

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE



TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA DEI PROCESSI
INDUSTRIALI E DEI MATERIALI
CLASSE 10 INGEGNERIA INDUSTRIALE
(DM 207/04)

STUDIO DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE
DI UNA CARTIERA

Relatore: Ch.mo prof. Lino Conte

Correlatore: Ing. Luigi Falletti

Laureanda: Sara Marzio

Anno Accademico 2011-2012

Introduzione

In seguito al costante sviluppo industriale che ha comportato un aumentato utilizzo ed inquinamento delle risorse idriche, si è ritenuto necessario emanare una serie di leggi che agissero a tutela delle acque. Tali normative oltre a prevenire l'uso sconsiderato di questo bene hanno spinto le industrie ad adottare nuove tecniche e processi per prevenire l'inquinamento o quantomeno ridurne il più possibile gli effetti. Per questo motivo gli impianti di depurazione sono diventati parte fondamentale e integrante di numerosi impianti produttivi.

In questa tesi viene descritto l'impianto di depurazione della Cartiera Verde Romanello Spa, nel cui stabilimento, insediato alle porte di Udine, si producono carta da giornale (o carta da stampa) e carta da imballo a partire da carta da macero di varie tipologie.

In particolare vengono descritti i trattamenti dei reflui provenienti dal ciclo produttivo e le unità impiantistiche attraverso cui si compiono le varie fasi depurative.

Viene inoltre condotta un'analisi del funzionamento dell'impianto che si basa sulla raccolta e osservazione di dati sperimentali, ponendo particolare attenzione verso i prodotti utilizzati in fase produttiva che possono aver comportato i malfunzionamenti all'impianto nel periodo tra marzo e settembre 2011.

Capitolo 1

La legislazione sulle acque reflue

Con l'avvento dell'industrializzazione, gli interventi sulle risorse idriche sono andati sempre più ad intensificarsi, apportando importanti modifiche sia quantitative, derivate da eccessivi prelievi ad uso industriale e domestico, sia qualitative, dovute all'aumentata e incontrollata contaminazione con sostanze nocive per l'ecosistema e per la vita stessa degli esseri umani. Per tale ragione sono state emanate numerose normative europee, nazionali e locali per la tutela delle acque. Le direttive CE in materia di acque definiscono l'inquinamento così: *“L'inquinamento idrico è l'effetto dello scarico in ambiente acquoso di sostanze o di energie tali da compromettere la salute umana, da nuocere alle risorse degli esseri viventi e, più in generale, al sistema ecologico idrico e da costituire ostacolo a qualsiasi legittimo uso delle acque, comprese le attrattive ambientali”*. [1]

Gli obiettivi che si sono posti i legislatori sono stati quelli di prevenire, impedire, nonché ridurre l'inquinamento delle acque, cercando di istituire norme che permettessero il risanamento dei corpi idrici inquinati e il mantenimento della capacità naturale di auto-depurazione degli stessi.

1.1 Il concetto di scarico e la legge n. 152 del 2006

La disciplina degli scarichi delle acque reflue costituisce un aspetto centrale di tutto il corpo normativo europeo e nazionale in materia di acque. A livello nazionale il primo provvedimento legislativo che si occupò interamente dell'argomento fu la legge 319 del maggio 1976, la cosiddetta **Legge Merli**; essa distingueva gli scarichi sulla base della provenienza da *insediamenti civili* e da *insediamenti produttivi* ma senza darne una definizione, e fissava i limiti di accettabilità validi su tutto il territorio nazionale. Nel concetto di scarico rientrava qualsiasi tipo di immissione, continuativa od occasionale, di acque reflue, senza che assumessero rilevanza le modalità, dirette od indirette, con le quali esse venivano fatte confluire nel corpo recettore.

La legge Merli è stata abrogata dal **D.Lgs. 152/1999**, nuova legge-quadro per la tutela delle acque fino al 2006. L'articolo 2 della **legge n. 152/1999** ha descritto lo scarico come: *“Qualsiasi immissione diretta tramite condotta di acque reflue liquide, semiliquide e*

comunque convogliabili nelle acque superficiali". Quindi lo scarico di tipo indiretto, quale ad esempio l'immissione di reflui prelevati alla fonte e trasportati al punto di scarico per mezzo di autobotte, passava dalla normativa sulle acque a quella sui rifiuti, per i quali è quindi necessaria una diversa ed apposita autorizzazione.

Attualmente la tutela delle acque e la disciplina degli scarichi è affidata alla Parte III del **D.Lgs. 152/2006**, *Testo Unico Ambientale*, e dalle modifiche apportate dalla legge n. 4/2008. Questa norma recepisce la *WFD (Water Framework Directive) 2000/60/CE*, che prevede che ogni stato o regione o "*distretto idrografico*" promuova le azioni necessarie per raggiungere o mantenere il "*buono stato di qualità*" delle acque superficiali o profonde entro l'anno 2015.

La definizione attuale di scarico del D.Lgs. 152/2006 è la seguente: "*Qualsiasi immissione effettuata esclusivamente tramite un sistema stabile di collettamento che collega senza soluzione di continuità il ciclo di produzione del refluo con il corpo ricevente acque superficiali, sul suolo, nel sottosuolo e in rete fognaria, indipendentemente dalla loro natura inquinante, anche sottoposte a preventivo trattamento di depurazione*". [2]

La regolamentazione degli scarichi è contenuta nell'articolo 101 secondo il quale tutti gli scarichi sono disciplinati in funzione del rispetto degli obiettivi di qualità dei corpi idrici recettori e devono comunque rispettare i valori limite previsti dall'allegato 5 della parte III della legge 152/2006.

I valori limite di accettabilità sono indicati in tabelle differenziate a seconda della tipologia di scarico e del corpo recettore:

- **Tabella 1:** scarichi di acque urbane in corpi idrici superficiali.
- **Tabella 2:** scarichi di acque urbane in corpi idrici superficiali ricadenti in aree sensibili.
- **Tabella 3:** valori limite di emissione in acque superficiali e in fognatura.
- **Tabella 3/A:** limiti di emissione per unità di prodotto riferiti a specifici cicli produttivi.
- **Tabella 4:** limiti di emissione per le acque reflue urbane ed industriali che recapitano sul suolo.
- **Tabella 5:** Sostanze per le quali non possono essere adottati limiti meno restrittivi di quelli indicati in tabella 3, per lo scarico in acque superficiali e per lo scarico in rete fognaria, o in tabella 4 per lo scarico sul suolo.

Le Regioni possono tuttavia prevedere l'imposizione di limiti più restrittivi rispetto a quelli statali al fine di prevenire o limitare l'accumulo ambientale. Possono agire sia in termini di

concentrazione massima ammissibile sia di quantità massima per unità di tempo di ogni sostanza inquinante o gruppi o famiglie di sostanze affini, tenendo conto dei carichi massimi ammissibili e delle “*Migliori Tecniche Disponibili*”.

1.2 Le acque reflue industriali

Per acqua reflua industriale si intende: “*Qualsiasi tipo di acque reflue scaricate da edifici od impianti in cui si svolgono attività commerciali o di produzione di beni, diverse dalle acque reflue domestiche e dalle acque meteoriche di dilavamento*”. Sono considerate acque reflue industriali, anche se sostanzialmente pulite, le acque di raffreddamento, le acque di lavaggio e le acque utilizzate per la produzione di energia ed il loro scarico è pertanto soggetto ad autorizzazione. Bisogna tener conto che le acque di raffreddamento possono essere convogliate verso il corpo idrico recettore tramite un unico scarico comune ad altre acque di scarico, a condizione che ci sia un sistema per cui la rilevazione e verifica dei limiti avvenga a monte del punto di miscelazione.

Nel D.Lgs. n. 152/2006, in base alla loro provenienza, si distinguono inoltre:

- **Acque reflue domestiche:** acque provenienti da insediamenti di tipo residenziale e da servizi e derivanti prevalentemente dal metabolismo umano e da attività domestiche;
- **Acque reflue assimilate a domestiche:** acque provenienti da attività agricole, di allevamento di bestiame e da piscicoltura;
- **Acque reflue urbane:** acque domestiche o il miscuglio di acque reflue domestiche, di acque reflue industriali e meteoriche di dilavamento convogliate in reti fognarie, anche separate, e provenienti da agglomerato;
- **Acque meteoriche di dilavamento:** acque piovane dilavanti superfici scoperte, che però non sono definite dal D.lgs. 152/06 ed, anzi, sono escluse dall’ambito di applicazione della normativa sulla tutela delle acque dall’inquinamento. Qualora però le acque meteoriche che vengono a contatto con superfici contaminate dello stabilimento vengano canalizzate, si configura uno scarico di acque reflue senza autorizzazione, in caso contrario un illecito abbandono di rifiuti o immissione occasionale.

Qualificare un collettore come industriale o urbano incide sostanzialmente su due aspetti: quale sanzione applicare in caso di mancata autorizzazione e quali i limiti di emissione rispettare.

La qualificazione di un'acqua reflua come industriale avviene dunque sulla base di due criteri: il primo, da considerarsi soltanto tendenziale e comunque non esclusivo, è quello relativo alla provenienza; il secondo, da ritenersi invece prevalente, è quello relativo alla qualità.

Gli scarichi di acque reflue industriali in acque superficiali, devono essere conformi ai limiti di emissione indicati nella **tabella 3**, ed eventualmente 3/A, **dell'allegato 5 della parte III della legge 152/2006** o alle relative norme disposte dalle Regioni.

Tabella 1.1. Tabella 3. Valori limite di emissione in acque superficiali e in fognatura. [2]

Numero parametro	Sostanze	Unità di misura	Scarico in acque superficiali	Scarico in pubblica fognatura
1	pH		5.5 – 9.5	5.5 – 9.5
2	Temperatura	°C	Dipende dal corpo ricettore	Dipende dal corpo ricettore
3	Colore		Non percettibile con diluizione 1:20	Non percettibile con diluizione 1:40
4	Odore		Non deve essere causa di molestie	Non deve essere causa di molestie
5	Materiali grossolani		Assenti	Assenti
6	Solidi sospesi totali	mg/l	≤ 80	≤ 200
7	BOD ₅ (come O ₂)	mg/l	≤ 40	≤ 250
8	COD (come O ₂)	mg/l	≤ 160	≤ 500
9	Alluminio	mg/l	≤ 1	≤ 2.0
10	Arsenico	mg/l	≤ 0,5	≤ 0,5
11	Bario	mg/l	≤ 20	-
12	Boro	mg/l	≤ 2	≤ 4
13	Cadmio	mg/l	≤ 0.02	≤ 0.02
14	Cromo totale	mg/l	≤ 2	≤ 4
15	Cromo VI	mg/l	≤ 0.2	≤ 0.20
16	Ferro	mg/l	≤ 2	≤ 4
17	Manganese	mg/l	≤ 2	≤ 4
18	Mercurio	mg/l	≤ 0.005	≤ 0.005
19	Nichel	mg/l	≤ 2	≤ 4
20	Piombo	mg/l	≤ 0.2	≤ 0.3
21	Rame	mg/l	≤ 0.1	≤ 0.4
22	Selenio	mg/l	≤ 0.03	≤ 0.03
23	Stagno	mg/l	≤ 10	-
24	Zinco	mg/l	≤ 0.5	≤ 1.0
25	Cianuri totali (come CN)	mg/l	≤ 0.5	≤ 1.0
26	Cloro attivo libero	mg/l	≤ 0.2	≤ 0.3
27	Solfuri (come S)	mg/l	≤ 1	≤ 2
28	Solfiti (come SO ₂)	mg/l	≤ 1	≤ 2
29	Solfati (come SO ₃)	mg/l	≤ 1000	≤ 1000
30	Cloruri	mg/l	≤ 1200	≤ 1200
31	Fluoruri	mg/l	≤ 6	≤ 12
32	Fosforo totale (come P)	mg/l	≤ 10	≤ 10

33	Azoto ammoniacale	mg/l	≤ 15	≤ 30
34	Azoto nitroso (come N)	mg/l	≤ 0.6	≤ 0.6
35	Azoto nitrico (come N)	mg /l	≤ 20	≤ 30
36	Grassi e olii animali/vegetali	mg/l	≤ 20	≤ 40
37	Idrocarburi totali	mg/l	≤ 5	≤ 10
38	Fenoli	mg/l	≤ 0.5	≤ 1
39	Aldeidi	mg/l	≤ 1	≤ 2
40	Solventi organici aromatici	mg/l	≤ 0.2	≤ 0.4
41	Solventi organici azotati	mg/l	≤ 0.1	≤ 0.2
42	Tensioattivi totali	mg/l	≤ 2	≤ 4
43	Pesticidi fosforati	mg/l	≤ 0.10	≤ 0.10
44	Pesticidi totali (esclusi i fosforati):	mg/l	≤ 0.05	≤ 0.05
45	- aldrin	mg/l	≤ 0.01	≤ 0.01
46	- dieldrin	mg/l	≤ 0.01	≤ 0.01
47	- endrin	mg/l	≤ 0.002	≤ 0.002
48	- isodrin	mg/l	≤ 0.002	≤ 0.002
49	Solventi clorurati	mg/l	≤ 1	≤ 2
50	Escherichia coli	UFC/100ml	≤ 5000 (consigliato)	
51	Saggio di tossicità acuta		Campione non accettabile: dopo 24 ore il numero degli organismi immobili è uguale o maggiore del 50% del totale	Campione non accettabile: dopo 24 ore il numero degli organismi immobili è uguale o maggiore del 80% del totale

Gli scarichi al suolo sono di norma vietati. E' permesso lo scarico al suolo di acque depurate provenienti da attività industriali o urbane qualora risulti impossibile scaricare in acque superficiali. Tali scarichi rientrano nei limiti imposti dalla Tabella 4, mentre quelli che recapitano in reti fognarie sono sottoposti alle norme tecniche, alle prescrizioni regolamentari e ai valori-limite adottati dall'Autorità d'ambito competente in base alle caratteristiche dell'impianto, e in modo che sia assicurata la tutela del corpo idrico ricettore e il rispetto della disciplina degli scarichi di acque reflue urbane.

Al comma 5 dell'articolo 101 della medesima legge si afferma il divieto di diluizione: i valori limite di emissione non possono in alcun caso essere conseguiti mediante diluizione con acque prelevate esclusivamente allo scopo o acque di raffreddamento e lavaggio.

E' in generale vietato lo scarico diretto nelle acque sotterranee e nel sottosuolo; divieto valido anche per acque che non rientrano nella categoria dei reflui industriali.

1.3 Le autorizzazioni allo scarico e il D.Lgs. n. 59 del 2005

Ai sensi della normativa vigente tutti gli scarichi devono essere autorizzati. L'autorizzazione è rilasciata al titolare dell'attività da cui si origina lo scarico e ha validità pari a 4 anni con obbligo di richiesta di rinnovo un anno prima delle scadenze.

Nella Gazzetta Ufficiale del 22 aprile 2005, è stato pubblicato il **D.Lgs. 18/02/2005 n. 59** avente per oggetto la prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento al fine di ottenere un elevato livello di protezione dell'ambiente. Esso costituisce il recepimento a livello nazionale della *Direttiva Comunitaria 96/61/CE*, conosciuta anche come "**Direttiva IPPC: Integrated Pollution Prevention and Control**", che fissa i valori limite di emissione per le industrie interessate basandosi sulle *BAT (Best Available Techniques)* o *MTD (Migliori Tecniche Disponibili)*. La stessa direttiva prevede che, quando le condizioni locali consentono l'adozione di misure meno rigorose, i valori limite d'emissione possono tener conto della ubicazione geografica e delle condizioni ambientali locali.

Il Decreto n. 59/2005 stabilisce misure intese ad evitare oppure, ove ciò non sia possibile, a ridurre le emissioni nell'aria, nell'acqua e nel suolo da parte di varie attività definite nell'Allegato 1 della Direttiva:

- attività energetiche;
- produzione e trasformazione dei metalli;
- industria dei prodotti minerari;
- gestione dei rifiuti;
- altre attività (cartiere, allevamenti, macelli, industrie alimentari, concerie...).

