



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia, Alimenti, Risorse naturali, Animali e Ambiente

Corso di laurea in Scienze e Tecnologie Alimentari

Tesi di laurea triennale

VERIFICA DELL'ABBATTIMENTO DELLA DOMANDA DI OSSIGENO IN UN NUOVO IMPIANTO PER LA DEPURAZIONE DELLE ACQUE REFLUE DERIVATE DALLA PRODUZIONE DI SEMILAVORATI ALIMENTARI

**Verification of the reduction of oxygen demand in a new plant for the
purification of wastewater derived from the production of semi-finished food
products**

Relatore:

Prof. Lorenzo Guerrini

Laureando:

Daniele Pizzolato

Anno accademico 2022/2023

Indice

RIASSUNTO	6
ABSTRACT	7
1. LE ACQUE REFLUE NELL'INDUSTRIA DOLCIARIA.....	8
1.1 CARATTERISTICHE	8
1.2 STRATEGIE PER RIDURNE LE EMISSIONI	9
1.3 INDICATORI DI QUALITÀ	14
1.4 NORMATIVA VIGENTE	19
2. IL TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE	23
3. ALCUNI IMPIANTI ATTUALMENTE DISPONIBILI	33
4. CASO STUDIO	42
4.1 DESCRIZIONE AZIENDALE	42
4.2 PROGETTO	43
4.3 PROCEDIMENTI D'ANALISI UTILIZZATI	49
4.4 CONFRONTO FRA VASCA IMHOFF E DEPURATORE BIOLOGICO AD OSSIDAZIONE TOTALE	57
5. CONCLUSIONI	60
BIBLIOGRAFIA	

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1. Metodi di trattamento delle acque reflue (M. Zajda, U. Aleksander-Kwaterczak, 2019. Wastewater Treatment Methods for Effluents from the Confectionery Industry)	23
Figura 2. Schema descrittivo sistema SBR (Ecoveneta snc)	34
Figura 3. Schema generale impianto MBR side-stream e MBR submergedmembrane (Sombatsompop, 2007)	38
Figura 4. Schema generale progetto impianto (Ecoveneta snc)	44
Figura 5. Schema generale EB PM 150 SBR (Ecoveneta snc)	45

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1. Vantaggi dei sistemi CIP (Adams & Agarwal, 1990; Christi, 1999; Majoor, 2003)	11
Tabella 2. Svantaggi dei sistemi CIP (Adams & Agarwal, 1990; Christi, 1999; Majoor, 2003)	12
Tabella 3. Limiti di emissione per gli impianti di acque reflue urbane (Indam. Analisi ambientali e controllo qualità)	20
Tabella 4. Limiti di emissione per gli impianti di acque reflue urbane recapitanti in aree sensibili (Indam. Analisi ambientali e controllo qualità)	20
Tabella 5. Limiti per acque reflue industriali che recapitano in corpo idrico superficiale e fognature e limiti per acque reflue urbane e industriali che recapitano su suolo (Indam. Analisi ambientali e controllo qualità)	21
Tabella 6. Vantaggi e svantaggi del processo di adsorbimento (Ariffin et al. 2017; Park et al. 2001).....	25
Tabella 7. Vantaggi e svantaggi dei processi di coagulazione e flocculazione (Ariffin et al. 2017; Mortula et al. 2011; Park et al. 2001)	26
Tabella 8. Vantaggi e svantaggi del processo di elettrocoagulazione (Ariffin et al. 2017; Park et al. 2001)	27
Tabella 9. Vantaggi e svantaggi del processo di ozonizzazione (US EPA 1999)	28

Tabella 10. Caratteristiche delle membrane (Ratajczak 2013)	29
Tabella 11. Vantaggi e svantaggi delle membrane (Park et al. 2001)	29
Tabella 12. Vantaggi e svantaggi dei fanghi attivi in condizioni aerobiche (Park et al. 2001)	30
Tabella 13. Vantaggi e svantaggi del trattamento biologico in condizioni anaerobiche (Park et al. 2001)	31
Tabella 14. Misure effettuate su vasca Imhoff (Ecoveneta snc)	57
Tabella 15. Misure effettuate sul depuratore biologico ad ossidazione totale (Ecoveneta snc)	57

RIASSUNTO

Le acque reflue nell'industria alimentare, con particolare attenzione all'ambito dolciario, costituiscono una tematica di crescente rilevanza all'interno del panorama industriale. Questa problematica, fortemente correlata all'incremento della produzione e del consumo di prodotti alimentari, ha reso necessaria l'istituzione di rigide normative per regolamentarne il trattamento e soprattutto lo smaltimento. In questa cornice normativa, particolare rilievo è attribuito all'Allegato 5 del D. Lgs. n. 152 del 3 aprile 2006. Questo, costituendo il pilastro della normativa vigente sulle acque reflue, delinea con precisione i limiti di emissione da rispettare. La crescente preoccupazione dell'impatto ambientale, derivante da tali scarichi, ha spinto governi ed organizzazioni a promulgare direttive e leggi volte a tutelare le risorse idriche e la salute umana. In risposta a queste disposizioni, si è assistito allo sviluppo e all'implementazione di vari impianti di trattamento, offrendo soluzioni innovative e sostenibili per mitigarne gli effetti negativi derivati.

L'obiettivo di questo lavoro è esaminare dettagliatamente il contesto generale delle acque reflue derivate dall'industria dolciaria, le normative da rispettare, nonché le sfide legate al loro trattamento e gli impianti attualmente disponibili per affrontarle. L'elaborato propone infine l'analisi di un caso studio reale: l'installazione di un nuovo impianto di depurazione biologico ad ossidazione totale con tecnologia "ECOBIO S PM SBR" presso l'azienda "Giuseppe Lorenzon C.I.E. s.r.l.", affermata nella produzione e distribuzione di semilavorati e materie prime alimentari destinati alla pasticceria e all'industria dolciaria. Attraverso un'analisi comparativa tra le performance aziendali passate e quelle attuali, questo studio mira a riconoscere le potenzialità del nuovo impianto, sottolineando l'importanza di adeguare le infrastrutture alla crescita aziendale. Soluzioni di questo tipo possono, effettivamente, contribuire significativamente al potenziamento della sostenibilità aziendale, senza dover necessariamente compromettere l'efficienza produttiva. I risultati ottenuti forniscono inoltre preziosi spunti per il perfezionamento delle pratiche industriali, mettendo in luce la necessità di adottare tecnologie innovative al fine di rispettare le normative ambientali e ottimizzare l'uso delle risorse aziendali.

ABSTRACT

Wastewater in the food industry, with particular attention to the confectionery sector, constitutes a topic of growing importance within the industrial panorama. This problem, strongly related to the increase in the production and consumption of food products, has made it necessary to establish strict regulations to regulate their treatment and above all their disposal. In this regulatory framework, particular importance is attributed to Annex 5 of Legislative Decree no. 152 of 3 April 2006. This, constituting the pillar of the current legislation on wastewater, precisely outlines the emission limits to be respected. The growing concern about the environmental impact resulting from such discharges has pushed governments and organizations to promulgate directives and laws aimed at protecting water resources and human health. In response to these provisions, we have witnessed the development and implementation of various treatments plants, offering innovative and sustainable solutions to mitigate the resulting negative effects.

The objective of this work is to examine in detail the general context of wastewater derived from the confectionery industry, the regulations to be respected, as well as the challenges related to their treatment and the systems currently available to address them. Finally, the paper proposes the analysis of a real case study: the installation of a new total oxidation biological purification plant with “ECOBIOS PM SBR” technology at the “Giuseppe Lorenzon C.I.E. s.r.l.” company, established in the production and distribution of semi-finished products and food raw materials for the pastry and confectionery industry. Through a comparative analysis between past and current company performances, this study aims to recognize the potential of the new plant, underlining the importance of adapting the infrastructure to company growth. Solutions of this type can contribute significantly to enhancing corporate sustainability, without necessarily having to compromise production efficiency. The results obtained also provide valuable insights for the improvement of industrial practices, highlighting the need to adopt innovative technologies to comply with environmental regulations and optimize the use of company resources.

1. LE ACQUE REFLUE NELL'INDUSTRIA DOLCIARIA

1.1 CARATTERISTICHE

Nell'industria alimentare, l'acqua riveste un ruolo essenziale in molti processi di produzione e pulizia, diventando parte integrante del circuito delle acque reflue dopo il suo utilizzo. L'industria dolciaria è indubbiamente una delle maggiori protagoniste nel panorama industriale alimentare globale, producendo una vasta gamma di alimenti caratterizzati dall'abbondante presenza di zuccheri ed altri costituenti quali, cacao, grassi, emulsionanti, aromi e coloranti, impiegati nel processo produttivo (Edwards 2000; El-kalyoubi et al. 2011; Garcia-Morales et al. 2018). L'espansione del settore ha comportato un aumento dell'inquinamento idrico derivato dagli scarichi industriali generati (Pròba and Wolny 2013). È essenziale trattare correttamente queste acque per prevenire gravi conseguenze sulla salute umana e sull'ecosistema, come ad esempio: l'inquinamento delle acque superficiali e sotterranee, l'eutrofizzazione dei corsi d'acqua e dei laghi causata dall'eccesso di nutrienti (Demirel et al. 2005; Qasim and Mane 2013), nonché il deterioramento della qualità del suolo, la riduzione della biodiversità e la contaminazione delle coltivazioni dovuta all'irrigazione con acqua inquinata. Pertanto, rappresentando una sfida ambientale, affrontare in modo responsabile le problematiche connesse alle acque reflue generate dall'industria dolciaria diventa prerogativa essenziale al fine di salvaguardare l'ambiente e preservare la salute pubblica, promuovendo al contempo la sostenibilità e l'efficienza produttiva.

Nell'industria dolciaria, le acque reflue sono principalmente generate durante i processi di pulizia degli impianti. Quindi, la quantità prodotta è direttamente correlata alla frequenza di tali operazioni. Conseguenza di questo sono le fluttuazioni giornaliere e stagionali che le acque mostrano nella loro composizione e quantità, incidendo notevolmente sulla gestione dei processi di trattamento e smaltimento. In media, le industrie dolciarie scaricano mensilmente da 300 a 500 m³ di acque reflue di natura tecnologica (Rucka et al. 2012). La principale caratteristica che le contraddistingue è il fatto di essere biodegradabili. Principalmente costituite da composti organici e sospensioni, contribuiscono ad aumentare i livelli della domanda chimica di ossigeno (COD) e della domanda biochimica di ossigeno (BOD) (Krzanowski et al. 2008). Le industrie dolciarie producono effluenti ricchi di composti organici: zuccheri, grassi, coloranti (Colic et al. 2009; Esparza-Soto et al. 2013; Garcia-Morales et al. 2018; Rucka et al. 2012; Qasim and Mane 2013) e talvolta agenti di pulizia e disinfettanti, che possono influire sul pH aumentando il contenuto di composti azotati e fosforati (Krzanowski et al. 2008). Le acque reflue, una volta riversate negli elementi recettori, per completare il loro processo di decomposizione biochimica, assorbono l'ossigeno disciolto.

Una richiesta eccessiva può tuttavia esaurire l'ossigeno presente, creando condizioni anaerobiche che mettono a rischio la sopravvivenza degli organismi aerobi, interrompendo il processo auto-depurativo. La riduzione dei livelli di ossigeno nell'acqua ha un impatto negativo sugli organismi acquatici negli ecosistemi (Gromiec et al. 2014). La protezione delle risorse idriche dall'inquinamento industriale è un elemento cruciale per il perseguimento dello sviluppo sostenibile. Per raggiungere questo obiettivo, è essenziale migliorare l'efficienza dei sistemi di trattamento e adottare tecnologie più ecocompatibili (Rajman 2007; Qasim and Mane 2013). L'industria dolciaria, a causa della peculiare natura delle acque reflue prodotte, caratterizzate da un alto tenore di composti organici e composizione variabile, affronta sfide uniche. Pertanto, diventa di primaria importanza implementare procedure di trattamento e prassi di gestione altamente efficienti per ottemperare alle normative vigenti e minimizzare l'impatto ambientale di questo settore, garantendo al contempo che l'acqua scaricata o riutilizzata sia di qualità adeguata.

1.2 STRATEGIE PER RIDURRE LE EMISSIONI

Per ridurre la quantità di acque reflue nell'ambito dell'industria dolciaria, è necessario mettere in atto una serie di approcci volti a limitare il consumo idrico e ottimizzare la gestione delle acque reflue. Alcune linee guida da considerare:

- Riciclo e riutilizzo dell'acqua: implementare un sistema di riciclo all'interno dell'impianto. Trattare e purificare le acque in modo che possano essere riutilizzate. Oltre a ridurre la quantità, contribuirà a preservare le risorse idriche ricettive.
- Ottimizzazione dei processi: studiare, valutare ed ottimizzare i processi di produzione per minimizzare l'uso dell'acqua. Utilizzare attrezzature più efficienti o ridisegnare i processi per generare meno acque reflue.
- Attrezzature a basso consumo idrico: investire in attrezzature e macchinari a basso consumo idrico. Utilizzare ugelli e testine a basso flusso per ridurre il consumo durante le operazioni di pulizia e produzione.
- Riduzione dei rifiuti: ridurre l'uso di ingredienti e materiali che generano una quantità significativa di acque reflue. Riduzione dell'uso di coloranti e altri composti difficili da trattare.

- Procedure di pulizia: sviluppare ed implementare procedure di pulizia efficienti che utilizzino meno acqua. Utilizzare metodi di pulizia a secco, quando possibile, e assicurarsi che le attrezzature di pulizia siano correttamente mantenute per evitare perdite d'acqua.
- Pretrattamento e separazione: implementare processi di pretrattamento per separare solidi e altri contaminanti dalle acque reflue, rendendo più facili ed economici i processi di trattamento successivi.
- Trattamento delle acque reflue: investire in tecnologie avanzate in grado di trattare ed eliminare efficacemente i contaminanti. Adottare sistemi di trattamento biologico, chimico o filtrazione a membrana.
- Monitoraggio e conformità: monitorare regolarmente la qualità delle acque reflue per garantire che soddisfino i requisiti normativi. La conformità alle normative ambientali locali e nazionali è imperativa.
- Formazione dei dipendenti: educare e formare i lavoratori sull'importanza della conservazione dell'acqua e sulle corrette procedure per ridurre le acque reflue. Promuovere una cultura di responsabilità nell'uso dell'acqua.
- Sistema di gestione ambientale (SGA): instaurare una SGA, come ISO 14001, per valutare e migliorare continuamente le prestazioni ambientali, compresa la gestione delle acque reflue.
- Collaborazione e condivisione delle conoscenze: collaborare con esperti del settore per condividere le migliori pratiche di riduzione delle acque reflue.
- Audit regolari: effettuare audit ambientali periodici per individuare le aree in cui è possibile ridurre il consumo d'acqua e minimizzare le acque reflue.

Attraverso l'attuazione di queste strategie, l'industria dolciaria può ridurre in modo significativo la quantità di acque reflue generate, migliorando allo stesso tempo la sostenibilità complessiva e l'impegno ambientale dedicatoci. (EEA (European Environmental Agency). Reuse and recycling are key to tackling Europe's waste problem and to foster a more circular economy; EEA (European Environment Agency). Waste Management towards a more Circular Economy)

1.2.1 Clean in Place (CIP)

I CIP, Clean in Place, sono sistemi di sanificazione automatica costituiti da serbatoi, tubazioni e valvole, controllati da un software. Questi strumenti sono utilizzati per automatizzare il processo di sanificazione di talune linee di produzione che risultano complesse da disassemblare. I CIP rappresentano un metodo automatico di pulizia progettato per rimuovere residui da attrezzature industriali e circuiti di tubature senza dover richiedere lo smontaggio o l'apertura di tali apparecchiature. Il sistema di pulizia è concepito per garantire risultati rapidi, efficienti e coerenti sulle superfici a contatto con i prodotti, portandole ad un livello di pulizia prestabilito. Il processo coinvolge la circolazione di soluzioni chimiche (detergenti e disinfettanti) e acqua di risciacquo, attraverso serbatoi e condutture di un impianto di lavorazione alimentare che rimane assemblato nella sua configurazione produttiva, creando così un ambiente chiuso (Moerman, 2002; Majoor, 2003). Gli impianti CIP permettono di utilizzare acqua e detergenti nelle quantità strettamente necessarie, riducendo al minimo gli sprechi.

Tabella 1. Vantaggi dei sistemi CIP (Adams & Agarwal, 1990; Christi, 1999; Majoor, 2003)

Ampia applicabilità	Adatti a pulire una vasta gamma di attrezzature di processo, tra cui serbatoi, condutture, pompe, valvole, scambiatori di calore e molto altro
Riduzione dell'impegno manuale grazie alla semplice automatizzazione	Le operazioni manuali possono essere notevolmente ridotte, o completamente eliminate, grazie al grado di automazione dei sistemi CIP. L'automazione consente una pulizia coerente e ripetibile che riduce la possibilità di contaminazione incrociata, migliorando la qualità dei prodotti
Igiene potenziata	Nel sistema chiuso, possono essere utilizzate temperature più elevate e detergenti più potenti, riducendo il rischio di contaminazione. Inoltre, il processo è in grado di distribuire in modo più uniforme i fluidi di pulizia, riducendo il rischio di ri-contaminazione e aumentando l'efficienza della pulizia
Tracciabilità delle operazioni	I sistemi CIP automatizzati possono registrare tutte le fasi di pulizia, fornendo monitoraggio e documentazione dettagliata
Minimo impatto ambientale e risparmi economici	Grazie al recupero delle soluzioni di pulizia e delle acque di risciacquo, i sistemi CIP contribuiscono a risparmiare significativamente in termini di acqua, detergenti, disinfettanti, energia e trattamento degli effluenti, riducendo l'impatto ambientale e le spese da sostenere

Maggiore sicurezza per gli operatori	Esposizione ridotta del personale operativo a condizioni pericolose, come alte temperature, agenti di pulizia aggressivi e disinfettanti, migliorando la sicurezza sul posto di lavoro
--------------------------------------	--

Tabella 2. Svantaggi dei sistemi CIP (Adams & Agarwal, 1990; Christi, 1999; Majoor, 2003)

Elevati costi iniziali	L'implementazione del CIP in un nuovo impianto, o il suo retrofitting in un impianto esistente, comporta costi di investimento considerevoli. Questo derivata dal fatto che la maggior parte di questi sistemi è progettata su misura, in modo specifico. La complessità dell'hardware e del software, necessari per controllare e monitorare il sistema, aumenta ulteriormente i costi di capitale. Tuttavia, il ritorno sull'investimento è solitamente realizzato in meno di un anno grazie ai minori costi di manodopera, materie prime ed energia
Attrezzature di processo devono essere progettate in modo igienico	Sia per un processo igienico che per un CIP adeguato, le linee di processo e le attrezzature devono essere concepite in modo igienico fin dall'inizio della loro progettazione. Da solo, un sistema CIP efficiente non è sufficiente
Inflessibilità	I sistemi CIP stazionari consentono solo la pulizia delle attrezzature di processo adiacenti, ma ad un costo operativo ridotto. Le unità CIP mobili offrono maggiore flessibilità poiché possono coprire attrezzature di processo su una superficie più ampia
Maggiore manutenzione	Le attrezzature più sofisticate richiedono maggiore manutenzione

Per eseguire una pulizia completa dell'impianto produttivo, comprese le tubature, nel minor tempo possibile, ma con la massima efficacia, i sistemi CIP uniscono i benefici della temperatura elevata della soluzione (energia termica) e dell'attività chimica dei detergenti (energia chimica) con l'azione meccanica generata dal flusso turbolento e dall'impatto degli spruzzi e dei getti, della soluzione di pulizia, sulle superfici da trattare (energia meccanica). Tuttavia, per raggiungere l'obiettivo, altri fattori devono essere considerati. Questi includono la qualità dell'acqua utilizzata per preparare le soluzioni di pulizia (bassi livelli di microrganismi dannosi e bassa durezza dell'acqua), l'assicurazione di un completo contatto tra la soluzione di pulizia e lo sporco (uniformità di distribuzione), l'applicazione di un programma CIP efficace, la progettazione igienica dell'attrezzatura di processo da pulire e la qualità del lavoro svolto dal personale addetto.

Un processo di pulizia può essere suddiviso in tre fasi principali: la prima riguarda l'eliminazione dello sporco, organico ed inorganico, dalla superficie delle attrezzature attraverso reazioni chimiche e processi fisici.

È essenziale utilizzare un agente di pulizia con un'elevata capacità di bagnatura per ridurre la tensione superficiale del mezzo di pulizia e agevolare l'ingresso del liquido detergente nello sporco e nei pori della superficie. La solubilizzazione dello sporco può essere migliorata grazie alla capacità dei detersivi di disperdere e sequestrare, rispettivamente, gli elementi organici ed inorganici. La seconda fase comporta la dispersione dello sporco nel mezzo di pulizia, mentre la terza fase mira a prevenire che lo sporco si rideponga sulla superficie. Sono richiesti detersivi con notevole potere di sospensione ed emulsione al fine di mantenere in sospensione i residui insolubili e disperdere oli e grassi nella soluzione di pulizia. Per evitare la redeposizione dello sporco, vengono nuovamente considerate le proprietà di dispersione e sequestro, coinvolte sia nella prima che nella seconda fase. Poiché non esiste una formula di detergente universale che possa rimuovere tutti i tipi di sporco e pulire qualsivoglia tipologia di attrezzatura di processo, è fondamentale selezionare un detergente che garantisca i migliori risultati di pulizia specificamente per un dato equipaggiamento utilizzato.

