



REGIONE DEL VENETO

Esame di fine corso

Cod. Progetto 4262/2/668/2015 - Cod. Intervento 4262/004/636/DEC/22

Titolo: Tecnico per la gestione di impianti di produzione della carta

Sede del corso: Verona - VR - 37138 - Via Don Giovanni Minzoni, 50

Processi di depurazione delle acque reflue in cartiera: trattamenti biologici e chimico-fisici

di Galli Laura



**Scuola Interregionale
di tecnologia per tecnici Cartari**

Istituto Salesiano «San Zeno» - Via Don Minzoni, 50 - 37138 Verona
fcs.istitutosalesianosanzeno.it - scuolacartaria@sanzeno.org

INDICE

1. **Introduzione al trattamento delle acque reflue**
 - 1.1 Definizione e obiettivi
 - 1.2 Importanza del trattamento delle acque reflue industriali
2. **Normativa di riferimento**
 - 2.1 Decreto Legislativo 152/2006
 - 2.2 Tipologie di scarico e limiti
3. **Parametri di controllo delle acque reflue**
 - 3.1 Parametri fisici e organolettici
 - 3.2 Inquinamento da solidi e sostanza organica (BOD, COD)
 - 3.3 Metalli pesanti
 - 3.4 Sostanze inorganiche e composti tossici
 - 3.5 Nutrienti (azoto e fosforo)
 - 3.6 Sostanze organiche pericolose
4. **Trattamenti preliminari e chimico-fisici**
 - 4.1 Grigliatura
 - 4.2 Controllo del pH
 - 4.3 Nutrienti biologici
 - 4.4 Polimeri per la disidratazione
 - 4.5 Polimeri per il trattamento primario
5. **Trattamento biologico delle acque reflue**
 - 5.1 Sistema aerobico
 - 5.2 Trattamento ossidativo biologico
 - 5.3 Fanghi attivi
 - 5.4 Ossidazione biologica
6. **Problematiche del processo biologico**
 - 6.1 Crescita dispersa
 - 6.2 Bulking
 - 6.3 Foaming e altre criticità

- 7. **Sistema anaerobico**
 - 7.1 Principio di funzionamento
 - 7.2 Produzione di biogas
 - 7.3 Vantaggi e applicazioni

- 8. **Terapia chimica**
 - 8.1 Applicazioni principali
 - 8.2 Controllo dei filamentosi
 - 8.3 Antischiuma
 - 8.4 Controllo degli odori

- 9. **Separazione solido/liquido**
 - 9.1 Precipitazione
 - 9.2 Coagulazione
 - 9.3 Flocculazione

- 10. **Caratteristiche delle acque di scarico in cartiera**
 - 10.1 Tipologie di inquinanti
 - 10.2 Comportamento delle sostanze

- 11. **Sistema MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor)**
 - 11.1 Principio di funzionamento
 - 11.2 Obiettivi del trattamento
 - 11.3 Comportamento della biomassa

1. INTRODUZIONE AL TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE

Il trattamento delle acque reflue rappresenta una fase fondamentale per la tutela dell'ambiente e per la gestione sostenibile delle risorse idriche.

Le acque di scarico, provenienti da attività civili e industriali, contengono infatti numerose sostanze inquinanti, sia organiche che inorganiche, che possono compromettere l'equilibrio degli ecosistemi se immesse direttamente nei corpi idrici.

L'obiettivo principale della depurazione è quello di rimuovere o ridurre tali contaminanti, attraverso una combinazione di processi fisici, chimici e biologici, fino a rendere l'acqua compatibile con l'ambiente o riutilizzabile.

In ambito industriale, e in particolare nel settore cartario, il trattamento delle acque reflue assume un ruolo ancora più importante a causa dell'elevato carico organico e della presenza di sostanze difficilmente biodegradabili.

All'interno di un impianto di depurazione si distinguono diverse fasi e tecnologie, tra cui i trattamenti biologici aerobici e anaerobici, che sfruttano l'azione dei microrganismi per degradare la sostanza organica.

Questi sistemi presentano caratteristiche e prestazioni differenti, soprattutto in termini di consumo energetico, produzione di fanghi e possibilità di recupero energetico.

La presente tesina ha lo scopo di analizzare nel dettaglio i principali processi di trattamento delle acque reflue, con particolare attenzione alle differenze tra sistema aerobico e anaerobico, ai trattamenti chimico-fisici e alle specifiche caratteristiche delle acque di scarico nel settore cartario.

1.1 TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE

Il trattamento delle acque reflue, detto anche **depurazione**, è il processo mediante il quale vengono rimossi i contaminanti presenti in un'acqua di scarico di origine urbana o industriale. Si tratta quindi di un effluente che contiene sostanze inquinanti, sia di natura organica che inorganica.

Il processo depurativo si basa su una combinazione di diverse fasi, che possono essere di tipo fisico, chimico e biologico, tutte finalizzate alla riduzione dell'inquinamento e alla restituzione dell'acqua all'ambiente in condizioni compatibili.

Gli impianti di depurazione sono costituiti da una serie di strutture, generalmente realizzate in calcestruzzo armato, ciascuna con una funzione specifica. In queste unità avviene il trattamento degli scarichi provenienti sia da attività civili sia industriali.

All'interno di un impianto di depurazione si distinguono normalmente due linee principali:

- **la linea acque**, che riguarda il trattamento dell'acqua reflua;
- **la linea fanghi**, che riguarda la gestione e il trattamento dei fanghi prodotti durante il processo.

Parametri usati per caratterizzare un'acqua reflua	
Parametri fisici	• <u>Temperatura</u> • <u>Conducibilità elettrica</u> • <u>Solidi</u> • <u>Colore</u> • <u>Odore</u>
Parametri chimici	• <u>pH</u> • <u>Alcalinità</u> • Richiesta di : <u>Domanda chimica di ossigeno</u> Richiesta di : Domanda chimica di ossigeno (COD), <u>Domanda biochimica di ossigeno</u> Richiesta di : Domanda chimica di ossigeno (COD), Domanda biochimica di ossigeno (BOD), <u>Total oxygen demand (TOD)</u> • <u>Total organic carbon (TOC)</u> • <u>Azoto</u>: Ammoniacale, Organico, Nitriti, Nitrati • <u>Fosforo</u>: Ortofosfati, Polifosfati, Organico • <u>Oli e grassi</u> • <u>Oli minerali</u> • <u>Tensioattivi</u> • <u>Sostanze tossiche</u> • <u>Ossigeno disciolto</u>
Parametri biologici	• <u>Coliformi totali</u> • <u>Coliformi fecali</u> • <u>Streptococchi fecali</u> • <u>Escherichia coli</u> • <u>Salmonelle</u>