Esso disciplina il rilascio, il rinnovo e il riesame dell'**Autorizzazione Integrata Ambientale (A.I.A.)** che di fatto sostituisce ogni altro visto, nulla osta, parere o autorizzazione in materia ambientale. Questa autorizzazione può essere concessa solo se vengono rispettate alcune condizioni ambientali, per far sì che le imprese stesse si facciano carico della prevenzione e della riduzione dell'inquinamento che possono causare. Le autorizzazioni vengono assegnate sulla scorta di valori di inquinamento ponderale mensili: ogni stabilimento è autorizzato a scaricare mensilmente determinate quantità di inquinante in funzione di cosa e di quanto produce. Oltre alle informazioni richieste dalla normativa concernente aria, acqua, suolo e rumore, la domanda deve descrivere l'impianto nella sua ubicazione, attività e funzionamento, indicare le materie prime e le energie usate o prodotte e individuare le fonti di emissione. Devono essere inoltre presentate le tecnologie utilizzate per prevenire o ridurre le emissioni.

1.3.1 L'A.I.A. nella Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

La richiesta e il rilascio dell'Autorizzazione Integrata Ambientale è competenza della Regione. Le leggi di riferimento sono la **L.R n. 16 del 5/12/2008** *“Norme urgenti in materia di ambiente, territorio, edilizia, urbanistica, attività venatoria, ricostruzione, adeguamento antisismico, trasporti demanio marittimo e turismo”* e la **L.R n. 11 del 4/11/2009** *“Misure urgenti in materia di sviluppo economico regionale, sostegno al reddito dei lavoratori e delle famiglie, accelerazione dei lavori pubblici”*.

Il D. Lgs. 59/05 attribuisce all'APAT, per gli impianti di competenza statale, e alle ARPA, per gli altri impianti, il compito di svolgere attività di controllo con oneri a carico del gestore. Per il Friuli Venezia Giulia sono stimati ricadere negli ambiti di applicazione del decreto circa 120 impianti.

Capitolo 2

Tecniche e metodi di depurazione delle acque reflue industriali

2.1 Principali sostanze inquinanti

Ogni industria ha i suoi specifici problemi e ogni caso prevede una soluzione mirata in funzione della natura e delle proprietà dei contaminanti. Per semplicità possiamo comunque suddividere le sostanze inquinanti presenti nei reflui industriali in quattro categorie fondamentali:

1. **Materiali galleggianti**: sostanze tipo oli e grassi, insolubili e meno dense dell'acqua che creano un film in superficie;
2. **Materiali mantenuti in sospensione** dalla turbolenza dell'acqua: sostanze sedimentabili che essendo più pesanti dell'acqua tendono a precipitare sul fondo e sostanze colloidali costituite da materiali solidi molto fini che difficilmente sedimentano e restano in sospensione.
3. **Sostanze disciolte**: sono le più numerose e comprendono acidi, basi, ioni di metalli, sostanze organiche e altre sostanze tossiche.
4. **Materiali biologici**: presenti in acqua sotto forma di organismi animali e vegetali.

Data la varietà delle sostanze presenti, diversi sono i parametri utilizzati per la valutazione della qualità dell'acqua e diversi sono i processi che operano al fine di rimuovere le sostanze inquinanti.

2.1.1 COD e BOD

Il parametro che consente la valutazione del carico inquinante di un'acqua è il **BOD** (*Biochemical Oxygen Demand*). Esso viene definito come la quantità di ossigeno utilizzato da una popolazione microbica per demolire il materiale organico biodegradabile presente in un litro d'acqua. Spesso si procede alla misura **BOD₅** che viene effettuata determinando la quantità di ossigeno disciolto all'inizio e alla fine di un periodo di 5

giorni, in cui il campione d'acqua viene conservato in termostato alla temperatura di 20°C e al buio; la differenza tra i due valori misurati rappresenta la quantità di ossigeno che i batteri hanno consumato per degradare le sostanze organiche presenti nel refluo.

La determinazione del BOD₅ richiede tempi lunghi ed è poco riproducibile, per cui spesso si ricorre alla determinazione di un altro parametro di inquinamento: il **COD** (*Chemical Oxygen Demand*). Esso rappresenta la quantità di ossigeno necessaria per la completa ossidazione chimica dei composti organici ed inorganici presenti in un campione di acqua. Il principio del metodo è basato sull'azione di una sostanza chimica (bicromato di potassio) che ossida le sostanze organiche e alcune sostanze inorganiche presenti nel refluo. Il valore del COD viene espresso come quantità equivalente di ossigeno consumato. La determinazione del COD è rapida e ben riproducibile ma non coincide con il BOD, dal momento che il bicromato è in grado di ossidare anche le specie organiche non biodegradabili o tossiche per i batteri ed alcune specie inorganiche.

Da misure sperimentali risulta che normalmente i due parametri per i reflui civili hanno un rapporto COD:BOD = 2÷2.4, mentre per gli scarichi industriali tale rapporto può essere molto più elevato. [3]

2.1.2 I solidi

Come già accennato, gli scarichi sono costituiti da una parte solida e da una parte liquida. La parte solida è composta dai solidi totali e, tra questi, dai solidi sedimentabili. I solidi totali sono costituiti dai disciolti totali e dai sospesi totali ed ognuna delle categorie è suddivisa in volatili e non volatili; tale differenziazione è legata alla natura stessa dei solidi e, di conseguenza, differenti sono le metodologie per la loro quantificazione:

- **SST** (*Solidi Sospesi Totali*): si intendono tutte le sostanze sospese presenti nel campione, siano sedimentabili o colloidali. Queste sostanze vengono trattenute da un filtro a membrana di porosità 0.45 µm quando un litro di campione viene sottoposto a filtrazione; la loro quantità si determina come residuo secco a 105°C di 1 litro di campione passato per il filtro;
- **SSV** (*Solidi Sospesi Volatili*): si determinano bruciando in forno a muffola a 550°C i solidi determinati precedentemente e calcolando la percentuale delle ceneri rispetto ai SST determinati; la differenza tra il residuo a 105°C e quello a 550°C è data dai solidi sospesi volatili;

- **SDT** (*Solidi Disciolti Totali*): si determinano dalla soluzione filtrata per la determinazione dei SST facendola evaporare a 100°C;
- **SDV** (*Solidi Disciolti Volatili*): si determinano bruciando in forno a muffola a 550°C il prodotto del processo precedente ed eseguendo la differenza (espressa in percentuale sui SDT).

Per quanto riguarda i Solidi Sedimentabili, questi vengono eliminati attraverso un processo di sedimentazione primaria; la loro determinazione si ottiene mediante un *cono Imhoff* nel tempo di due ore.

2.2 I processi di depurazione

Gli impianti di trattamento delle acque di scarico industriali si rifanno, entro grandi linee, agli schemi degli impianti di trattamento delle acque di scarico civili. Nella terminologia comune del trattamento degli scarichi civili, si parla di **trattamento primario, secondario, terziario**. Il trattamento primario ha lo scopo di eliminare soprattutto le sostanze sospese e viene effettuato con mezzi meccanici (grigliatura, omogeneizzazione, sedimentazione primaria, ecc.); per gli scarichi industriali può essere necessario ricorrere anche a sistemi chimico-fisici quali la coagulazione chimica seguita da sedimentazione.

Il trattamento secondario è basato normalmente su processi biologici, in cui microrganismi di opportuni ceppi degradano le sostanze organiche e azotate presenti nel refluo.

Il trattamento terziario è basato in generale su processi come la filtrazione a sabbia, la filtrazione a carboni attivi, la disinfezione.

Soprattutto nel trattamento primario e secondario, si formano notevoli quantità di fanghi che devono essere eliminate senza pericolo di ulteriore inquinamento; pertanto questi fanghi sono sottoposti ad altri trattamenti quali l'ispessimento e l'essiccazione.

Distinguiamo dunque le seguenti fasi di trattamento di un liquame:

- **Trattamenti fisico-meccanici;**
- **Trattamenti chimico-fisici;**
- **Trattamenti biologici.**

2.3 Trattamenti fisico-meccanici

2.3.1 Grigliatura

Solitamente è il primo trattamento che si applica ad un impianto di depurazione e viene eseguito allo scopo di trattenere le sostanze sospese grossolane come carta, plastiche, pezzi di legno ecc., in modo da evitare che queste vadano ad intasare valvole, pompe e tubazioni nelle fasi successive. L'acqua viene fatta passare attraverso una griglia formata da una serie di barre con luce di passaggio di alcuni millimetri che trattengono i solidi; questi sono poi rimossi dal sistema di pulizia della griglia e smaltiti come rifiuto solido.

2.3.2 Equalizzazione ed omogeneizzazione

Spesso le acque inviate al depuratore hanno portate e concentrazioni di inquinanti molto variabili nel tempo e ciò può causare problemi al rendimento dell'impianto. Per attenuare tali variazioni si realizzano grandi vasche di accumulo dette equalizzatori; esse assicurano un tempo di residenza che consente di smorzare le fluttuazioni di portata e di qualità dell'alimentazione. Queste vasche devono essere sempre agitate, sia per poter rendere la concentrazione degli agenti inquinanti il più omogenea e costante possibile, sia per evitare che gli stessi sedimentino sul fondo.

2.3.3 Sedimentazione

La sedimentazione è un procedimento che può avvenire in diverse fasi della filiera depurativa: come trattamento primario serve a rimuovere solidi sedimentabili non trattenuti in fase di grigliatura, come trattamento secondario dopo i processi biologici separa i fanghi dall'acqua depurata. La sedimentazione si ottiene mantenendo l'acqua in quiete o in lento movimento all'interno di grandi vasche con fondo inclinato, di modo che i materiali più densi in essa contenuti possano precipitare sul fondo grazie alla forza di gravità.

I sedimentatori più comuni per capacità superiori ai 600 – 1000 m³ sono di forma circolare e adottano un flusso di tipo radiale; al centro viene immessa l'acqua in ingresso, mentre quella chiarificata in uscita viene raccolta in una canaletta esterna mediante l'ausilio di stramazzi o sfioratori. I fanghi si depositano sul fondo inclinato della vasca e vengono raschiati e convogliati verso un pozzo centrale da lame raschiafanghi apposite.

Affinché le particelle solide da separare possano sedimentare efficacemente sul fondo della vasca occorre che:

- sia assicurato un sufficiente *tempo di ritenzione* t_r (variabile tra 2 – 4 h) del liquido nella vasca, espresso come il rapporto tra il volume della vasca destinata alla sedimentazione V e la portata di reflu in ingresso Q ;
- il *carico idraulico superficiale* C_{is} , inteso come rapporto fra la portata di reflu in ingresso Q e la superficie della vasca A_s , non superi certi valori limite (ha un minimo di 0.8 m/h e non deve superare i 5 m/h).

Quindi, dato il tempo di ritenzione è possibile conoscere il volume della vasca V , e sulla base del carico idraulico superficiale si può risalire alla superficie A_s .

A questo punto si può calcolare l'altezza liquida media che conviene sia sempre superiore a 2.5 – 3 m, soprattutto per evitare che il moto dell'acqua verso gli stramazzi di uscita e l'azione superficiale del vento possano disturbare i fanghi depositati sul fondo e provocarne il sollevamento. Per un corretto dimensionamento di questa fase è opportuno tener conto anche della *portata specifica allo stramazzo* dell'acqua chiarificata; si pongono dei limiti a questo parametro per evitare che un flusso troppo concentrato verso le canalette di raccolta possa portare ad un eccessivo richiamo localizzato di particelle di fango (conviene non superare i 5 – 10 m³/m h). [4]

2.4 Trattamenti chimico-fisici

2.4.1 La chiariflocculazione

La chiariflocculazione è utilizzata per sedimentare solidi finissimi e colloidali che, per loro dimensione (10^{-3} – 10^{-6} mm) e natura fisica, richiederebbero tempi di sedimentazione inaccettabili. Questo processo unisce in sé tre processi diversi, la coagulazione, la flocculazione e la sedimentazione. Le particelle colloidali presentano sulla loro superficie esterna cariche negative che determinano forze di repulsione tra le particelle stesse; per questo motivo le sostanze colloidali rimangono in uno stato di microparticelle che non sedimentano.

La *coagulazione* è un processo di destabilizzazione dei colloidali mediante neutralizzazione delle cariche elettriche che tengono separate le particelle; il processo avviene mediante aggiunta di opportuni agenti coagulanti, solitamente **sali di metalli trivalenti quali ferro**

ed alluminio. Anche la **calce** può essere usata come coagulante; risulta particolarmente indicata per reflui industriali contenenti grassi e saponi.

Il processo avviene in camere di miscelazione munite di un agitatore rotante veloce, dimensionate in base ai tempi di coagulazione, oppure può avvenire direttamente in linea lungo una tubazione provvista di pompe di iniezione che introducono i reagenti in direzione tangenziale al fluido.

Le variabili della coagulazione sono:

- **pH** della soluzione: gli ioni OH^- e H^+ sono quelli più adsorbiti;
- **Temperatura:** influisce sulla cinetica della reazione;
- **Tempo di reazione:** solitamente è molto breve e varia tra i 30'' – 2';
- **Dose del reagente e ordine di introduzione:** per il solfato di alluminio in soluzione acida si ha un dosaggio tra i 70 - 300 g/m^3 , mentre per il cloruro ferrico il dosaggio varia tra i 40 - 200 g/m^3
- **Velocità di agitazione:** per valori di numero di Reynolds tra 250 - 4000 le collisioni permettono l'accrescimento dei fiocchi, per valori superiori si creano vortici che portano alla rottura dei fiocchi.

La *flocculazione* provvede all'accrescimento dei microfocchi formati in fase di coagulazione. Questa operazione consiste nell'agitare l'acqua molto lentamente, in vasche di dimensioni relativamente modeste, di modo che le particelle più minute, urtandosi tra di loro o con quelle di maggiori dimensioni, possano formare aggregati tali da precipitare quando il liquido venga passato a una normale vasca di sedimentazione. La velocità di mescolamento non deve essere né troppo bassa (per evitare la sedimentazione) né troppo alta (per evitare la rottura del fiocco); la durata del processo varia dai 5 ai 20 minuti.

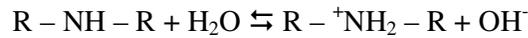
Talora l'impianto di flocculazione può costituire la parte centrale di una vasca di sedimentazione, si hanno così quelli che vengono chiamati *chiariflocculatori* che combinano il mescolamento dei reattivi chimici, la flocculazione e la sedimentazione in un'unica unità suddivisa solitamente in modo concentrico in due o tre zone. [5]

Per aiutare la formazione di fiocchi di dimensioni e peso sufficienti per ottenere una sedimentazione veloce ed efficace, spesso si rende necessaria l'aggiunta di un **agente flocculante**. Queste sostanze sono dette *polielettroliti* e consistono in polimeri solubili in acqua, nelle cui catene sono presenti dei gruppi funzionali ionizzabili.

Le differenze tra i vari polielettroliti derivano principalmente dal loro peso molecolare e dalla capacità di scambio ionico.

Si distinguono in:

- **Polielettroliti cationici:** generalmente sono delle poliammine o ammine quaternarie. In acqua le poliammine idrolizzano secondo la reazione:



- **Polielettroliti anionici:** i polimeri anionici presentano un gruppo carbossile nella loro struttura. Idrolizzano secondo la:



I polielettroliti vengono aggiunti alla soluzione in quantità molto piccole sotto agitazione turbolenta, ma appena cominciano a formarsi i primi fiocchi l'agitazione viene diminuita o fermata per evitarne la rottura. Da tener presente è il fatto che la flocculazione aumenta la viscosità del fango, facendo crescere poi, in fase di pressatura, il grado di secco ottenibile.

2.4.2 La neutralizzazione

Il controllo del valore del pH è un'operazione di importanza fondamentale per tutto il processo di depurazione. La correzione del pH dell'acqua avviene mediante l'aggiunta di una sostanza acida (acido solforico, cloridrico o anidride carbonica) o basica (carbonato di calcio, calce viva o soda caustica) sotto il controllo di un pHmetro in vasche agitate meccanicamente in cui il liquido ha un tempo di residenza media di qualche minuto.

2.5 Trattamenti biologici

Questo trattamento ha lo scopo di eliminare le sostanze organiche che consumano ossigeno ossia il BOD. La degradazione della sostanza organica avviene grazie all'azione di microrganismi che in condizioni aerobiche o anaerobiche utilizzano parte del substrato organico per il loro accrescimento e la loro riproduzione:



Questa reazione permette la trasformazione di parte delle sostanze organiche in fango attivo, ovvero un materiale biologico flocculento color nocciola che rimane disperso nel liquido da trattare.