In genere, un tipico sistema CIP comprende:

- Impianto di tubature e raccordi bloccabili a monte e a valle delle attrezzature da sanificare
- Serbatoi per lo stoccaggio delle sostanze da utilizzare
- Tubature di carico dell'acqua
- Tubature di scarico dell'acqua
- Software di gestione
- Pompe di pressione
- Sonde di temperatura
- Centrale per lo sviluppo del calore (scambiatore di calore)

I sistemi di lavaggio CIP svolgono un ruolo cruciale nei moderni processi industriali, specialmente nell'industria alimentare, dove assicurare una pulizia efficace, delle linee di produzione e delle attrezzature, è un requisito fondamentale per massimizzare l'efficienza produttiva, ridurre i tempi di inattività e garantire la sicurezza e la qualità dei prodotti. È essenziale ricordare che la sanificazione è uno dei prerequisiti fondamentali per garantire la sicurezza alimentare, come stabilito dalla norma ISO 22002. Questi sistemi automatizzati sono progettati per pulire le superfici interne di attrezzature e tubazioni, evitandone lo smontaggio. I sistemi CIP utilizzano una combinazione di detersivi, disinfettanti, temperatura e tempistiche precise per ottenere una pulizia completa e ripetibile. Giocano un ruolo vitale nel minimizzare i tempi morti, ridurre i costi di produzione e rispettare rigorosi standard di igiene e sicurezza.

Con gli avanzamenti nell'automazione e nella tecnologia, i sistemi CIP continuano ad evolversi, offrendo soluzioni sempre più efficienti, economiche ed ecologiche per mantenere la pulizia e la conformità nel settore. (F. Moerman. European Hygienic Engineering & Design Group, Belgium; P. Rizoulières. Bocard Food, France. Cleaning-in-place)

1.3 INDICATORI DI QUALITÀ

I principali indicatori delle acque reflue sono parametri utilizzati per valutare la qualità dell'acqua e rilevare l'inquinamento presente. Questi indicatori forniscono informazioni essenziali sulle caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche delle acque, consentendo di identificare la presenza e l'entità delle contaminazioni presenti. I principali indicatori includono (A. Lonigro, A. Giangaspero. Parametri qualitativi delle acque reflue):

- **TEMPERATURA**

Elevate temperature, nelle acque reflue, possono essere il risultato di processi di produzione che coinvolgono il riscaldamento dell'acqua o il raffreddamento di apparecchiature; possono comportare diverse conseguenze negative, tra cui:

- Riduzione dell'ossigeno disciolto: l'aumento della temperatura riduce la solubilità dell'ossigeno nell'acqua, portando ad una diminuzione del livello di ossigeno disciolto e causando una condizione nota come "deossigenazione". L'aumento della temperatura dell'acqua comporta una riduzione della solubilità dell'ossigeno mentre, simultaneamente, la richiesta di ossigeno, degli organismi viventi che popolano gli ecosistemi marini, aumenta.
- Fluttuazioni degli habitat acquatici: gli organismi acquatici sono adattati a specifici intervalli di temperatura. Un aumento eccessivo della temperatura può sfavorire, o addirittura uccidere, alcune specie e favorirne altre, invasive o termofile. L'acqua calda può inoltre promuovere la crescita di alghe nocive e batteri patogeni, determinando fioriture algali e proliferazione di microrganismi dannosi, alterando gli equilibri ecologici degli ecosistemi acquatici e riducendone la biodiversità.

- **SOLIDI**

I solidi presenti nelle acque reflue sono uno degli aspetti chiave da considerare nel monitoraggio e trattamento delle acque di scarico. I solidi possono essere divisi in due categorie:

- Solidi sospesi: particelle solide o semisolide in sospensione nelle acque reflue. La loro presenza può causare torbidità e opacità dell'acqua, riducendo la capacità penetrante dei raggi luminosi e danneggiando la vita acquatica. Inoltre, questi solidi possono compromettere l'efficienza del processo depurativo andando ad ostruire condotte ed impianti di trattamento.
- Solidi disciolti: particelle solide disciolte nell'acqua. Possono includere sali, minerali, composti organici e altri elementi chimici derivati dai processi di lavorazione e produzione. I solidi disciolti, se presenti a livelli elevati, possono influire sulla chimica dell'acqua (pH e concentrazione di nutrienti) e quindi manifestare un impatto negativo sulla vita acquatica.

- PH

Parametro di fondamentale importanza nelle acque reflue derivate dall'industria alimentare; influisce significativamente sia sulla qualità dell'acqua che sulla capacità degli organismi acquatici di sopravvivere e prosperare. L'industria alimentare può produrre acque reflue con variazioni significative di pH a seguito dei processi di lavorazione e delle sostanze chimiche utilizzate, soprattutto in fase di pulizia e lavaggio. Il pH rappresenta un fattore critico soprattutto nel corretto funzionamento dei depuratori biologici. Le sue variazioni possono infatti influenzare la velocità di crescita delle popolazioni microbiche, l'attività dei microrganismi coinvolti nel processo di biodegradazione e la solubilità delle sostanze inquinanti nell'acqua.

- pH acido: può inibire l'attività dei batteri presenti nel reattore biologico, riducendone la capacità di biodegradare le sostanze organiche e comportando un rallentamento della velocità di depurazione e una minore efficacia nel trattamento delle acque reflue.
- pH alcalino: allo stesso modo, un pH troppo alto, può alterare l'ambiente del reattore biologico e influenzare negativamente l'efficienza dei batteri.
- Fluttuazioni del pH: mutamenti rapidi possono causare stress alle comunità di microrganismi presenti nel reattore, riducendone la stabilità e compromettendo la capacità del sistema di affrontare picchi di carico organico.

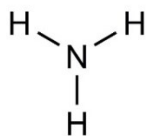
L'aggiunta di sostanze tampone o l'uso di sistemi di controllo del pH sono tecniche oramai comuni utilizzate per ottimizzare l'efficienza del trattamento biologico delle acque reflue.

- AZOTO

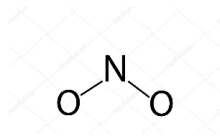
L'azoto, influenzando notevolmente sull'ambiente e la salute umana, rappresenta un ulteriore parametro di rilevante importanza all'interno del piano di gestione delle acque reflue. Si trova principalmente in due forme:

- Azoto organico: intrinsecamente legato a composti organici (proteine, amminoacidi, nucleotidi)
- Azoto inorganico: presente in composti privi di componenti organici (ammonio, nitrati, nitriti, azoto gassoso)

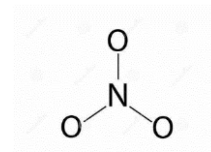
L'azoto, pur essendo un nutriente essenziale per piante ed organismi, richiede un'adeguata gestione al fine di prevenire possibili ripercussioni negative sull'ambiente, specialmente quello acquatico. Nelle acque può agire come fertilizzante naturale fornendo, a piante acquatiche e terrestri, le quantità necessarie per crescere e prosperare. Tuttavia, il superamento delle concentrazioni accettabili può portare a gravi conseguenze, come l'eutrofizzazione. Tale fenomeno si manifesta mediante proliferazione incontrollata di alghe e piante acquatiche, con conseguente deplezione dei normali livelli di ossigeno nell'acqua. Così facendo vengono alterati gli equilibri degli ecosistemi e danneggiati gli habitat acquatici e la fauna. Per mitigarne gli effetti nocivi derivati dall'inquinamento delle acque reflue, è fondamentale gestire in modo adeguato le fonti di azoto e adottare sistemi di trattamento efficaci. Questi processi possono comprendere la nitrificazione e la denitrificazione, entrambe finalizzate alla conversione dell'azoto nelle forme meno tossiche. Attraverso tali misure, è possibile proteggere la qualità dell'acqua e preservare l'equilibrio degli ecosistemi affini, contribuendo alla sostenibilità ambientale e alla tutela della salute umana.



Ammoniac



Nitriti



Nitrati

- FOSFATI

Composti chimici contenenti fosforo, un elemento essenziale per la crescita delle piante e degli organismi viventi. Nell'industria alimentare, i fosfati vengono spesso utilizzati come additivi per migliorare le caratteristiche (consistenza, sapore, conservazione) dei prodotti alimentari.

Tuttavia, l'aumento della presenza di fosforo nelle acque superficiali può creare un ambiente favorevole alla proliferazione di organismi che dipendono da questo elemento, come le alghe (eutrofizzazione). Questi organismi contribuiscono all'impovertimento di ossigeno nelle acque e ostacolano la penetrazione della luce solare negli strati più profondi del corpo idrico, causando l'asfissia delle popolazioni presenti. Nel quadro della gestione delle acque reflue provenienti dall'industria alimentare, è di fondamentale importanza adottare strategie di trattamento adeguate. I processi di eliminazione dei fosfati possono includere approcci chimici e biologici, come l'impiego di precipitanti chimici e l'utilizzo di ceppi batterici. In ugual modo, è cruciale promuovere pratiche aziendali sostenibili, mirate alla riduzione delle quantità di fosfati aggiunti agli alimenti, e ottimizzare i trattamenti per minimizzare l'impatto ambientale generato. Questo sforzo contribuisce in maniera significativa alla conservazione delle risorse idriche e alla salvaguardia della salute degli ecosistemi acquatici.

- **OSSIGENO DISCIOLTO**

L'ossigeno disciolto nelle acque reflue è un parametro fondamentale per valutare la qualità dell'acqua e l'effetto delle attività umane sull'ambiente acquatico. L'ossigeno disciolto si riferisce alla quantità di ossigeno presente nell'acqua in forma molecolare, essenziale per il mantenimento della vita acquatica. La solubilità dell'ossigeno in acqua è influenzata da vari fattori, tra cui la temperatura, la salinità, la pressione atmosferica, la velocità della corrente e la presenza di inquinanti come tensioattivi, oli e solidi sospesi, che possono ridurre gli scambi con l'atmosfera. La quantità di ossigeno disciolto è anche correlata alla qualità e alla concentrazione delle sostanze organiche presenti. Quando un corpo idrico riceve scarichi industriali contenenti sostanze organiche, l'ossigeno viene consumato durante i processi di ossidazione biologica delle sostanze inquinanti, fino a esaurirsi. Questi eventi possono condurre ad una diminuzione dei livelli di ossigeno disciolto, innescando un fenomeno noto come "deossigenazione" o esaurimento di ossigeno. La deplezione di ossigeno può avere effetti negativi sull'ecosistema acquatico. Infatti, gli organismi acquatici (pesci, invertebrati), per poter eseguire la respirazione, necessitano di ossigeno. Livelli troppo bassi possono causare soffocamento e morte di questi organismi, provocando il collasso dell'ecosistema. Inoltre, in condizioni anossiche si verificano fenomeni fermentativi ad opera di batteri anaerobi, con produzione di ammoniaca e acido solfidrico. Monitorare e gestire l'ossigeno disciolto nelle acque reflue è quindi fondamentale per preservare la salute degli ecosistemi acquatici.

- **BOD**

La domanda biochimica di ossigeno (BOD, Biochemical Oxygen Demand) è un parametro indispensabile per valutare la qualità dell'acqua e l'effetto degli inquinanti organici presenti in essa. Il BOD misura la quantità di ossigeno necessaria per ossidare biologicamente la materia organica presente in una determinata quantità d'acqua e in un arco di tempo specifico. Il BOD è quindi una misura indiretta del contenuto di materia organica biodegradabile presente in acqua ed è uno tra i parametri più utilizzati per stimare il carico inquinante degli scarichi reflui. La misurazione del BOD è di cruciale importanza poiché riflette l'impatto dei composti organici sulle comunità microbiche e sugli ecosistemi acquatici in generale. Un BOD elevato può indicare un'eccessiva presenza di inquinanti organici. Di conseguenza, un aumento del BOD può ridurre la quantità di ossigeno disciolta in acqua, creando situazioni di ipossia che possono danneggiare la vita acquatica e alterare l'equilibrio ecologico degli ecosistemi.

- **COD**

La domanda chimica di ossigeno (COD, Chemical Oxygen Demand) è un parametro ampiamente utilizzato per valutare la quantità di sostanze chimiche ossidabili presenti nell'acqua. A differenza del BOD, che si concentra sulla degradazione biologica della materia organica, il COD misura la quantità di ossigeno necessaria per ossidare chimicamente tutte le sostanze ossidabili presenti, organiche ed inorganiche. La misurazione del COD è cruciale per comprendere la composizione chimica dell'acqua, valutarne l'inquinamento da sostanze chimiche e monitorare l'efficacia dei trattamenti delle acque reflue, oltre che a verificare l'osservanza delle normative ambientali. Utilizzata in combinazione con altri parametri, come il BOD, permette di ottenere una visione completa della qualità dell'acqua e degli effetti delle attività umane sugli ecosistemi acquatici. In conclusione, il COD è uno strumento fondamentale nella valutazione della qualità dell'acqua e nell'analisi dell'inquinamento chimico. La sua capacità di rilevare una vasta gamma di sostanze ossidabili contribuisce a comprendere meglio l'impatto delle attività umane sull'ambiente acquatico e a guidare la gestione sostenibile delle risorse idriche.

- **METALLI PESANTI**

L'analisi e la gestione dei metalli pesanti nelle acque reflue costituiscono un aspetto cruciale per la salvaguardia della sicurezza alimentare e tutela ambientale.

In questo contesto, forme ioniche di diversi metalli, tra cui ferro, rame, zinco, cadmio, manganese, mercurio, cromo, cobalto, nichel e piombo, possono comparire a seguito delle attività produttive e delle operazioni di lavaggio delle attrezzature. Il termine “metalli pesanti” è convenzionalmente utilizzato per indicare quei metalli che presentano una densità relativa superiore a 7g/cm^3 . In presenza di elevate concentrazioni, questi metalli rivelano un potenziale tossicologico di considerevole entità, capace di compromettere sia i processi biologici di depurazione dell’acqua che di stabilizzazione dei fanghi. Ulteriore aspetto da considerare è la loro marcata tossicità per l’uomo. Infatti, una volta accumulati nei tessuti degli organismi acquatici, possono venire introdotti nella catena alimentare umana. Tale trasferimento può innescare diverse problematiche a livello dei sistemi nervoso, renale e riproduttivo. Di conseguenza, emerge con chiarezza la necessità di adottare pratiche meticolose di monitoraggio dei metalli pesanti nelle acque reflue, affiancate a misure preventive e correttive mirate a mitigarne la loro presenza e i rischi connessi.

1.4 NORMATIVA VIGENTE

In Italia, il quadro normativo era definito dal D. Lgs. n. 152 dell’11 maggio 1999, che recepiva la Direttiva Comunitaria 91/271/CEE relativa al trattamento delle acque reflue urbane. Oltre a regolamentare gli scarichi attraverso l’istituzione di soglie di concentrazione per varie sostanze, il D. Lgs. 152/99 si dedicava anche alla qualità del corpo idrico destinato a riceverli, stabilendo procedure di monitoraggio e con eventuale possibilità di valutare il danno ambientale causato dall’attività umana. Il 3 aprile 2006 è stato introdotto il D. Lgs. 152/06 che, conosciuto come “Testo Unico Ambientale”, e mantenendo i principi del precedente D. Lgs. 152/99, ha apportato modifiche significative al panorama normativo dell’inquinamento idrico. Questo decreto costituisce attualmente il quadro normativo di riferimento per la gestione sostenibile delle risorse ambientali, comprese le acque reflue, ed è stato istituito per unificare e semplificare le disposizioni legislative esistenti in materia ambientale. Il D. Lgs. n. 152/06 recepisce ed implementa le direttive europee relative alla tutela delle acque e all’inquinamento idrico, ponendo particolare enfasi alla direttiva 91/271/CEE. La normativa stabilisce i criteri per il trattamento e il rilascio delle acque reflue di insediamenti civili ed industriali, in modo da prevenire l’inquinamento delle risorse idriche e garantire la tutela della salute umana e degli ecosistemi acquatici. Il D. Lgs. 152/06 fissa i valori limite di emissione delle sostanze inquinanti nelle acque reflue, stabilendo criteri di qualità e norme tecniche per la progettazione, la costruzione e la gestione degli impianti di depurazione.

Inoltre, prevede l'obbligo di ottenere l'autorizzazione preventiva per qualsivoglia scarico di acque reflue nell'ambiente, assicurando un adeguato controllo quantitativo e qualitativo degli scarichi. Infine, la normativa italiana prevede anche la pianificazione e il monitoraggio dello stato delle risorse idriche, attraverso strumenti come il Piano di Tutela delle Acque (PTA) e il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA), al fine di anticipare fenomeni di inquinamento e gestire in modo sostenibile le risorse idriche del Paese.

Le acque reflue sono gestite in modo responsabile, e in linea con gli standard di qualità, grazie all'impegno di specifiche autorità di controllo; queste includono l'ARPA (Agenzia Regionale Protezione Ambiente) e le autorità locali (municipalizzate, consorzi). Il loro compito è quello di supervisionare, regolamentare e attuare le politiche riguardanti il trattamento e lo smaltimento delle acque reflue, attenendosi all'applicazione delle normative del D. Lgs. 152/06. Spesso collaborano con industrie, autorità locali e altri parti interessate per sviluppare nuovi standard di qualità, promuovere l'uso di tecnologie avanzate e offrire consulenza tecnica per ottimizzare le pratiche di gestione delle acque.

Tabella 3. Limiti di emissione per gli impianti di acque reflue urbane (Indam. Analisi ambientali e controllo qualità)

PARAMETRI (MEDIA GIORNALIERA) (1)	POTENZIALITÀ IMPIANTO IN A.E. (ABITANTI EQUIVALENTI)			
	2.000 - 10.000		> 10.000	
	Concentrazione (mg/l)	% di riduzione	Concentrazione (mg/l)	% di riduzione
BOD ₅ (senza nitrificazione) (2)	25	70-95 (5)	25	80
COD (3)	125	75	125	75
Solidi sospesi (4)	35 (5)	90 (5)	35	90

Tabella 4. Limiti di emissione per gli impianti di acque reflue urbane recapitanti in aree sensibili (Indam. Analisi ambientali e controllo qualità)

PARAMETRI (MEDIA ANNUA)	POTENZIALITÀ IMPIANTO IN A.E.			
	10.000 - 100.000		> 100.000	
	Concentrazione (mg/l)	% di riduzione	Concentrazione (mg/l)	% di riduzione
Fosforo totale (P) (1)	2	80	1	80
Azoto totale (N) (2)(3)	15	70-80	10	70-80

Tabella 5. Limiti per acque reflue industriali che recapitano in corpo idrico superficiale e fognature e limiti per acque reflue urbane e industriali che recapitano su suolo (Indam. Analisi ambientali e controllo qualità)

N°	PARAMETRI	SCARICO IN ACQUE SUPERFICIALI		SCARICO IN RETE FOGNARIA		SCARICO SU SUOLO	
1	pH	5,5 – 9,5		5,5 – 9,5		6 - 8	
2	Temperatura (°C)	Variabile in funzione della tipologia del recapito					
3	colore	n.p. 1:20		n.p. 1:40		/	
4	odore	no molestie		no molestie		/	
5	materiali grossolani	assenti		assenti		Assenti	
6	Solidi sospesi totali	80	mg/l	200	mg/l	25	mg/l
7	BOD ₅ (come O ₂)	40	*	250	*	20	*
8	COD (come O ₂)	160	*	500	*	100	*
9	Alluminio	1	*	2,0	*	1	*
10	Arsenico	0,5	*	0,5	*	0,05	*
11	Bario	20	*	/		10	*
12	Boro	2	*	4	*	0,5	*
13	Cadmio	0,02	*	0,02	*	(*)	
14	Cromo totale	2	*	4	*	1	*
15	Cromo VI	0,2	*	0,20	*	(*)	
16	Ferro	2	*	4	*	2	*
17	Manganese	2	*	4	*	0,2	*
18	Mercurio	0,005	*	0,005	*	(*)	
19	Nichel	2	*	4	*	0,2	*
20	Plombo	0,2	*	0,3	*	0,1	*
21	Rame	0,1	*	0,4	*	0,1	*
22	Selenio	0,03	*	0,03	*	0,002	*
23	Stagno	10	*	/		3	*
24	Zinco	0,5	*	1,0	*	0,5	*
25	Cloruri totali (come CN)	0,5	*	1,0	*	(*)	
26	Cloro attivo libero	0,2	*	0,3	*	0,2	*
27	Solfuri (come H ₂ S)	1	*	2	*	0,5	*
28	Solfiti (come SO ₂)	1	*	2	*	0,5	*
29	Solfati (come SO ₄)	1000	*	1000	*	500	*
30	Cloruri	1200	*	1200	*	200	*
31	Fluoruri	6	*	12	*	1	*
32	Fosforo totale (come P)	10	*	10	*	2	*
33	Azoto ammoniacale (come NH ₄)	15	*	30	*	(**)	
34	Azoto nitroso (come N)	0,6	*	0,6	*	(**)	
35	Azoto nitrico (come N)	20	*	30	*	(**)	
36	Grassi e olii animali / vegetali	20	*	40	*	/	
37	Idrocarburi totali	5	*	10	*	(*)	
38	Fenoli	0,5	*	1	*	0,1	*
39	Aldeidi	1	*	2	*	0,5	*
40	Solventi organici aromatici	0,2	*	0,4	*	0,01	*
41	Solventi organici azotati	0,1	*	0,2	*	0,01	*
42	Tensioattivi totali	2	*	4	*	0,5	*
43	Pesticidi fosforati	0,10	*	0,10	*	(*)	
44	Pesticidi tot. (esc. fosf.) tra cui:	0,05	*	0,05	*	(*)	
45-46	- aldrin; dieldrin (ciascuno)	0,01	*	0,01	*	(*)	
47-48	- endrin; isodrin (ciascuno)	0,002	*	0,002	*	(*)	
49	Solventi clorurati	1	*	2	*	(*)	
50	Escherichia coli (UFC/100ml)	Consigliabile inf. 5000 UFC/100 ml		/		Consigliabile inf. 5000 UFC/100 ml	
51	Saggio di tossicità acuta	o.i. ≤ 50%		o.i. ≤ 80%		o.i. ≤ 50%	
						SAR	10
						(**)	15 mg/l
						Azoto tot.	0,1 mg/l
						Berillio	0,1 mg/l
						Vanadio	0,1 mg/l