1.2 PERCHÉ È NECESSARIO TRATTARE LE ACQUE REFLUE INDUSTRIALI?

Lo scarico delle acque reflue nei corpi idrici comporta diversi problemi:

- presenza di sostanze tossiche e nocive
- eccessivo consumo dell'ossigeno disciolto nell'acqua, in quanto le sostanze organiche biodegradabili, una volta pervenute in un corpo ricettore, vengono demolite dai microrganismi aerobi
- variazioni termiche

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

2.1 DECRETO LEGISLATIVO 152/2006

Il Decreto Legislativo 152/2006, noto come Testo Unico Ambientale, ha riordinato e semplificato l'intera normativa in materia ambientale. Tra i vari aspetti, regola anche gli scarichi, compresi quelli idrici, provenienti sia da attività civili che industriali.

Per molto tempo, in Italia gli scarichi sono stati valutati principalmente in base alla loro concentrazione di inquinanti. Questo ha portato spesso a diluire gli scarichi per rientrare nei limiti.

Oggi, invece, si considerano anche altri parametri, come la quantità totale di inquinanti emessi nel tempo oppure in rapporto alla produzione o alla materia prima utilizzata.

2.2 TIPOLOGIE DI SCARICO E LIMITI

La legge distingue due possibili recapiti dello scarico: lo scarico in acque superficiali, come fiumi, torrenti, laghi e canali, e lo scarico in rete fognaria. I limiti previsti per le acque superficiali sono generalmente più severi, perché in questo caso il refluo viene immesso direttamente nell'ambiente naturale. Per gli scarichi in fognatura alcuni valori possono essere meno restrittivi, poiché le acque saranno sottoposte a un ulteriore trattamento depurativo.

VALORI LIMITE DI EMISSIONE NEGLI SCARICHI IDRICI

D.Lgs. 152/2006

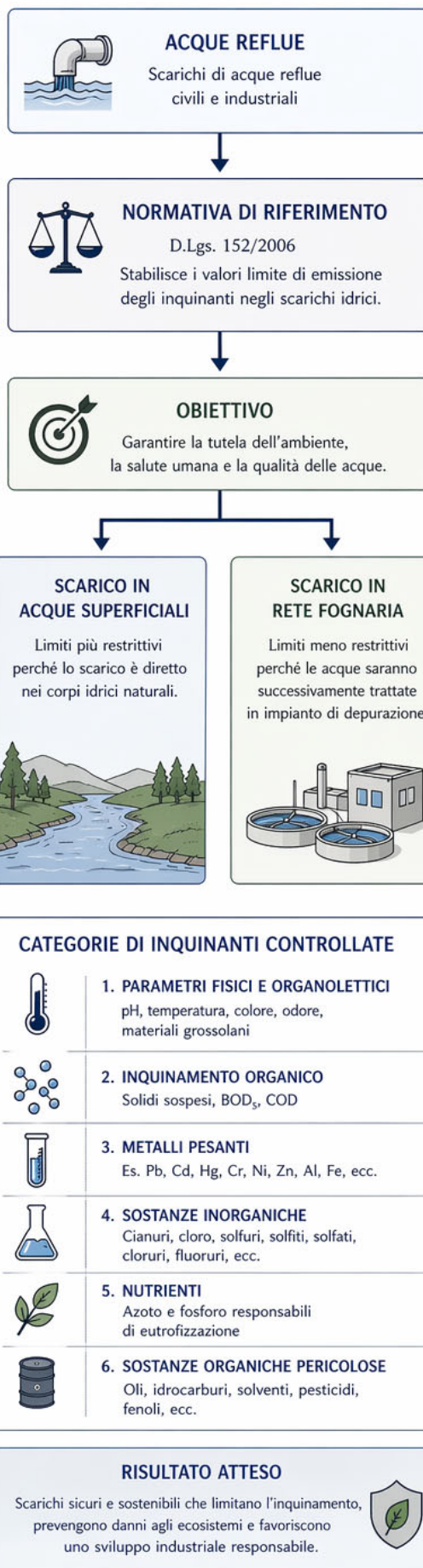
CATEGORIA	PARAMETRI PRINCIPALI	UNITÀ DI MISURA	VALORI LIMITE	
			SCARICO IN ACQUE SUPERFICIALI	SCARICO IN RETE FOGNARIA
 1. PARAMETRI FISICI E ORGANOLETTICI	- pH - Temperatura - Colore - Odore - Materiali grossolani	pH °C – – –	pH: 5,5 – 9,5 Temperatura: [1] Colore: non percettibile con diluizione 1:20 Odore: non causa di molestia Materiali grossolani: assenti	pH: 5,5 – 9,5 Temperatura: [1] Colore: non percettibile con diluizione 1:40 Odore: non causa di molestia Materiali grossolani: assenti
	- Solidi sospesi totali - BOD₅ (come O₂) - COD (come O₂)	mg/L mg/L mg/L	≤ 80 ≤ 40 ≤ 160	≤ 200 ≤ 250 ≤ 500
 3. METALLI PESANTI	- Alluminio, Ferro, Manganese - Piombo, Cadmio, Mercurio - Cromo totale e VI, Nichel, Rame, Zinco, ecc.	mg/L	da ≤ 0,005 (Hg) a ≤ 20 (Ba)	da ≤ 0,005 (Hg) a ≤ 20 (Ba)
 4. SOSTANZE INORGANICHE	- Cianuri totali - Cloro attivo libero - Solfuri, Solfiti, Solfati - Cloruri, Fluoruri, ecc.	mg/L	da ≤ 0,02 (Cl₂) a ≤ 1200 (Cloruri)	da ≤ 0,02 (Cl₂) a ≤ 1200 (Cloruri)
 5. NUTRIENTI	- Fosforo totale (come P) - Azoto ammoniacale (come NH₄) - Azoto nitroso (come N) - Azoto nitrico (come N)	mg/L	da ≤ 0,01 (P) a ≤ 20 (NO₃) (15 NH₄, 0,6 NO₂)	da ≤ 0,01 (P) a ≤ 30 (NO₃) (30 NH₄, 0,6 NO₂)
 6. SOSTANZE ORGANICHE PERICOLOSE	- Grassi e oli animali/vegetali - Idrocarburi totali - Fenoli, Aldeidi - Solventi organici aromatici, azotati - Tensioattivi, Pesticidi, ecc.	mg/L	da ≤ 0,1 (solv. organici azotati) a ≤ 20 (grassi e oli) a ≤ 0,05 (pesticidi totali)	da ≤ 0,2 (solv. organici azotati) a ≤ 40 (grassi e oli) a ≤ 0,05 (pesticidi totali)

[1] Per i corsi d'acqua la variazione massima tra temperature medie di qualsiasi sezione del corso d'acqua a monte e a valle del punto di immissione non deve superare i 3 °C. Per i laghi la temperatura dello scarico non deve superare i 30 °C e l'incremento di temperatura del corpo recettore non deve, in nessun caso, superare i 3 °C oltre 50 metri di distanza dal punto di immissione. Per i canali artificiali, il massimo valore medio della temperatura è [1].