Per mantenere questa massa sempre attiva ed utilizzabile è molto importante che il **livello di ossigeno** non discenda mai sotto 0.5 mg/l; a concentrazioni di ossigeno inferiori le cellule microbiche tendono a raggrupparsi in grossi fiocchi, diminuendo la velocità di trasferimento dell'ossigeno verso l'interno del fiocco. Di notevole importanza è anche il controllo di altri due fattori: la **temperatura** (range ottimo intorno ai 25°C) influenza molto il metabolismo, il rendimento della bioflocculazione e il trasporto dell'ossigeno dall'aria all'acqua e all'interno del fiocco di fango attivo; il **pH** influenza le reazioni enzimatiche (6.5 – 8.5 ottimale) e ha un effetto selettivo nei confronti dei microrganismi. Spesso per aiutare l'attività batterica si rende necessaria l'aggiunta di sostanze nutritive come azoto e fosforo nella proporzione BOD₅ : N: P come 100:5:1.

2.5.1 Le vasche di aerazione

L'ossidazione a fanghi attivi avviene in vasche nelle quali vengono insufflati ossigeno puro o aria compressa; normalmente le vasche sono costruite in cemento, hanno forma rettangolare e angoli smussati per evitare che si creino zone di ristagno.

L'aria o l'ossigeno vengono dispersi nel liquido da trattare mediante l'utilizzo di turbine sommerse o di diffusori costituiti da supporti porosi (membrane) come porcellana o plastiche particolari. Quest'ultimi si suddividono a loro volta in base alla grossezza delle bolle d'aria prodotte: le bolle più fini aumentano l'efficienza dell'ossigenazione creando una maggior superficie di contatto tra aria e acqua.

La torbida uscente dalla vasca viene inviata ad un sedimentatore secondario che opererà la separazione tra l'acqua e la massa biologica. Di norma sono previsti un ricircolo del fango dal sedimentatore secondario alle vasche di aerazione e l'estrazione dei fanghi di supero, al fine di mantenere costante e ottimale la concentrazione di biomassa attiva nelle vasche.

Per la realizzazione ed il controllo di un'efficace depurazione a fanghi attivi occorre tenere conto di alcuni parametri caratteristici di questo processo.

Il *carico idraulico* C_i (o portata idraulica) esprime la quantità di acqua reflua che giunge al depuratore nell'unità di tempo (es. m³/giorno, m³/h). Una sua variazione repentina può influire sulla concentrazione di fango MLSS nel reattore e provocare in casi estremi il dilavamento della biomassa.

Il *carico organico* C_o indica, invece, la quantità di sostanze organiche che devono essere trattate, espresse in termini di BOD₅, nell'unità di tempo (es. kg BOD₅/giorno).

Il *MLSS* o *SS* è una misura della concentrazione del fango in vasca di aerazione (*mixed liquor*); indica la quantità di solidi sospesi totali che in prima approssimazione corrisponde alla biomassa. Tale concentrazione, che influenza il volume del reattore (a concentrazioni maggiori corrisponde un volume minore), viene fissata in fase di progetto da 3 a 5 kg/m³ ed è opportuno che rimanga pressoché costante nella vasca di ossidazione. Moltiplicando la concentrazione del fango per il volume della vasca ottengo i kg totali di SS presenti.

Il *MLVSS* o *SSV* è invece una misura dei solidi sospesi volatili che si ottiene filtrando il mixed liquor e lasciando il filtro in stufa a 180°; da qui si ottiene il peso del fango. Poi si porta lo stesso filtro in muffola a 550° per eliminare le sostanze organiche volatili. Per differenza, si ottengono i SSV, costituiti per lo più da glicogeno e sostanze organiche residue. Il rapporto MLVSS/MLSS è un indice della presenza di biomassa (o sostanza organica) rispetto ad una frazione che può contenere molti inerti. Un fango attivo presenta valori di MLVSS/MLSS attorno a 0.7 - 0.8.

Il *fattore di carico organico* o *carico di fango* C_f rappresenta la quantità di sostanza organica che viene fornita ad ogni kg di fango presente nella vasca di ossidazione e si esprime in kg BOD₅/kgSS*d. Anche il C_f viene fissato in fase di progetto e deve essere scelto sulla base dell'impianto che si deve realizzare.

Tabella 2.1 Valori consigliati del carico di fango in relazione al tipo di impianto.[4]

Tipo di Impianto	Carico del Fango [kgBOD ₅ /kgSS/g]
Aerazione prolungata	0.002 – 0.15
Basso carico	0.2 – 0.3
Medio carico	0.3 – 0.5
Alto carico	0.5 – 0.8

Esiste una relazione che correla il carico di fango con il volume della vasca di ossidazione:

$$V = \frac{C_o}{C_f \cdot SS}$$

Fissati C_f e SS è possibile ottenere il volume della vasca e quindi risalire al tempo di ritenzione t_r espresso come il rapporto tra questo volume e la portata di refluo in ingresso.

Il rendimento depurativo η si esprime come BOD_5 rimosso/ BOD_5 entrante. Per C_f inferiori a 0.3, questo rendimento è elevato (circa 90%), per valori maggiori cade bruscamente.

Durante il processo anabolico ha luogo la riproduzione cellulare che, ovviamente, comporta un aumento della quantità di fango tanto maggiore quanto più elevato è il C_f ovvero tanto più elevata è la disponibilità di substrato rispetto ai microrganismi. Buoni valori di C_f sono tra 0.2 e 0.5 kg BOD_5 /kg SS*d. Questo fango in eccesso, detto *fango di supero*, deve essere regolarmente allontanato.

Una grandezza che caratterizza la produzione di fango di supero è il *tasso di crescita del fango*, definito come la percentuale di aumento giornaliero del peso di fango esistente nell'impianto. Esso rappresenta il rapporto percentuale fra la quantità di fango di supero (in peso) da estrarsi giornalmente (per mantenere costante la concentrazione del fango nella miscela aerata) e la quantità di fango (in peso), esistente nel sistema.

Una grandezza molto significativa è pure l'*età del fango*, che è esattamente l'inverso del tasso di crescita, cioè individua il rapporto fra la quantità complessiva di fango presente nel sistema (in peso) e la quantità di fango di supero prodotta giornalmente (in peso). In definitiva, l'età del fango individua il tempo complessivo in cui il fango, in un impianto a fanghi attivi, soggiorna complessivamente nell'impianto, cioè il tempo di detenzione del fango; minore è il valore di C_f e maggiore sarà l'età del fango. Molti impianti a fanghi attivi vengono fatti funzionare con carichi del fango medi e con età del fango oscillanti tra 5 e 15 giorni.

L'efficienza di un processo a fanghi attivi è anche controllata dal funzionamento dei sedimentatori secondari. Questi devono garantire una buona separazione tra l'acqua e il fango di modo che i solidi sospesi nell'effluente si mantengano intorno ai 10 mg/l.

E' necessario quindi progettare adeguatamente il sedimentatore, in particolare fissando adeguati valori dei seguenti parametri:

- il *carico idraulico superficiale* C_{is} è definito come il rapporto tra la portata in ingresso e la superficie del sedimentatore, i valori ottimali sono 0.4 – 0.6 m/h con la portata media e 1.5 - 2 m/h con la portata massima;
- il *carico di solidi superficiali* C_s si ottiene moltiplicando la portata in ingresso e la portata di ricircolo del fango per la concentrazione dei fanghi in vasca di aerazione e dividendo il tutto per la superficie del decantatore; valori ottimali sono compresi tra 3 e 6 kg SS/m² h.
- il *tempo di ritenzione* ottimale è compreso tra 4 e 6 ore.

In questa fase risulta inoltre di fondamentale importanza il calcolo della *portata dei fanghi di ricircolo*, che dal sedimentatore secondario devono tornare in aerazione al fine di mantenere il valore di concentrazione dei fanghi definito da progetto. Il criterio più preciso per ottenere questa portata è quello del bilancio di massa che utilizza la seguente formula:

$$Q_r = \frac{Q_i \times SS_a}{SS_r - SS_a}$$

dove SS_a e SS_r sono rispettivamente la concentrazione del fango in aerazione e la concentrazione del fango nel ricircolo. Generalmente i valori desiderati di SS_a variano da 2 a 5 kg/m³, mentre i valori di SS_r variano da 5 a 20 kg /m³. Ne deriva una portata di ricircolo tra il 20 e 150% della portata di liquame. [4]

2.5.2 Problemi di aggregazione e sedimentabilità dei fanghi

I batteri oltre a provvedere alla mineralizzazione del materiale organico, hanno un'azione flocculante, cioè favoriscono l'aggregazione del fango in microflocchi, che poi man mano si ingrandiscono. Questa azione è dovuta alla secrezione di sostanze polisaccaridiche (come il glicogeno) che fungono da collante; questo fenomeno è indicato come *bioflocculazione*.

Sotto questo aspetto possiamo distinguere:

- **Batteri dispersi** (fasi iniziali del processo): si riproducono rapidamente ma non sono in grado di flocculare e per questo rimangono dispersi nel liquido;
- **Batteri flocc-forming** (flocculanti): trasformano i substrati organici in arrivo in materiale muco-polisaccaridico piuttosto vischioso detto glicocalice, nel quale essi stessi rimangono intrappolati. In tal modo si viene a creare un ambiente particolarmente adatto a favorire l'attività degli enzimi extracellulari. Le singole cellule tendono ad aggregarsi rimanendo intrappolate nel materiale da esse stesse elaborate. L'ambiente vischioso riesce ad intrappolare anche parte del materiale organico sospeso, così che cominciano a formarsi fiocchi leggeri e di modesta grandezza (microstruttura). Il materiale solubile invece viene prontamente assorbito dai batteri;

- **Batteri filamentosi:** capaci di impilarsi in lunghe catene contribuiscono alla formazione di fiocchi più grandi e pesanti. Allungandosi in varie direzioni collegano i piccoli fiocchi in strutture più grandi e irregolari (macrostruttura).

Nella pratica gestionale, non di rado, possono verificarsi profonde alterazioni nei meccanismi di aggregazione e flocculazione del fiocco, tali da impedire la separazione della fase solida dalla fase acquosa nel successivo processo di decantazione. [6]

Tabella 2.1 Cause ed effetti dei problemi di separazione del fango attivo. [7]

PROBLEMA	CAUSA	EFFETTI
Crescita dispersa	I batteri non aderiscono più gli uni agli altri e si ha presenza di cellule batteriche libere in sospensione. Cause: fenomeni di limitazione della produzione di materiale extracellulare per alta concentrazione di materiale carbonioso facilmente biodegradabile disponibile per i batteri non più stimolati a produrre materiale polisaccaridico o per la presenza di sostanze tossiche che ne inibiscono l'attività.	Effluente torbido. Incapacità del fango a sedimentare.
Bulking gelatinoso	Iper produzione di materiale mucopolisaccaridico vischioso. Il materiale gelatinoso trattiene molta acqua, il che favorisce il galleggiamento delle formazioni fiocose. Cause: non corretto rapporto tra i nutrienti.	Velocità di compattazione e sedimentazione molto ridotte. E' ostacolata la separazione dei solidi dalla fase liquida con fuoriuscita di fango dall'effluente.
Pin point	I fiocchi appaiono piccoli, tondeggianti, facilmente sfaldabili. Le formazioni fiocose più grandi tendono a sedimentare rapidamente. Gli aggregati più leggeri restano in sospensione. Cause: età del fango elevata, eccessiva turbolenza dei sistemi di aerazione.	Effluente torbido. Basso indice di volume del fango.
Bulking filamentoso	Il fango risulta impossibilitato a compattarsi per l'allungamento delle strutture filamentose, diviene sempre più leggero e meno denso, crescendo di spessore nel sedimentatore secondario.	Inizialmente questo contribuisce a mantenere limpido il surnatante, tuttavia se il fenomeno non viene controllato in breve tempo la crescita batterica filamentosa provoca la risalita del fango che fuoriesce con l'effluente.
Rising	Fenomeno caratterizzato dalla risalita di piccole masse di fango nel sedimentatore secondario. Cause: fenomeni di denitrificazione nell'ambiente quieto e non ossigenato del sedimentatore.	Bolle gassose di azoto intrappolate nei fiocchi portano a galla consistenti formazioni fangose.

Schiume	<p>Causate dalla proliferazione di due microrganismi: <i>Nocardia</i> spp. e <i>Microthrix parvicella</i>. L'alta percentuale di lipidi presenti nella membrana delle cellule favorisce la disposizione delle parti idrofobiche intorno alle bolle gassose con intrappolamento nella struttura filamentosa delle bolle d'aria prodotte dal sistema di aerazione. La presenza di tensioattivi può incrementare l'effetto schiuma.</p>	<p>Grandi quantità di schiuma sulla superficie delle unità di trattamento.</p>
----------------	--	--

Un fango capace di svolgere un'efficace azione depuratrice sedimenta molto rapidamente, il che comporta anche una minor altezza del fango nel decantatore secondario e un'elevata limpidezza del surnatante. Il controllo delle **caratteristiche di sedimentabilità** dei fanghi può essere effettuato mediante tre parametri:

- **volume del fango V_a** ;
- **velocità di sedimentazione V_s** ;
- **indice di Mohlman SVI**.

Il **volume del fango V_a** rappresenta il volume in cc occupato da un campione di fango attivo o di ricircolo dopo sedimentazione statica in *cono Imhoff* (o cilindro da 1 litro) per 30 minuti. Per un fango che sedimenta bene, dopo cinque minuti si evidenzia una netta separazione fra strato del fango sedimentato e il liquido surnatante.

La velocità di sedimentazione V_s è definita come la pendenza del tratto rettilineo della curva di sedimentazione ricavata riportando su carta i valori percentuali del volume del fango in funzione del tempo.

Lo **SVI** (*Sludge Volume Index*) o *Indice di Volume del fango*, espresso in ml/g, indica il volume occupato da un grammo di fango dopo 30' di sedimentazione in *cono Imhoff* o cilindro:

$$SVI = \frac{V_a(\text{cc/l})}{MLSS(\text{g/l})}$$

Un fango attivo di buona qualità presenta valori di SVI compresi tra 60 e 150 ml/g. Quando $SVI < 60$ i fanghi sono molto piccoli e compatti (pin point sludge); quando invece $SVI > 150$ i fiocchi sono distanti l'uno dall'altro e il fango è eccessivamente rigonfio (fenomeno del bulking).

2.6 Trattamento dei fanghi

Nel corso dei processi visti fin qui, si formano solitamente grandi quantitativi di fanghi che devono esser trattati e trasformati in sostanze non dannose al fine del successivo smaltimento.

Il trattamento dei fanghi si realizza tramite ispessimento per gravità o per compressione.

Nel primo caso, grazie ad appositi *ispessitori* molto simili a sedimentatori, ma molto più profondi ed inclinati sul fondo, si otterrà una sedimentazione di massa dovuta all'elevata concentrazione di fango.

Nel secondo caso, invece, l'ispessimento sarà ottenuto grazie all'utilizzo di *nastropresse*.

Il fango da trattare viene prima condizionato chimicamente aggiungendo dei flocculanti (polielettroliti) in modo da indurre la creazione di fiocchi di grandezza elevata, e poi verrà fatto scorrere tra due nastri (tele) che, schiacciandolo, porteranno ad una separazione del liquido dal solido. Il grado massimo di secco ottenibile è di circa il 30-40%.

I due trattamenti possono essere utilizzati anche uno in serie all'altro.

Capitolo 3

La depurazione delle acque nello stabilimento della Cartiera Verde Romanello

Lo stabilimento della **Cartiera Verde Romanello SpA** è insediato alle porte di Udine nel Comune di Campofornido. L'azienda nasce il 25 aprile 1925 e la sua evoluzione è scandita sia dalla progressiva e continua estensione della superficie coperta, sia dalle relative scelte di strategia aziendale legate all'evoluzione tecnologica e produttiva del sito.

Lo stabilimento sorge su un lotto di 73.719 m² con una superficie coperta di 33.047 m². È presente all'interno del sito la Roggia di Udine, un piccolo canale utilizzato inizialmente come fonte di approvvigionamento idrico ed energetico ed ora come corpo recettore per lo scarico delle acque depurate alternativo al corpo recettore primario, Torrente Cormor.

Attualmente le principali produzioni della cartiera sono costituite da carta da giornale (o carta da stampa) e carta da imballo.

La materia prima che viene utilizzata è costituita da **carta da macero** di varie tipologie (detta anche fibra di recupero), ovvero una carta che è già servita per lo scopo per il quale è stata fabbricata e che viene riutilizzata nel ciclo produttivo. Attraverso un processo di riciclo della carta da macero, che prevede diverse azioni atte a rinobilitare le fibre di quest'ultimo, si ottiene una fibra idonea alla produzione di nuova carta.

Vengono anche utilizzate delle **materie prime sussidiarie** necessarie per conferire al prodotto finito le specifiche meccaniche, di stampabilità e grado di bianco.