(*) Sostanza pericolosa di cui è vietato lo scarico in suolo/sottosuolo
(**) in scarico su suolo è regolamentato l'azoto totale
o.i. = organismi immobili dopo 24 ore

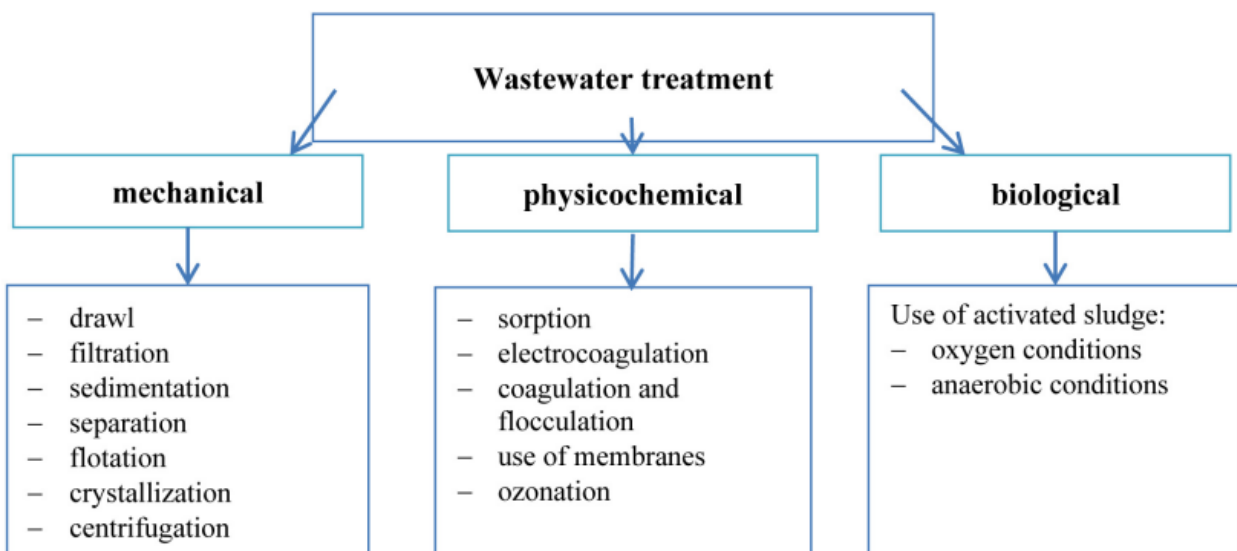
Le autorità di controllo delle acque reflue svolgono un ruolo cruciale nella protezione delle risorse idriche e dell'ambiente in generale. Attraverso la regolamentazione, il monitoraggio, l'applicazione di misure correttive e sanzioni, incentivano a garantire l'osservanza agli standard di qualità dell'acqua, nonché ai limiti di scarico. Le sanzioni derivate dal mancato rispetto dei limiti tabellari servono come strumento efficace per promuovere la responsabilità ed incentivare, imprese e comunità, a rivolgere maggiore serietà ed impegno al trattamento delle acque, per evitare il rilascio incontrollato di sostanze inquinanti nell'ambiente. Le sanzioni possono variare a seconda della gravità dell'infrazione perseguita. Alcune possibili sanzioni includono:

- Multe economiche
- Sospensione delle attività
- Revoca delle autorizzazioni
- Responsabilità penale

2. IL TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE

Garantire un ritorno idrico sostenibile all'ambiente, oltre ad essere un imperativo giuridico, costituisce un atto di responsabilità sociale. Diverse attività antropiche producono effluenti che richiedono trattamenti prima di poter essere reintrodotti nell'ecosistema. Questa necessità nasce dal fatto che, molto spesso, la presenza degli agenti inquinanti supera la capacità auto-depurativa dei corpi recettori. Di conseguenza, è essenziale implementare sistemi di purificazione che, anche attraverso l'adozione di tecnologie avanzate, emulino ed accelerino i naturali processi biologici.

Figura 1. Metodi di trattamento delle acque reflue (M. Zajda, U. Aleksander-Kwaterczak, 2019. *Wastewater Treatment Methods for Effluents from the Confectionery Industry*)



TRATTAMENTO MECCANICO

Il trattamento meccanico delle acque reflue, ovvero la prima fase di purificazione, è concepito per rimuovere i solidi di dimensioni maggiori che galleggiano o vengono trascinati, nonché particelle granulari con diametro superiore a 0,1 mm e sospensioni che contengono facilmente oli e grassi. Questo obiettivo viene raggiunto attraverso l'uso di griglie e schermi che catturano e separano le impurità solide dalla massa reflua. In questa fase si verificano processi di filtrazione, drenaggio, sedimentazione e flottazione. Come risultato nelle acque reflue, la concentrazione di composti organici può essere ridotta di qualche punto percentuale (Bartkiewicz and Umiejewska 2010).

- Griglie: costituite da barre o lamelle inclinate che impediscono il passaggio degli oggetti solidi più grandi (rami, foglie, plastica, detriti). Queste attrezzature catturano i solidi di dimensioni maggiori all'ingresso del sistema di trattamento.

- Setacci meccanici: utilizzano schermi o cinghie con fori di dimensioni specifiche per separare i solidi più piccoli (sabbia, ghiaia, piccoli detriti) dall'acqua reflua.
- Dissabbiatori: progettati per rimuovere la sabbia e i sedimenti più pesanti dall'acqua, contribuendo a prevenire l'abrasione e il danneggiamento delle pompe e delle altre componenti dell'impianto. Il loro principio di funzionamento si basa sulla separazione gravitazionale e sulla velocità di sedimentazione delle particelle solide.
- Disoleatori: utilizzati per rimuovere l'olio e i grassi galleggianti dall'acqua reflua. Funzionano separando fisicamente gli oli e i grassi dalla superficie dell'acqua.
- Separatori di solidi: dispositivi che separano i solidi più pesanti dall'acqua mediante sedimentazione o centrifugazione, contribuendo a ridurre la carica di solidi sospesi nell'acqua reflua.
- Comminutori: attrezzature che frammentano i solidi più grandi e resistenti (oggetti inorganici o materiale organico fibroso), rendendoli più facilmente trattabili dai processi successivi.

TRATTAMENTO FISICO-CHIMICO

- ASSORBIMENTO ED ADSORBIMENTO

Questo processo consiste in due fenomeni distinti. Il primo, l'adsorbimento, coinvolge l'attaccamento di molecole alla superficie di un solido o di un liquido. Il secondo, l'assorbimento, riguarda la capacità di una sostanza di essere assorbita da un'altra, formando una fase continua. Particolarmente efficienti e relativamente semplici, non richiedendo alte temperature operative, i metodi basati sull'adsorbimento si distinguono per la loro notevole competitività (Hashemian et al. 2014). Il carbone attivo è un materiale dotato di eccellente capacità nell'adsorbire composti organici (Dakhil 2013), grazie alla sua ampia superficie, porosità e resistenza ai cambiamenti chimici e termici (El-Dars et al. 2014). Queste caratteristiche lo rendono l'adsorbente più versatile impiegato nei processi di trattamento delle acque reflue. È in grado di ridurre i valori di BOD e COD di oltre il 90% (Devi et al. 2008; Nayl et al. 2017; Sanou et al. 2016; Yamina et al. 2013). Oltre alle sfide legate alla rigenerazione e allo smaltimento, il principale svantaggio del carbone attivo è legato all'elevato costo di produzione (El-Dars et al. 2014). Per questo, esperti hanno cercato sostanze più economiche ed ecocompatibili dotate di simili proprietà (Carvalho et al. 2011).

Sono stati condotti test su potenziali materiali adsorbenti a basso costo tra cui: minerali naturali (bentonite, zeoliti, perle di silice, caolino), scarti agricoli (gusci d'uovo, pannocchie di mais, piume di pollo, bucce di riso, gusci di cocco), sottoprodotti industriali, biosorbenti (chitosano, torba, biomassa) e altri materiali (amido, ciclodestrine, cotone) (Al-Jlil 2009; Ariffin et al. 2017; Carvalho et al. 2011; Parande et al. 2009). Si è scoperto che prodotti come la lana, la segatura, il guscio di cacao, la polpa di barbabietola da zucchero, i fanghi di distilleria possono essere efficaci nella riduzione dei metalli e nel miglioramento delle condizioni aerobiche nelle acque reflue. Inoltre, il metacaolino e il carbone prodotto da noci di datteri e tamarindi, a pH neutro, possono significativamente migliorare le condizioni di ossigeno nelle acque reflue ad alto contenuto di composti organici (Parande et al 2009). È stato inoltre dimostrato che un adsorbente perfetto è il carbone attivo prodotto dai rifiuti di gusci di mandorle e buccia d'arancia (Hashemian et al. 2014). Si è osservato che il carbone attivo prodotto a partire dai noccioli delle olive, mediante attivazione con acido fosforico (H₃PO₄), presenta una struttura porosa molto sviluppata, dotata quindi di notevole capacità di assorbimento dell'inquinamento (Yakout and Sharaf El-Deen 2016). Per ridurre i costi, sono stati poi impiegati adsorbenti economici, come segatura di alberi di cocco, gusci di cotone di seta, scarti di sagù, pannocchie di mais e banane, per la formulazione di carboni attivi, utili a rimuovere metalli ad alta densità e coloranti dalle soluzioni acquose. I risultati sperimentali dimostrano che tutti i tipi di carbone sono efficaci nella rimozione degli agenti inquinanti dall'acqua (Henze et al. 2008). Ulteriori ricerche, nel trattamento delle acque reflue derivate dalla produzione di dolci e gelati, hanno utilizzato carbone attivo in polvere come materiale adsorbente. Questo tipo di carbone può significativamente migliorare le condizioni di ossigeno delle acque (Qasim and Mane 2013).

Tabella 6. Vantaggi e svantaggi del processo di adsorbimento (Ariffin et al. 2017; Park et al. 2001)

Advantages	Disadvantages
<ul style="list-style-type: none"> - large BOD and COD reduction - easy-to-use - cheap technology 	<ul style="list-style-type: none"> - adsorbent loses its effectiveness over time - problems with the utilization of waste

- **COAGULAZIONE E FLOCCULAZIONE**

Nel trattamento delle acque reflue, i fenomeni di coagulazione e flocculazione sono principalmente impiegati per eliminare solidi sospesi e composti organici.

L'efficacia dei processi dipende dalla scelta del coagulante adeguato. Tra i più popolari vi sono i sali di alluminio e ferro, così come la silice attiva (Bhargava 2016). Nel caso delle acque reflue provenienti dall'industria alimentare, l'uso del solfato ferroso può determinare una riduzione del BOD del 33-58% e del COD del 30-53%. D'altra parte, l'utilizzo della calce porta a un leggero miglioramento delle condizioni aerobiche (BOD: 34-66% e COD: 32-59%) (Vanerkar et al. 2013). In uno studio sperimentale sono stati utilizzati vari coagulanti, tra cui: calce, allume, solfato ferroso e cloruro ferrico, in combinazione con diversi polielettroliti. I risultati hanno mostrato che l'aggiunta di 0,3 mg/L di Magnafloc E-207 (polielettrolita anionico sintetico) alla dose ottimale di calce (200 mg/L) ha portato ad una notevole riduzione del COD (67,6%) e del BOD (71%) (Vanerkar et al. 2013). Inoltre, come possibili coagulanti per ridurre il BOD e il fosforo nelle acque reflue dopo il trattamento biologico, sono stati esaminati materiali ampiamente disponibili ed economici, come la calce, l'allume, i polimeri e le foglie essiccate. Questi materiali, mantenendo invariato il pH, hanno contribuito in modo significativo a ridurre le concentrazioni di fosforo e il rapporto BOD fino all'80-90% (Mortula et al. 2011). È stato infine evidenziato che composti organici, come il chitosano derivato dai gusci di alcuni crostacei, possono agire efficacemente come coagulanti per la rimozione della materia organica responsabile degli elevati livelli di BOD (Bough 1976). Punto di forza di questa sostanza naturale è sicuramente la sua capacità di recuperare i sedimenti (Park et al. 2001).

Tabella 7. Vantaggi e svantaggi dei processi di coagulazione e flocculazione (Ariffin et al. 2017; Mortula et al. 2011; Park et al. 2001)

Advantages	Disadvantages
<ul style="list-style-type: none"> - good BOD and COD reduction - cheap technology using natural coagulants 	<ul style="list-style-type: none"> - large amount of sediment generated - problem with the utilization of waste

- **ELETTROCOAGULAZIONE**

L'elettrocoagulazione è una tecnologia elettrochimica sempre più diffusa nel trattamento delle acque reflue (Mollah et al. 2001; Mollah et al. 2004; Sahu et al. 2014). Rappresenta un processo diretto ed efficiente che impiega tipicamente anodi di ferro o alluminio per la dissoluzione elettrolitica (Akbal and Camci 2011; Mollah et al. 2004). La formazione del coagulante avviene direttamente in loco grazie all'elettro-ossidazione di un anodo sacrificante, eliminando la necessità di aggiungere coagulanti o flocculanti chimici (Keshmirizadeh et al. 2011; Thirugnanasambandham et al. 2013).

L'esame delle acque reflue provenienti dall'industria dello zucchero, trattate mediante elettrocoagulazione con elettrodi di zinco in un sistema bipolare, ha evidenziato una notevole riduzione del COD (81%), del BOD (89%) e del contenuto totale di solidi (90%) (Byadgi et al. 2017). D'altra parte, il trattamento mediante un processo elettrochimico con elettrodi ibridi di ferro e alluminio ha portato ad una riduzione del COD del 90% e del colore del 93.5% (Sahu 2017). Il processo di elettrocoagulazione integrato utilizzando anodi sacrificabili di alluminio e il processo di filtrazione della sabbia come pretrattamento delle acque reflue provenienti dalla produzione di cioccolato ha permesso di ridurre la torbidità, il colore e il COD rispettivamente del 96%, del 98% e del 39%. Inoltre, gli elettrodi ibridi sono economici e sicuri (García Morales et al. 2018). Il vantaggio dell'elettrocoagulazione, rispetto alla coagulazione, deriva dal minore utilizzo di reagenti. Le acque trattate con questo metodo presentano una minore conducibilità e un pH neutro, consentendo il riutilizzo delle acque trattate per alcune applicazioni industriali (Tchamango et al. 2010). L'esperimento di trattamento delle acque reflue mediante elettrocoagulazione con elettrodi di alluminio è stato condotto anche sulle acque reflue provenienti dalla produzione di dolci e gelati. Dopo l'elettrocoagulazione, la riduzione della torbidità ha raggiunto il 100%, il fosforo l'89% e l'indice COD è diminuito del 61%, indicando che questa tecnica è la migliore e più efficiente nel trattamento di questo tipo di effluenti (Qasim and Mane 2013). Altri studi hanno indicato che il pH svolge un ruolo importante nella determinazione dell'efficienza di rimozione del processo di elettrocoagulazione. Inoltre, la rimozione del parametro COD aumenta con l'aumento del pH fino a 6.5 (Thirugnanasambandham et al. 2013). Tuttavia, le spese iniziali di capitale e i costi operativi proiettati del processo di elettrocoagulazione, nel trattamento delle acque reflue, sono elevati e stimati a 140 000 USD e 40 000 USD/anno, rispettivamente (Park et al. 2001).

Tabella 8. Vantaggi e svantaggi del processo di elettrocoagulazione (Ariffin et al. 2017; Park et al. 2001)

Advantages	Disadvantages
<ul style="list-style-type: none"> - minimal chemical additives - low sludge production - large reduction suspensions and colour - simple equipment required - easy operation and automation - short retention time 	<ul style="list-style-type: none"> - relatively low reduction of high BOD and COD values - electrodes require to be regular exchange - high operating and maintenance costs

- **OZONIZZAZIONE**

L'ozono è un potente agente ossidante, altamente solubile in acqua, che può essere applicato nei processi di trattamento delle acque reflue, particolarmente efficace in quelle ben diluite. Tuttavia, in presenza di elevate concentrazioni di composti organici, il processo può essere impiegato esclusivamente come fase preliminare all'interno del processo di trattamento. Un esperimento relativo all'ossidazione delle acque reflue grezze provenienti dall'industria dolciaria (Benincà et al. 2013), mediante l'utilizzo dell'ozono, è stato effettuato all'interno di un reattore semichiuso ad una temperatura di 20°C per 2 ore, con un flusso di massa di ozono pari a 1.158×10^{-6} kg/s. In queste condizioni, è stato possibile osservare una riduzione totale del carbonio organico totale (TOC) non superiore al 60% e una diminuzione del colore delle acque reflue grezze fino a quasi il 10%. I costi di investimento sono stati stimati a 190 000 USD, mentre i costi operativi annuali ammontano a 40 000 USD (Park et al. 2001).

Tabella 9. Vantaggi e svantaggi del processo di ozonizzazione (US EPA 1999)

Advantages	Disadvantages
<ul style="list-style-type: none"> - lack of harmful waste - short time of wastewater contact with ozone (15-20 minutes) 	<ul style="list-style-type: none"> - weak reduction of high BOD and COD values - it requires the complicated equipment and a control system - high operating and maintenance costs

- **UTILIZZO DELLE MEMBRANE**

Le membrane sono una sorta di barriere selettive che consentono il passaggio di alcune sostanze all'interno di una miscela a discapito di altre, che vengono trattenute. La forza trainante di questo processo è rappresentata da un gradiente di un qualche potenziale, come la pressione, la temperatura, la concentrazione o il potenziale elettrico (Mai 2014). Non richiedendo l'aggiunta regolare di sostanze chimiche, basandosi su di una separazione fisica, questo metodo risulta particolarmente vantaggioso. Le tecnologie di trattamento più diffuse basate sulle membrane coinvolgono i processi a pressione, suddivisi in: microfiltrazione, ultrafiltrazione, nanofiltrazione ed osmosi inversa (Van der Bruggen et al. 2003). Un esperimento utilizzando membrane è stato condotto per trattare acque reflue caratterizzate da un elevato valore di BOD (1000-5000 mg/L). In una prima fase, condotta in singolo stadio utilizzando una membrana di ultrafiltrazione, è emerso che questa non riduceva in modo efficace il BOD, in quanto le sostanze responsabili del BOD oltrepassavano i pori. Il permeato ottenuto, indirizzato verso una membrana di nanofiltrazione, subiva invece una riduzione del BOD fino a circa 300 mg/L. Nel sistema a due stadi, l'indicatore BOD è diminuito di oltre il 90% (Park et al. 2001).

Le membrane di ultrafiltrazione e nanofiltrazione sono state utilizzate anche per il trattamento delle acque reflue provenienti da ristoranti. A seconda del tipo di membrana impiegata, si è riscontrata una significativa riduzione del COD (fino al 97,8%), della torbidità (99.9%) e una notevole rimozione del BOD5 (86,8%) e della conducibilità (82,3%). I ristoranti possono quindi trarre vantaggio dalla possibilità di riutilizzare le acque reflue trattate per scopi esenti dal consumo (Zulaikha et al. 2013). Tuttavia, uno svantaggio dei sistemi a membrana è che consentono il recupero di solamente il 75% dell'acqua, lasciando quindi circa il 25% dei liquami da trattare.