NOTA PER GLI SCARICHI CIVILI IN FOGNATURA

Per gli scarichi di impianti di trattamento di acque reflue urbane, l'autorità competente può fissare limiti più opportuni in relazione alla situazione ambientale e igienico-sanitaria del corpo idrico recettore e agli usi esistenti. Si consiglia un limite non superiore a 5000 UFC/100 mL di Escherichia coli.

SCHEMA RIASSUNTIVO



VALORI LIMITE DI EMISSIONE NEGLI SCARICHI IDRICI

D.Lgs. 152/2006

CATEGORIA	PARAMETRI PRINCIPALI	UNITÀ DI MISURA	VALORI LIMITE	
			SCARICO IN ACQUE SUPERFICIALI	SCARICO IN RETE FOGNARIA
1. PARAMETRI FISICI E ORGANOLETTICI	- pH - Temperatura - Colore - Odore - Materiali grossolani	pH °C - - -	pH: 5,5 – 9,5 Temperatura: [1] Colore: non percettibile con diluizione 1:20 Odore: non causa di molestie Materiali grossolani: assenti	pH: 5,5 – 9,5 Temperatura: [1] Colore: non percettibile con diluizione 1:40 Odore: non causa di molestie Materiali grossolani: assenti
2. INQUINAMENTO ORGANICO	- Solidi sospesi totali - BOD₅ (come O₂) - COD (come O₂)	mg/L mg/L mg/L	≤ 80 ≤ 40 ≤ 160	≤ 200 ≤ 250 ≤ 500
3. METALLI PESANTI	- Alluminio, Ferro, Manganese - Piombo, Cadmio, Mercurio - Cromo totale e VI, Nichel, Rame, Zinco, ecc.	mg/L	da ≤ 0,005 (Hg) a ≤ 20 (Ba)	da ≤ 0,005 (Hg) a ≤ 20 (Ba)
4. SOSTANZE INORGANICHE	- Cianuri totali - Cloro attivo libero - Solfuri, Solfiti, Solfati - Cloruri, Fluoruri, ecc.	mg/L	da ≤ 0,02 (Cl₂) a ≤ 1200 (Cloruri)	da ≤ 0,02 (Cl₂) a ≤ 1200 (Cloruri)
5. NUTRIENTI	- Fosforo totale (come P) - Azoto ammoniacale (come NH₄) - Azoto nitroso (come N) - Azoto nitrico (come N)	mg/L	da ≤ 0,01 (P) a ≤ 20 (NO₃) (15 NH₄, 0,6 NO₂)	da ≤ 0,01 (P) a ≤ 30 (NO₃) (30 NH₄, 0,6 NO₂)
6. SOSTANZE ORGANICHE PERICOLOSE	- Grassi e oli animali/vegetali - Idrocarburi totali - Fenoli, Aldeidi - Solventi organici aromatici, azotati - Tensioattivi, Pesticidi, ecc.	mg/L	da ≤ 0,1 (solv. organici azotati) a ≤ 20 (grassi e oli) a ≤ 0,05 (pesticidi totali)	da ≤ 0,2 (solv. organici azotati) a ≤ 40 (grassi e oli) a ≤ 0,05 (pesticidi totali)

[1] Per i corsi d'acqua la variazione massima tra temperature medie di qualsiasi sezione del corso d'acqua a monte e a valle del punto di immissione non deve superare i 3 °C. Per i laghi la temperatura dello scarico non deve superare i 30 °C e l'incremento di temperatura del corpo recettore non deve, in nessun caso, superare i 3 °C oltre 50 metri di distanza dal punto di immissione. Per i canali artificiali, il massimo valore medio della temperatura è [1].

NOTA PER GLI SCARICHI CIVILI IN FOGNATURA

Per gli scarichi di impianti di trattamento di acque reflue urbane, l'autorità competente può fissare limiti più opportuni in relazione alla situazione ambientale e igienico-sanitaria del corpo idrico recettore e agli usi esistenti. Si consiglia un limite non superiore a 5000 UFC/100 mL di Escherichia coli.

3. PARAMETRI DI CONTROLLO DELLE ACQUE REFLUE

3.1 PARAMETRI FISICI E ORGANOLETTICI

I primi parametri controllati riguardano le caratteristiche generali dell'acqua reflua. Essi permettono di capire se lo scarico presenta condizioni anomale già dal punto di vista fisico, visivo o sensoriale. Il pH deve essere compreso tra 5,5 e 9,5.

Questo intervallo indica che l'acqua non deve essere né troppo acida né troppo alcalina. Valori fuori da questo campo possono danneggiare gli organismi acquatici, corrodere tubazioni e compromettere i trattamenti chimici e biologici.

La temperatura è un parametro fondamentale perché uno scarico troppo caldo può alterare l'equilibrio del corpo idrico ricettore. Un aumento eccessivo della temperatura riduce la solubilità dell'ossigeno nell'acqua e può creare condizioni sfavorevoli per la fauna e la flora acquatica.

Anche colore e odore vengono controllati. Il colore non deve essere percepibile oltre determinate diluizioni, mentre l'odore non deve arrecare molestie. Questo significa che lo scarico non deve presentare caratteristiche evidenti di alterazione o di degrado.

Infine, i materiali grossolani devono essere assenti. Non devono quindi essere presenti corpi solidi visibili, residui voluminosi o particelle che possano causare ostruzioni, depositi o un impatto estetico negativo.

3.2 INQUINAMENTO DA SOLIDI E SOSTANZA ORGANICA

Una parte molto importante della normativa riguarda i parametri che descrivono la presenza di solidi e di sostanza organica nell'acqua.