3.1 Il processo di produzione della carta

Sono presenti all'interno dello stabilimento due linee di produzione: la **Linea 1** produce carta per quotidiani la cui grammatura varia tra 45 e 48 g/m², mentre la **Linea 2** produce testliner (o carta per ondulatori) con grammatura tra 130 e 200 g/m², per la produzione di imballaggi. Quest'ultima è formata da due strati: una copertina, generalmente bianca, e da un supporto color avana.

Il ciclo produttivo si articola nelle seguenti fasi:

1. **Stoccaggio della materia prima:** il macero, dopo la pesatura, viene scaricato dai camion tramite movimentazione interna con carrelli elevatori a pinza e viene stoccato in cataste in funzione delle varie tipologie;
2. **Preparazione impasti:** in relazione alla scelta del prodotto finale si distinguono tre linee di preparazione impasti. Si hanno: *preparazione deinking*, *preparazione supporto* e *preparazione copertina*;
3. **Preparazione del foglio:** dalla linea di deinking l'impasto passa alla *Macchina Continua 1*. Dalle linee preparazione supporto e preparazione copertina i preparati entrano in *Macchina Continua 2*;
4. **Allestimento:** il foglio viene tagliato nel formato definitivo e riarrotolato dalle ribobinatrici;
5. **Stoccaggio prodotto finito.**

Nella Figura 3.1 sono illustrati i vari processi a cui viene sottoposto il macero prima di arrivare ad avere le caratteristiche del prodotto finito; si distinguono le tre diverse preparazioni degli impasti e le relative linee di produzione (la *linea cellulosa* non viene utilizzata) che si chiudono all'ingresso delle due distinte macchine continue.

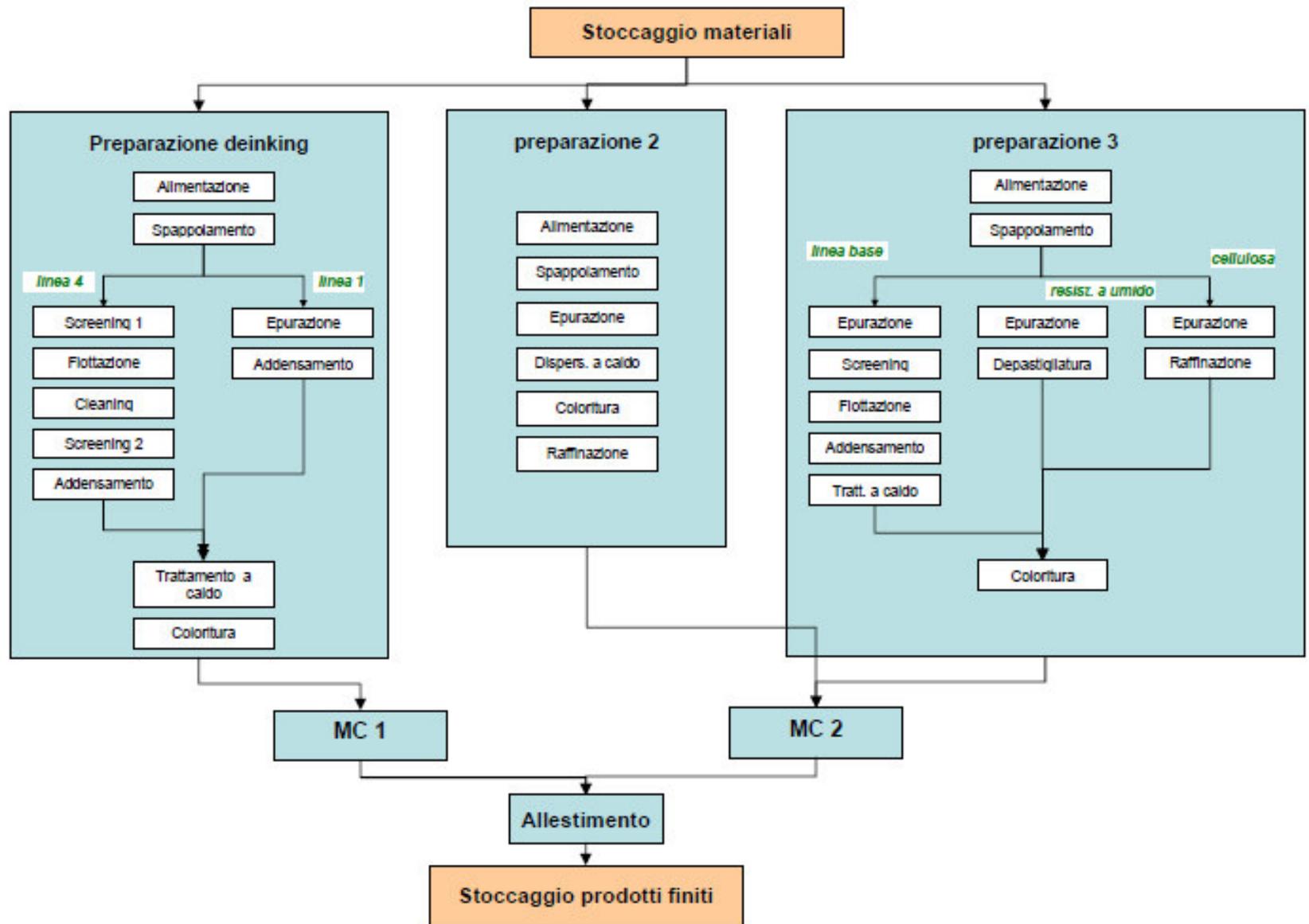


Figura 3.1 Visualizzazione schematica del ciclo produttivo.[8]

3.1.1 La carta da giornale

La materia prima, tramite la movimentazione con carrelli elevatori, viene convogliata sul nastro trasportatore che la scarica direttamente nello spappolatore (*pulper*). Il pulper è una capiente tina ad asse verticale in cui un rotore, posto sul fondo, provvede alla completa apertura del materiale fibroso fino ad ottenere un impasto omogeneo di fibra e acqua. In questa fase si aggiunge un disinchiostrante in polvere, costituito da un acido grasso e da metasilicato, che serve a saponificare l'impasto e prepararlo ai successivi trattamenti per eliminare gli inchiostri. Sono aggiunti inoltre perossido di idrogeno con le finalità di alzare il pH e sbiancare, ipoclorito di sodio in qualità di biocida ed acqua fino a raggiungere la densità desiderata. Lo spappolamento si chiude con lo scarico della pasta ottenuta in alcuni macchinari per una pulizia grossolana volta all'eliminazione delle impurità più grosse e al recupero di parti utili (purificazione a fori).

L'impasto, estremamente diluito, viene inviato all'interno di una serie di celle di flottazione, in cui dal basso viene insufflata aria che, grazie alla presenza del sapone addizionato nel pulper, genera bolle che salgono in superficie, producendo schiuma e catturando le particelle di inchiostro, normalmente idrofobe, che vengono così allontanate dalla fibra. Le schiume contenenti la maggior parte dell'inchiostro presente nell'impasto, vengono rimosse e inviate alle fasi di trattamento depurativo, mentre la pasta passa ad una fase di purificazione fine in cicloni (*cleaners*) e macchine con cestelli a fessure. Quello che ne risulta viene addensato e passato ad una pressa a nastro.

Prima di entrare in Macchina Continua 1 l'impasto subisce sia un *trattamento a caldo*, con cui si cerca di ridurre a dimensioni molto piccole le particelle di sporco che ancora permangono nella pasta di carta, sia una coloritura che ha la funzione di dare al prodotto finito l'aspetto visivo voluto con l'immissione, nelle tinte di coloritura, di coloranti e/o imbiancanti ottici.

A questo punto la pasta passa in testa macchina: prima viene alimentata nella cosiddetta *tina di macchina* e poi fatta passare attraverso un impianto di purificazione aggiuntiva, in cui grazie a cleaners a più stadi, viene liberata dalle ulteriori impurità che potrebbero creare disturbi in macchina e problemi di qualità del prodotto. In questa fase vengono aggiunti dei prodotti chimici che faranno parte del prodotto finito e ne determineranno le caratteristiche meccaniche: amido cationizzato (di patata o di frumento), policloruro di alluminio (PAC) e bentonite.

Per carte che necessitano caratteristiche di maggior resistenza meccanica al contatto con l'acqua (carte per stampa ad inchiostri a base acqua) si provvede anche all'aggiunta di un collante, l'alchenchetone dimero (AKD). Vengono inoltre addizionati un antilimo a base di ipoclorito di sodio e sali di ammonio (monocloroammine) e dei ritentivi a base di poliacrilammide. La pasta di carta viene immessa nella *cassa d'afflusso*: fuoriesce attraverso una lunga feritoia regolabile, denominata *labbro*, e viene distribuita su una tela a trama molto fitta che prende il nome di *tavola piana*. La sua funzione consiste nell'iniziarne la disidratazione estraendo la maggior parte dell'acqua prima per gravità, poi tramite l'applicazione di un vuoto sotto la tela. Un cilindro aspira il foglio dalla tavola piana e lo immette nella sezione presse che comprimono uniformemente il foglio per spremere ulteriormente l'acqua.

All'uscita dalle presse la carta ha un'umidità circa del 50%; l'acqua restante non può essere eliminata per via meccanica e può essere asportata solo tramite l'azione del calore (vapore surriscaldato). Tale operazione avviene nella *seccheria*, costituita da una lunga serie di cilindri cavi in ghisa o acciaio disposti in più batterie essiccatrici. Raggiunta l'umidità prevista (6 - 7 %), il foglio esce dalla seccheria e subisce un passaggio in *liscia di macchina*, un gruppo di due cilindri posti orizzontalmente a contatto tra loro, i quali conferiscono alla carta una migliore finitura superficiale. Il nastro di carta viene quindi arrotolato da un cilindro avvolgitore (*pope*) in una grossa bobina.

3.1.2 La carta per ondulatori

Questa linea di produzione è caratterizzata dal fatto che il prodotto finale è bicomponente: da una parte il supporto (la *preparazione 2* di Figura 3.1) di tinta avana che serve a conferire maggior resistenza meccanica alla carta, e dall'altro la copertina (la *preparazione 3* di Figura 3.1), normalmente bianca, che serve alla presentazione della scatola e che deve avere buone doti di stampabilità.

Il macero per la preparazione 2 viene spappolato con acqua e passato ad una epurazione semifine realizzata con cestelli a fori. La pasta così ottenuta viene sottoposta a un processo di *dispersione a caldo* che ha la funzione sia di eliminare una parte di acqua e di addensarla, sia di micronizzare e disperdere gli inquinanti. Infine si procede alla colorazione.

Il macero per la preparazione 3 (macero bianco) viene spappolato e passato ad una fase di epurazione grossolana prima e fine poi. L'impasto viene addensato e sottoposto al

trattamento a caldo, per essere infine inviato alla fase di coloritura in cui si può aggiungere biossido di titanio per aumentarne il grado di bianco.

A questo punto i due preparati, copertina e supporto, entrano in Macchina Continua 2 in due distinte teste di macchina dove avvengono ulteriori fasi purificative. Nella *testa macchina di copertina* vengono addizionati il collante, carbonato di calcio e il ritentivo, il quale viene addizionato anche in *testa macchina supporto* assieme al policloruro di alluminio e all'antimonio. Infine passano nella vera e propria macchina continua in modo tale che il loro accoppiamento porti al prodotto finito, ottenuto dopo aver provveduto a trattamenti del tutto simili a quelli di Macchina Continua 1.

3.2 L'impianto di depurazione

Il liquame proveniente dal ciclo produttivo ha una fluttuazione tanto di portata che di carico inquinante. Tuttavia analizzando la serie di dati giornalieri rilevati durante l'anno 2011 (da gennaio a ottobre) si sono ottenuti i valori medi di **portata**, **COD** e **Solidi Sospesi in ingresso** riportati in Tabella 3.1.

Tabella 3.1 Valori di portata, COD e SS in ingresso all'impianto di depurazione.

	Media	Min	Max
Portata [m³/h]	456	375	537
COD [mg/l]	1320	1090	1550
SS [mg/l]	4865	2010	7720

L'impianto di depurazione, avviato all'inizio degli anni ottanta e implementato nel corso degli anni, prevede un trattamento che si sviluppa in una **linea acqua** che comprende una prima fase chimico-fisica e una successiva biologica con decantazione finale, a cui si affianca una **linea fanghi** che prevede un ispessimento e una disidratazione in nastropressa.

E' prevista anche una **linea schiume** in cui le schiume provenienti dal reparto deinking sono sottoposte ad un particolare pretrattamento; quest'ultime infatti sono caratterizzate da valori di COD estremamente elevati che conviene abbattere separatamente prima di procedere a qualsiasi altra fase depurativa.

In fig. 3.2 è riportato uno schema a blocchi dell'impianto di depurazione.

IMPIANTO DI DEPURAZIONE - Ciclo delle acque e dei fanghi

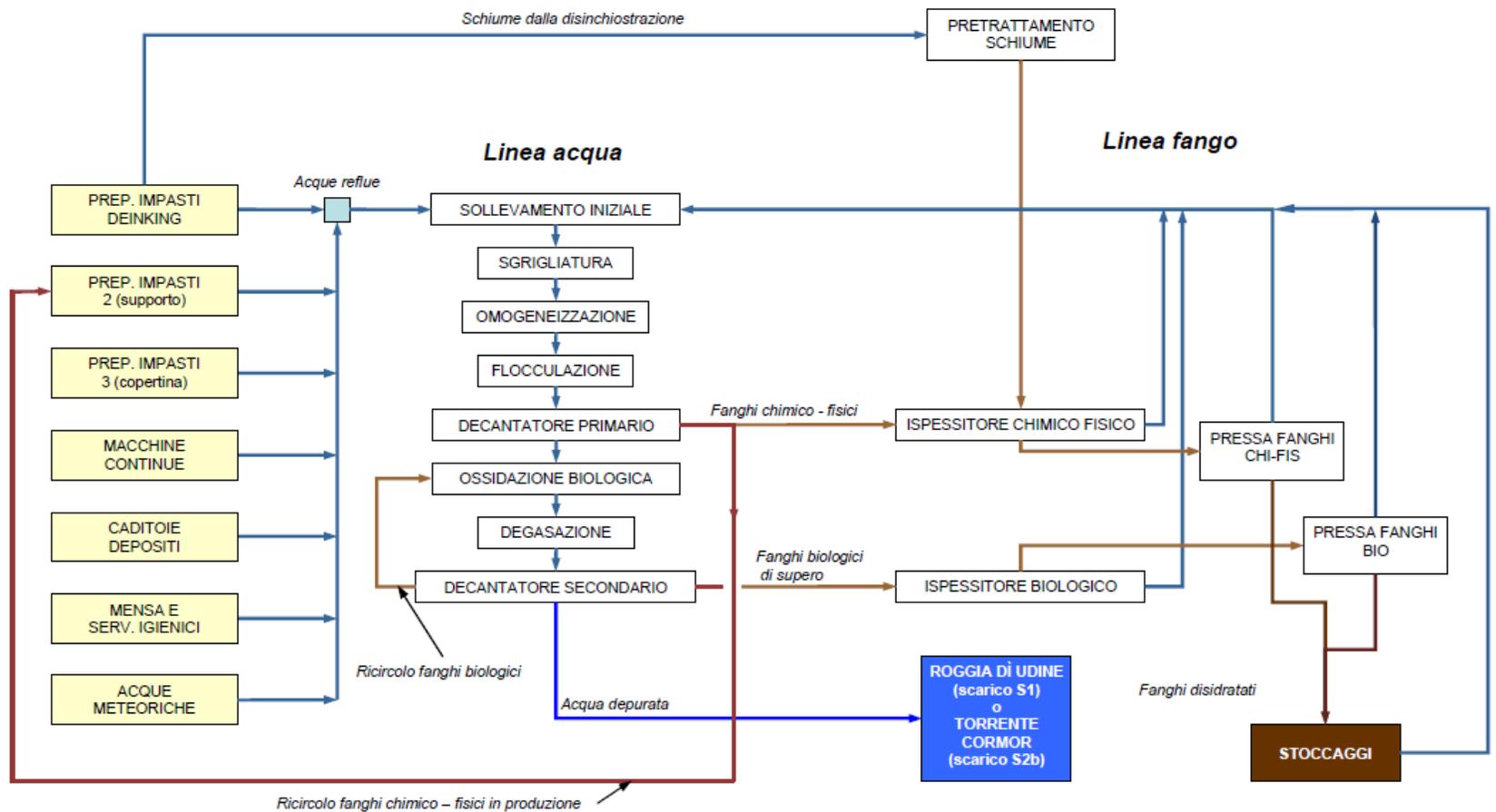


Figura 3.2 Schema a blocchi dell'impianto di depurazione della Cartiera Verde Romanello.[9]

3.2.1 Sollevamento iniziale

Alla vasca di sollevamento iniziale, completamente interrata e di volume pari a 80 m³, confluiscono, tramite la rete fognaria interna, le acque provenienti da:

- Reparti preparazione impasti (deinking, supporto e copertina);
- Caditoie del deposito prodotti chimici e del deposito materie prime;
- Macchina Continua 1 e Macchina Continua 2;
- Servizi igienici e sala mensa;
- Piazzali nord ed est dell'insediamento;
- Ricircoli interni all'impianto di depurazione stesso: acque dagli ispessitori e dalle nastropresse.