Tabella 10. Caratteristiche delle membrane (Ratajczak 2013)






Process:	Microfiltration	Ultrafiltration	Nanofiltration	Reverse osmosis
Emulsion, Colloids, Bacteria				
Proteins, Viruses				
Dye				
Polyvalent ions				
Monovalent ions Simple carbohydrates				
Pressure range [MPa]	0.1-0.3	0.3-1.0	0.5-3.0	2.0-5.0
Membrane construction	symmetrical, porous	asymmetric, porous	asymmetric, composite	asymmetric, composite
Pore size	0.05-10 µm	0.01-0.05 µm	1.00-8.00 nm	solid
Approximate size of separated molecules	0.1 µm	2.0-20.0 nm	0.001 µm	0.0001 µm

Tabella 11. Vantaggi e svantaggi delle membrane (Park et al. 2001)

Advantages	Disadvantages
<ul style="list-style-type: none"> - lack of chemical additives - high reduction of BOD and COD using multi-stage systems 	<ul style="list-style-type: none"> - leachates with a high concentration of pollutants - high operating and maintenance costs

METODI BIOLOGICI

- UTILIZZO DEI FANGHI ATTIVI

Il trattamento delle acque reflue attraverso l'utilizzo dei fanghi attivi, in condizioni aerobiche, è ampiamente diffuso (Henze et al. 2008; Scholz 2016). Il fango attivo costituisce un sistema biologico in cui vengono svolti processi fisici e reazioni biochimiche. Dal punto di vista macroscopico, si tratta di una sospensione costituita da agglomerati flocculanti di batteri eterotrofi. I processi fisici, che avvengono sulla superficie degli agglomerati, si basano sull'adsorbimento di composti organici, che si decompongono in frammenti più piccoli. I frammenti vengono successivamente assorbiti dalle cellule microbiche, subendo ulteriori trasformazioni.

I batteri presenti nel fango attivo producono enzimi che catalizzano una serie di reazioni biochimiche, portando alla decomposizione dei composti organici ed inorganici presenti nelle acque reflue (Scholz 2016). Il processo di trattamento delle acque reflue con fanghi attivi è stato ormai impiegato numerosamente nel settore alimentare. Nel 2000, un team progettò un impianto pilota integrato che comprendeva un equalizzatore, un miscelatore chimico, un aeratore, un chiarificatore, un serbatoio per disinfettanti e un filtro a sabbia per il trattamento delle acque reflue generate durante la produzione di gomme e dolciumi. A seguito del processo di purificazione, l'indice BOD è sceso da 3200 mg/L a 70 mg/L mentre il COD da 5000 mg/L a 100 mg/L (El Diwani et al. 2000). Inoltre, sono stati condotti esperimenti di trattamento delle acque reflue mediante il processo a fanghi attivi, in condizioni di laboratorio, utilizzando reattori ad operazione periodica (SBR). Tre reattori hanno operato in due cicli al giorno e comprendevano le fasi di areazione e sedimentazione. L'analisi ha mostrato una riduzione di oltre il 95% di COD e BOD. I valori di questi indicatori nelle acque reflue trattate erano notevolmente inferiori ai limiti normativi imposti per lo smaltimento nelle reti fognarie (Rucka et al. 2014). Ad ogni modo, va notato come le principali sfide associate a questa tecnologia riguardano soprattutto gli elevati costi, la complessità del processo e l'estinzione dei batteri nel fango attivo (Park et al. 2001).

Tabella 12. Vantaggi e svantaggi dei fanghi attivi in condizioni aerobiche (Park et al. 2001)

Advantages	Disadvantages
<ul style="list-style-type: none"> - lack of odours - high reduction of BOD and COD 	<ul style="list-style-type: none"> - complicated technique - high operating costs - formation of a large amount of sludge - sudden increase in volume or change in the composition of sewage may have a negative effect on the operation of the process

- **TRATTAMENTO IN CONDIZIONI ANAEROBICHE**

Il processo di trattamento anaerobico è fondato su una complessa reazione biologica nota come fermentazione metanica. In questo processo, ceppi batterici opportunamente selezionati lavorano per convertire i rifiuti organici, contenuti nelle acque reflue, in una preziosa risorsa energetica: il biogas, composto principalmente da metano e anidride carbonica. I batteri specializzati risiedono nei fanghi anaerobici, presentandosi in forma flocculenta o granulare. Le tecnologie anaerobiche costituiscono la base di numerosi approcci al trattamento delle acque reflue. La digestione anaerobica, ad esempio, non è soltanto impiegata nella gestione di una vasta gamma di rifiuti, ma trova applicazione anche nella gestione dei biosolidi (fanghi biologici) (Amani et al. 2010; Park et al. 2001).

Un reattore notevolmente diffuso negli ultimi anni è il reattore UASB (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket), altamente efficiente nel trattamento di varie tipologie di acque reflue (Seghezze et al. 1998). Questo reattore offre numerosi vantaggi, tra cui una notevole efficienza di rimozione, anche a basse temperature, nonché un consumo energetico ridotto e minori problemi d'ingombro. Grazie alla concentrazione elevata di biomassa e alla diversità microbica che ospita, risulta particolarmente idoneo per il trattamento delle acque reflue organiche (Liu et al. 2003). Un pratico esempio dell'efficacia del reattore UASB (fanghi attivi anaerobici non granulari) è stato presentato da uno studio condotto sulle acque reflue provenienti da uno zuccherificio (Tanksali 2013). In condizioni di laboratorio, a una temperatura compresa tra 26 e 39°C, il reattore ha raggiunto una notevole efficienza nella rimozione del COD, oscillando tra l'80% e il 96%. Inoltre, si è registrata una produzione massima di biogas di 13,72 L/giorno, con una concentrazione di metano del 71%. Gli investimenti iniziali per questa tecnologia sono stati stimati essere intorno ai 490 000 USD, con costi operativi annuali di circa 45 000 USD.

Tabella 13. Vantaggi e svantaggi del trattamento biologico in condizioni anaerobiche (Park et al. 2001)

Advantages	Disadvantages
<ul style="list-style-type: none"> - possibility of energy recovery - high reduction of BOD and COD - low sludge production compared to oxygen methods 	<ul style="list-style-type: none"> - high operating and maintenance costs - considerable sensitivity of methanogenic bacteria to changes in environmental conditions - need for expansion tanks

Le acque reflue provenienti dal settore dolciario mostrano variazioni giornaliere e stagionali nella loro composizione e quantità, andando a compromettere il processo di neutralizzazione. Queste acque reflue si caratterizzano per elevati livelli di BOD e COD: indicatori di ossigeno. Nel trattamento delle acque reflue vengono impiegati diversi approcci, tra cui processi meccanici, fisico-chimici e biologici. I metodi meccanici vengono spesso utilizzati come fase preliminare di trattamento, contribuendo a ridurre i composti organici solo in misura limitata. Il processo di adsorbimento su sorbenti naturali comporta una significativa riduzione di BOD e COD, facendo sorgere d'altro canto il problema dello smaltimento dei rifiuti. La coagulazione e la flocculazione non sono metodi efficaci per queste acque reflue poiché riducono solo parzialmente BOD e COD, generando inoltre una grande quantità di rifiuti. L'elettrocoagulazione ne consente una significativa riduzione senza la necessità di utilizzare additivi chimici.

Le tecniche a membrana, pur garantendo una notevole riduzione degli indicatori, comportano costi operativi elevati e la formazione di percolati con una concentrazione di rifiuti notevole. Entrambi i processi aerobici ed anaerobici a fango attivo contribuiscono a ridurre i composti organici nelle acque reflue, ma flussi non uniformi possono causare il deterioramento del fango attivo, rendendo tali tecniche spesso non convenienti per l'industria dolciaria. Il principale svantaggio degli impianti tradizionali di trattamento delle acque reflue è legato alla loro estesa superficie, con conseguenti alti costi di investimento e di gestione. Ecco perché il reattore biologico a membrana MBR (Membrane Biological Reactor) ha guadagnato notevole popolarità. Esso combina la tecnologia, oramai consolidata, del fango attivo con la filtrazione mediante membrane di microfiltrazione.

3. ALCUNI IMPIANTI ATTUALMENTE DISPONIBILI

IMPIANTI CAS

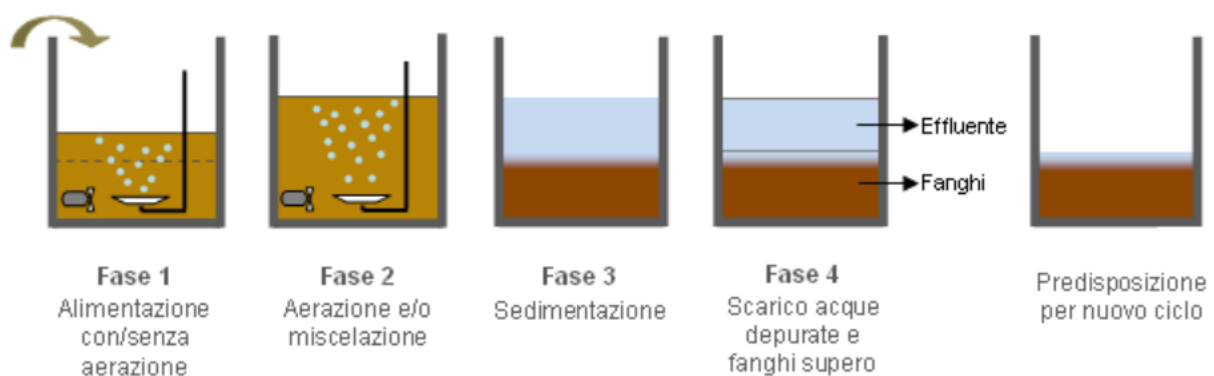
La tecnologia CAS (Conventional Activated Sludge) rappresenta uno dei principali approcci utilizzati a livello globale per il trattamento delle acque reflue. Questo metodo, ampiamente diffuso, è basato su un processo di crescita sospesa in ambiente aerobico. Nell'impianto, le acque reflue in ingresso vengono mescolate con i microrganismi attivi presenti all'interno di un reattore noto come vasca di aerazione, dove vengono favoriti i processi di ossidazione aerobica mediante l'apporto di ossigeno. Tale processo può essere implementato in due principali modalità: flusso a pistone, in cui le acque entrano da un'estremità e fuoriescono dall'altra senza mescolare il contenuto, oppure a flusso completamente miscelato, in cui il liquame viene omogeneamente agitato per assicurare una distribuzione uniforme dei nutrienti e della biomassa. Durante il trattamento, il liquame misto (acque reflue e biomassa) viene trattenuto nel reattore per un periodo predefinito, solitamente compreso tra 4 e 8 ore, utile a consentire il completo svolgimento delle reazioni biologiche. Successivamente, la miscela viene inviata verso un secondo decantatore, dove la separazione, tra il fango biologico e le acque reflue trattate, avviene per mezzo della sedimentazione gravitazionale. Le acque trattate (supernatante) vengono scaricate, mentre una parte del fango restante viene riportata nel reattore attraverso un sistema di pompaggio. Il fango residuo, invece, viene inviato ad un'unità dedicata per ulteriori trattamenti. Un elemento cruciale nel corretto funzionamento dell'impianto è la fornitura di ossigeno. Questa può essere realizzata mediante diffusori subacquei, aeratori di superficie o pompe getto. La scelta del sistema è influenzata dalle specifiche esigenze dell'impianto, inclusi il tipo di acque reflue da trattare e le condizioni operative. Esistono diverse varianti operative del processo CAS, ognuna progettata per soddisfare specifiche richieste. Tra queste varianti, si annoverano i reattori a lotti sequenziali, l'aerazione conica, l'aerazione gradinata e l'ossidazione a fossa. L'efficienza del processo a fanghi attivi viene principalmente valutata attraverso la misurazione della riduzione del carico inquinante, spesso espressa in termini di BOD. Il sistema può garantire un'efficienza che oscilla tra il 75 e il 95%, a seconda della progettazione e dell'esecuzione del sistema. Tuttavia, per assicurare una buona efficienza, risulta fondamentale la manutenzione delle attrezzature meccaniche e dei parametri operativi. Poiché i sistemi biologici sono particolarmente sensibili alle condizioni ambientali e ai parametri operativi, eventuali variazioni nelle caratteristiche delle acque reflue in ingresso o nei parametri operativi possono compromettere il corretto funzionamento, quindi causare problemi.

Il controllo della sedimentazione del fango, la gestione delle schiume e un monitoraggio costante delle condizioni ambientali costituiscono aspetti cruciali per il successo del trattamento delle acque reflue mediante il processo CAS. (Environmental Solutions, 2005. Convectional Activated Sludge)

IMPIANTI SBR

I reattori SBR rappresentano una soluzione di trattamento delle acque reflue caratterizzata da flussi intermittenti, in grado di integrare diverse fasi di trattamento all'interno di un unico serbatoio. A differenza dei sistemi convenzionali a fanghi attivi, dove il flusso transita attraverso vasche multiple, i reattori SBR sono concepiti temporalmente, consentendo variazioni nei volumi del serbatoio e nei flussi in base a diverse strategie operative. La notevole flessibilità di questi reattori permette di adattarsi a diverse esigenze: lo stesso sistema può funzionare in condizioni di carico elevato, affrontando un ingresso di inquinanti significativo, o in condizioni di carico minimo, mostrando una notevole resilienza nei confronti delle fluttuazioni improvvise dei carichi organici durante la fase di alimentazione. Gli impianti basati sulla tecnologia SBR sono particolarmente idonei per il trattamento delle acque reflue domestiche in piccole e medie comunità, nonché per il trattamento degli scarichi industriali, perché pochi influenzati dalle variazioni nei flussi idrici e organici. In un sistema SBR, il ciclo di trattamento è generalmente suddiviso in quattro distinti periodi temporali, ciascuno corrispondente a diverse fasi del processo: alimentazione, reazione, sedimentazione e scarico.

Figura 2. Schema descrittivo sistema SBR (Ecoveneta snc)



Nella fase di alimentazione, il flusso influente è direzionato verso il reattore, dove avviene la sua fusione con la biomassa residua proveniente dal ciclo precedente. La stima iniziale del volume iniziale, ossia la quantità di liquido contenuta nella vasca all'inizio della fase di alimentazione, è influenzata da diversi fattori, con particolare attenzione alla capacità di sedimentazione del fango, alla concentrazione di biomassa e al tempo di ritenzione idraulica.

La quantità effettiva di spazio occupato dal liquame in ingresso può variare significativamente, raggiungendo fino al 40-50% del volume totale disponibile. Questo significa che il liquido subisce una diluizione ed una uniformazione iniziale, creando un volume di “mixed liquor” pari a circa il 50-60% del volume totale. Nel corso del periodo di riempimento, è possibile pianificare varie fasi operative, che possono essere alternative o svolte in sequenza. È possibile condurre l'alimentazione in condizioni di tranquillità, adottando un processo di semplice miscelazione o combinando con l'aerazione. Per garantire l'efficacia di tali strategie operative, è essenziale disporre di sistemi di aerazione e mescolanza altamente adattabili, in grado di transire agevolmente dalla mescolanza semplice all'aerazione a diversi livelli di intensità.

Quando si raggiunge il livello massimo previsto, le fasi di miscelazione e aerazione che sono state avviate durante il periodo di alimentazione si concludono durante il periodo di reazione. Analogamente a quanto avviene durante l'alimentazione, nelle fasi di reazione è possibile alternare fasi anaerobiche, anossiche ed aerate, regolando opportunamente il sistema di aerazione. Questo processo dà luogo a due fasi di degradazioni distinte che coinvolgono diversi microrganismi ed enzimi, i quali interagiscono tra loro in modo sinergico per garantire un trattamento depurativo efficace, evitando così effetti collaterali come il fenomeno “bulking” che spesso si verifica in certe condizioni nei sistemi di trattamento convenzionali. Il “bulking” rappresenta un aumento del volume e del rigonfiamento della biomassa batterica all'interno del reattore biologico, causato dalla proliferazione dei batteri filamentosi nell'impianto di depurazione delle acque reflue.

Dopo il completamento di questa fase, entra in azione la fase di sedimentazione, la quale viene realizzata disattivando i sistemi di aerazione e miscelazione. Durante questo periodo di tranquillità all'interno del reattore di ossidazione, i fanghi attivi precipitano verso il fondo, mentre l'acqua depurata resta in superficie. Alla conclusione del processo di sedimentazione, si procede con lo svuotamento del liquame depurato. Il meccanismo di svuotamento del reattore rappresenta uno degli aspetti più critici dell'impianto, poiché richiede la garanzia della qualità ottimale dell'effluente, evitando la perdita di biomassa o il trasporto di solidi sospesi. La rimozione dei fanghi in eccesso può essere sincronizzata con il processo di sedimentazione stesso, sfruttando la maggiore concentrazione di fanghi, riducendo così il flusso in eccesso e ottimizzando la fase di smaltimento. Il controllo dell'intero sistema è completamente automatizzato, grazie a un sistema di automazione e controllo dedicato, che regola la durata delle varie fasi di trattamento in base ai livelli nella vasca e al corretto funzionamento di tutte le apparecchiature elettromeccaniche (aeratori, agitatori, pompe di alimentazione, pompe di spurgo dei fanghi e pompe di scarico dell'effluente depurato).

Quotidianamente (solitamente tra le 2 e le 6 del mattino), le macchine vengono fermate per consentire la separazione della biomassa attiva dall'effluente trattato. Quest'ultimo presenta un contenuto di sostanze inquinanti ridotto di circa il 98% rispetto all'effluente grezzo proveniente dalla produzione. Il ciclo di decantazione e scarico è controllato e regolato automaticamente attraverso l'uso di sensori di livello, timer e galleggianti, gestiti da un quadro elettrico. (Ecoveneta snc. Relazione tecnica)

FOSSA IMHOFF

La fossa Imhoff rientra nella categoria dei sistemi combinati perché, grazie alla sua particolare conformazione, permette di svolgere due fasi distinte di trattamento: la sedimentazione (processo fisico) e la digestione (processo biologico). L'impianto è diviso in sezioni sovrapposte: una sezione superiore, in cui avviene la sedimentazione dei solidi sospesi, e una sezione inferiore, dove tali sedimenti vengono decomposti. Questo processo naturale è favorito da reazioni biochimiche e microbiologiche che contribuiscono a stabilizzare i sedimenti rimossi. Le due sezioni sono collegate tramite aperture o dispositivi idraulici.

I solidi sospesi sedimentabili presenti nell'acqua, catturati nella sezione di sedimentazione in cemento armato, precipitano attraverso le aperture di comunicazione nella sezione sottostante, destinata all'accumulo e alla digestione. Qui, le sostanze organiche subiscono una decomposizione anaerobica che porta ad una parziale trasformazione in prodotti come acqua, anidride carbonica e gas metano, espulso tramite sfiatatoi laterali. La digestione anaerobica comprende quattro fasi: idrolisi, acidogenesi, acetogenesi e metanogenesi, e determina notevoli cambiamenti nelle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche dei sedimenti. Il risultato finale di una digestione ben riuscita consiste in solidi stabili, non degradabili, da cui l'acqua pulita si separa facilmente per essere poi rilasciata nel terreno circostante. Al termine del processo, i fanghi possono essere estratti dal serbatoio e disidratati su letti di essiccazione o tramite altri metodi equivalenti. L'efficienza globale dell'impianto può essere ottimizzata grazie alla possibilità di utilizzare più vasche in parallelo, permettendo la manutenzione di singole unità senza interrompere il funzionamento dell'intero sistema.

Per quanto riguarda l'efficacia di trattamento, è importante sottolineare che la fossa Imhoff presenta una limitata capacità nel depurare i liquami, riducendo il carico di solidi sospesi del 50-70 % e abbassando il COD del 25-50 %. La percentuale effettiva di riduzione dipende principalmente dalla qualità dell'acqua in ingresso e dalla durata di permanenza all'interno del sistema.

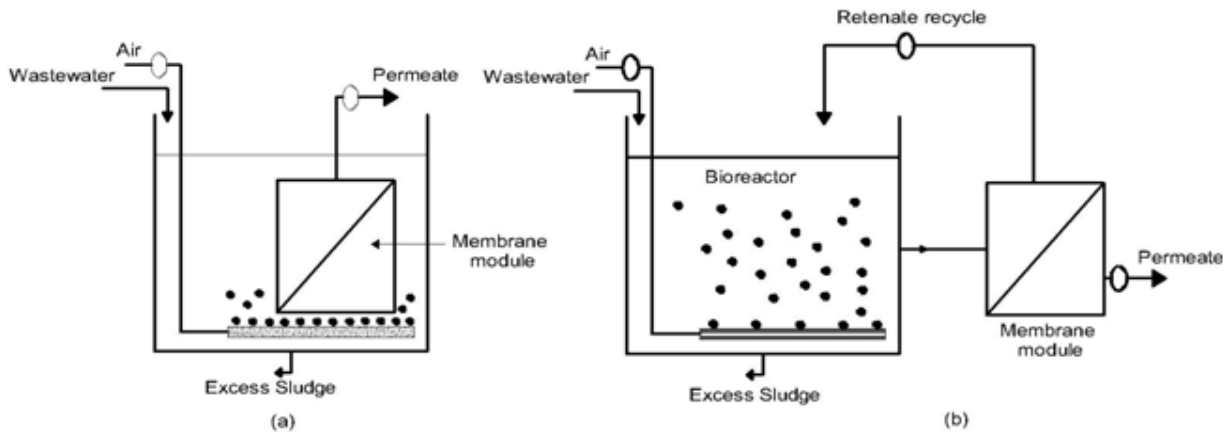
Senza l'implementazione di ulteriori processi di trattamento, la fossa Imhoff non conduce a significative riduzioni in altri importanti indicatori di qualità dell'acqua, come il conteggio totale dei coliformi o il carico di nutrienti derivati da fosforo e azoto. L'effluente trattato non è idoneo per essere riversato in corsi d'acqua superficiali; deve essere smaltito nel terreno o nel sottosuolo, come stabilito nelle "Norme tecniche generali sulla natura e consistenza degli impianti di smaltimento sul suolo o in sottosuolo di insediamenti civili" – Allegato 5 – Delibera 04-02-1977 del Ministero dei Lavori Pubblici, e confermato dal D. Lgs. n. 152 del 11-05-1999 – Allegato 5 – punto 3 "Indicazioni generali". Per raggiungere questo obiettivo, l'effluente può essere smaltito mediante sistemi di subirrigazione, subirrigazione con drenaggio (in presenza di terreni impermeabili) o tramite l'impiego di pozzi assorbenti. (Imhoff Tank, SSWM. Find tools for sustainable sanitation and water management)

IMPIANTI MBR

I notevoli spazi richiesti, l'efficienza ridotta e i costi elevati del classico processo a fanghi attivi hanno aperto strada all'implementazione della tecnologia MBR (Membrane Biological Reactor). L'MBR rappresenta una tecnologia all'avanguardia che combina il tradizionale metodo di trattamento a fanghi attivi, noto per favorire la crescita della biomassa in sospensione, con un sofisticato sistema di microfiltrazione o ultrafiltrazione. In questa sinergia, l'unità biologica dei reattori MBR consente la biodegradazione dei contaminanti mentre i moduli di membrane, in essa integrati in varie configurazioni, permettono la separazione fisica dell'acqua trattata dalla miscela aerata, sostituendo l'unità di sedimentazione secondaria degli impianti a fanghi attivi convenzionali. Le membrane MBR presentano pori con diametri compresi tra 0,01 e 0,1 μm , consentendo di trattenere efficacemente particelle e batteri ed eliminando così la necessità del tradizionale processo di sedimentazione gravitazionale (clarificatore). Gli impianti possono essere realizzati in due differenti configurazioni impiantistiche.