I solidi sospesi totali indicano la quantità di particelle solide disperse nel refluo. Se il loro valore è elevato, l'acqua appare torbida e può provocare sedimentazioni nei corsi d'acqua o nelle condotte. I solidi sospesi possono inoltre ostacolare il passaggio della luce e alterare la vita acquatica.

Il BOD₅, cioè la domanda biochimica di ossigeno a 5 giorni, misura la quantità di ossigeno necessaria ai microrganismi per degradare la sostanza organica biodegradabile presente nell'acqua. Un BOD elevato indica una forte presenza di materiale organico facilmente degradabile.

Il COD, Chemical Oxygen Demand, rappresenta la quantità di sostanza ossidabile presente nell'acqua reflua che deve essere rimossa dal trattamento biologico comprendendo sia la

frazione biodegradabile sia quella non biodegradabile rappresenta il carico inquinante su cui i microrganismi devono agire.

Il COD risulta quindi in genere più alto del BOD.

Questi parametri sono essenziali perché, se troppo elevati, comportano un forte consumo di ossigeno nel corpo idrico recettore. Ciò può causare condizioni di carenza di ossigeno, con gravi danni agli organismi viventi e peggioramento della qualità dell'acqua.

3.3 METALLI PESANTI

La tabella riporta anche limiti per numerosi metalli, tra cui alluminio, arsenico, bario, boro, cadmio, cromo totale, cromo VI, ferro, manganese, mercurio, nichel, piombo, rame, selenio, stagno e zinco.

Il controllo di questi elementi è molto importante perché alcuni metalli, soprattutto cadmio, mercurio, piombo e cromo esavalente, sono particolarmente tossici anche a concentrazioni molto basse.

La presenza di metalli negli scarichi può derivare da lavorazioni industriali, da prodotti chimici impiegati nei processi o dall'usura di apparecchiature e impianti. Per questo motivo la normativa impone limiti molto bassi, soprattutto quando lo scarico è destinato direttamente alle acque superficiali.

3.4 SOSTANZE INORGANICHE E COMPOSTI TOSSICI

Tra i parametri normati compaiono anche diverse sostanze inorganiche o chimicamente reattive, come cianuri, cloro attivo libero, solfuri, solfiti, solfati, cloruri e fluoruri.

I cianuri sono tra le sostanze più pericolose e devono essere mantenuti a concentrazioni molto basse, poiché risultano altamente tossici per gli organismi viventi.

Il cloro attivo libero, se presente in quantità eccessiva, può avere effetti irritanti e tossici e può reagire con altre sostanze presenti nell'acqua, generando composti indesiderati.

Solfuri e solfiti possono creare problemi di tossicità, corrosione e sviluppo di cattivi odori, soprattutto in presenza di acido solfidrico.

Solfati e cloruri, se presenti in grandi quantità, possono alterare la qualità chimica dell'acqua e aumentare la salinità del refluo. Anche i fluoruri devono essere controllati perché, a concentrazioni elevate, possono risultare dannosi.

3.5 NUTRIENTI: AZOTO E FOSFORO

Un'altra categoria fondamentale è rappresentata dai nutrienti, in particolare fosforo e composti dell'azoto.

Il fosforo totale se presente in eccesso, favorisce la crescita di alghe e microrganismi nelle acque superficiali.

Per quanto riguarda l'azoto, la normativa distingue diverse forme: **azoto ammoniacale**, **azoto nitroso** e **azoto nitrico**. L'azoto ammoniacale è spesso indice di inquinamento recente o di insufficiente ossidazione biologica. L'azoto nitroso rappresenta una forma intermedia della nitrificazione ed è particolarmente delicato da controllare. L'azoto nitrico è la forma più ossidata e stabile, ma anch'esso, se presente in eccesso, contribuisce ai fenomeni di arricchimento nutritivo delle acque.

L'accumulo di azoto e fosforo può causare eutrofizzazione, cioè una crescita eccessiva della biomassa algale. Questo fenomeno porta a squilibri ecologici, riduzione dell'ossigeno disciolto, cattivi odori e progressivo degrado del corpo idrico.

3.6 SOSTANZE ORGANICHE PERICOLOSE

La tabella prende in considerazione anche una serie di sostanze organiche particolarmente problematiche, tra cui grassi e oli animali e vegetali, idrocarburi totali, fenoli, aldeidi, solventi organici aromatici, solventi organici azotati, tensioattivi, pesticidi e solventi clorurati.

I grassi e gli oli possono formare pellicole superficiali che ostacolano gli scambi di ossigeno e compromettono i trattamenti depurativi. Gli idrocarburi sono sostanze inquinanti persistenti che possono essere tossiche e difficili da degradare.

I tensioattivi, oltre a produrre schiume, possono alterare la tensione superficiale dell'acqua e creare problemi negli impianti.

FINALITÀ DELLA NORMATIVA

Dal punto di vista industriale, il rispetto dei limiti impone alle aziende di controllare costantemente i propri scarichi e di adottare sistemi di trattamento adeguati, come sedimentazione, chiariflocculazione, trattamenti chimico-fisici e depurazione biologica.

In conclusione, i valori limite di emissione costituiscono un riferimento essenziale per garantire che le attività civili e produttive possano svolgersi in modo compatibile con la protezione dell'ambiente e con l'uso sostenibile della risorsa idrica.

4. TRATTAMENTI PRELIMINARI E CHIMICO-FISICI

4.1 GRIGLIATURA

La grigliatura costituisce un'operazione di filtrazione meccanica grossolana che ha l'obiettivo di trattenere solidi grossolani non sedimentabili (stracci, plastica, ecc.) e solidi grossolani sedimentabili (ghiaia, ecc.)

4.2 CONTROLLO DEL PH

Il pH dell'acqua in ingresso all'impianto biologico dovrebbe essere compreso indicativamente tra 6,0 e 9,0, perché in questo intervallo i microrganismi lavorano in condizioni ottimali.

I batteri sono comunque in grado di sopravvivere anche al di fuori di questo range, ma in questi casi devono consumare più energia per tornare verso condizioni di neutralità, diminuendo quindi l'efficienza del processo biologico.

Per regolare il pH si utilizzano prodotti comuni come acidi, soda, calce o allume. È però fondamentale evitare sovradosaggi, perché un eccesso di questi prodotti può provocare fenomeni di inibizione dell'attività biologica.