La vasca è dotata di due **sistemi di rilevamento del livello**: una sonda a microonde guidate e una sonda idrostatica con un minimo ed un massimo di taratura. Infatti in base al grado di svuotamento che si vuole mantenere, viene impostato un livello, al raggiungimento del quale entrano in funzione a rotazione le tre pompe di sollevamento di tipo centrifugo sommergibile che sono montate sul fondo vasca.

Due di queste pompe, con prevalenza pari a 12 m e potenza di 13.5 kW, hanno una portata sollevabile di 200 m³/h ciascuna; la terza, con una potenza di 18 kW, ha una portata sollevabile di 220 m³/h. La capacità massima continuativa di sollevamento iniziale è quindi pari a 620 m³/h.

A monte di questa vasca, oltre alle condotte interrate di collegamento (all'interno dello stabilimento) esiste un'altra vasca di 360 m³ che può compensare eventuali punte o disfunzioni delle pompe per circa due ore.

3.2.2 Grigliatura

L'acqua dalla vasca di sollevamento viene portata in quota in una canaletta in cui è presente una griglia fine di tipo *separatore a gradini* che rimuove dal refluo le parti grossolane. La griglia presenta una serie di lamelle affiancate con luce di passaggio pari a 2 mm che portano, gradino dopo gradino, il materiale separato fino alla parte superiore della griglia, da dove viene raccolto in un compattatore e fatto cadere in un contenitore di raccolta.

Il rifiuto che ne risulta è composto principalmente da piccoli pezzi di plastica e polistirolo.

3.2.3 Equalizzazione

Il refluo, per caduta, è trasferito alla vasca di omogeneizzazione che ha lo scopo di uniformarne la qualità ma soprattutto la portata. La vasca presenta le caratteristiche geometriche indicate in Tabella 3.2.

Tabella 3.2 *Caratteristiche geometriche della vasca di omogeneizzazione.*

Capacità	Lunghezza	Larghezza	Profondità (max)
800 m ³	17.4 m	8.7 m	4 m

Dovendo uniformare la portata, il battente all'interno della vasca risulta necessariamente variabile. Tuttavia il volume di omogeneizzazione è stato calcolato considerando un **tempo di ritenzione di circa 2 ore** sulla portata media.

L'agitazione, che garantisce il mantenimento in sospensione delle particelle presenti e una corretta miscelazione della varie componenti, è assicurata da due elicomiscelatori tripala con girante da 2.2 m e velocità di 21 giri/min.

3.2.4 Coagulazione, flocculazione e neutralizzazione

Al fine di aumentare la demolizione delle sostanze colloidali a favore del successivo processo biologico, in questo impianto le fasi di trattamento basico e di acidificazione vengono gestite separatamente.

Dalla vasca di omogeneizzazione il refluo passa ad una tina con capacità di circa 80 m³. Il passaggio è garantito da quattro pompe di ripresa ad accensione sequenziale, governate da un sistema automatico affiancato da un sistema di emergenza. Tre di queste pompe, dalla portata di 190 m³/h, hanno una prevalenza di 7 m e una potenza di 5.9 kW; la quarta pompa da 22 kW ha una portata di circa 300 m³/h.

Nella tina di pretrattamento si provvede all'aggiunta di **calce idrata** fino al raggiungimento di un valore di **pH attorno a 10 - 12**. Il raggiungimento di tale valore è garantito dalla misurazione in continuo effettuata da un pHmetro posto all'interno; i **tempi di ritenzione** sono intorno ai **10-15 minuti**.

Il collettore di uscita è provvisto di un **misuratore di portata**, che consente la regolazione di quest'ultima per garantire il corretto funzionamento dei processi a valle. Tramite una tubazione l'acqua trattata passa in una vasca esterna al decantatore primario, dove avviene la flocculazione e la correzione del pH. Questa vasca ha un volume di circa 80 m³ con un **tempo di ritenzione** che varia pertanto tra **10 e 15 minuti** in relazione alla portata.

Un apposito mixer tripala, con girante da 3 m e potenza di 0.55 kW, garantisce una lenta e costante miscelazione del liquame (3.6 giri/min).

E' in questa fase che viene insufflata **anidride carbonica** per la correzione del pH. L'anidride carbonica necessaria al processo è stoccata allo stato liquido in un evaporatore criogenico da 30 m³ alla pressione di 17 bar; viene gassificata con l'impiego di un riscaldatore idrico, regolata in termini di portata e pressione da un apposito quadro di comando, e infine immessa nell'acqua da trattare con un opportuno sistema di diffusione. Il livello fissato di **pH varia nell'intervallo 8.0 – 9.5**. Per mantenere tali valori, la portata di CO₂ viene regolata in automatico con un'elettrovalvola direttamente collegata ad un pHmetro.

In alternativa alla coagulazione con calce e successiva neutralizzazione con anidride carbonica, l'impianto è organizzato in modo da poter operare anche con una coagulazione *classica* per mezzo di cloruro ferrico. In questo caso, il refluo viene direttamente bypassato alla tubazione di mandata alla vasca di flocculazione; in questa tubazione viene quindi dosato il cloruro ferrico per mezzo di pompe dosatrici.

In vasca di flocculazione viene poi dosata calce idrata fino al raggiungimento del valore di pH ottimale, garantito da un pHmetro che ne fa una lettura in continuo.

3.2.5 Decantazione primaria

Dalla vasca di flocculazione, sfruttando il principio dei vasi comunicanti, i reflui passano tramite tubazione sotterranea al decantatore primario. Il sedimentatore del tipo *a contatto di fango*, con flusso radiale e dotato di ponte raschiante, presenta le caratteristiche geometriche indicate in Tabella 3.3.

Tabella 3.3 Caratteristiche geometriche del decantatore primario.

Diametro interno	Altezza media	Superficie	Volume	Inclinazione fondo
20 m	3.82 m	314 m ²	1300 m ³	8°

Tenendo conto dei dati di Tabella 3.3 e delle portate in ingresso contenute in Tabella 3.1, è possibile ricavare il **tempo di ritenzione medio**, il valore di **carico idraulico superficiale** e di **portata allo stramazzo**.

Tabella 3.4 Parametri di dimensionamento del decantatore primario.

	Media	Min	Max
Portata [m ³ /h]	456	375	537
Tempo di ritenzione [h]	3	2.4	3.5
Carico idraulico superficiale [m ³ /m ² *h]	1.5	1.2	1.7
Portata specifica allo stramazzo [m ³ /m ² *h]	7.2	5.9	8.5

Assumendo come valori ottimali un tempo di ritenzione minimo pari a 2 ore, un carico idraulico superficiale pari a 1.5 m³/m²h e una portata specifica allo stramazzo pari a 7.5 m³/mh, si può affermare che tutti i parametri di buon funzionamento sono rispettati.

L'impianto è composto da:

- un *pivot* centrale, attrezzato con turbina con pale a profilo *Sabre* per permettere un flusso a pistone, con camera di reazione nella parte alta dello stesso. La turbina, con potenza di 0.75 kW e velocità variabile dai 3 ai 17 giri/min, permette di porre in intimo contatto l'acqua in ingresso con il fango ricircolato, aumentando così l'efficienza del sistema;
- una gonna in lamiera per spingere il liquame in uscita dal pivot verso il fondo della vasca;
- un ponte raschiante con velocità periferica di 4 cm/s che convoglia i fanghi decantati verso il pozzetto concentratore posto alla base del pivot;
- una canaletta periferica di raccolta dell'acqua chiarificata con anteposta una lamiera a feritoie.

I fanghi che si depositano sul fondo del decantatore vengono convogliati, tramite i rastrelli di fondo del ponte raschiante, nel pozzetto centrale da dove vengono estratti ed inviati ad una piccola vasca di circa 20 m³ da cui, per mezzo di pompe, in parte vengono ricircolati nel pivot centrale e in parte inviati all'ispessitore o riciclati in produzione.

Le pompe sono due: una con portata da 90 m³/h per il ricircolo interno e una da 130 m³/h che provvede all'invio del fango all'ispessitore o in produzione. La portata minima di estrazione per garantire un'ottimale concentrazione del fango all'interno del sedimentatore è di 75 m³/h.

Attualmente i fanghi riciclati in produzione sono dell'ordine dei 70 m³/h, mentre quelli inviati all'ispessitore si aggirano intorno ai 45–50 m³/h. Talvolta nel fango da ricircolare nel pivot viene dosato polielettrolita anionico.

L'acqua chiarificata raccolta nella canaletta esterna va ad alimentare in serie l'impianto biologico, passando per gravità alle vasche di aerazione.

Nella canaletta periferica allo stramazzo è prevista l'aggiunta, oltre che di un antischiuma, anche di prodotti chimici che concorrono al corretto bilanciamento di nutrienti (azoto e fosforo) necessari ai microrganismi operanti nella successiva fase biologica; vengono perciò dosati **acido fosforico e ammonio solfato**. La valutazione della quantità di nutrienti da somministrare viene fatta in base ai valori rilevati allo scarico di azoto e fosforo.

In Tabella 3.5 sono indicate le **percentuali di abbattimento di COD e Solidi Sospesi** ottenute a valle del trattamento primario.

Tabella 3.5 COD e SS in ingresso e uscita dal decantatore primario e relativi abbattimenti percentuali.

	Ingresso	Uscita	Abbattimento %
COD_{medio} [mg/l]	1320	1038	21 %
SS_{medio} [mg/l]	4865	27	> 99%

3.2.6 Trattamento chimico fisico: linea schiume deinking

Quanto descritto in precedenza è il trattamento chimico-fisico della linea acque, in cui però non sono comprese le schiume derivanti dalla preparazione deinking che, essendo un refluo sensibilmente più inquinato, necessitano di un trattamento mirato.

Tramite una tubazione aerea le schiume vengono inviate ad una **tina di flocculazione** di circa 40 m³ munita di agitatore, dove vengono trattate con policloruro di alluminio e polielettrolita anionico. La **portata media delle schiume** è di **25 m³/h** per cui i **tempi di ritenzione** si aggirano attorno alla **mezz'ora**. Con questo trattamento preliminare si ottiene una buona percentuale di riduzione dei COD delle schiume in ingresso.

Tabella 3.6 Percentuali di abbattimento ottenute col pretrattamento delle schiume.

COD ingresso	COD uscita	Abbattimento %
4360 mg/l	1820 mg/l	58 %

Da qui il refluo viene inviato all'ispessitore che ha la funzione di decantare i solidi in sospensione, rendendo un surnatante che viene ricircolato in testa all'impianto nel bacino di sollevamento iniziale e un fango di fondo che viene inviato alla nastro pressa e qui disidratato.

3.2.7 Ossidazione biologica

All'uscita dal decantatore primario l'acqua viene convogliata in due vasche di aerazione in cemento, che lavorano in serie. In Tabella 3.7 sono riportate le dimensioni della prima vasca di aerazione.

Tabella 3.7 Caratteristiche geometriche della vasca di aerazione 1.

Lunghezza	Larghezza	Altezza (utile)	Superficie	Volume
33.9 m	11.3 m	3.50 m	291 m ²	1400 m ³

In questa vasca viene insufflata **aria** con un sistema di diffusori di fondo a bolle fini tipo *Sanitaire*; il sistema è alimentato da un **due compressori**, di cui uno da 2300 m³/h e 37.6 kW regolato manualmente, e uno da 3600 m³/h e 55.6 kW che lavora sia in modalità manuale che automatica.

I diffusori del tipo *a membrana* (da 9 pollici), che servono a garantire la giusta concentrazione di ossigeno ma al contempo a mantenere un certo grado di agitazione, presentano le seguenti caratteristiche:

- Numero: 940
- Profondità: 2.8 m
- Resa di trasferimento: 18.2 %
- Portata di aria: 2.75 Nm³/h cadauno
- Portata ossigeno: 0.14 kg/h cadauno

Il **livello di ossigeno** disciolto è mantenuto sotto controllo da dei misuratori di ossigeno che, in continuo, ne rilevano la concentrazione all'interno della vasca. Si cerca di mantenere una concentrazione di ossigeno pari a **2 ppm**; nel caso questa concentrazione sia inferiore e non raggiungibile con la sola somministrazione di aria, si provvede ad insufflare ossigeno puro.

Oltre all'ossigeno è di fondamentale importanza anche il monitoraggio della **temperatura**, che si aggira intorno ai **30°C**, e del **pH** che risulta ottimale tra **6.0 – 7.5**. Questi valori di temperatura e pH vengono mantenuti anche nella seconda vasca di aerazione, alimentata in serie dal refluo proveniente dalla prima. Si tratta di una vasca a canale dotata di un setto separatore centrale che garantisce un moto a pistone del fluido; di forma prismatica e con un lato corto semicircolare, presenta le caratteristiche geometriche indicate in Tabella 3.8.

Tabella 3.8 Caratteristiche geometriche della vasca di aerazione 2.

Lunghezza (media)	Larghezza	Profondità (utile)	Superficie	Volume
24 m	10 m	6 m	240 m ²	1800 m ³

L'aerazione è data da un sistema di ossigenazione ad **ossigeno puro** tipo *Ventoxal* che prevede:

- un serbatoio da 30 m³ di ossigeno a pressione di 8 bar, completo di riscaldatore atmosferico;
- tre *mix-flow*, completi di quadro di controllo, costituiti da una elettropompa centrifuga sommersa che preleva il liquido da ossigenare e lo invia in pressione ad un miscelatore liquame/ossigeno che sfrutta il principio Venturi per ottenere lo scioglimento del gas e la conseguente generazione di microbolle.
- tubazioni relative.

Con tale sistema si ottiene un efficace trasferimento dell'ossigeno nel liquame, con elevati rendimenti di dissoluzione ed un'ottima movimentazione della vasca dovuta all'energia del fluido in uscita dagli eiettori, che evita ogni possibilità di sedimentazione al fango impedendo l'insorgenza di fenomeni di anaerobiosi. Il dosaggio dell'ossigeno viene asservito alla misura in continuo dell'ossigeno disciolto effettuata con due sensori installati in loco; si cerca di mantenere una concentrazione di ossigeno di **4 ppm**.

In Tabella 3.9 sono riportati i valori medi di portata, COD, BOD₅ e SS in ingresso al trattamento biologico; in tab. 3. 10 sono riportate le caratteristiche dei fanghi.

Tabella 3.9 Valori medi di portata, COD, BOD₅ e SS in ingresso al trattamento biologico.

Portata	COD	BOD ₅	SS
346 m ³ /h	1038 mg/l	610 mg/l	27 mg/l

Tabella 3.10 Caratteristiche del fango presente in aerazione.

SS aerazione 1	SS aerazione 2	kg SS totali	SVI	Età del fango
4890 mg/l	4777 mg/l	15680 kg	166 ml/g	7.2 giorni

Da dati di Tabella 3.10 e considerando la somma dei volumi delle vasche come volume di riferimento (**3200 m³**), si calcolano e si riportano in tab. 3.11 i parametri operativi dell'intero comparto di ossidazione. In Tabella 3.12 sono invece riportati i parametri operativi ottenuti prendendo in considerazione separatamente le vasche.

Tabella 3.11 Parametri operativi dell'intero processo a fanghi attivi.

Carico organico specifico C _{os}	Carico di fango C _f	Tempo di ritenzione t _r
1.58 kgBOD ₅ /m ³ d	0.32 kgBOD ₅ /kgSS d	9.2 h

Tabella 3.12 Parametri operativi delle singole vasche di ossidazione.

	C _o ingresso [kg BOD ₅ /d]	Kg SS [kg]	C _f [kg BOD ₅ /kg SSd]	η %
Aerazione 1	5064	6846	0.74	85 %
Aerazione 2	1013	8598	0.12	14 %

La concentrazione dei solidi sospesi nelle vasche di ossidazione viene mantenuta al livello voluto con un ricircolo del fango dal decantatore finale; i parametri sono riportati in Tabella 3.13.