- Con unità di filtrazione esterna (MBR side-stream: a flusso laterale)
- Con unità di filtrazione sommersa (MBR submergedmembrane: sommerso), nella quale le membrane sono collocate all'interno della stessa vasca a fanghi attivi, a contatto diretto e costante con il refluo

Figura 3. Schema generale impianto MBR side-stream e MBR submergedmembrane
(Sombatsompop, 2007)



Dopo essere stato sottoposto ad una serie di pretrattamenti (disabbiatura, disoleatura, grigliatura fine), il refluo viene indirizzato alla vasca a fanghi attivi dove, subendo un processo simile a quello degli impianti tradizionali, avviene l'abbattimento delle sostanze organiche. Nella configurazione side-stream, il refluo viene convogliato ad un sistema di filtrazione esterno. Nella configurazione sommersa invece, il refluo viene aspirato attraverso le membrane filtranti. Il liquido filtrato, noto come permeato, può essere poi indirizzato ad un sistema esterno di disinfezione, ad un trattamento di osmosi inversa o direttamente allo scarico, a seconda degli obiettivi specifici. Sebbene l'MBR sommerso necessiti di minori dispendi energetici e possa gestire flussi di permeato più bassi, l'MBR a flusso laterale è in grado di affrontare flussi di permeato più elevati.

L'integrazione delle membrane nel sistema elimina la necessità di chiarificatori secondari, riducendo notevolmente gli ingombri spaziali. Entrambe le varianti, tuttavia, presentano svantaggi, soprattutto legati ai costi energetici superiori, alla necessità di affrontare problemi di incrostazione delle membrane e alla possibilità di onerose sostituzioni periodiche delle membrane. L'incrostazione delle membrane costituisce ancora oggi una sfida significativa nell'impiego degli MBR, in quanto comporta una significativa diminuzione delle prestazioni e della vita utile delle membrane stesse, con conseguente aumento dei costi di manutenzione ed esercizio. Tali incrostazioni sono causate da particelle sospese (come microrganismi e detriti cellulari), colloidali, soluti e aggregati di fango. Questi materiali si depositano sulla superficie delle membrane e all'interno dei loro pori, ostruendo il passaggio e determinando una riduzione della permeabilità delle membrane. La natura eterogenea dei solidi sospesi, e dei microrganismi attivi presenti nei solidi sospesi del liquame misto, rende l'incrostazione delle membrane una sfida inevitabile e difficile da gestire nelle applicazioni a lungo termine degli MBR.

La ricerca mirante alla mitigazione dell'incrostazione delle membrane nei MBR ha costituito uno dei principali campi di studio volti a promuovere una più ampia diffusione della tecnologia nell'ambito dell'ingegneria delle acque reflue. Per ridurre in parte il "fouling", nel corso della purificazione, una corrente d'aria viene introdotta occasionalmente dalla parte inferiore del modulo che ospita le membrane. Il processo serve ad evitare l'accumulo di fango sulle membrane, quindi prevenirne il loro intasamento. Per garantire che le membrane mantengano la loro efficienza nel tempo, viene eseguito periodicamente un lavaggio inverso, che consente di rimuovere completamente i materiali accumulati sulla loro superficie. Il lavaggio periodico per garantire le corrette prestazioni delle membrane prevede l'utilizzo di prodotti chimici specifici. Il fango prodotto durante il processo di depurazione a membrana risulta già ben stabilizzato e può essere inviato allo smaltimento senza essere sottoposto ad ulteriori trattamenti di stabilizzazione biologica.

La tecnologia MBR offre una serie di vantaggi significativi. In primo luogo, garantisce prestazioni elevate in spazi ridotti, consentendo il raggiungimento di livelli di qualità tali da permettere il riutilizzo delle acque trattate all'interno dei processi produttivi. Inoltre, grazie al loro design modulare, i sistemi MBR possono essere espansi con relativa facilità. Per contro, i costi iniziali di investimento e i consumi energetici derivati dal funzionamento risultano essere ancora superiori rispetto ai tradizionali sistemi. (S. Al-Asheh, M. Bagheri, A. Aidan. Membrane bioreactor for wastewater treatment: A review)

IMPIANTI UASB

Nel vasto panorama dei sistemi di trattamento delle acque reflue, il reattore UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), noto come "reattore a fanghi granulari anaerobici a flusso ascendente", emerge come uno dei sistemi più ampiamente diffusi a livello globale. La peculiarità distintiva del reattore UASB risiede nella presenza di fango granulare, un substrato biologico altamente attivo dotato di notevoli capacità di sedimentazione all'interno del reattore. Questo si traduce in un ridotto indice di volume dei fanghi, migliorando ulteriormente la separazione tra i fanghi e l'effluente. Nel bioreattore vengono introdotti granuli di fango, rappresentanti piccole colonie di diverse classi di microrganismi deputate alla bioconversione (batteri anaerobi metanogeni). Questa caratteristica esenta la necessità di immobilizzare l'intera comunità microbica su un supporto esterno. Attraverso il processo UASB, i contaminanti nelle acque reflue vengono degradati dai microrganismi, con produzione di metano compresa tra il 75 e l'80% (in volume), CO₂ tra il 15 e il 25% e quantità minori di N₂, H₂ e altri gas.

Il trattamento comincia con l'entrata delle acque reflue nella parte inferiore del reattore e prosegue con il loro scorrimento verso l'alto attraverso uno strato noto come "coperta di fanghi", costituito da un letto di fanghi granulari. La configurazione UASB consente un mescolamento estremamente efficace tra la biomassa e le acque reflue, facilitando la decomposizione anaerobica. Il cuore del funzionamento ruota principalmente attorno al letto di fanghi granulari, che si espande mentre le acque reflue vengono fatte fluire verticalmente attraverso di esso. La microflora che colonizza le particelle di fango svolge un ruolo chiave nella rimozione degli inquinanti presenti nelle acque reflue, sottolineando l'importanza della qualità del biofilm e dell'intimità del contatto tra fanghi e acque reflue per il successo del reattore. Il biogas generato contribuisce a migliorare la miscelazione e il contatto tra i fanghi e le acque reflue. Inoltre, un separatore trifase gas-liquido-solido, situato nella parte superiore del reattore, consente di estrarre il biogas, separandolo dall'effluente liquido e dalle particelle di fango residue.

Il trattamento UASB presenta una serie di vantaggi significativi rispetto alla stabilizzazione aerobica: l'assenza della necessità di supporti per la biomassa, con conseguente riduzione dei costi. L'assenza di mescolatori meccanici, ricircolazione di fango o refluo all'interno del reattore, che riduce il consumo energetico. La minimizzazione dei problemi legati agli odori, il miglioramento della qualità e la riduzione della quantità dei fanghi. Questo approccio richiede un minor consumo di energia, è altamente efficiente a carichi più elevati e richiede una minore quantità di nutrienti, producendo inoltre una quantità di fanghi notevolmente ridotta. Di fatto, soltanto una piccola percentuale (5-10%) della materia organica presente nelle acque reflue viene trasferita alla frazione fanghi. Tuttavia, è importante notare che il trattamento UASB ha un impatto limitato sui nutrienti (azoto e fosforo), così come sui microinquinanti. Un'applicazione rilevante del trattamento UASB riguarda il trattamento di acque reflue industriali ad alto carico inquinante. In questo contesto, l'uso del reattore UASB, come pretrattamento prima di un processo biologico secondario, consente una significativa riduzione dei costi energetici associati all'aerazione nelle centrali di trattamento delle acque reflue. Il reattore UASB esprime il suo massimo potenziale nel trattamento di diverse tipologie di acque reflue industriali ad alto contenuto di inquinanti. Queste acque presentano elevate concentrazioni di COD e una notevole biodegradabilità, caratterizzata da un elevato rapporto tra BOD e COD. Il trattamento UASB di substrati ad alto carico inquinante offre la possibilità di ottenere notevoli rese di metano con un consumo energetico inferiore rispetto alla stabilizzazione aerobica, oltre a ridurre in modo significativo la produzione eccessiva di fanghi. Questa tecnologia ha dimostrato essere altamente efficace anche nel trattamento di acque reflue a bassa concentrazione (come le municipali). Al fine di ottenere un trattamento UASB di successo, è fondamentale gestire con attenzione la fase di avvio del reattore e migliorare il processo di granulazione.

Inoltre, è importante accoppiare la sezione anaerobica con unità di post-trattamento in grado di abbattere in modo efficiente la materia organica, i nutrienti e i patogeni residui nell'effluente trattato. L'avvio del reattore UASB richiede tipicamente l'inoculazione di una quantità sufficiente di biomassa granulare attiva, al fine di ridurre eventuali problematiche come la sensibilità del processo, la vulnerabilità, le emissioni odorigene e un periodo di avvio prolungato. In genere, l'avvio di un reattore richiede che dal 10 al 30% del suo volume venga inoculato con biomassa granulare attiva. La possibile protrazione dei tempi di formazione dei granuli, specialmente quando si affrontano acque reflue complesse e resistenti, può essere mitigata attraverso l'impiego di sostanze chimiche, come il solfato di calcio, incrementando così il tasso di granulazione e migliorando l'efficienza dell'attività metanogenica. (M. Mainardis, M. Buttazzoni, D. Goi. Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Technology for Energy Recovery: A review on State-of-the-Art and Recent Technological Advances)

VALORIZZAZIONE SOTTOPRODOTTI

Il trattamento delle acque reflue attraverso impianti biologici non solo contribuisce a migliorare la qualità dell'acqua rilasciata nell'ambiente, ma offre anche opportunità per valorizzare i sottoprodotti generati, aprendo nuove prospettive. Il metano, prodotto durante il processo di digestione anaerobica, costituisce una risorsa energetica potenzialmente rinnovabile. Il gas può essere catturato ed utilizzato per la produzione di energia elettrica o termica all'interno del medesimo impianto, portando ad una riduzione dei costi energetici e contribuendo alla sostenibilità globale dell'operazione. Inoltre, il metano può essere convertito in biometano, un carburante ecologico per veicoli a gas naturale, collaborando così alla riduzione delle emissioni di gas serra e alla promozione della mobilità sostenibile. D'altra parte, i fanghi biologici risultanti dal processo di depurazione contengono nutrienti e sostanze organiche che possono essere sfruttati in diverse modalità. Uno degli approcci comuni è l'essiccazione e la trasformazione in un prodotto simil-compost, utilizzabile come fertilizzante nei terreni. Questa pratica riduce la necessità di acquistare fertilizzanti chimici, favorendo la chiusura del ciclo dei nutrienti. Inoltre, i fanghi possono essere trattati per estrarre elementi come il fosforo: nutriente essenziale in agricoltura. Tali iniziative non solo riducono il volume dei rifiuti di fanghi, ma contribuiscono anche alla gestione sostenibile delle risorse e alla tutela dell'ambiente. Il riutilizzo e la valorizzazione dei sottoprodotti derivanti dai processi di depurazione delle acque reflue rivestono un ruolo fondamentale nell'ottica di una gestione responsabile delle risorse e della salvaguardia dell'ambiente, promuovendo l'efficienza e la sostenibilità nell'ambito del trattamento delle acque reflue. (Siram-Veolia. Fanghi di depurazione: una risorsa sostenibile)

4. CASO STUDIO

Il seguente caso studio pone come obiettivo principale quello di analizzare le performance aziendali all'interno del programma di gestione delle acque reflue della ditta "Giuseppe Lorenzon C.I.E s.r.l.", confrontando i risultati ottenuti dall'impianto originario, costituito da una vasca Imhoff, con quelli derivati dal nuovo depuratore biologico ad ossidazione totale con tecnologia ECOBIOS PM 150 SBR. La comparazione è basata su alcuni parametri ritenuti essenziali per il contesto operativo interessato, ovvero: la domanda chimica di ossigeno (COD), la domanda biochimica di ossigeno (BOD5) e l'azoto totale kjeldahl (TKN). I valori riportati costituiscono i risultati del regolare piano di monitoraggio attuato dall'azienda esecutrice, "Ecoveneta snc", per garantire e confermare il corretto avvio dell'impianto e il raggiungimento dell'ottimale operatività. Lo studio mira ad esaminare e confrontare i dati relativi all'efficienza e alla sostenibilità ambientale associate ad entrambe le tecnologie. Attraverso un'indagine dettagliata si intende valutare l'efficacia di ciascun impianto nel rimuovere gli inquinanti dalle acque reflue, nonché il loro impatto sull'ambiente circostante. L'obiettivo finale è fornire, alla luce di tutto, una valutazione completa, basata su dati reali, che permetta di quantificare il miglioramento perseguito.

4.1 DESCRIZIONE AZIENDALE

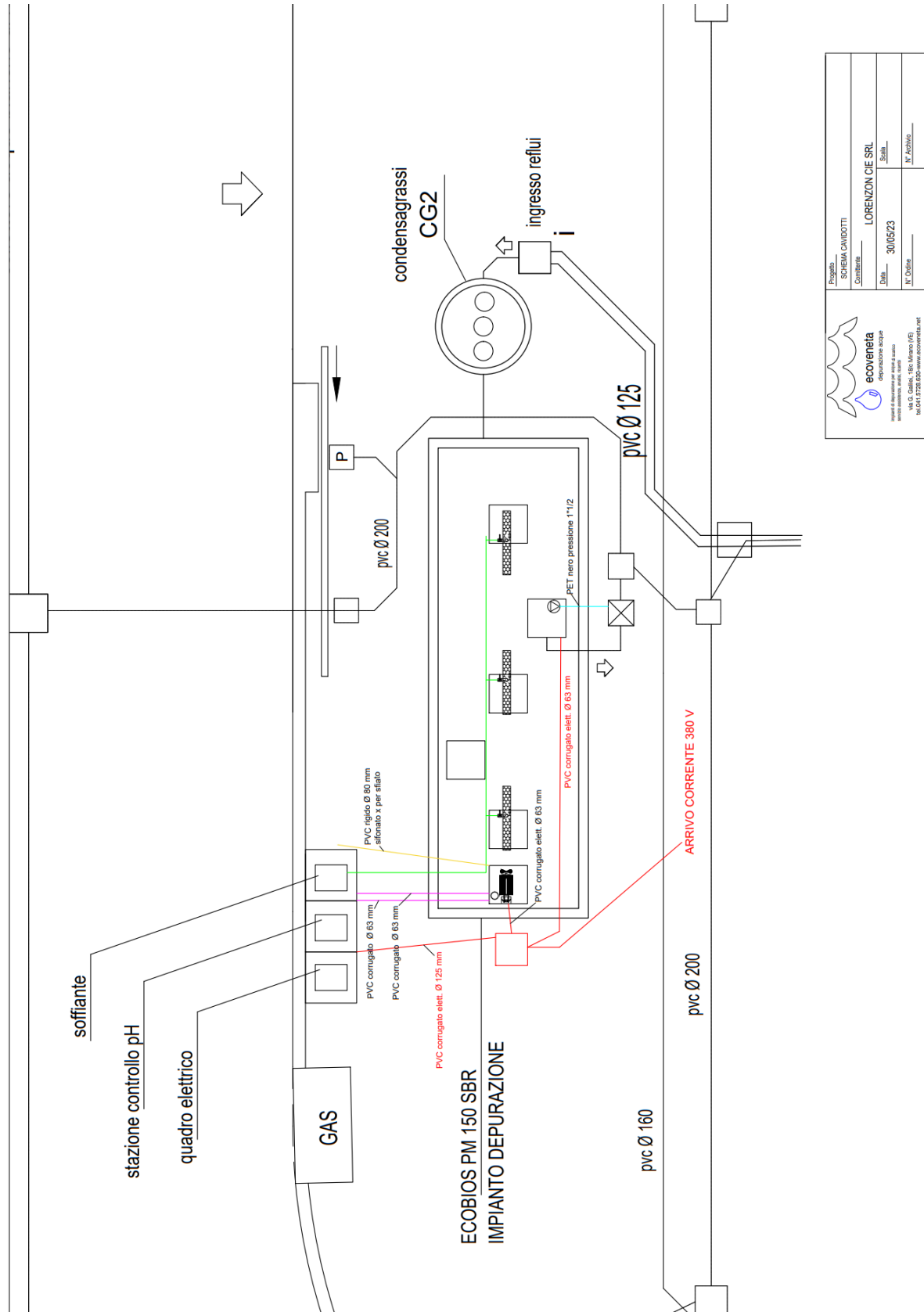
L'azienda "Giuseppe Lorenzon C.I.E. s.r.l.", da oltre 140 anni, è affermata nella produzione e distribuzione di semilavorati e materie prime alimentari destinati alla pasticceria, industria dolciaria e panificazione. La sede legale si trova a Treviso, Via Piave 49 (31100-TV), dove avviene anche la produzione di semilavorati in polvere. La linea di produzione è composta da 6 mescolatori, di portata variabile tra 100 e 1500 kg, e 2 insacchettatrici. Un'ulteriore sede operativa, con annesso magazzino, si trova a Vascon di Carbonera, Via Giacomo Bortolan 11/13 (31050-TV). La produzione si divide in due linee principali: quella delle paste anidre (senza acqua, base oleosa) e quella delle paste idrate, dei variegati, marmellate e confetture. La linea delle paste anidre è composta da 4 raffinatrici a sfere d'acciaio della serie WA-FA 100-400 con capacità di 120 kg ciascuna. Queste macchine sono adibite principalmente alla produzione di creme spalmabili (a base di pistacchio, cacao, arachidi, pasta di nocciole, ecc.). L'area destinata alla produzione di variegati e composti frutta è invece formata da 3 boule di concentrazione sottovuoto, rispettivamente con capacità di 150-700-800 kg. Le boule vengono utilizzate esclusivamente per concentrare sottovuoto miscele a base di frutta e zucchero, mediante riscaldamento a vapore alla pressione massima di 3 bar.

La tecnica del sottovuoto rende possibile l'evaporazione dell'acqua, presente nelle materie utilizzate, a più basse temperature, garantendo un'economia in termini di tempi dedicati al processo; trattamenti più blandi preservano inoltre la qualità dei prodotti lavorati. L'area destinata alla produzione delle paste idrate è infine formata da 3 cuocitori, muniti di un'intercapedine per il riscaldamento a vapore. Non possedendo una chiusura ermetica, l'utilizzo di queste macchine si limita alla produzione di paste con Brix piuttosto elevati (70-75°). Alla zona di produzione centrale sono poi associati ulteriori laboratori in cui vengono realizzati manualmente semilavorati destinati a panifici e pasticcerie: bagne alcoliche, aromi e colori. La straordinaria crescita aziendale degli ultimi anni è una testimonianza concreta dell'instancabile impegno fornito, della qualità e della competitività dei prodotti offerti. Nel 2022 sono stati superati i 7 milioni di fatturato, un significativo incremento rispetto ai quasi 6 milioni registrati nel 2021. Questo risultato ha segnato il passaggio definitivo da una realtà nazionale a una presenza operativa su scala mondiale, con ordini provenienti da oltreoceano.