4.3 NUTRIENTI BIOLOGICI

Per garantire una corretta crescita dei microrganismi è necessario fornire alcuni nutrienti fondamentali:

- Azoto, sotto forma di: sali di ammonio, urea, nitrati
- Fosforo, fornito generalmente come: acido fosforico e orto fosfati
- Spesso si utilizzano anche composti combinati di azoto e fosforo, tipicamente fertilizzanti.
- Ferro, che viene impiegato soprattutto per il controllo di alcuni batteri filamentosi.
- Micronutrienti (inoculi), necessari in piccole quantità per mantenere attiva ed equilibrata la biomassa.

4.4 POLIMERI PER LA DISIDRATAZIONE

I polimeri vengono utilizzati nella fase di gestione dei fanghi biologici, in particolare per facilitarne la disidratazione.

Servono quindi per:

- migliorare la separazione dell'acqua dal fango
- controllare la quantità di fango biologico da smaltire
- ottimizzare il funzionamento delle presse fanghi

4.5 POLIMERI PER IL TRATTAMENTO PRIMARIO

Nel trattamento primario i polimeri vengono impiegati per migliorare la separazione dei solidi sospesi. Le principali unità coinvolte sono:

- DAF (flottatore)
- Chiarificatore primario

La sedimentazione primaria avviene in apposite vasche dove, tramite decantazione, si separano i solidi sospesi sedimentabili (SSS).

Questo processo permette di ottenere una riduzione del BOD5 di circa il 30%. Il restante 70% del carico organico viene poi trattato nella fase successiva, cioè nel trattamento biologico.

5. TRATTAMENTO BIOLOGICO DELLE ACQUE REFLUE

5.1 SISTEMA AEROBICO

Nel sistema aerobico i batteri lavorano in presenza di ossigeno. Per questo motivo nell'impianto è necessario introdurre continuamente aria nelle vasche biologiche. L'ossigeno permette ai microrganismi di degradare la sostanza organica contenuta nell'acqua reflua. In pratica, i batteri consumano la materia organica e la trasformano in anidride carbonica, nuova biomassa e calore. Questo è il motivo per cui il sistema aerobico viene indicato come un processo efficace di depurazione, ma anche piuttosto energivoro. Una parte del COD viene trasformata in anidride carbonica (CO_2). I microrganismi crescono e si moltiplicano e questa crescita si traduce nella formazione di fanghi biologici.

Una quota importante del carico organico iniziale non si trasforma in energia utile, ma in materiale di scarto da gestire e smaltire.

L'efficienza di abbattimento, espressa in termini di COD, varia generalmente:

- dal 70% al 90% nei sistemi ad alto carico
- dal 90% al 98% nei sistemi a basso carico

I sistemi a basso carico producono una quantità inferiore di fanghi rispetto a quelli ad alto carico, grazie a una più completa mineralizzazione della sostanza organica. Questo processo contribuisce anche a ridurre la formazione di odori. Nei sistemi a funzionamento continuo, l'impianto di trattamento biologico viene alimentato costantemente.

I fanghi vengono separati dalle acque depurate all'interno di un chiarificatore. Una parte consistente dei fanghi separati viene rimessa in circolo nella vasca di aerazione, mentre la quantità in eccesso viene rimossa, se necessario, dopo una fase di disidratazione.

5.2 TRATTAMENTO OSSIDATIVO BIOLOGICO

Il trattamento ossidativo biologico rappresenta la fase più importante dell'intero processo di depurazione. Esso consiste nella biodegradazione, da parte dei microrganismi, di tutte le sostanze organiche presenti nelle acque reflue, trasformandole in composti più semplici e non dannosi per l'ambiente.

La vasca di ossidazione (o vasca di aerazione), detta anche vasca dei fanghi attivi, è l'elemento centrale della depurazione biologica. In questa vasca i microrganismi, responsabili dell'ossidazione e della degradazione della sostanza organica, si trovano all'interno di fiocchi

di fango sospesi nella miscela. Questa viene mantenuta in continuo movimento e ossigenata grazie all'immissione di aria o ossigeno tramite appositi diffusori posti sul fondo della vasca.

5.3 FANGHI ATTIVI

Nel trattamento biologico a fanghi attivi si realizza, all'interno di apposite vasche, un sistema aerobico dinamico e controllato. Questo sistema riproduce artificialmente i processi biologici naturali (come quelli che avvengono nei corsi d'acqua), consentendo la depurazione delle acque contaminate da sostanze organiche biodegradabili.

In pratica, il refluo da trattare viene miscelato con fanghi attivi, ricchi di microrganismi aerobici già sviluppati. In questo modo si attiva un processo analogo all'autodepurazione naturale, ma molto più rapido ed efficiente e in spazi notevolmente ridotti.

5.4 OSSIDAZIONE BIOLOGICA

Il refluo, proveniente dal pretrattamento ed eventualmente da una prima fase di sedimentazione, è convogliato in grandi vasche, aerate o per insufflazione d'aria o per agitazione da parte di turbine, dove si ha prevalentemente l'abbattimento delle sostanze carboniose.

Il sistema si basa su due fenomeni fondamentali:

- La **bioflocculazione**, consiste nella formazione di fiocchi gelatinosi di pochi mm di materiale organico presenti in sospensione. I flocculi se ben formati sedimentano e vanno a formare il fango attivo che si deposita sul fondo della vasca e viene posto in ricircolo permettendo una progressiva degradazione della sostanza organica in esso contenuta.
- La **biodegradazione** della materia solubilizzata, da parte dei batteri aerobi porta alla formazione di anidride carbonica, acqua, ammonio, nitriti, nitrati e altre sostanze.

6. PROBLEMATICHE DEL PROCESSO

6.1 CRESCITA DISPERSA

Durante il processo di depurazione possono verificarsi diverse problematiche operative:

- **Crescita dispersa:** i batteri non riescono più ad aggregarsi tra loro; di conseguenza la bioflocculazione è impedita e non si formano correttamente i fiocchi.
- **Bulking viscoso:** i batteri producono elevate quantità di materiale extracellulare, formando fiocchi di aspetto gelatinoso che trattengono grandi quantità di acqua, peggiorando la sedimentazione.
- **Fiocchi pin point:** i fiocchi risultano molto piccoli e poco compatti, causando un effluente torbido; in questo caso i batteri filamentosi sono praticamente assenti.
- **Rising:** si verifica la risalita e il galleggiamento del fango, dovuti alla denitrificazione che avviene sul fondo del sedimentatore secondario.
- **Foaming:** formazione di schiume biologiche sia sulla superficie del sedimentatore sia nei bacini di aerazione.