Tabella 3.13 Parametri di ricircolo dei fanghi.

SS ricircolo	SS aerazione 1	Rapporto di ricircolo R	Portata in ingresso Q _i	Portata di ricircolo Q _r
8270 mg/l	4890 mg/l	1.4	346 m ³ /h	450 m ³ /h

Nel ricircolo viene dosato occasionalmente ipoclorito di sodio per eliminare i batteri filamentosi.

Dalle vasche di ossidazione il refluo, prima di essere inviato al decantatore finale, passa in una *vasca di degasazione* da 40 m³ dove viene agitato con un miscelatore a 6 pale radiali da 1.2 m con velocità di 20 giri/min e potenza di 0.75 kW. In questo modo, nel giro di 15 minuti, vengono rilasciati l'aria e l'ossigeno in eccesso che nel sedimentatore secondario potrebbero provocare un trascinamento in superficie del fango.

3.2.8 Decantazione secondaria

Dalla *vasca di degasazione* il refluo passa per gravità al decantatore secondario, dove avviene l'ultima fase del processo biologico. Il bacino è a pianta circolare con immissione della torbida dal basso in posizione centrale ed è fornito di un setto superiore di divisione della zona turbolenta da quella di calma.

Tabella 3.14 *Caratteristiche geometriche del decantatore secondario.*

Diametro interno	Altezza media	Superficie	Volume	Inclinazione fondo
36 m	3.7 m	1017 m ²	3200 m ³	2° 52'

Il decantatore è dotato di un carroponete con aspiratore, con tubi telescopici e raschie di fondo, avente una velocità periferica di circa 3 cm/s. La depressione creata nella parte centrale del ponte consente l'aspirazione dal fondo del fango attivo sedimentato nella vasca. Il fango, in questo modo, viene portato all'esterno nel vaschino di ricircolo fanghi secondari (20 m³) e da qui di nuovo nella vasca di aerazione o alla nastropressa. Le pompe installate nel vaschino sono tre, di cui due da 18 kW con portata di 280 m³/h ciascuna per il ricircolo in aerazione e una da 45 m³/h per lo spurgo (alla nastropressa). Il ponte è dotato anche, nella zona periferica, di una raschia di superficie che convoglia eventuali parti in sospensione all'interno di un pozzetto di raccolta.

Il surnatante sfiora in un canale circolare in cui sono installati dei **misuratori di portata** a stramazzo per il controllo della portata di scarico; il valore medio della **portata allo scarico** è pari a **295 m³/h**. Nella canaletta viene solitamente addizionato un antischiuma.

I **parametri di dimensionamento** del decantatore sono riportati in Tabella 3.15.

Tabella 3.15 Parametri di dimensionamento del decantatore secondario.

Portata totale	Portata in ingresso	Tempo di ritenzione	Carico idraulico superficiale	Carico di solidi superficiali
796 m ³ /h	346 m ³ /h	9 h	0.34 m ³ /m ² h	3.8 kg SS/m ² h

Si può notare che il tempo di ritenzione è superiore ai tempi di ritenzione medi caratteristici della sedimentazione secondaria. Il carico idraulico superficiale risulta invece di poco inferiore al limite minimo di buon funzionamento.

Con i **valori medi allo scarico di COD, BOD₅ e SS** è possibile calcolare le **percentuali di abbattimento** di questi parametri, relative all'intero processo di depurazione.

Tabella 3.16 Percentuali di abbattimento di COD, BOD₅ e SS dell'intero processo di depurazione.

	Ingresso	Uscita	Abbattimento %
COD [mg/l]	1320	110	92 %
BOD ₅ [mg/l]	785	18	97 %
SS [mg/l]	4865	10	> 99 %

3.2.9 Ispessimento e disidratazione

I fanghi chimico-fisici provenienti dal decantatore primario (circa 40–50 m³/h) e le schiume pretrattate nella tina di flocculazione (circa 25–30 m³/h) sono inviati ad un ispessitore circolare dotato di un ponte addensatore con lama raschiante e completo di gonna centrale.

Tabella 3.17 Caratteristiche geometriche dell'ispessitore.

Diametro interno	Altezza media	Superficie	Volume	Inclinazione fondo
8 m	3.2 m	50.2 m ²	180 m ³	15°

L'acqua di supero, che sfiora nella corona circolare, viene rinviata al sollevamento iniziale, mentre il fango, concentrato al 13–15%, viene raccolto nel pozzetto centrale dell'ispessitore e inviato nella tubazione che lo porta alla nastro pressa tramite delle pompe a vite tipo *Mohno*; le pompe sono in tutto cinque di cui tre da 5.5 kW con portata di 30 m³/h ciascuna, e due da 3.0 kW con portata di 15 m³/h ciascuna.

E' presente all'interno dell'impianto anche un ispessitore per i fanghi biologici del tutto identico a quello appena descritto che tuttavia non viene utilizzato per la disidratazione dei fanghi di supero (inviati direttamente alla nastropressa per fanghi biologici). Questo secondo ispessitore viene infatti utilizzato per accogliere i fanghi dal decantatore primario che, in caso di fermata della produzione, non possono essere ricircolati alla preparazione impasti.

Prima di arrivare alla pressa, direttamente nella tubazione, il fango viene additivato con un polielettrolita cationico in emulsione in quantità variabile in funzione al quantitativo di fanghi che devono essere disidratati.

Alla pressa per la disidratazione dei fanghi chimico-fisici (*Sernagiotto*) arriva una portata media di fanghi pari a 11 m³/h. Si tratta di una macchina a doppia tela progettata per disidratare il fango mediante progressiva compressione tra due teli (2 x 9.60 m) permeabili continui con una velocità minima di 0.15 m/min e una contropressione massima di 6 kg/cm; ovviamente quest'ultimi due parametri vengono regolati in funzione della tipologia e qualità del fango in arrivo. I fanghi in uscita hanno un grado di secco pari al 50 – 60 %.

Alla pressa per i fanghi biologici (*Bellmer*) vengono invece inviati i fanghi di supero provenienti dal decantatore secondario; la portata media oraria di tali fanghi è di circa 10 m³/h. Anche questa è una pressa a teli, che però non presenta cilindri in contropressione (il fango biologico è più difficilmente comprimibile rispetto al chimico-fisico). I fanghi in uscita hanno un grado di secco pari al 14 – 15 %.

L'acqua uscente da entrambe le presse viene ricircolata in testa all'impianto nel bacino di sollevamento iniziale, mentre i fanghi biologici e chimico-fisici pressati vengono condotti tramite nastro trasportatore in un'aia coperta dove vengono separatamente ammassati in attesa di essere smaltiti.

Capitolo 4

Analisi di funzionamento dell'impianto

Fino agli inizi di marzo 2011 l'impianto di depurazione della **Cartiera Verde Romanello** ha lavorato con efficienze depurative di gran lunga migliori di quelle previste dai parametri di dimensionamento delle varie fasi; i valori di inquinanti allo scarico risultavano, infatti, ben al di sotto dei limiti imposti dalle normative vigenti.

Tuttavia intorno alla metà di marzo l'efficienza depurativa dell'impianto è cominciata a calare drasticamente con un aumento dei valori di **COD allo scarico** (Figura 4.1) che si sono avvicinati ai limiti di legge (< 160 mg/l), rendendo più volte necessaria la fermata dell'impianto e di conseguenza dell'intera cartiera.

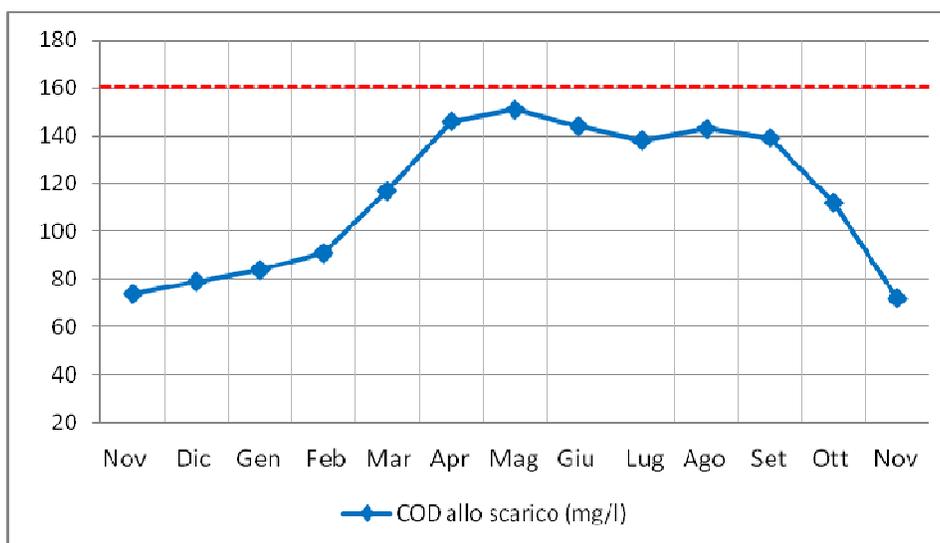


Figura 4.1 Andamento dei valori del COD allo scarico tra novembre 2010 e novembre 2011.

La situazione, mantenutasi critica fino alla fine di settembre 2011, è poi migliorata nei mesi a seguire, con valori del COD allo scarico nuovamente accettabili.

4.1 Valutazione dell'efficienza delle fasi chimico-fisica e biologica

Prima di indagare sulle cause del problema dell'impianto, si è cercato di capire se questo calo di efficienza depurativa fosse attribuibile alla fase chimico-fisica, alla fase biologica o ad entrambe.

Per tale scopo sono stati presi in considerazione i dati ottenuti dalle analisi giornaliere effettuate nel laboratorio interno all'impianto relative al periodo **da novembre 2010 a novembre 2011**. In particolare è stato verificato se in questo periodo i valori di **portata**, **COD** e **solidi sospesi in ingresso** fossero variati in modo significativo e tale da comportare scompensi al normale funzionamento dell'impianto.

In Figura 4.2 si può vedere che, nell'arco di tempo considerato, la **portata in ingresso** ha avuto variazioni non oltre il 20% rispetto al valore medio (456 m³/h, evidenziato in blu) e perciò si esclude che ci siano stati squilibri di tipo idraulico.

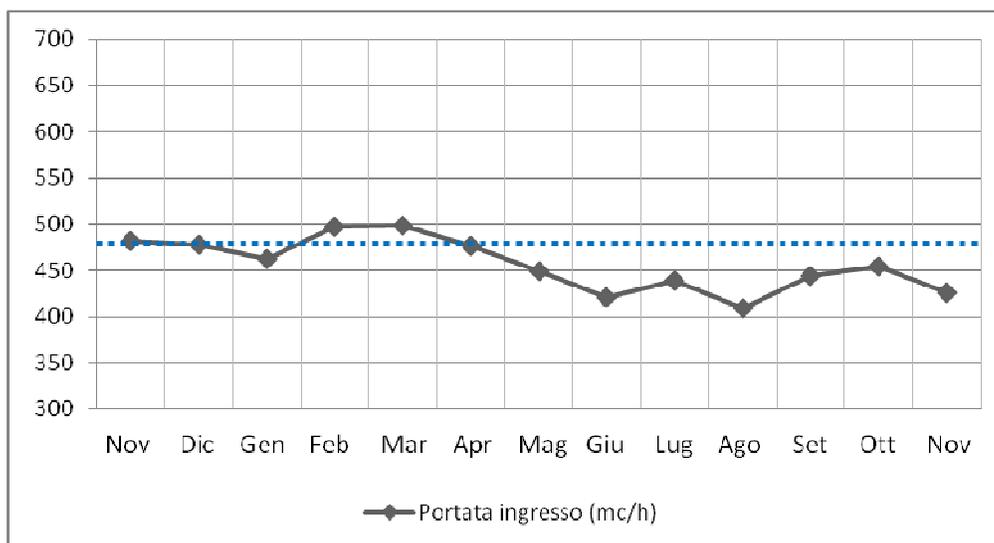


Figura 4.2 Andamento della portata in ingresso all'impianto.

In Figura 4.3 sono invece riportati rispettivamente gli andamenti dei valori di **COD** in ingresso all'impianto e in uscita dal decantatore primario.

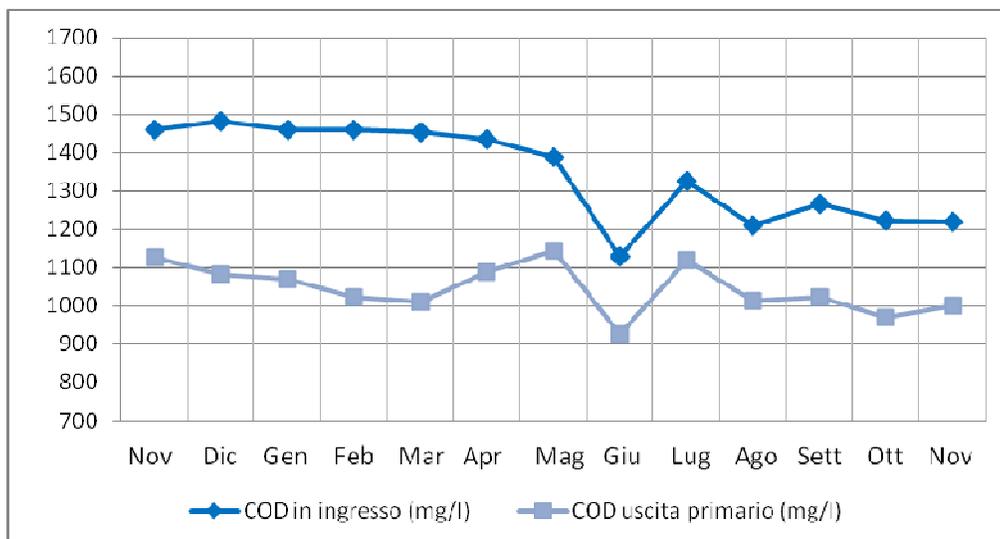


Figura 4.3 Andamento dei valori del COD in ingresso all'impianto e in uscita dal decantatore primario.

Si può facilmente notare che i valori di COD in ingresso e in uscita hanno due andamenti analoghi; da ciò si deduce che il funzionamento del trattamento primario è stabile; ciò comporta che anche l'**abbattimento percentuale di COD** nell'intero **trattamento chimico-fisico** è stabile e sempre vicino al **valore medio 20%** previsto dal progetto, come si vede dal grafico riportato in Figura 4.4.

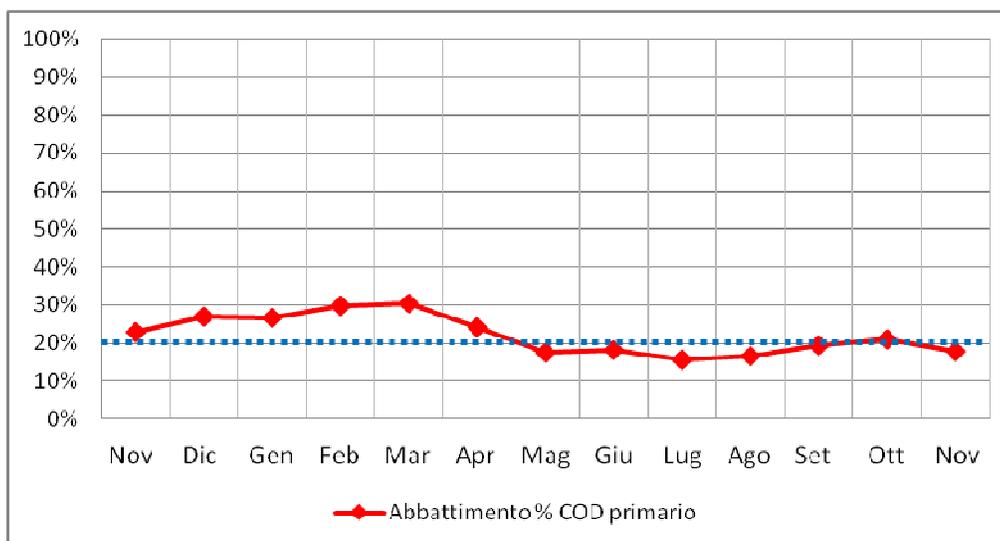


Figura 4.4 Andamento dell'abbattimento percentuale del COD nel trattamento chimico-fisico.