4.2 PROGETTO

L'intervento riguarda opere edilizie relative alla manutenzione dell'impianto fognario, più precisamente la posa in opera di un impianto di depurazione delle acque reflue provenienti dal ciclo di lavorazione per la produzione di semilavorati dolciari, previa sedimentazione primaria in vasca condensa-grassi. Detto impianto prevede il trattamento di depurazione biologico ad ossidazione totale dei reflui con tecnologia SBR, attraverso trattamenti di tipo fisico, chimico e biologico. Il carico inquinante sarà degradato ed estromesso dall'effluente depurato. L'acqua trattata e depurata, che dovrà rispettare i limiti di tab. 3 "acque superficiali", Allegato 5, D. Lgs. 152/2006, verrà immessa nella rete delle acque meteoriche di lottizzazione sfociante in corpo idrico superficiale. Dal punto di vista edilizio, l'intervento non ha sostanziali impatti esterni considerato che i manufatti sono completamente interrati su area esterna adiacente l'unità produttiva. La vasca di dimensioni maggiori 7,50 x 2,50 x 2,50 h mt sarà di tipo monolitico in calcestruzzo prefabbricato, dotata di tutti gli apparati necessari alla depurazione, verrà posata previo scavo della trincea e formazione del letto di posa; si provvederà al collegamento con gli apparati di controllo (quadro elettrico, soffiante, controllo pH) ubicati a ridosso della recinzione all'interno della proprietà. Infine, verranno collegate le condotte in pvc di tipo SN4 con guarnizione di tenuta, compreso il pozzetto di campionamento per il prelievo dell'acqua depurata, collegandola alla rete delle acque superficiali di lottizzazione esistente.

Figura 4. Schema generale progetto impianto (Ecoveneta snc)




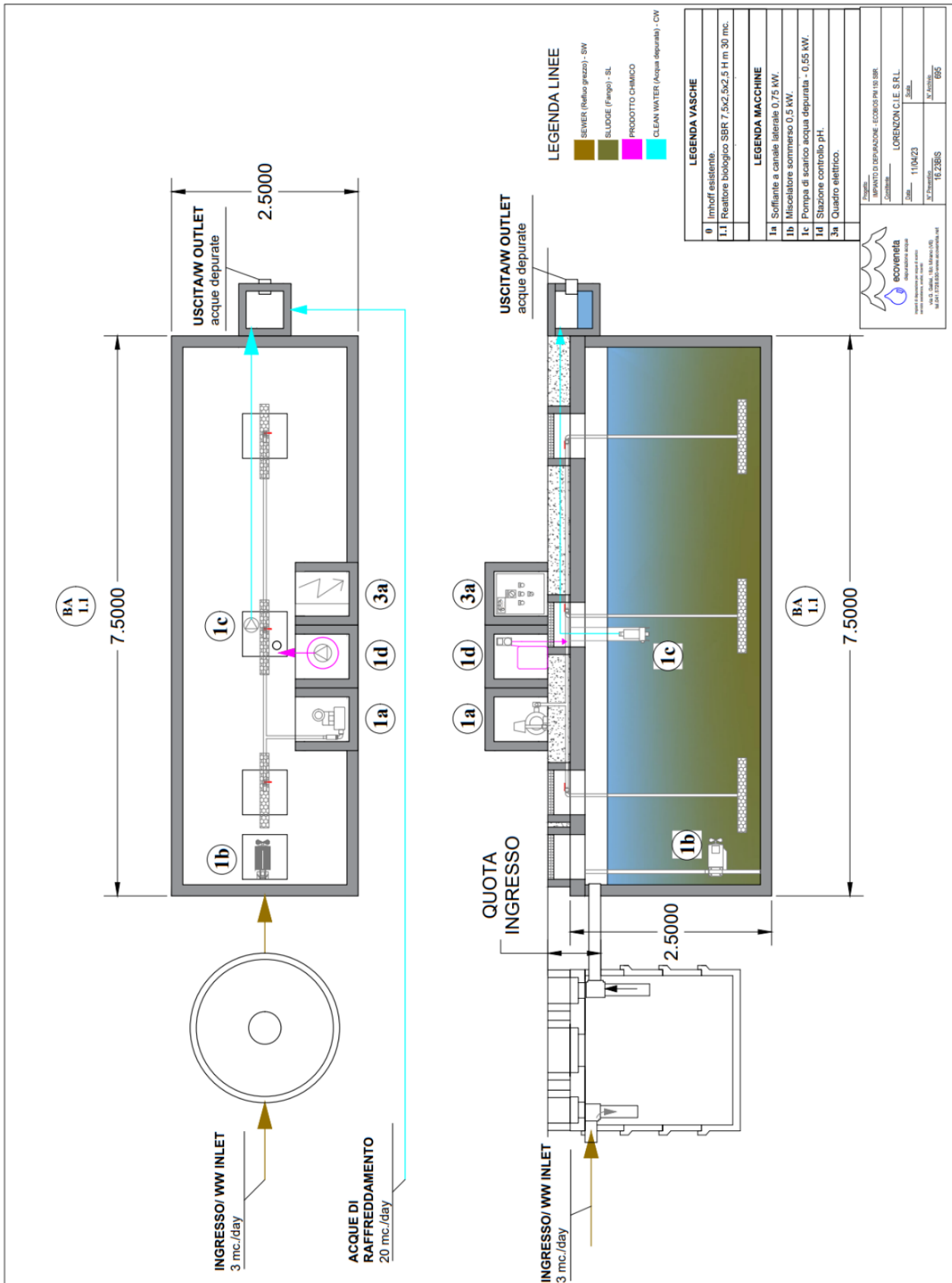
 ecoveneta Operazioni Incipit Impianti di depurazione, analisi, servizi snc		Progetto SCHEMA CAVIDOTTI	
Cliente LORENZON CIE SRL		Scala N° Ordine	
Data 30/05/23		N° Adesivo	
Via G. Galvani, 180 - Milano (VE) Tel. 041 1724830 - www.ecoveneta.it			

Figura 5. Schema generale EB PM 150 SBR (Ecoveneta snc)



DATI DI PROGETTO

A seguito della documentazione fornita, sono stati rilevati i seguenti dati di progetto:

- Produzione interna di prodotti alimentari dolciari
- Acque di lavaggio macchinari e serbatoi
- Presenza linea acque di raffreddamento pari a circa 20 mc./d.
- Scarico su suolo

L'impianto ECOBIOS PM 150 SBR verrà dunque dimensionato secondo i dati qui riassunti:

PARAMETRO	VALORE	U.D.M.
Portata giornaliera max	3	m ³ /giorno
Portata oraria 24 h	0,125	m ³ /h
Portata oraria 12 h	0,25	m ³ /h
Domanda chimica di ossigeno (COD)	4.000	mg/L
Domanda biochimica di ossigeno (BOD ₅)	3.000	mg/L
Carico giornaliero di sostanza organica (BOD ₅)	9	kg/giorno
Solidi sospesi totali (TSS)	20	mg/L
Azoto totale Kjeldahl (TKN)	35	mg/L
Fosforo (TP)	1	mg/L
Tensioattivi	5	mg/L
pH	6,5	

Valori desunti da analisi interne e dalla valutazione di documentazione esistente.

L'impianto garantisce il rispetto dei limiti allo scarico Tab. 4 "suolo", Allegato 5, D. Lgs. 152/2006.

LOCALE COMANDI

Quadro elettrico: per gestione dell'intero ciclo di depurazione, temporizzazione macchinari, regolazione portate, tempi di pausa-lavoro, visualizzazione allarmi, protezione termica dei motori.

Soffiante a canale laterale: per l'aerazione del reattore biologico.

Pompa dosatrice elettronica pH a membrane per dosaggio di prodotto chimico con funzione tampone per la regolazione pH.

Eventuale luogo idoneo allo stoccaggio taniche di prodotti chimici.

FASI DI TRATTAMENTO

INGRESSO REFLUO

Gli scarichi di lavorazione giungeranno all'impianto di depurazione con una portata giornaliera espressa secondo dati di progetto.

REATTORE BIOLOGICO

Accumulo ed equalizzazione: il refluo giungerà al bacino di ossidazione biologica, nitrificazione e denitrificazione, che avrà anche la funzione di accumulo diurno ed equalizzazione. Date le grandi dimensioni del bacino, si sfrutterà il livello variabile della miscela aerata per garantire la cosiddetta funzione "polmone", ossia l'equalizzazione del refluo derivante dagli scarichi diurni della lavorazione in termini di picchi di portata volumetrica, carico inquinante, pH e temperatura, in modo da rendere il refluo più omogeneo possibile in composizione e diminuire i consumi dei prodotti chimici utilizzati nella regolazione del pH.

V_{tot} fase di accumulo = 0,5 m di livello variabile su bacino 7x2,2 [m] -> 7,5 m³

Regolazione pH: il pH è uno dei parametri fondamentali per le reazioni biologiche di degradazione presenti all'interno di un sistema di depurazione. Mantenerlo in un range tendente al neutro (6,5-8) garantisce un corretto sviluppo delle colonie batteriche; per questo verrà inserita una sonda pH SPH all'interno dello stadio di reazione biologica, che monitorerà l'andamento di tale parametro e, all'occorrenza, comanderà il dosaggio di soda. (NaOH)/ acido solforico (H₂SO₄), tramite l'utilizzo di una pompa dosatrice elettronica PH 37 W.

Trattamento biologico: il cuore del sistema di depurazione è la fase di trattamento biologico, che sarà a fanghi attivi ad ossidazione totale; andrà ad agire sulle sostanze organiche biologicamente degradabili (COD, BOD₅) e sarà anch'essa realizzata all'interno del bacino realizzato in opera all'interno del quale il refluo verrà artificialmente aerato. Nel reattore biologico si riproduce il fenomeno naturale dell'autodepurazione, dove colonie di batteri eterotrofi, sia aerobi che anaerobi, utilizzano la sostanza organica come substrato nutritivo. L'effetto di rimozione è una somma di fenomeni fisico-chimico-biologici di bioadsorbimento e bioflocculazione, insieme a fenomeni di ossidazione e catalisi biologica. La loro velocità di riproduzione è infatti funzione del substrato nutritivo stesso, dell'ossigeno disciolto, del pH e della temperatura.

Sperimentalmente i principali parametri attraverso i quali si dimensionano i reattori sono il fattore di carico organico (Fc), la concentrazione di fango nella vasca di ossidazione, l'età del fango, la produzione di fanghi di supero e il fabbisogno di ossigeno.

Fattore di carico organico (F_c): rapporto tra carico di substrato nutritizio applicato al reattore nell'unità di tempo e carico di biomassa nel processo. Viene indicato anche come "Food/Microorganism".

$$F_c = SO / (X \cdot t_c)$$

- SO: quantità di sostanza organica in entrata, espressa in termini di BOD₅ o, più precisamente, di COD rapidamente biodegradabile
- X: quantità di biomassa in vasca di ossidazione, assimilabile al carico di massa batterica, espressa come SST o, più precisamente, come SSV
- t_c : tempo di contatto, varia in base alla tipologia di impianto

Concentrazione del fango attivo X: indica la concentrazione di biomassa attiva presente in vasca di ossidazione, nel caso della tecnologia SBR tra 4 e 5 kgMLSS/m³.

Fabbisogno di ossigeno: la quantità di ossigeno richiesta dal processo biologico è particolarmente importante in quanto, oltre ad essere un elemento essenziale per la vita dei batteri, dimensiona i sistemi di aerazione. È funzione dell'età del fango e della crescita batterica, in particolare del catabolismo di respirazione attiva e di respirazione endogena. Un criterio semplificativo molto usato è "OC/load", ossia il rapporto tra l'ossigeno da fornire e il carico di BOD₅ da abbattere. In generale tale valore varia in base al carico organico F_c , ed è tabulato quindi per le diverse tipologie di impianto. Inoltre, grazie all'esperienza sul campo, si tara questo parametro in base al caso specifico affrontato. Ogni sistema di aerazione ha un proprio rendimento di ossigenazione, che nella maggior parte dei casi non va oltre il 15% (funzione della profondità di aerazione). Per quanto riguarda l'ossigeno disciolto il limite minimo in fase di ossidazione si attesta a 1,5-2 mg/L.

Dimensioni int. utili: 7,5x2,5x2,5 H [m]

$V_{vasca} = 30 \text{ m}^3$ – volume utile

RIMOZIONE BIOLOGICA DELLE SOSTANZE AZOTATE

Nitrificazione: la rimozione biologica dell'azoto avviene mediante una serie di reazioni che conducono dapprima all'ossidazione dell'ammoniaca a nitrato (nitrificazione) e in un secondo tempo alla riduzione di questo ad azoto elementare (denitrificazione). La nitrificazione avviene prevalentemente ad opera di alcuni batteri chemiolitotrofi. Per questi, il carbonio inorganico è la sola fonte di nutrimento possibile; l'energia necessaria per la loro crescita e per il loro mantenimento deriva dall'ossidazione dell'ammoniaca a nitrito e del nitrito a nitrato.

La nitrificazione consiste in una prima ossidazione dell'azoto ammoniacale a nitrito (NO_2^-) attraverso gli intermedi idrossilammina (NH_2OH), protossido di azoto (N_2O) e monossido di azoto (NO) e in una successiva ossidazione, svolta da un altro gruppo di batteri, del nitrito a nitrato (NO_3^-). Si tratta di un processo strettamente aerobico che avviene solo in presenza di ossigeno (O_2). I batteri nitrificanti ricavano da tali ossidazioni l'energia necessaria per la sintesi di composti organici fissando il carbonio inorganico. Tale processo è svolto solo da alcuni batteri specializzati: la trasformazione dell'ammoniaca a nitriti è dovuta soprattutto al genere *Nitrosomonas*, mentre la successiva ossidazione a nitrati è effettuata dal genere *Nitrobacter*. Da tali reazioni è possibile ricavare la quantità di ossigeno richiesta per nitrificare 1 g di azoto, ossia 4,57 g. I batteri non utilizzano tutta l'ammoniaca come fonte di energia, ma una piccola percentuale viene impiegata per la sintesi cellulare.

Denitrificazione: la denitrificazione è la riduzione biologica dell'azoto nitrico ad azoto gassoso per opera di batteri chemiorganotrofi, che utilizzano il nitrato anziché l'ossigeno come accettore finale di elettroni. Questo processo consiste nella riduzione del nitrato (NO_3^-) ad azoto molecolare gassoso (N_2) attraverso gli intermedi nitrito (NO_2^-) e protossido di azoto (N_2O). I batteri denitrificanti eseguono il processo solo in assenza di ossigeno (O_2), utilizzando il nitrato come accettore finale di elettroni e ossidando molecole organiche $(\text{CHO})_n$ ad anidride carbonica (CO_2) e acqua. I prodotti gassosi che si formano (N_2 e CO_2) vengono dispersi nell'atmosfera, permettendo all'azoto di tornare nel ciclo. Nel processo di denitrificazione biologica si ha l'ossidazione di molti dei composti organici presenti nelle acque reflue. Nel caso analizzato verrà sfruttata una simultanea nitrificazione-denitrificazione; temporizzando gli aeratori, verranno alternate fasi aerobiche e fasi anossiche, durante le quali il miscelatore sommerso entrerà in azione mantenendo agitata la miscela aerata.

SMALTIMENTO FANGHI DI SUPERO

L'estrazione del fango di supero ha la funzione di mantenere costante la concentrazione batterica nella fase di ossidazione. Rappresentando la quota di fanghi in eccesso, che non è possibile ricircolare, devono essere smaltiti tramite autobotte. Dati sperimentali attestano questa produzione, per impianti biologici a fanghi attivi, a 0,5-0,7 kgSS/kgBOD₅; la produzione volumetrica massima di fango sarà di 100 L/giorno. È consigliato lo spurgo tramite autobotte di circa 5-6 m³, pescando direttamente dai chiusini del reattore biologico, almeno una volta ogni 2-3 mesi. (Ecoveneta snc. Relazione tecnica)

4.3 PROCEDIMENTI D'ANALISI UTILIZZATI

Dalle metodologie di analisi della domanda chimica di ossigeno (COD) e dell'azoto ammoniacale (NH_4) vengono stimati i valori BOD₅ e TKN.

- Per questa determinata tipologia di reflui, il BOD₅ si stima come 50% del COD
- Il TKN si maggiora di 1-2 unità dal risultato analitico dell'azoto ammoniacale

L'indice BOD₅ rappresenta la quantità di ossigeno disciolto, richiesto dai microrganismi aerobici (ossigeno-dipendenti), per decomporre la materia organica presente nell'acqua nel corso di cinque giorni a una temperatura di 20°C. In altre parole, misura la velocità a cui la materia organica presente nell'acqua viene consumata dai microrganismi, in condizioni aerobiche, durante un periodo di cinque giorni.

L'indice TKN, acronimo di "Total Kjeldahl Nitrogen" è un parametro utilizzato per misurare la quantità complessiva di azoto organico e ammoniacale presente nelle acque reflue. L'indice TKN rappresenta una parte significativa dell'azoto totale presente nelle acque e fornisce informazioni importanti sulla qualità dell'acqua e sul suo potenziale impatto ambientale. (APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici), IRSA-CNR (Istituto di Ricerca sulle Acque Consiglio Nazionale delle Ricerche). Metodi analitici per le acque)

RICHIESTA CHIMICA DI OSSIGENO

Il parametro noto come "domanda chimica di ossigeno (COD)" rappresenta la quantità di ossigeno richiesta per ossidare chimicamente le sostanze presenti in un campione d'acqua, utilizzando un agente ossidante potente in condizioni acide e ad alta temperatura.

Questo parametro è spesso preferito rispetto alla "domanda biochimica di ossigeno (BOD)" in molte analisi di controllo delle acque reflue, soprattutto nell'ambito industriale, grazie al minor tempo necessario per condurre le analisi. Tale preferenza è basata su valutazioni statistiche che tengono conto del rapporto COD/BOD. Questo rapporto varia in base al tipo di sostanze scaricate: ad esempio, nei reflui prevalentemente civili, il rapporto COD/BOD si attesta solitamente tra 1,9 e 2,5, situazione riscontrabile anche in molti effluenti industriali derivanti da processi alimentari. Tuttavia, l'utilizzo del parametro COD nel monitoraggio delle acque reflue superficiali è più limitato, principalmente perché, mentre il parametro BOD mira a simulare i processi di degradazione naturali, è notoriamente difficile stabilire una correlazione diretta tra il valore del COD e gli effetti deossigenanti che si verificano nell'ambiente circostante.

PRINCIPIO DEL METODO

È presentata una procedura generale adatta per campioni di acqua con concentrazioni di cloruri inferiori a 1000 mg/L, oltre a specifiche procedure modificate che ne consentono l'applicazione anche in campioni con concentrazione di cloruri superiori a 1000 mg/L.

Questo metodo prevede l'ossidazione di sostanze organiche ed inorganiche presenti nei campioni d'acqua, utilizzando una soluzione di dicromato di potassio in presenza di acido solforico concentrato, con l'aggiunta di solfato di argento come catalizzatore dell'ossidazione. L'eccesso di dicromato viene titolato utilizzando una soluzione di solfato di ammonio e ferro. La concentrazione delle sostanze ossidabili, organiche ed inorganiche, in conformità con le condizioni del metodo, è direttamente correlata alla quantità di dicromato di potassio consumato durante il processo di ossidazione. L'analisi tiene conto della presenza di ioni cloruro come possibili interferenti, poiché la loro ossidazione è possibile solamente nelle condizioni specifiche del metodo utilizzato per determinare il consumo di ossigeno chimico (COD), e non in condizioni naturali delle acque.

CAMPO DI APPLICAZIONE

Il procedimento è valido per campioni d'acqua, sia di origine naturale che di scarico, con una concentrazione di cloruri inferiore a 1000 mg/L. In caso di valori di COD superiori a 50 mg/L, si raccomanda di utilizzare una soluzione di dicromato 0,25 N. Tuttavia, in situazioni in cui la concentrazione di cloruri superi i 1000 mg/L nel campione in fase di analisi o quando il rapporto in peso tra COD e cloruri nel campione analizzato è inferiore a 0,1, è necessario ricorrere a procedure modificate. Per campioni con concentrazioni di COD inferiori a 50 mg/L, si suggerisce l'utilizzo di una soluzione di dicromato 0,025 N.

INTERFERENZE E CAUSE DI ERRORE

Nelle condizioni previste da questo metodo, non tutte le sostanze organiche subiscono una completa ossidazione con il dicromato di potassio. Ad esempio, composti come l'acido acetico e alcune molecole alifatiche lineari non vengono completamente ossidati. L'impiego del solfato d'argento come catalizzatore è utile per migliorare il rendimento della reazione di ossidazione. Tuttavia, in queste condizioni, alcuni composti, come il benzene, il toluene, il naftalene, l'antracene, subiscono solo un'ossidazione parziale, mentre altri, come la piridina, non vengono affatto ossidati. È importante notare che un errore in difetto nella determinazione del COD potrebbe derivare dalla volatilizzazione di alcune sostanze organiche, ma è possibile ridurre queste perdite al minimo. La presenza di cloruri ha un effetto positivo in quanto essi vengono ossidati dal dicromato. L'interferenza dei cloruri, quando la loro concentrazione è inferiore a 1000 mg/L e il rapporto in peso tra COD e cloruri supera 0,1, può essere praticamente eliminata aggiungendo solfato di mercurio in un rapporto di 10 parti di HgSO_4 per ogni parte di Cl^- . Tuttavia, per concentrazioni di cloruri superiori a 1000 mg/L, o se il rapporto in peso tra COD e cloruri è inferiore a 0,1, è necessario seguire procedure specifiche che consentono di ridurre ulteriormente l'interferenza residua e di calcolare eventuali correzioni da applicare al valore del COD in base a misurazioni sperimentali.

REATTIVI

Tutti i reattivi devono essere del tipo “puro per analisi”.

