

POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture



Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Analisi dello stato di fatto di un impianto di potabilizzazione di una azienda vitivinicola e valutazione delle possibili alternative per il suo miglioramento

Relatori:

Prof.ssa Barbara Ruffino

Prof.ssa Mariachiara Zanetti

Prof. Alberto Cerutti

Candidato:

Lorenza Pighetti

Anno Accademico 2017/2018

INDICE

1. Introduzione.....	1
2. Normative di Riferimento.....	4
2.1 Disposizioni generiche in materia di approvvigionamento idrico.....	4
2.2 Acque ad uso potabile.....	12
3. Caso di studio: Azienda vitivinicola - Processo produttivo e utilizzo dell'acqua.....	28
3.1 Processo di vinificazione e storia dell'azienda.....	28
3.2 Descrizione dello stabilimento.....	36
4. Processi di trattamento per acque ricche di Ferro e Manganese.....	43
4.1 Ferro e Manganese in acqua.....	43
4.2 Ossidazione e filtrazione.....	44
4.3 Trattamenti biologici.....	46
4.4 Filtrazione su membrana.....	50
4.5 Resine a scambio ionico.....	51
5. Impianto di Potabilizzazione.....	54
5.1 Parametri di progetto.....	54

5.2 Sollevamento.....	58
5.3 Fase di Ossidazione.....	59
5.4 Fase di Sedimentazione.....	70
5.5 Filtro a quarzite-pirolusite.....	78
5.6 Filtro a carboni attivi.....	83
5.7 Microfiltrazione e Osmosi Inversa.....	88
5.8 Altri Impianti.....	97
5.9 Valutazione dei costi.....	99
6. Possibili alternative per il miglioramento dell'impianto di Potabilizzazione.....	109
6.1 Modifiche della fase di ossidazione.....	109
6.2 Modifiche della fase di sedimentazione.....	123
7. Conclusioni.....	130
BIBLIOGRAFIA.....	133
SITOGRAFIA.....	135

1. INTRODUZIONE

Le colline delle Langhe, diventate bene protetto dall'UNESCO, ospitano da moltissimi anni i vigneti che, grazie allo sviluppo dell'industria enologica, hanno portato alla produzione di vini e spumanti apprezzati in tutto il mondo come il Moscato d'Asti e l'Asti Spumante.

Lo scopo di questa tesi è l'analisi dell'impianto di potabilizzazione di una delle principali aziende vitivinicole che ha sede nel territorio delle Langhe, in tutte le sue fasi di trattamento acqua, finalizzata al miglioramento delle prestazioni dell'impianto e alla riduzione dei costi annuali dello stesso. L'azienda oggetto della tesi deve rispettare le normative specifiche che riguardano il trattamento dell'acqua destinata al consumo umano. L'impianto di potabilizzazione deve consentire la depurazione dell'acqua nel rispetto dei parametri che le normative impongono, in funzione della qualità dell'acqua prelevata dai pozzi.

L'impianto di potabilizzazione è stato costruito intorno al 1991 ed ha subito molte modifiche nel corso degli anni. Tale impianto è stato progettato per trattare acque con elevate concentrazioni di ferro e manganese. Il problema principale dell'acqua da trattare è proprio dato dall'elevata presenza di questi due metalli.

Non è inusuale che l'acqua prelevata da acquiferi in profondità presenti questo tipo di problema. In particolare, l'acquifero in oggetto che si trova proprio nel territorio delle Langhe e presenta una serie stratigrafica formata da:

- strato marnoso-argillosi alla base
- marne sabbioso-arenacee al tetto
- nel fondovalle lo strato marnoso-argilloso è coperto da uno strato limoso-sabbioso-argilloso dovuto alle alluvioni dei corsi d'acqua.

Tali rocce di vario tipo per lisciviazione da parte dell'acqua presente nell'acquifero, sprigionano alcuni metalli come il ferro ed il manganese. La presenza di questi metalli nell'acqua crea problemi estetici, olfattivi e sapore metallico, inoltre può danneggiare gli impianti.