L'andamento dei **solidi sospesi** in ingresso all'impianto e in uscita dal decantatore primario è rappresentato in Figura 4.5; sulla base di questi dati è stata ricavata la Figura 4.6 con l'andamento della resa di rimozione dei solidi.

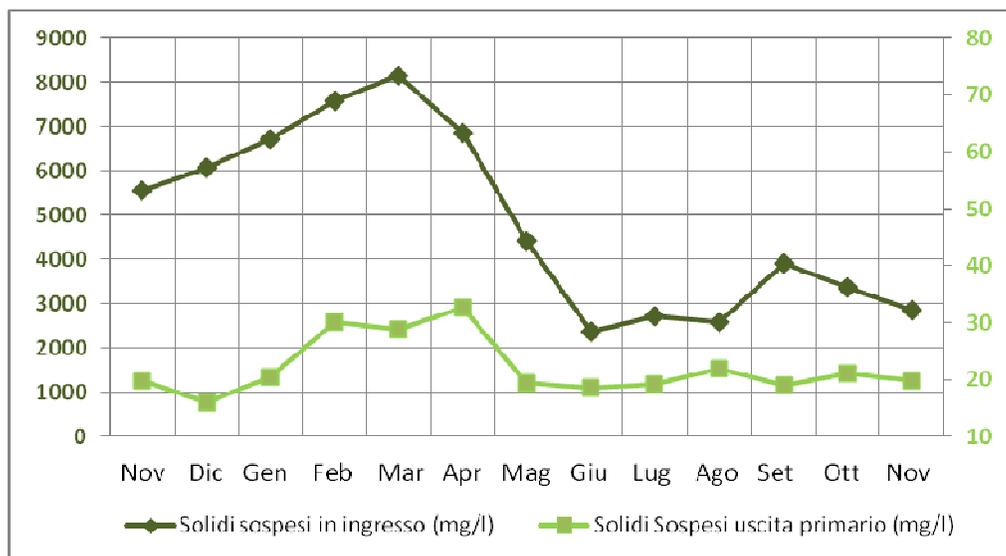


Figura 4.5 Andamento dei valori di solidi sospesi in ingresso all'impianto e in uscita dal decantatore primario.

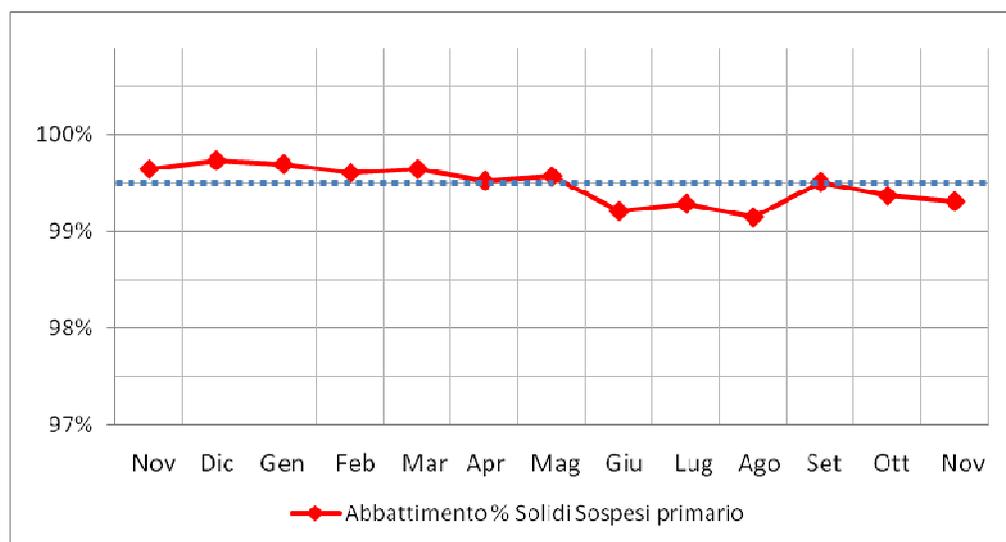


Figura 4.6 Andamento dell'abbattimento percentuale di solidi sospesi nel trattamento chimico-fisico.

L'abbattimento percentuale dei solidi sospesi si è mantenuto **stabile e vicino al valore ottimale del 99.5 %**.

Da queste valutazioni, quindi, è possibile **escludere che il problema** all'impianto rilevato nel periodo marzo 2011-settembre 2011 **riguardasse la fase di trattamento chimico-fisico**.

Tuttavia occorre notare che, nonostante la percentuale di abbattimento dei solidi sospesi nel trattamento chimico-fisico si sia mantenuta stabile, in uscita dal decantatore primario (quindi in ingresso alle aerazioni) si è verificato un aumento del valore dei solidi sospesi a partire dalla fine di febbraio (Figura 4.5).

Sulla base dei valori di COD in uscita dal primario (Figura 4.3) e dei valori di COD allo scarico finale (Figura 4.1) è stato calcolato l'andamento dell'**abbattimento del COD** relativo al **trattamento biologico** riportato in Figura 4.7.

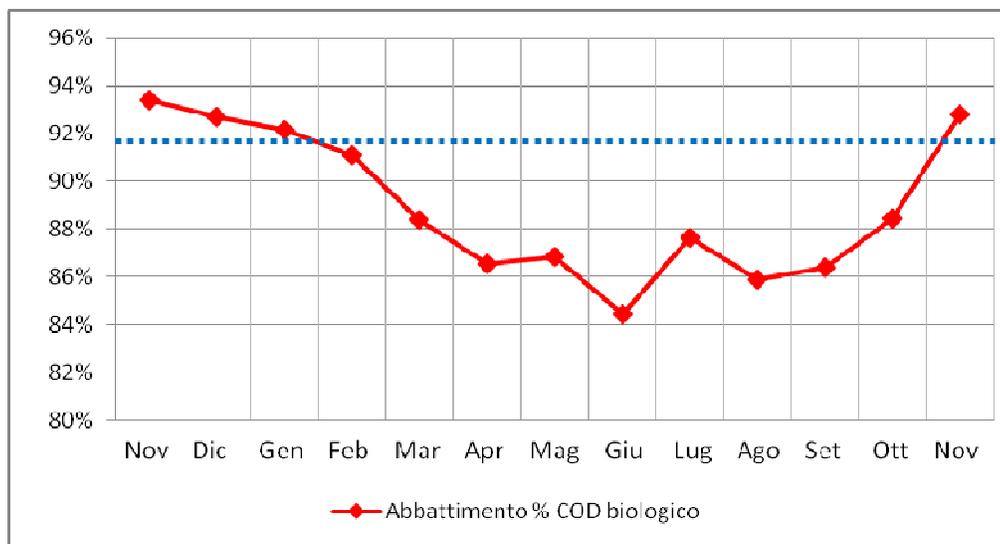


Figura 4.7 Andamento dell'abbattimento percentuale del COD nel trattamento biologico.

Risulta evidente che nel periodo tra marzo 2011 e settembre 2011 c'è stato un **calo** dell'abbattimento del COD **di quasi il 10 %** rispetto al valore ottimale (pari a circa 92 %). Possiamo quindi imputare l'aumento di COD allo scarico ad un **malfunzionamento del trattamento biologico** ed in particolare ad un peggioramento della qualità del fango attivo.

Le osservazioni sul fango attivo raccolte nel periodo di malfunzionamento evidenziavano, infatti, oltre che una scarsa e poco attiva flora batterica, anche una costante e rilevante presenza di schiuma nelle vasche d'aerazione.

Inoltre la massa batterica risultava principalmente costituita da batteri di tipo filamentoso che comportavano un fenomeno di bulking nel decantatore secondario, rappresentato da un notevole aumento del letto dei fanghi e conseguente diminuzione della trasparenza del surnatante. L'uscita di fango non sedimentato assieme al surnatante provocava ovviamente un notevole aumento del valore di COD in uscita. In Figura 4.8 si può notare il calo della visibilità rilevato all'interno del sedimentatore secondario.

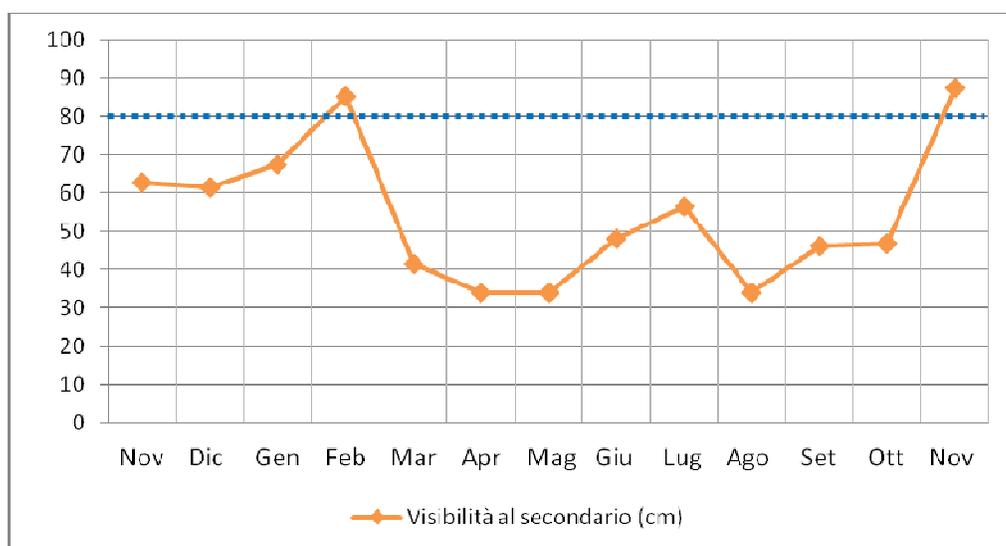


Figura 4.8 Andamento della visibilità all'interno del decantatore secondario.

La *visibilità* è un indice della trasparenza del surnatante del decantatore secondario. Questa misura viene fatta immergendo perpendicolarmente al pelo dell'acqua un'asta tarata con un disco bianco ad una estremità; vengono misurati i centimetri fino ai quali il disco bianco rimane visibile al di sotto del pelo dell'acqua.

4.2 Analisi dei prodotti chimici ausiliari e delle produzioni

Partendo da tali presupposti si è voluto verificare se fossero variate alcune condizioni di funzionamento dell'impianto; in particolare, supponendo che alcuni **prodotti utilizzati in produzione** avessero un'azione inibitoria del metabolismo batterico, sono stati analizzati i

consumi di tali prodotti nel periodo che va **da ottobre 2010 ad ottobre 2011**. Si è cercato di individuare quali prodotti fossero stati cambiati, o sostituiti, e quali invece fossero stati utilizzati in quantitativi maggiori nel periodo di malfunzionamento.

Occorre anche ricordare che, per quanto riguarda le concentrazioni di inquinanti nelle acque in arrivo all'impianto di depurazione della Cartiera Verde Romanello, oltre a tenere conto dei prodotti chimici utilizzati in fase produttiva, bisogna ricordare il contributo proveniente dalla materia prima stessa: il **macero**. Come conseguenza di un costante incremento del tasso di recupero della fibra secondaria, si sta assistendo ad un progressivo peggioramento qualitativo delle caratteristiche tecnologiche dei maceri. Tuttavia il contributo inquinante del macero non è facilmente misurabile e tantomeno prevedibile, a differenza di quello dovuto ai prodotti chimici. Tra i prodotti il cui utilizzo è stato introdotto a cavallo del periodo considerato, si trovano l'*amido di frumento Ceresan* e il *silicato Zeocros*. I consumi mensili dell'amido di frumento (tonnellate) sono riportati in Figura 4.9.

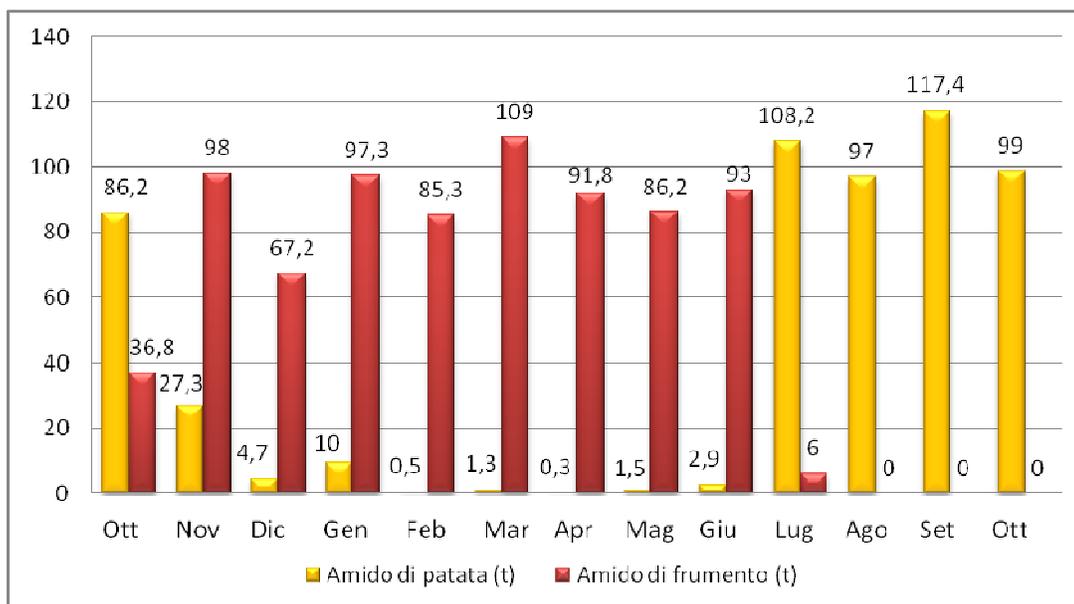


Figura 4.9 Consumi mensili di amido di frumento e amido di patata.

Si può notare che il consumo di amido di frumento, sostituito all'*amido di patata Fibraffin* per questione di costi, ha raggiunto il suo picco proprio nel mese di marzo, ossia nel periodo in cui è cominciato il peggioramento dell'efficienza di depurazione.

L'amido, avendo la funzione di fornire resistenza meccanica alla carta, è un additivo fondamentale per tale produzione ed è per questo utilizzato in grandi quantità.

Si ricorda che per il depuratore della cartiera gli inquinanti di tipo organico, come l'amido disciolto, sono tra quelli più significativi poiché danno un notevole apporto di BOD e COD oltre ad essere lentamente biodegradabili.

Il silicato Zeocros è un silicato di alluminio sintetico che è stato utilizzato al posto del biossido di titanio come agente sbiancante e opacizzante. Come si può vedere dal grafico di Figura 4.10, in cui sono riportati i consumi mensili in tonnellate, anche per tale prodotto si è raggiunto un picco di utilizzo nel mese di marzo.

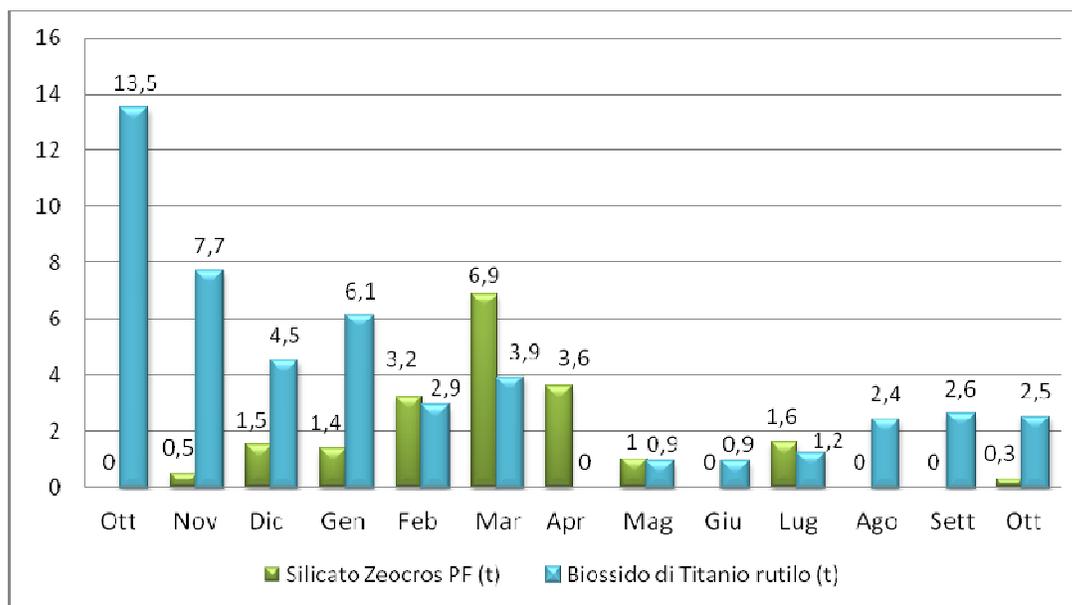


Figura 4.10 Consumi mensili di biossido di titanio e silicato.