- Acqua: per la preparazione delle soluzioni dei reattivi e per le diluizioni impiegare acqua distillata e/o deionizzata.
- Solfato di mercurio HgSO_4 , in cristalli.
- Solfato d'argento Ag_2SO_4 , in cristalli.
- Soluzione concentrata di dicromato di potassio (0,25 N): sciogliere 12,259 g di dicromato di potassio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), previamente essiccato per 2 ore a 105°C , in acqua e diluire a 1000 mL in matraccio tarato.
- Soluzione diluita di dicromato di potassio (0,025 N): diluire a 1000 mL, in matraccio tarato, 100 mL della soluzione di dicromato di potassio 0,25 N.
- Acido solforico concentrato H_2SO_4 ($d = 1,84$).
- Soluzione di 1,10-fenantrolina-solfato di ferro (ferroina): sciogliere 1,485 g di 1,10-fenantrolina monoidrato, $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, in circa 80 mL di acqua. Aggiungere 0,695 g di solfato di ferro eptaidrato, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Agitare sino a completa dissoluzione e diluire a 100 mL con acqua.
- Soluzione concentrata di solfato d'ammonio e ferro (0,25 N): sciogliere 98 g di solfato di ammonio e ferro esaidrato, $\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, in 500 mL di acqua. Aggiungere 20 mL di acido solforico concentrato, raffreddare e diluire a 1000 mL.
- Il controllo del titolo di questa soluzione viene effettuato con una soluzione di bicromato di potassio 0,25 N impiegando come indicatore una soluzione di fenantrolina.
- Soluzione diluita di solfato d'ammonio e ferro (0,025 N): diluire a 1000 mL in matraccio tarato 100 mL della soluzione di solfato di ammonio e ferro 0,25 N. Il controllo del titolo della soluzione viene effettuato con una soluzione di dicromato di potassio 0,025 N.
- Idrogenoftalato di potassio $\text{C}_8\text{H}_5\text{KO}_4$, in cristalli: 1 g di idrogeno ftalato di potassio corrisponde a 1,176 g di COD.

PROCEDIMENTO

Per campioni di acqua con COD superiore a 50 mg/L, la procedura è la seguente: prendere un recipiente di vetro da 500 mL e versare all'interno un campione di 50 mL; in caso di COD superiore a 900 mg/L, diluire un campione a 50 mL con acqua.

Successivamente, aggiungere una quantità adeguata di solfato di mercurio per inibire la presenza di cloruri, 5 mL di acido solforico concentrato e alcune palline di vetro da ebollizione. L'acido solforico va aggiunto gradualmente e mescolato per garantire la completa dissoluzione del solfato di mercurio. È importante mantenere il recipiente refrigerato per evitare eventuali perdite di sostanze volatili.

Successivamente, aggiungere 50 mg di solfato d'argento e, mescolando, versare 25 mL di una soluzione di dicromato di potassio 0,25 N. Installare il refrigerante e iniziare a far circolare l'acqua. Infine, versare lentamente e mescolando 70 mL di acido solforico concentrato. Iniziare il riscaldamento e far bollire per due ore. Dopo il riscaldamento, lasciare raffreddare e sciacquare accuratamente il refrigerante con acqua per diluire il contenuto del recipiente fino a un volume di 350-400 mL. Aggiungere 2-3 gocce di una soluzione indicatrice di fenantrolina e titolare l'eccesso di dicromato con una soluzione di solfato di ammonio e ferro 0,25 N fino al cambiamento di colore da blu-verde a bruno-rosso. Eseguire contemporaneamente una prova in bianco sostituendo i 50 mL di campione con 50 mL di acqua.

Per campioni di acqua con un COD compreso tra 20 e 50 mg/L, il procedimento è lo stesso, ma utilizzare le soluzioni di dicromato di potassio e solfato di ammonio e ferro 0,025 N invece delle corrispondenti soluzioni 0,25 N. Poiché il cambio di colore dell'indicatore potrebbe essere difficile da percepire, è possibile determinare il punto di fine tramite misurazione potenziometrica.

CALCOLI

La richiesta chimica di ossigeno (COD) viene calcolata applicando la seguente espressione (valida nel caso di assenza di diluizione del campione):

$$C = (m_1 - m_2) * N * 8000 / V$$

Dove:

C = richiesta chimica di ossigeno (mg/L)

m_1 = mL di soluzione di solfato di ammonio e ferro consumati nella prova in bianco

m_2 = mL di soluzione di solfato di ammonio e ferro consumati per il campione

N = normalità della soluzione di solfato di ammonio e ferro impiegata

8000 = peso equivalente dell'ossigeno moltiplicato per 1000, per riferire il dato al volume di un litro

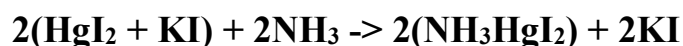
V = volume (mL) di campione usato per l'analisi

Per garantire la precisione del metodo, vengono condotti controlli periodici seguendo la procedura indicata. In questo processo, viene analizzata una soluzione contenente 0,4251 g/L di idrogeno-ftalato di potassio, precedentemente essiccato a 105°C, utilizzando il metodo precedentemente descritto. In parallelo, viene eseguita una prova in bianco, sempre seguendo la stessa procedura. La richiesta chimica di ossigeno di questa soluzione è di 500 mg/L. Il test viene considerato valido se il recupero del valore teorico è almeno del 96%.

AZOTO AMMONIACALE

PRINCIPIO DEL METODO

Determinazione spettrofotometrica mediante reattivo di Nessler. L'ammoniaca, (libera o idrolizzata) presente in un'acqua, reagisce con una soluzione alcalina di iodo-mercurato di potassio (reattivo di Nessler) per formare un complesso colorato secondo la reazione:



L'assorbanza del complesso colorato viene misurata alla lunghezza d'onda di 420 nm.

CAMPO DI APPLICAZIONE

Il metodo è applicabile nell'intervallo 0,4-4 mg/L.

INTERFERENZE E CAUSE DI ERRORE

La presenza di calcio, magnesio, ferro e solfuri può causare torbidità quando il reattivo di Nessler è presente. Di conseguenza, è consigliabile precipitarli preventivamente mediante l'aggiunta di solfato di zinco e una base al campione in esame. L'uso del flocculante $\text{Zn}(\text{OH})_2$ risulta particolarmente vantaggioso in acque torbide o colorate per eliminare le sostanze sospese e quelle colorate. Inoltre, per evitare che gli ioni calcio e magnesio rimasti in soluzione precipitino in presenza del reattivo di Nessler alcalino, si aggiunge una soluzione stabilizzante di EDTA o un sale di Seignette al campione in esame. Va inoltre notato che ammine alifatiche e aromatiche, cloroammine, chetoni, aldeidi, alcool possono generare una colorazione anomala (giallastra o verdastra) o provocare torbidità dopo l'aggiunta del reattivo di Nessler. Queste interferenze sono difficili da trattare poiché non esistono procedure specifiche per la loro rimozione completa. Tuttavia, nel caso in cui si manifestino, è consigliabile ricorrere alla distillazione del campione. Alcune sostanze volatili interferenti, come la formaldeide, possono essere eliminate mediante ebollizione a basso pH prima dell'aggiunta del reattivo.

REATTIVI

Tutti i reagenti devono essere puri per analisi e l'acqua deionizzata ad elevato grado di purezza.

- Soluzione di solfato di zinco: sciogliere 100 g di $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ in acqua bidistillata e diluire a 1 litro.
- Soluzione di idrossido di sodio 6 M: sciogliere 120 g di NaOH in 500 mL di acqua e diluire a 1 litro.
- Soluzioni stabilizzanti: allo scopo di impedire la precipitazione del calcio e del magnesio quando si aggiunge ad un'acqua il reattivo di Nessler, viene impiegata una soluzione di EDTA oppure una soluzione di sale di Seignette.

Soluzione di EDTA: sciogliere 50 g di sale disodico dell'acido etilendiamminotetracetico in 60 mL di acqua contenente 10 g di NaOH pura. Se necessario, scaldare debolmente per ottenere la solubilizzazione completa della sostanza. Lasciar raffreddare a temperatura ambiente e diluire a 100 mL.

Soluzione sale di Seignette: sciogliere 50 g di tartrato di sodio e potassio tetraidrato ($\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) in 100 mL di acqua.

L'ammoniaca generalmente presente nel sale di Seignette può essere allontanata portando all'ebollizione 30 mL di soluzione; dopo raffreddamento a temperatura ambiente riportare la soluzione a 100 mL con acqua.

- Reattivo di Nessler.
- Soluzione ad azione deodorante: sciogliere 3,5 di $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ in acqua e diluire a 1 litro.
- Soluzione concentrata di cloruro di ammonio (1 mL = 1 mg di N-NH₃): sciogliere 3,819 g di cloruro di ammonio anidro (NH_4Cl), seccato a 110°C, in acqua e diluire a 1 litro.
- Soluzione diluita di cloruro di ammonio (1 mL = 0,01 mg di N-NH₃): prelevare 1 mL della soluzione concentrata e diluire a 1 litro con acqua.

PROCEDIMENTO

Per la taratura, prelevare campioni di soluzione diluita di cloruro di ammonio in volumi come 2,5 mL, 5 mL, 10 mL, 15 mL o 20 mL, quindi portarli a un volume di 50 mL. Aggiungere una goccia di reattivo EDTA o due gocce di sale di Seignette come soluzione stabilizzante e assicurarsi di miscelare accuratamente. Aggiungere 2 mL di reattivo di Nessler se è stata utilizzata la soluzione di EDTA, altrimenti aggiungere 1 mL se è stata utilizzata la soluzione di sale di Seignette.

Mescolare bene, quindi attendere 15 minuti prima di misurare l'assorbanza a 420 nm. Il periodo di attesa garantisce il completo sviluppo del colore prima che inizi la flocculazione del complesso colorato $\text{NH}_2\text{Hg}_2\text{I}_3$.

Per il dosaggio del campione, se contenete cloro residuo, è necessario rimuoverlo preventivamente aggiungendo una quantità equivalente di una soluzione dechlorante. Utilizzare 0,2 mL di soluzione dechlorante per ogni 1 mg/L di cloro residuo in 100 mL di campione.

Successivamente, aggiungere 1 mL di soluzione di ZnSO_4 a 100 mL del campione in esame, mescolare accuratamente e quindi aggiungere 0,4-0,5 mL di una soluzione di idrossido di sodio per raggiungere un pH di 10,5, verificando il valore con un pHmetro.

Lasciare riposare il campione trattato per alcuni minuti, durante i quali si formerà un precipitato che renderà il liquido soprastante limpido e incolore. Chiarificare il campione mediante centrifugazione o filtrazione. Se si opta per la filtrazione, assicurarsi che il filtro di carta sia privo di ammoniaca, lavandolo attentamente con acqua deionizzata finché il filtrato non reagisce più con il reattivo di Nessler. Successivamente, filtrare il campione trattato, scartando la prima porzione di 25 mL di filtrato. Prelevare 50 mL di filtrato o una aliquota inferiore diluita a 50 mL con acqua deionizzata.

Aggiungere la soluzione stabilizzante (1 goccia di reattivo EDTA o 2 gocce di soluzione di sale di Seignette) e miscelare accuratamente. Aggiungere 2 mL di reattivo di Nessler se è stata utilizzata la soluzione di EDTA, altrimenti aggiungere 1 mL se è stata utilizzata la soluzione di sale di Seignette. Mescolare bene, quindi attendere 15 minuti prima di misurare l'assorbanza a 420 nm.

CALCOLI

Calcolare la concentrazione di azoto ammoniacale utilizzando la curva di taratura partendo dal valore dell'assorbanza, che è stato precedentemente corretto per il valore del campione di riferimento. Se è stata effettuata una diluizione del campione, è necessario moltiplicare il risultato ottenuto per il fattore di diluizione corrispondente.

4.4 CONFRONTO FRA VASCA IMHOFF E DEPURATORE BIOLOGICO AD OSSIDAZIONE TOTALE

Le misure effettuate su vasca Imhoff e sul depuratore biologico ad ossidazione totale sono riportate nelle tabelle sottostanti.

Tabella 14. Misure effettuate su vasca Imhoff (Ecoveneta snc)

RISULTATI DELLE PROVE		
Denominazione prova	Unità di misura	Valore
pH	unità pH	5,1
Richiesta biochimica di ossigeno (BOD5) (O2)	mg/L	2750
Richiesta chimica di ossigeno (COD)	mg/L	4960
Cloruri	mg/L	21
Ammonio (azoto ammoniacale)	mg/L	2,74
Azoto totale (N)	mg/L	12

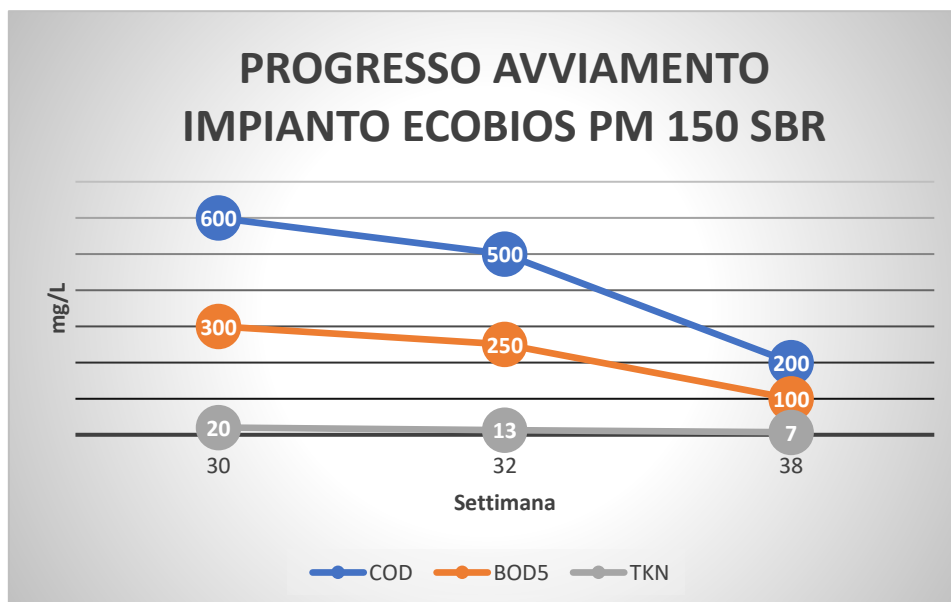
Tabella 15. Misure effettuate sul depuratore biologico ad ossidazione totale (Ecoveneta snc)

RISULTATI DELLE PROVE			
Analisi interna campione	Denominazione prova	Unità di misura	Valore
Settimana: 30	Richiesta chimica di ossigeno (COD)	mg/L	600
	Richiesta biochimica di ossigeno (BOD5)	mg/L	300
	Azoto totale Kjeldahl (TKN)	mg/L	20
	Efficienza depurativa della sostanza organica	%	85
	Presenza di colonie batteriche		Ridotta
Settimana 32	Richiesta chimica di ossigeno (COD)	mg/L	500
	Richiesta biochimica di ossigeno (BOD5)	mg/L	250
	Azoto totale Kjeldahl (TKN)	mg/L	13
	Efficienza depurativa della sostanza organica	%	88
	Presenza di colonie batteriche		Ridotta
	Richiesta chimica di ossigeno (COD)	mg/L	200
	Richiesta biochimica di ossigeno (BOD5)	mg/L	100

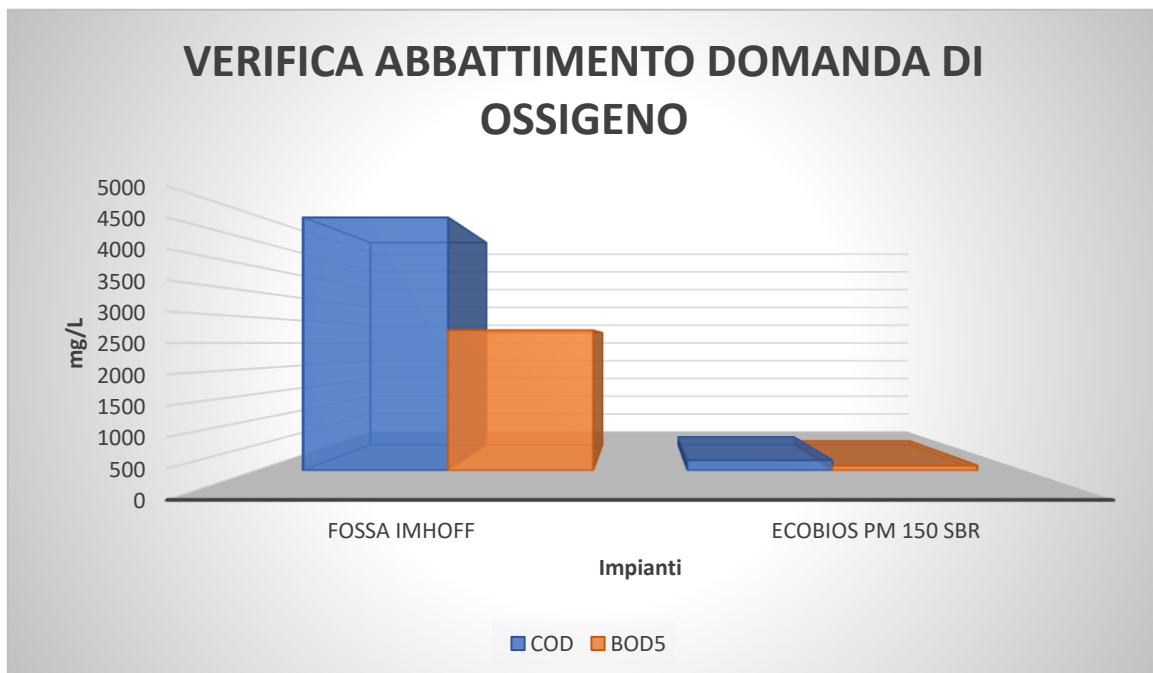
Settimana 38	Azoto totale Kjeldahl (TKN)	mg/L	7
	Efficienza depurativa della sostanza organica	%	96
	Presenza di colonie batteriche		Ridotta

I risultati ottenuti dalle analisi sugli effluenti derivati dalla fossa Imhoff mettono in evidenza una situazione problematica e critica all'interno del panorama di gestione delle acque reflue dell'azienda. I valori di carico organico, BOD5 e COD, risultano particolarmente elevati. La richiesta biochimica di ossigeno (BOD5) ammonta a 2750 mg/L mentre la richiesta chimica di ossigeno (COD) a 4960 mg/L, valori ampiamente superiori rispetto ai limiti normativi previsti. Anche l'azoto totale, 12 mg/L, mostra una presenza importante, vicina al limite massimo. Per quanto riguarda invece i cloruri, la loro presenza ridotta (21 mg/L) non interferisce nel procedimento d'analisi utilizzato per la determinazione del COD. I risultati sottolineano l'importanza di implementare il nuovo impianto biologico ad ossidazione totale per garantire il rispetto dei limiti e proteggere l'ambiente.

I risultati del piano di monitoraggio condotto sul nuovo depuratore biologico ad ossidazione totale mostrano il corretto avvio dell'impianto e il raggiungimento di un'operatività ottimale che, se pur non ancora massima, risulta molto buona. Le analisi effettuate nelle settimane 30, 32 e 38 mostrano un progressivo e significativo abbattimento del carico organico, con valori della domanda chimica di ossigeno (COD) che diminuiscono da 600 a 200 mg/L. Questa riduzione costante è in linea con la graduale crescita delle colonie batteriche all'interno della vasca. Infatti, l'efficienza depurativa della sostanza organica (COD) migliora notevolmente nel corso delle settimane, passando dall'85 % al 96 %. Infine, la riduzione dei valori stimati della domanda biochimica di ossigeno (BOD5) da 300 a 100 mg/L conferma la capacità del nuovo depuratore di trattare in modo efficace la materia organica biodegradabile. La diminuzione dell'indice TKN (Total Kjeldahl Nitrogen) da 20 a 7 mg/L mostra il corretto funzionamento del sistema e l'efficace conversione dell'azoto nelle sue forme meno tossiche (nitrificazione e denitrificazione).



Il confronto tra i due impianti di depurazione delle acque reflue, il vecchio costituito da una vasca Imhoff e il nuovo depuratore biologico ad ossidazione totale, rivela un progresso straordinario nel programma di gestione delle acque reflue dell'azienda. Nei dati riferiti alla fossa Imhoff, erano evidenti valori estremamente elevati della domanda chimica di ossigeno (COD) e della domanda biochimica di ossigeno (BOD), con letture di 4960 mg/L e 2750 mg/L rispettivamente. Al contrario, i recenti dati del nuovo impianto, rilevati nella settimana 38, mostrano una significativa riduzione di tali parametri, con valori di COD di 200 mg/L e BOD5 di 100 mg/L. Questi risultati dimostrano chiaramente come il nuovo depuratore sia notevolmente più efficiente nel rimuovere l'inquinamento organico rispetto alla fossa Imhoff. L'importanza di questa transizione è innegabile, avendo permesso all'azienda di ottemperare ai limiti di legge, relativi alla qualità dell'acqua trattata, senza dover ridurre o compromettere la produttività. L'abbattimento del carico organico rappresenta un passo cruciale per proteggere l'ambiente e preservare le risorse idriche, contribuendo in modo significativo ad aumentare la sostenibilità delle operazioni aziendali. L'implementazione del nuovo impianto ha chiaramente condotto ad un notevole miglioramento nella qualità delle acque reflue trattate, riducendo in modo significativo l'inquinamento e avvicinandosi sempre di più ai parametri normativi. Questo successo non solo riflette il progresso tecnologico nell'ambito del trattamento delle acque, ma dimostra anche l'impegno dell'azienda nei confronti dell'ambiente e della responsabilità sociale, rafforzando la sua posizione come un'organizzazione sostenibile e rispettosa dell'ecosistema circostante.