Fig.1.0.1 – Viti sulle colline che circondano Canelli

Dopo aver analizzato l'impianto di potabilizzazione nella presente configurazione, si procede con la valutazione di interventi per il miglioramento dell'efficienza dell'impianto e si effettua una analisi economica. Lo scopo finale è quello di individuare delle possibili tecnologie alternative, sostenibili dal punto di vista economico, nonché i vantaggi e gli svantaggi dell'inserimento delle stesse nell'impianto attuale.

2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

2.1 Disposizioni generiche in materia di approvvigionamento idrico

Le disposizioni normative in materia ambientale sono regolamentate dal Decreto Legislativo 152/2006. Il Testo unico in materia ambientale o Codice Ambientale, rappresenta un punto di svolta per quanto riguarda la regolamentazione ambientale in Italia. Le prime leggi che riguardano la salvaguardia del territorio risalgono agli anni 1960-1970 circa, successivamente a causa dello sviluppo industriale e di una crescente sensibilità ambientale sono state emanate sempre più normative in materia ambientale basate principalmente sul concetto di “command and control” ovvero l’inserimento di limiti normativi da rispettare e delle sanzioni pecuniarie e interdittive per coloro che non le rispettano. Data la frammentarietà delle normative ambientali, su delega della Legge 308/2004 con lo scopo di riordinare le principali norme ambientali e per recepire alcune direttive comunitarie, è stato redatto il Codice Ambientale, entrato poi in vigore nell’Aprile del 2006. Il Codice si divide in 6 parti e contiene 45 allegati e rappresenta il punto di partenza per consultare le normative in materia ambientale. Le sei parti di cui si compone in Codice Ambientale riguardano gli aspetti elencati nel seguito:

Parte Prima: disposizioni comuni

Parte Seconda: Procedure per la Valutazione di Impatto Ambientale (VIA), Valutazione Ambientale Strategica (VAS), Autorizzazione Integrata Ambientale (IPPC-AIA);

Parte Terza: difesa del suolo e lotta alla desertificazione, tutela delle acque dall'inquinamento e di gestione delle risorse idriche;

Parte Quarta: gestione dei rifiuti e bonifica dei siti contaminati;

Parte Quinta: tutela dell'aria e normative sulle emissioni in atmosfera;

Parte Sesta: tutela risarcitoria contro i danni all'ambiente.

Dato l'oggetto della tesi, eseguiamo un approfondimento sulla Sezione II Parte Terza del D.Lgs. 152/2006 (e s.m.i.) riguardante la Tutela delle acque dall'inquinamento, tale sezione tratta diverse tematiche:

Titolo I - Principi generali e competenze.

Titolo II - Obiettivi di qualità.

Titolo III - Tutela dei corpi idrici e disciplina degli scarichi.

Titolo IV - Strumenti di tutela.

Titolo V - Sanzioni.

La problematica relativa alla gestione delle risorse idriche viene trattata nella Sezione III, Parte Terza del D.Lgs. 152/2006 (e s.m.i.). Tale Sezione è composta dai seguenti Titoli:

Titolo I - Principi generali e competenze.

Titolo II - Servizio idrico integrato.

Titolo III - Vigilanza, controlli e partecipazione.

Titolo IV - Usi produttivi delle risorse idriche.

Nel Titolo I Sezione II Parte Terza del decreto vengono definite le disposizioni generali da mettere in atto ed i concetti fondamentali per il miglioramento e salvaguardia della risorsa acqua. Gli obiettivi sono:

- salvaguardia e risanamento dei corpi idrici inquinati;
- miglioramento dello stato delle acque e protezione della capacità di autodepurazione dei corpi idrici, per l'utilizzo sostenibile della risorsa in modo da garantirne la longevità;
- protezione delle specie animali e vegetali e miglioramento degli ecosistemi;
- mitigazione degli effetti di inondazioni e siccità.