I prodotti non sostituiti da altri, ma che sono stati utilizzati in quantitativi maggiori nel periodo ottobre 2010-ottobre 2011, sono il *policloruro di alluminio* (PAC 18%) e il *collante hidrores 258 YP*.

Il policloruro di alluminio viene utilizzato in produzione come coagulante secondario se aggiunto in una percentuale dello 0.8%, e come fissativo dei coloranti in una percentuale maggiore dell'1%. L'aumento del suo utilizzo (Figura 4.11) è giustificato dal fatto che nel corso del 2011 è stata prodotta una quantità maggiore di carta colorata.

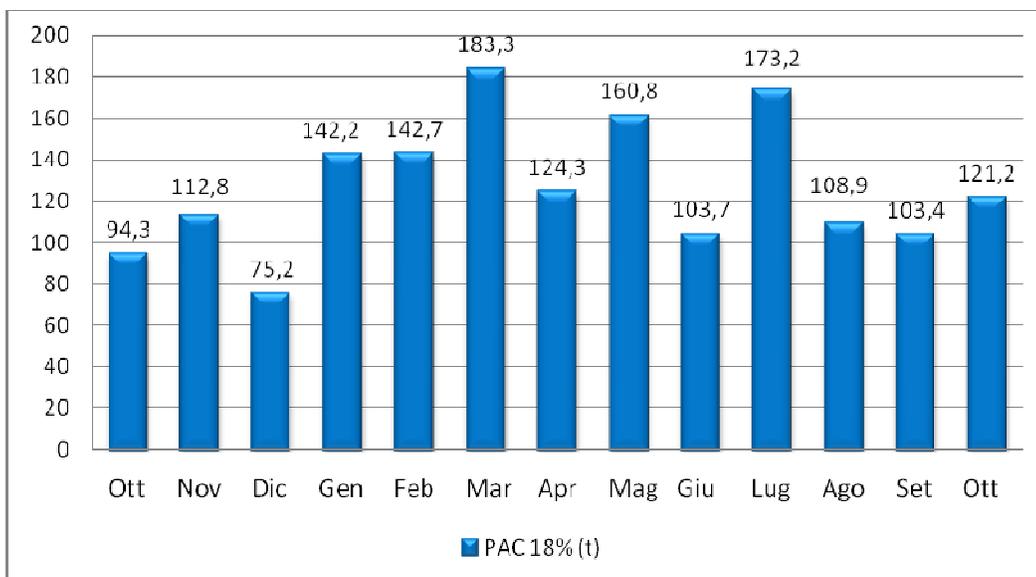


Figura 4.11 Consumi mensili di policloruro di alluminio.

Il collante viene invece utilizzato per conferire alla carta particolari caratteristiche di stampabilità (resistenza ad inchiostri a base acqua). I consumi sono riportati in Figura 4.12.

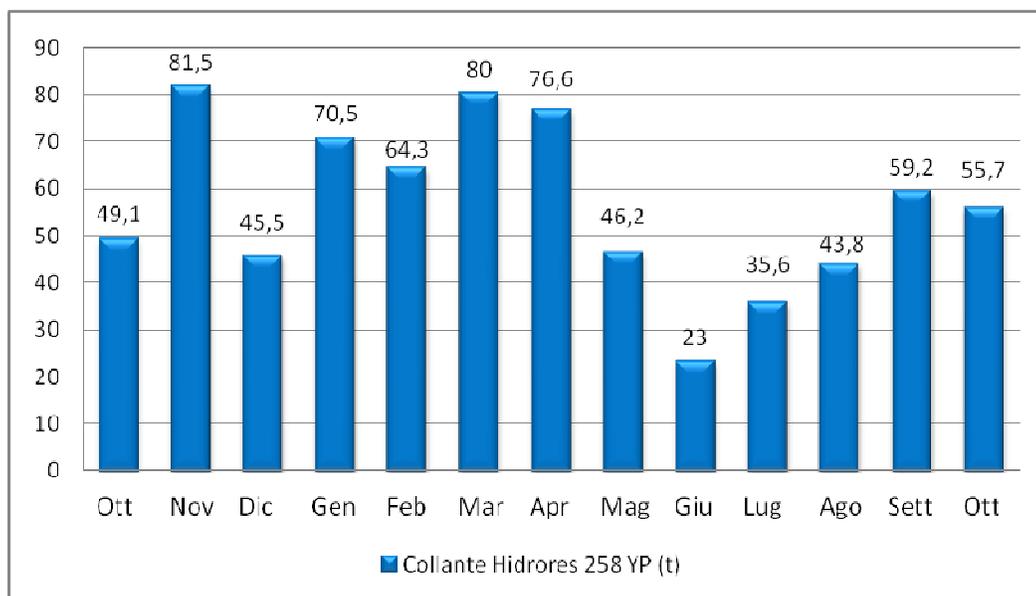


Figura 4.12 Consumi mensili di collante.

Nel 2010 l'aggiunta del collante era limitata alle carte lavorate in Macchina Continua 2; con il 2011, per motivi di mercato, si è cominciato a produrre carte collate anche in Macchina Continua 1. In Figura 4.13 sono riportate le produzioni mensili di carte collate in

Macchina continua 2 nel periodo tra **ottobre 2010 e ottobre 2011**. In Figura 4.14 sono invece riportate le produzioni mensili di carte collate in Macchina continua 1.

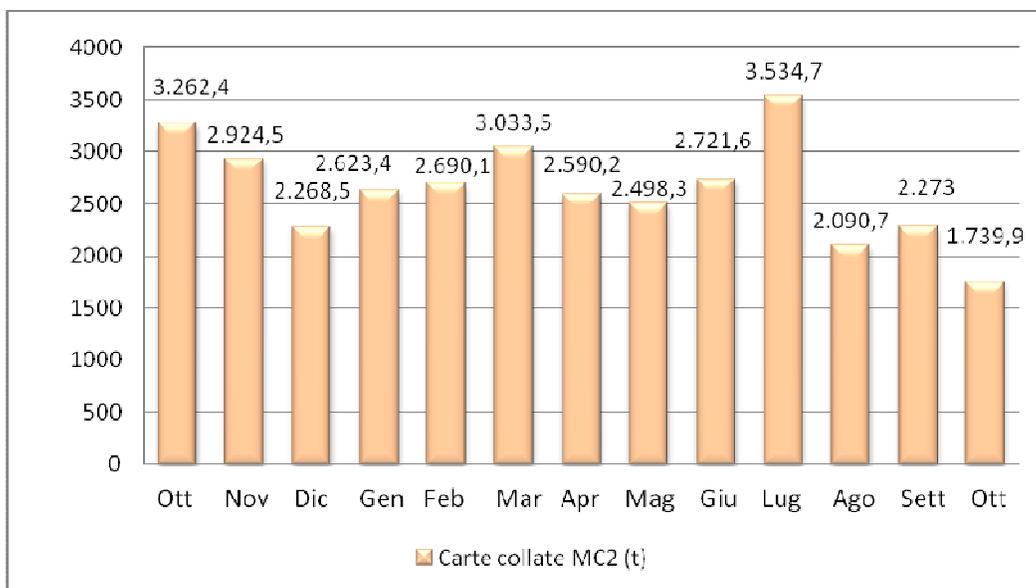


Figura 4.13 Produzioni mensili di carte collate in Macchina Continua 2.

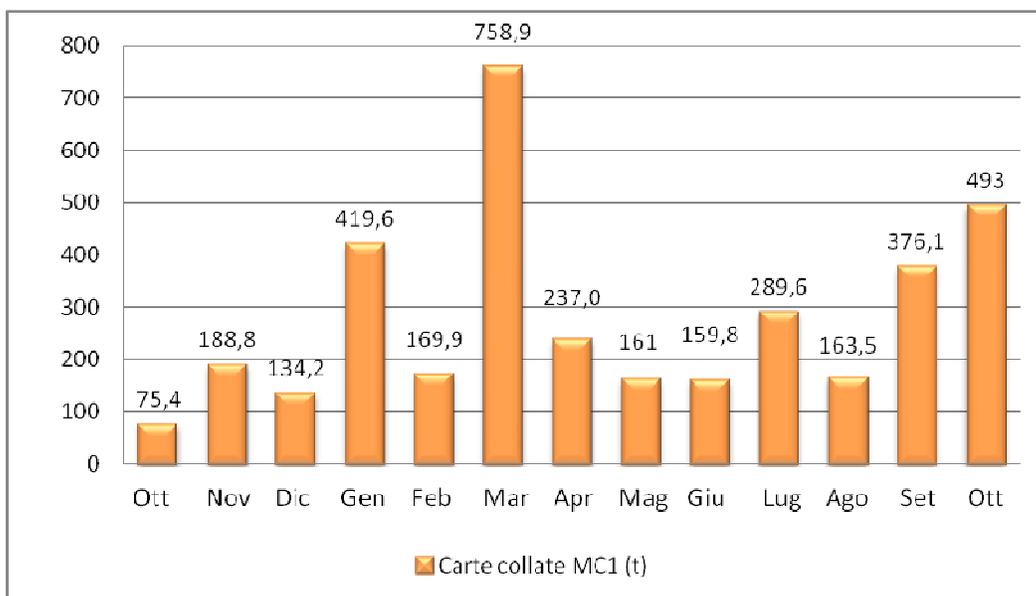


Figura 4.14 Produzioni mensili di carte collate in Macchina Continua 1.

In Figura 4.15 sono riportate le **produzioni mensili totali di carte collate**; si notano i due picchi di produzione dei mesi di marzo e di luglio, che giustificano quindi anche l'aumentato utilizzo di collante nello stesso periodo.

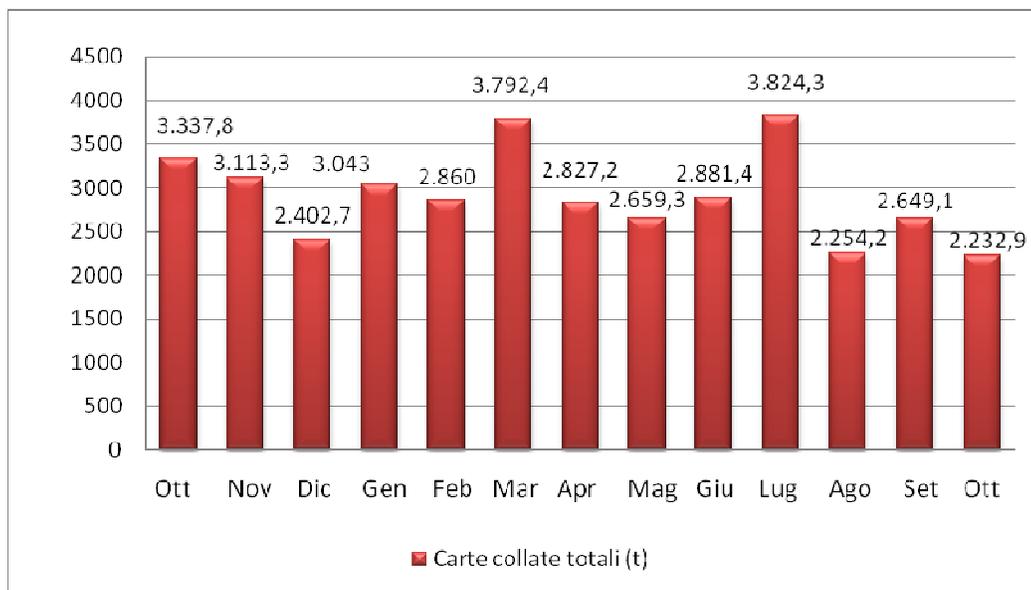


Figura 4.15 Produzioni totali mensili di carte collate.

Il collante AKD (*alchilchetene dimero*) sembra effettivamente avere un'azione inibente sui batteri del fango attivo. Come conseguenza dell'aumentato utilizzo di collante si è verificato anche un aumento delle quantità di detersivi utilizzati per la pulizia dei feltri delle macchine continue (Fig. 4.16).

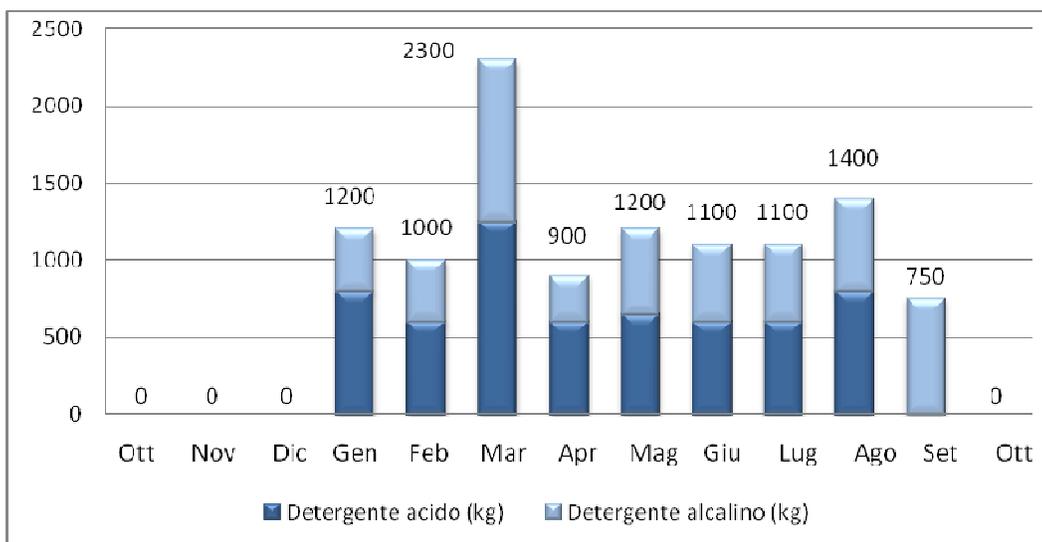


Figura 4.16 Consumi mensili di detersivi per la pulizia dei feltri dal collante.

Conclusioni

Dallo studio effettuato si evince che l'aumento critico dei valori di COD allo scarico rilevato nel periodo marzo – settembre 2011, è imputabile ad un calo di efficienza depurativa del trattamento biologico. Tale calo, reso manifesto da evidenti segni di sofferenza della massa batterica costituente il fango attivo, è risultato correlato alla sostituzione e all'aumentato utilizzo di particolari prodotti chimici ausiliari utilizzati in fase produttiva:

- sostituzione dell'amido di patata con amido di frumento e del biossido di titanio con silicato d'alluminio;
- aumentato utilizzo di collanti per la produzione di carte collate sia in Macchina Continua 2 che in Macchina Continua 1.

La somma di questi fattori, andatisi a concentrare nel periodo marzo – settembre 2011, è dunque la plausibile causa del malfunzionamento.

Si è quindi preferito riprendere l'utilizzo dell'amido di patata al posto dell'amido di frumento; inoltre sono state notevolmente ridotte le quantità di silicato di alluminio in favore dell'utilizzo del biossido di titanio.

Per quanto riguarda l'uso dei collanti si è cercato di ridurre l'utilizzo adottando dei piani di produzione. Tale pianificazione consiste nel non sovrapporre negli stessi periodi di tempo o per periodi troppo lunghi le produzioni di carte collate sia su Macchina Continua 1 che su Macchina Continua 2.

Agendo su questi fattori si è potuto notare che l'impianto ha ripreso a funzionare regolarmente e con buone prestazioni depurative.

Bibliografia

- [1] F. Peres: dispense del corso di “Diritto Ambientale”, Università di Padova
- [2] D.Lgs. 152/2006: “Testo Unico Ambientale”
- [3] M. Tiziano: corso di tecnologia per tecnici cartari “Trattamento acque di scarico”
- [4] L. Masotti: “Depurazione delle acque”
- [5] C. Di Qual: corso di tecnologia per tecnici cartari “Trattamento delle acque di cartiera”
- [6] I. Fantei, E. Strumia, S. Soprani: “Microbiologia e depurazione. La microbiologia al servizio del gestore degli impianti di depurazione aerobici.”
- [7] L. Cingolani, E. Ciccarelli “Depurazione biologica a fanghi attivi” Volume I: “I microrganismi responsabili di bulking e schiume biologiche.”
- [8] Relazione di progetto dell’impianto della Cartiera Verde Romanello
- [9] Autorizzazione Integrata Ambientale della Cartiera Verde Romanello