5. CONCLUSIONI

L'analisi dettagliata delle acque reflue generate dall'industria dolciaria ha permesso di comprendere appieno le sfide ambientali e normative a cui questo settore è chiamato a rispondere. La caratterizzazione delle acque reflue ha evidenziato la complessità della loro composizione, spesso comprendente un ampio spettro di inquinanti organici ed inorganici, difficili da gestire per la loro comune variabilità qualitativa e quantitativa. La normativa vigente, fondata su direttive europee e leggi nazionali, richiede il rispetto di rigorosi standard di scarico, imponendo alle aziende dolciarie di adottare soluzioni efficaci e sostenibili per il trattamento delle loro acque. Nell'ambito di queste soluzioni, esaminando alcune tecnologie ed impianti disponibili, si è evidenziato come esistano in commercio diverse opzioni tecnologiche: soluzioni personalizzate in base alle esigenze specifiche del contesto interessato. Nell'ambito dell'industria dolciaria, i sistemi di trattamento biologico ad ossidazione totale sono sicuramente tra le opzioni più sostenibili ed efficienti. In conclusione, si sottolinea l'importanza di adottare un approccio olistico nella gestione delle acque reflue nel settore dolciario, in modo da ridurre l'impatto ambientale, promuovere la sostenibilità e rispettare al contempo i regolamenti normativi.

Il caso studio proposto ha dimostrato in modo tangibile come l'adozione di un nuovo impianto ad ossidazione totale abbia prodotto risultati significativi nella riduzione del carico inquinante delle acque reflue generate dall'azienda "Giuseppe Lorenzon C.I.E. s.r.l.". L'obiettivo principale era garantire il rispetto delle normative ambientali, in particolare dei parametri chiave BOD (domanda biochimica di ossigeno) e COD (domanda chimica di ossigeno). La sostituzione di una vecchia fossa Imhoff, con un impianto all'avanguardia, ha permesso di ampliare il volume d'ossidazione, richiesta derivata dal progressivo incremento produttivo dell'azienda utilizzatrice negli ultimi anni, con conseguenti maggiori quantità di reflui da trattare giornalmente. La nuova implementazione ha consentito all'azienda di ridurre in modo significativo l'impronta ambientale derivata dalle sue operazioni. I dati raccolti nel corso del caso hanno confermato una netta diminuzione dei valori di carico organico nelle acque reflue trattate dall'impianto ad ossidazione totale. Questi risultati hanno rafforzato la conformità dell'azienda alle normative ambientali. L'impianto si è dimostrato molto promettente, pur non avendo ancora raggiunto la massima efficienza. Si ipotizza che il pieno regime verrà raggiunto verso novembre/dicembre. Nonostante ciò, i risultati ottenuti finora sono molto incoraggianti poiché mostrano un abbattimento sostanziale del carico organico nelle acque reflue trattate. Sebbene i valori siano ancora leggermente superiori ai limiti normativi, è evidente un progresso significativo nella loro gestione.

In questo specifico caso, i rallentamenti riscontrati sono stati essenzialmente dovuti alla mancata implementazione del sistema di controllo pH nei primi mesi di avvio, comportando la destabilizzazione delle colonie batteriche, fondamentali per i processi di depurazione. Ad ogni modo, nonostante questo, il sistema sembra aver gradualmente recuperato la stabilità, producendo miglioramenti costanti. Questo caso mette in evidenza l'importanza di un controllo rigoroso e di un monitoraggio costante soprattutto nei primi mesi di vita dell'impianto. Anche con questo ostacolo iniziale, il fatto che l'efficienza sia in costante miglioramento indica che con l'attenta gestione e le necessarie correzioni, l'impianto è nella giusta strada per diventare un componente efficace e sostenibile nel trattamento delle acque reflue. Per concludere, l'esperienza di questo caso studio mette in luce l'importanza di investire in tecnologie avanzate e sostenibili per il trattamento delle acque reflue industriali al fine di proteggere l'ambiente e non ricadere in pesanti sanzioni amministrative. Sostenendo investimenti, talora anche importanti, le aziende dolciarie possono conciliare le esigenze produttive con la responsabilità ambientale. In un'epoca in cui la sostenibilità è sempre più al centro dell'attenzione, la transizione verso soluzioni più ecocompatibili per il trattamento delle acque reflue rappresenta un passo significativo verso un futuro più sostenibile e rispettoso dell'ambiente.

BIBLIOGRAFIA

1. A. Lonigro, A. Giangaspero. Parametri qualitativi delle acque reflue
2. A. Trotta. Acque reflue, normativa e sistemi di trattamento
3. Akbal F., Camcı S., 2011. Copper, chromium and nickel removal from metal plating wastewater by electrocoagulation. *Desalination*, 269, 214–222
4. Al-Jlil S.A., 2009. COD and BOD reduction of domestic wastewater using activated sludge, sand filters and activated carbon in Saudi Arabia. *Bio-technology*, 8, 473-477
5. Amani T., Nosrati M., Sreekrishnan T.R., 2010. Anaerobic digestion from the viewpoint of micro-biological, chemical, and operational aspects – a review. *Environmental Reviews*, 18, 255–278
6. APAT (Agenzia per la protezione dell’ambiente e per i servizi tecnici), IRSA-CNR (Istituto di Ricerca sulle Acque Consiglio Nazionale delle Ricerche). *Metodi analitici per le acque*
7. Ariffin N., Abdullah M.M.A.-B., ZainolM.R.R.M.A., Murshed M.F., Zain H., Faris M.A., Ridho B., 2017. Review on adsorption of heavy metal in wastewater by using geopolymer. *MATECWeb of Conferences*, 97, 1-8
8. Atashi H., Ajamein H., Ghasemian S., 2010. Effect of operational and design parameters on removal efficiency of a pilot-scale UASB reactor in a sugar factory. *World Applied Sciences Journal*, 11(4), 451-456
9. Bartkiewicz B., Umiejewska K., 2010. *Treatment of industrial wastewater*. PWN, Warszawa (in Polish)
10. Benincá C., Peralta-Zamora P., Tavares C.R.G., Ig-arashi-Mafra L., 2013. Degradation of an azo dye (Ponceau 4R) and treatment of wastewater from a food industry by ozonation. *Ozone Science and Engineering*, 35(4), 295-301
11. Bhargava A., 2016. Physico-chemical wastewater treatment technologies: an overview. *International Journal of Scientific Research and Education*, 4, 2321-7545
12. BOD & COD treatment with ozone. <https://www.ozonetech.com/water-treatment/cod-bod-treatment-ozone>. Accessed 11 November 2018
13. Bough W.A., 1976. Chitosan - a polymer from sea-food waste, for use in treatment of food processing wastes and activated sludge. *Process Biochemistry*, 11(1), 13–16
14. Byadgi S.A., Sharanappanavar M.S., Dhamoji B., Nadaf A., Munennavar S., 2017. Treatment of sugar industry waste water using zinc electrodes. *International Journal of Engineering Technology Science and Research*, 4(6), 664-668

15. Carvalho J., Araujo J., Castro F., 2011. Alternative low-cost adsorbent for water and wastewater decontamination derived from eggshell waste: an overview. *Waste Biomass Valor*, 2, 157-167
16. Chen X., Chen G., Yue P.L., 2000. Separation of pollutants from restaurant wastewater by electro-coagulation. *Separation and Purification Technology*, 19, 65–76
17. Cicek N., 2003. A review of membrane bioreactor and their potential application in the treatment of agricultural wastewater. *Can. Biosyst. Eng.*, 45(6),37–49
18. Colic M., Acha E., Lechter A., 2009. Advanced pretreatment enables MBBR treatment of high strength candy manufacturing wastewater. *Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC: Session 61 through Session (11)*, 70,4142-4152
19. Construction of a factory sewage treatment plant for Tymbark in Olsztynek. http://www.veoliawatertechnologies.pl/media/case_studies_Veolia/oczyszczalnia_siekow_Tymbark_Olsztynek.htm. Accessed 08 January 2019 (in Polish)
20. Dakhil I.H., 2013. Adsorption of methylene blue dye from wastewater by spent tea leaves. *Journal of Kerbala University*, 1, 5-14
21. DECRETO LEGISLATIVO 11 maggio 1999, n. 152. Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole
22. DECRETO LEGISLATIVO 3 aprile 2006, n. 152. Norme in materia ambientale
23. Demirel B., Yenigun O., Onay T.T., 2005. Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review. *Process Biochemistry*, 40(8), 2583–2595
24. Devi R., Singh V., Kumar A., 2008. COD and BOD reduction from coffee processing wastewater using avocado peel carbon. *Bioresource Technology*, 99,1853-1860
25. Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban waste-water treatment (91/271/EEC)
26. Direttiva 91/271/CEE. Trattamento delle acque reflue urbane
27. Ecoveneta snc. Relazione tecnica
28. Edwards W.P., 2000. *The science of sugar confectionery*. The Royal Society of Chemistry. Cambridge, UK, 1-222
29. EEA (European Environment Agency). *Waste Management towards a more Circular Economy*
30. EEA (European Environmental Agency). *Reuse and recycling are key to tackling Europe's waste problem and to foster a more circular economy*

31. El Diwani G., El Abd H., Hawash S., El Ibiari N., El Rafei S., 2000. Treatment of confectionery and gum factory wastewater effluent. *Adsorption Science & Technology*, 18(9), 813-821
32. El-Dars F.M.S.E., Ibrahim M.A., Gabr A.M.E., 2014. Reduction of COD in water-based paint wastewater using three types of activated carbon. *Desalination and water treatment*, 52, 2975-2986
33. Elhassadi A., 2008, Pollution of water resources from industrial effluents: a case study- Benghazi, Libya. *Desalination*, 222, 286–293
34. El-kalyoubi M., Khallaf M.F., Abdelrashid A., Mo-stafa E.M., 2011. Quality characteristics of chocolate – containing some fat replacer. *Annals of Agricultural Science*, 56, 89–96
35. Environmental Protection Agency, 1997. Waste-water treatment manuals primary, secondary and tertiary treatment, Ireland. ISBN 1 899965 46 7
36. Environmental Solutions, 2005. Convective Activated Sludge
37. Ersahin M.E., Dereli R.K., Ozgun H., Donmez B.G., Koyuncu I., Altinbas M., Ozturk I., 2011. Source based characterization and pollution profile of a baker's yeast industry. *Clean–Soil, Air, Water*, 39, 543–548
38. Esparza-Soto M., Arzate-Archundia O., Solís-Morelos C., Fall C., 2013. Treatment of a chocolate industry wastewater in a pilot-scale low-temperature UASB reactor operated at short hydraulic and sludge retention time. *Water Science & Technology*, 67(6), 1353-1361
39. F. Moerman. European Hygienic Engineering & Design Group, Belgium; P. Rizoulières. Bocard Food, France. Cleaning-in-place
40. Fazal S., Zhang B., Zhong Z., Gao L., Chen X., 2015. Industrial wastewater treatment by using MBR (Membrane Bioreactor) Review study. *Journal of Environmental Protection*, 6, 584-598
41. García-Morales M.A., Juárez J.C.G., Martínez-Gallegos S., Roa-Morales G., Peralta E., del Campo López E.M., Barrera-Díaz C., Miranda V.M., Blancas T.T., 2018. Pretreatment of real wastewater from the chocolate manufacturing industry through an integrated process of electrocoagulation and sand filtration. *International Journal of Photoenergy*, 2146751, 1-7
42. Giuseppe Lorenzon C.I.E. s.r.l. Analisi interne
43. Gromiec M., Sadurski A., Zalewski M., Rowiński P., 2014. Threats related to water quality. *Nauka* 1, 99-122 (in Polish)
44. Hashemian S., Salari K., Yazdi Z.A., 2014. Preparation of activated carbon from agricultural wastes (almond shell and orange peel) for adsorption of 2-pic from aqueous solution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20, 1892–1900

45. Henze M., van Loosdrecht M.C.M., Ekama G.A., Brdjanovic D. (Eds.), 2008. Biological wastewater treatment: principles, modelling and design. ISBN:9781843391883, IWA Publishing. London, UK
46. Imhoff Tank, SSWM. Find tools for sustainable sanitation and water management
47. Indam. Analisi ambientali e controllo qualità
48. ISO 22002. Prerequisite programmes on food safety
49. J. Grahovac, Z. Roncevic. Environmental impacts of the confectionery industry
50. Judd S., 2006. The MBR book: Principles and applications of membrane bioreactors in water and wastewater. London, England: Elsevier
51. Kadirvelu K., Kavipriya M., Karthika C., Radhika M., Vennilamani N., Pattabhi S., 2003. Utilization of various agricultural wastes for activated carbon preparation and application for the removal of dyes and metal ions from aqueous solutions. *Biore-source Technology*, 87, 129–132
52. Keshmirizadeh E., Yousefi S., Rofouei M.K., 2011. An investigation on the new operational parameter effective in Cr (VI) removal efficiency: a study on electrocoagulation by alternating pulse current. *Journal of Hazardous Materials*, 190, 119-124
53. Khan M., Mahmood T., Kalsoom U., Riaz M., Khan A.R., 2003. Characterization and treatment of industrial effluent from sugar industry. *Journal-chemical society of Pakistan*, 25(3), 242-247
54. Krzanowski S., Walega A., Pasmionka I., 2008. Wastewater treatment of selected food industry. In: *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 1, 1-89 (in Polish)
55. Lin H., Gao W., Meng F., Liao B.-Q., Leung K.-T., Zhao L., Chen J., Hong H., 2012. Membrane Bio-reactors for Industrial Wastewater Treatment: A Critical Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42(7), 677-740
56. Liu Y., Xu H.-L., Yang S.-F., Tay J.-H., 2003. Mechanisms and models for anaerobic granulation in up flow anaerobic sludge blanket reactor. *Water Research*, 37, 661–673
57. M. Mainardis, M. Buttazzoni, D. Goi. Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Technology for Energy Recovery: A Review on State-of-the-Art and Recent Technological Advances
58. M. Zajda, U. Aleksander-Kwaterczak, 2019. Wastewater Treatment Methods for Effluents from the Confectionery Industry
59. Mai Z., 2014. Membrane processes for water and wastewater treatment: study and modelling of interactions between membrane and organic matter. HAL. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00969165>

60. Marrot B., Barrios-Martinez A., Moulin P., Roche N., 2004. Industrial wastewater treatment in a membrane bioreactor: A review. *Wastewater*, 23(1), 59-68
61. Mollah M.Y., Morkovsky P., Gomes J.A.G., Kesmez M., Parga J., Cocke D.L., 2004. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 114(1-3), 199-210
62. Mollah M.Y.A., Schennach R., Parga J.R., 2001. Electrocoagulation (EC) - science and applications. *Journal of hazardous*, 84(1), 29-41
63. Mortula M., Shabani S., Rumaithi K.A., Nawaz W., Kashwani G., 2011. Removal of phosphorus and BOD from secondary effluent using coagulation. *International Conference on Energy, Water and Environment*
64. Nayl A.E.A., Elkhatab R.A., El Malah T., Yakout S.M., El-Khateeb M.A., Ali M.M.S., Ali H.M., 2017. Adsorption studies on the removal of COD and BOD from treated sewage using activated carbon prepared from date palm waste. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 22284-22293
65. Ntuli F., Kuipa P.K., Muzenda E., 2011. Designing of sampling programmes for industrial effluent monitoring. *Environmental Science and Pollution Research*, 18, 479-484
66. Ozgun H., Karagun N., Dereli R.K., Ersahin M.E., Coskuner T., Ciftci D.I., Altinbas M., 2012. Confectionery industry: a case study on treatability-based effluent characterization and treatment system performance. *Water Science & Technology*, 66(1), 15-20
67. Paprowicz J.T., 1990. Activated carbons for phenols removal from wastewaters. *Environ. Technol.*, 11, 71-82
68. Parande A.K., Sivashanmugam A., Beulah H., Palaniswamy N., 2009. Performance evaluation of low cost adsorbents in reduction of COD in sugar industrial effluent. *Journal of Hazardous Materials*, 168, 800-805
69. Park E., Enander R., Barnett S.M., Lee C., 2001. Pollution prevention and biochemical oxygen demand reduction in a squid processing facility. *Journal of Hazardous Materials*, 9, 341-349
70. Phuong N.T.T., Tien T.T., Hoa P.T.T., Nam T.V., Luu T.L., 2018. Treatment of cake shop wastewater by pilot-scale submerged membrane bioreactor (SMBR). *Bioresource Technology Reports*, 4, 101-105
71. Próba M., Wolny L., 2013. Industry and water environment. *Chemia Przemysłowa*, 4 (in Polish)
72. Qasim W., Mane A.V., 2013. Characterization and treatment of selected food industrial effluents by coagulation and adsorption techniques. *Water Resources and Industry*, 4, 1-12

73. Rajman A., 2007. Bioindication and impact on liv-ing organisms of sewage in the textile industry. *Problemy Ekologii*, 1(11), 41-46 (in Polish)
74. Ratajczak P., 2013. Membrane processes – intro-duction. *Nauka i technika*, 4, 16-20 (in Polish)
75. Regional Centre for Environmental Health Activities CEHA, 2006. A kompendium of standards for waste-water reuse in the Eastern Mediterranean Region
76. Rucka K., Balbierz P., Mańczak M., 2012. Assess-ment of the possibility of wastewater treatment from the confectionery industry. In: Traczewska T.M., (ed.), *Interdisciplinary Issues in Engineer-ing and Environmental Protection 2*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 429-434 (in Polish)
77. Rucka K., Mańczak M., Balbierz P., 2014. Tech-nological research of wastewater treatment from the confectionery industry using activated sludge. In: Traczewska T.M. and Kaźmierczak B. (eds), *Interdisciplinary Issues in Engineering and Envi-ronmental Protection 4*, Oficyna Wydawnicza Pol-itechniki Wrocławskiej, 699-706 (in Polish)
78. S. Al-Asheh, M. Bagheri, A. Aidan. Membrane bioreactor for wastewater treatment: A review
79. Sahu O., 2017. Treatment of sugar processing in-dustry effluent up to remittance limits: suitability of hybrid electrode for electrochemical reactor. *Methods X*, 4, 172-185
80. Sahu O., Mazumdar B., Chaudhari P.K., 2014. Treatment of wastewater by electrocoagulation: a review. *Environmental Science and Pollution Re-search*, 21(4), 2397-2413
81. Sanou Y., Pare S., Baba G., Segbeaya K.N., Bonzi-Coulibaly L.Y., 2016. Removal of COD in waste-waters by activated charcoal from rice husk. *Revue des sciences de l'eau*, 29(3), 265–277
82. Scholz M., 2016. Activated sludge processes. *Wet-lands for Water Pollution Control*, 15, 91-105
83. Seghezze L., Zeeman G., van Liel J.B., Hamelers H.V.M., Lettinga G., 1998. A review: The anaero-bic treatment of sewage in UASB and EGSB reac-tors. *Bioresource Technology*, 65(3), 175-190
84. Siram-Veolia. Fanghi di depurazione: una risorsa sostenibile
85. Tanksali A.S., 2013. Treatment of sugar industry wastewater by upflow anaerobic sludge blanket reactor. *International Journal of ChemTech Re-search*, 5, 1246-1253
86. Tchamango S., Nanseu-Njiki C.P., Ngameni E., Hadjiev D., Darchen A., 2010. Treatment of dairy effluents by electrocoagulation using aluminum electrodes. *Science of the Total Environment*, 408, 947–952

87. Thirugnanasambandham K., Sivakumar V., Ma-ran J.P., 2013. Optimization of electrocoagulation process to treat biologically pretreated bagasse effluent. *Journal of Serbian Chemical Society*, 5,78613–78626
88. US EPA, 1999. Wastewater Technology Fact Sheet Ozone Disinfection. Office of Water Washington, D.C., EPA 832-F-99-063
89. Van der Bruggen B., Vandecasteele C., Van Gestel T., Doyen W., Leysen R., 2003. A review of pressure-driven membrane processes in process and wastewater treatment and in drinking water production. *Environmental Progress*, 22(1), 46–56
90. Vanerkar A.P., Satyanarayan S., Satyanarayan S., 2013. Treatment of food processing industry wastewater by a coagulation/flocculation process. *International Journal of Chemical and Physical Sciences*, 2, 63-72
91. Yakout S.M., Sharaf El-Deen G., 2016. Characterization of activated carbon prepared by phosphoric acid activation of olive stones. *Arabian Journal of Chemistry*, 9, 1155–1162
92. Yamina G., Abdeltif A., Youcef T., Mahfoud H.D., Fatiha G., Lotfi B., 2013. A comparative study of the addition effect of activated carbon obtained from date stones on the biological filtration efficiency using sand dune bed. *Energy Procedia*, 36, 1175–1183
93. Zulaikha S., Lau W.J., Ismail A.F., Jaafar J., 2013. Treatment of restaurant wastewater using ultrafiltration and nanofiltration membranes. *Journal of Water Process Engineering*, 2, 58-62