Il deterioramento del processo depurativo è influenzato da molteplici fattori:

- scarsa ossigenazione,
- presenza di scarichi industriali tossici,
- eccessive variazioni di carico organico,
- carenza di nutrienti,
- repentine variazioni di temperatura e pH,
- presenza di solfuri.

6.2 BULKING

Il fenomeno del bulking comporta un rigonfiamento del fango che ne riduce la velocità di sedimentazione e ne ostacola la corretta compattazione sul fondo del sedimentatore secondario. In queste condizioni, il fango perde la sua efficacia nel processo depurativo, poiché vengono compromesse le sue proprietà adsorbenti e ossidanti e la sua capacità di sedimentare risulta notevolmente ridotta. Se non adeguatamente controllato, il bulking può inoltre causare il trascinamento della biomassa con l'effluente in uscita e determinare un peggioramento della disidratabilità del fango.

7. SISTEMA ANAEROBICO

7.1 PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Nel sistema anaerobico i batteri lavorano in assenza di ossigeno. Per questo motivo non è necessario aerare la vasca come nel caso aerobico. I microrganismi anaerobici degradano la sostanza organica con un metabolismo diverso: invece di ossidarla completamente a CO₂, la trasformano in biogas.

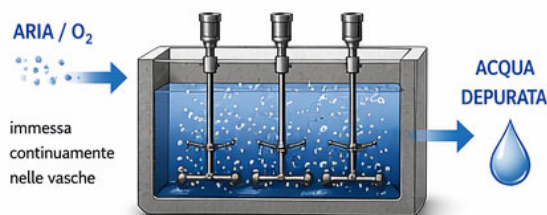
Il biogas è una miscela gassosa composta soprattutto da metano (CH₄) ma anche da anidride carbonica (CO₂). La parte più interessante è il metano, perché può essere recuperato e sfruttato per la produzione di energia elettrica.

L'efficienza di rimozione della sostanza organica, espressa in termini di COD, è generalmente compresa tra il 75% e il 90%.

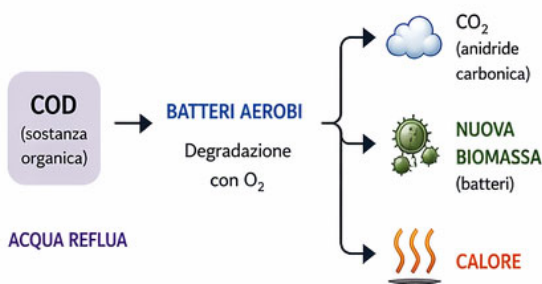
Il trattamento anaerobico è particolarmente indicato per acque reflue ad alto carico inquinante, soprattutto quando sono presenti sostanze organiche disciolte. Un altro vantaggio importante di questo sistema è la bassa produzione di fanghi, rispetto ad altri trattamenti.

SISTEMA AEROBICO

I batteri lavorano in presenza di ossigeno (aria).



COME FUNZIONA

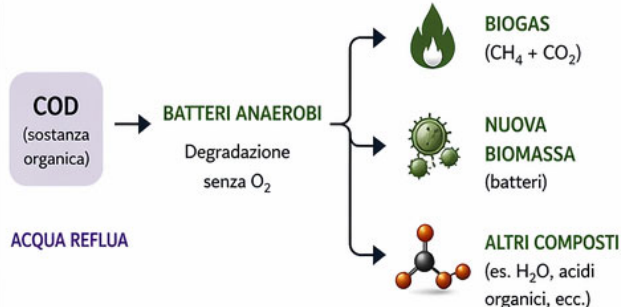


SISTEMA ANAEROBICO

I batteri lavorano in assenza di ossigeno.
La vasca non viene aerata.



COME FUNZIONA



CONFRONTO PRINCIPALE

		SISTEMA AEROBICO	SISTEMA ANAEROBICO
	PRESENZA DI OSSIGENO	Richiede ossigeno disciolto (aria immessa continuamente)	Assenza di ossigeno (ambiente anossico)
	MICRORGANISMI	Batteri aerobi (degradazione ossidativa)	Batteri anaerobi (idrolisi, acidogenesi, acetogenesi, metanogenesi)
	EFFICIENZA DI RIMOZIONE DEL COD	Elevata efficienza (alta nel basso carico, buona nell'alto carico)	Buona efficienza (soprattutto ad alto carico)
	PRODOTTI FINALI	CO ₂ , H ₂ O, nuova biomassa, calore	Biogas (CH ₄ + CO ₂), H ₂ O, nuova biomassa, altri composti
	ASPETTO ENERGETICO	Richiede energia per l'aerazione Consumo energetico elevato Non produce energia utile	Produce biogas utilizzabile come fonte di energia rinnovabile Bilancio energetico spesso positivo
	PRODUZIONE DI FANGHI	Elevata produzione di fanghi biologici	Bassa produzione di fanghi biologici
	VELOCITÀ DEL PROCESSO	Processo più rapido (tempi di ritenzione brevi)	Processo più lento (tempi di ritenzione lunghi)
	SENSIBILITÀ	Meno sensibile a variazioni di carico, temperatura e sostanze tossiche	Più sensibile a variazioni di carico, temperatura e sostanze tossiche
	APPLICAZIONI TIPICHE	Reflui a basso/medio carico (es. domestici, urbani, impianti civili e industriali di piccole e medie dimensioni)	Reflui ad alto carico organico (es. industriali: carniere, agroalimentari, caseifici, birrifici, zootecnici, ecc.)

VANTAGGI SISTEMA AEROBICO

- ✓ Elevata efficienza di depurazione
- ✓ Processo stabile e controllabile
- ✓ Adatto a vari tipi di reflui
- ✓ Tempi di avviamento brevi

VANTAGGI SISTEMA ANAEROBICO

- ✓ Produzione di biogas (energia rinnovabile)
- ✓ Bassa produzione di fanghi
- ✓ Costi energetici ridotti
- ✓ Adatto ad alti carichi organici

IN SINTESI

Il **sistema aerobico** utilizza l'ossigeno per ossidare rapidamente la sostanza organica, offrendo alta efficienza ma con elevato consumo energetico e maggiore produzione di fanghi.

Il **sistema anaerobico** lavora senza ossigeno, produce biogas (metano e CO₂) che può essere recuperato come energia, con minore produzione di fanghi ma tempi di trattamento più lunghi e maggiore sensibilità alle condizioni operative.

