliori per la depurazione degli scarichi, si prevede l'adozione di ulteriori trattamenti. La

tecnologia attualmente utilizzata non permette di andare oltre il 99,3% di abbattimento dei fluoruri; di conseguenza, per trattare maggiori carichi di fluoruri e/o per aumentare l'efficienza di abbattimento, è necessario adottare tecnologie che integrino le attuali per arrivare ad un'efficienza di abbattimento che superi il 99,5%. Una possibile soluzione per raggiungere tale scopo può essere rappresentata dall'installazione di un impianto ad osmosi inversa o l'impiego di polielettroliti specifici.