Applicazioni di terapia chimica

La terapia chimica viene utilizzata in diversi ambiti del trattamento delle acque reflue, con funzioni specifiche a seconda delle problematiche presenti.

In particolare, si impiegano:

- **Polimeri**, utilizzati nella chiarificazione secondaria per favorire la separazione dei solidi dall'acqua;
- **Composti ossidanti**, impiegati per il controllo dei batteri filamentosi, responsabili di problemi nei fanghi;
- **Antischiuma**, utilizzati per limitare la formazione di schiume negli impianti;
- **Colture batteriche**, aggiunte per migliorare l'efficienza dei processi biologici;
- **Prodotti per il controllo degli odori**, utili a ridurre le emissioni maleodoranti.

9. SEPARAZIONE SOLIDO/LIQUIDO

La separazione tra fase solida e liquida rappresenta una fase fondamentale del trattamento delle acque reflue. I principali meccanismi attraverso cui avviene sono:

- **Precipitazione**
- **Coagulazione**
- **Flocculazione**

9.1 PRECIPITAZIONE

La precipitazione è un processo chimico che consente di trasformare le sostanze disciolte (solubili) in composti insolubili. In questo modo, i solidi formati possono essere separati dall'acqua tramite processi fisici come la sedimentazione.

9.2 COAGULAZIONE

La coagulazione è un processo di tipo elettrochimico che consiste nella neutralizzazione delle cariche elettriche presenti sulla superficie delle particelle sospese (come colloidali, fibre e particelle fini, generalmente cariche negativamente).

Grazie a questa neutralizzazione, le particelle riescono ad avvicinarsi tra loro formando piccoli aggregati, detti **coaguli**, che risultano più facilmente sedimentabili.

I principali effetti della coagulazione sono:

- neutralizzazione delle cariche superficiali;
- aumento della limpidezza dell'acqua;
- miglioramento dell'efficienza di rimozione delle particelle.

Coagulante

Il coagulante è una sostanza chimica il cui scopo principale è quello di neutralizzare le cariche delle particelle presenti nell'acqua.

Può essere costituito da:

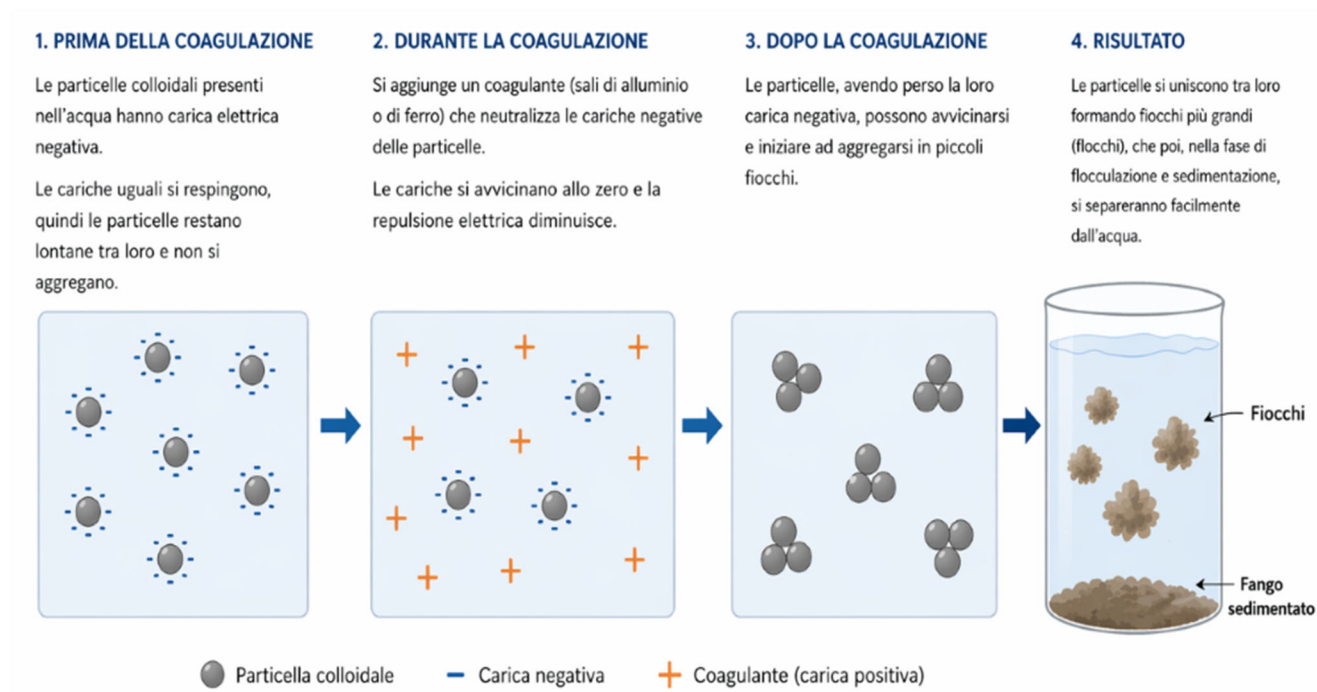
- sali inorganici (come l'allume);
- polimeri a basso peso molecolare con carica cationica.

Per essere efficace, il coagulante deve essere distribuito in modo uniforme all'interno dell'acqua. Questo avviene tramite una fase di miscelazione rapida, spesso realizzata in

apposite vasche dotate di agitatori, dove il prodotto viene immesso in condizioni di adeguata turbolenza.

Coagulanti utilizzati nel trattamento delle acque

- **Solfato di alluminio (allume):** è il coagulante più diffuso. Garantisce buoni risultati nella rimozione di colore e torbidità, ma comporta un elevato consumo di alcalinità e può quindi influire negativamente sul pH.
- **Cloruro di polialluminio (PAC):** presenta una carica cationica più elevata rispetto all'allume. Consuma meno alcalinità, produce una minore quantità di fanghi ed è spesso più conveniente dal punto di vista operativo.
- **Miscele di polimeri organici/inorganici:** utilizzate per migliorare ulteriormente l'efficienza del processo di coagulazione.



9.3 FLOCCULAZIONE

La flocculazione è un processo fisico che consiste nella formazione di aggregati (fiocchi) molto più grandi rispetto ai coaguli ottenuti nella fase di coagulazione.

Questo avviene grazie all'unione delle particelle in masse più grandi, processo che viene ulteriormente migliorato con l'aggiunta di polimeri a catena lunga.

La flocculazione consente di ottenere:

- fiocchi più grandi e resistenti;
- una migliore sedimentazione;
- una maggiore disidratabilità del fango (maggiore “secchezza”).

Flocculante

Il flocculante è una sostanza, generalmente ad alto peso molecolare, il cui scopo è quello di favorire la formazione di grandi aggregati (flocculi).

Questi aggregati migliorano i processi di sedimentazione e facilitano anche le fasi successive di disidratazione dei fanghi.

Influenza della temperatura

La temperatura è un parametro importante nel processo di flocculazione:

- a temperature più basse, i tempi di reazione aumentano e la formazione dei fiocchi risulta più lenta;
- questo effetto è particolarmente evidente quando si utilizzano coagulanti inorganici;
- di conseguenza, la flocculazione in acque fredde è generalmente meno rapida ed efficiente.

10. CARATTERISTICHE DELLE ACQUE DI SCARICO IN CARTIERA

10.1 TIPOLOGIA DI INQUINANTI

Le acque reflue dell'industria cartaria sono caratterizzate dalla presenza di diversi tipi di inquinanti, che si presentano in varie forme:

- **sostanze flottanti** (che galleggiano);
- **sostanze sedimentabili** (che si depositano sul fondo);
- **sostanze colloidali** (particelle molto fini, difficili da separare);
- **sostanze disciolte** (presenti in soluzione).

10.2 COMPORTAMENTO DELLE SOSTANZE

Le sostanze **sedimentabili** sono costituite da fibre, cariche minerali (caolino, talco, solfato) e poiché sono più dense dell'acqua, tendono a precipitare sul fondo del sedimentatore.

Le sostanze **colloidali** comprendono quella parte di solidi sospesi che non sedimentano, se non in tempi estremamente lunghi (da qualche ora a qualche anno). Sono caratterizzate da cariche elettriche negative, per cui si respingono reciprocamente ed è quindi impossibile la loro separazione dall'acqua, se non con l'aiuto di particolari reagenti coagulanti (allume).

Le sostanze **disciolte** sono normalmente sali inorganici come cloruri, i solfati, il calcio, ecc. che non possono essere definiti come carico inquinante, essendo presenti nelle acque come sali.

Gli inquinanti di tipo organico in cartiera sono tra i più pericolosi (es. amido disciolto), poiché hanno un tempo di ossidazione molto lento e innalzano molto il livello di BOD/COD.

11. SISTEMA MBBR (MOVING BED BIOFILM REACTOR)

Il sistema MBBR è una tecnologia di trattamento biologico delle acque reflue, utilizzata sia per reflui civili che industriali. Si basa sull'impiego di supporti plastici mobili, chiamati *carrier*, sui quali si sviluppa la biomassa sotto forma di biofilm aderente.

A differenza dei sistemi tradizionali a fanghi attivi, in cui i microrganismi sono dispersi nel liquido, nel MBBR i batteri crescono principalmente sulla superficie dei carrier. Questi supporti, mantenuti in continuo movimento all'interno della vasca grazie all'aerazione o alla miscelazione, offrono un'elevata superficie disponibile per lo sviluppo dei microrganismi.



11.1 PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

All'interno del reattore biologico avviene il seguente processo:

- l'acqua reflua entra nella vasca contenente i carrier;
- i microrganismi presenti sul biofilm utilizzano la sostanza organica come nutrimento;
- grazie alla presenza di ossigeno (nel caso di processo aerobico), avviene la degradazione degli inquinanti.

In particolare, la sostanza organica viene trasformata in:

- anidride carbonica (CO_2);
- acqua;
- nuova biomassa (fanghi biologici).



11.2 OBIETTIVI DEL TRATTAMENTO

Il sistema MBBR consente la riduzione dei principali parametri di inquinamento, in particolare:

- BOD (domanda biologica di ossigeno);
- COD (domanda chimica di ossigeno);
- Azoto, attraverso processi biologici specifici.

11.3 COMPORTAMENTO DELLA BIOMASSA

Un aspetto fondamentale del sistema è il comportamento del biofilm:

- i microrganismi si sviluppano sulla superficie dei carrier formando uno strato biologico;
- con il tempo il biofilm aumenta di spessore;
- quando diventa troppo spesso, una parte si distacca naturalmente;
- la biomassa in eccesso viene poi separata dall'acqua nelle fasi successive (sedimentazione o flottazione).

Questo meccanismo consente di mantenere il sistema in equilibrio senza accumuli eccessivi.

La scelta dei carrier rappresenta un compromesso tra:

- elevata superficie disponibile per i microrganismi;
- buona resistenza all'intasamento.

Questa caratteristica è particolarmente importante nel settore cartario, dove le acque reflue possono contenere fibre e materiali che tendono a ostruire i sistemi. Per questo motivo, i carrier utilizzati sono progettati per garantire alte prestazioni e bassa tendenza all'intasamento.

CONCLUSIONI

In conclusione, il trattamento delle acque reflue è fondamentale per proteggere l'ambiente e garantire un uso sostenibile dell'acqua, soprattutto nel settore cartario, dove i consumi sono elevati e gli scarichi contengono molte sostanze inquinanti.

Durante questa tesina ho analizzato i principali processi di depurazione, che non si basano su un'unica fase, ma su un insieme di trattamenti fisici, chimici e biologici che lavorano insieme. In particolare, il trattamento biologico è la parte più importante: il sistema aerobico permette un'elevata rimozione della sostanza organica, ma richiede molta energia per l'aerazione; mentre il sistema anaerobico, oltre a produrre meno fanghi, consente anche di recuperare energia sotto forma di biogas.

Ho approfondito anche le principali problematiche del processo, come il bulking e il foaming, che possono ridurre l'efficienza dell'impianto se non vengono controllate correttamente.

Un altro aspetto importante è la separazione solido/liquido, in cui processi come coagulazione e flocculazione permettono di eliminare le particelle più difficili da rimuovere.

Infine, ho analizzato il sistema MBBR, che rappresenta una tecnologia innovativa sempre più utilizzata perché migliora l'efficienza del trattamento e si adatta bene anche alle acque reflue della cartiera.

Per concludere, il trattamento delle acque reflue non è solo un obbligo imposto dalla normativa, come il Decreto Legislativo 152/2006, ma è anche un elemento fondamentale per rendere l'industria più sostenibile e ridurre l'impatto sull'ambiente.

BIBLIOGRAFIA

1. Dispense del prof. **Paolo Zaninelli** (31° Corso annuale cartari);
2. Materiale tecnico delle cartiere **Fedrigoni Group**