Inoltre la normativa indica delle procedure da mettere in atto per il perseguimento degli obiettivi precedenti, tra cui:

- definire gli obiettivi di qualità ambientale;
- mettere in atto un sistema di controlli e sanzioni;
- inserire di limiti di emissione solo indicativi, i quali possono essere modificati in base alle necessità del corpo idrico;
- diminuire l'inquinamento nelle zone vulnerabili e aree sensibili;
- cercare di attuare il più possibile la conservazione, il risparmio, il riutilizzo (rimpiego dell'acqua direttamente mediante sistema di collettamento, senza che vi siano dei trattamenti) e il riciclo (rimpiego dell'acqua tramite dei processi di trattamento) dell'acqua;
- fissare degli obiettivi per attuare una diminuzione delle sostanze pericolose negli scarichi;
- controllare periodicamente degli scarichi e delle emissioni.

Lo Stato detta del regole generali, ed i parametri ed i concetti basilari tramite il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio, mentre alla Regione spetta l'attuazione di tali direttive che possono essere quindi più o meno restrittive in base ad vari casi in esame, all'interno del loro quadro di competenze.

Nel Codice Ambientale vengono inoltre descritte le procedure necessarie per l'autorizzazione al prelievo di acqua. Per quanto riguarda l'adduzione della risorsa idrica, le fonti di prelievo di una attività produttiva possono essere di tre tipi:

- rete acquedottistica pubblica;

- prelievo di acqua sotterranea mediante pozzo;
- prelievo da un corpo idrico superficiale.

L'acqua della rete acquedottistica pubblica dovrebbe teoricamente essere destinata ad usi civili, ma spesso viene utilizzata anche per le acque di processo delle aziende mediante il pagamento di un canone. Le imprese possono approvvigionarsi di acqua mediante la rete acquedottistica pubblica oppure tramite captazione da un corpo idrico o anche tramite entrambe le fonti di prelievo. L'acqua ad uso industriale però solitamente viene prelevata da pozzo, soprattutto se l'azienda necessita di grandi portate, in genere tale acqua non viene utilizzata tal quale ma subisce dei processi di potabilizzazione. Ad esempio anche solo l'utilizzo di acqua per impianti termici necessita il trattamento di addolcimento necessario per l'abbattimento dei valori di durezza che può portare al danneggiamento delle apparecchiature.

Gli usi della risorsa idrica possono essere di vario tipo (Reg. Piemonte 10R/2003), in base alla destinazione d'uso:

- agricolo;
- civile (lavaggio strade, irrigazione aree verdi, scorte antincendio ecc.);
- domestico (uso igienico e potabile e impianti di riscaldamento/raffrescamento degli edifici);
- potabile (destinate al diretto consumo umano);
- energetico;
- lavaggio inerti;
- piscicolo;
- produzione di beni e servizi;
- riqualificazione dell'energia;
- zootecnico.

Un'attività produttiva può procedere all'approvvigionamento dell'acqua mediante pubblici servizi oppure al di fuori dei pubblici servizi. Nel primo caso bisognerà inoltrare una richiesta di allacciamento al Gestore del Servizio Idrico Integrato. L'autorità può concedere tale allacciamento imponendo all'azienda alcune clausole sull'utilizzo

dell'acqua e il rispetto del Regolamento Idrico Integrato, sottoscrizione del contratto e pagamento di erogazione a consumo.

Per quanto riguarda invece l'approvvigionamento al di fuori dei pubblici servizi, bisogna dire che le acque superficiali e sotterranee appartengono al demanio dello Stato e devono essere tutelate per preservarne l'utilizzo da parte delle generazioni future (art. 144 Parte Terza D.Lgs. 152/2006). Quindi l'autorità competente può rilasciare all'azienda una Concessione di derivazione dell'acqua da corpi idrici superficiali o da acque sotterranee. Le concessioni sono gestite tramite delle normative di ambito Statale e Regionale, ed in particolare alcune prescrizioni specifiche sono presenti nel Disciplinare di Concessione. Quest'ultimo è un atto che comprende i requisiti specifici delle aziende, in particolare può presentarsi il caso in cui più soggetti effettuino la richiesta di concessione della medesima risorsa, in tal caso la pubblica amministrazione ha il dovere di rilasciare la concessione dando priorità al miglior uso razionale della risorsa. In particolare hanno la precedenza le aziende il cui utilizzo dell'acqua è destinato al consumo umano (ovvero acque ad uso potabile e imprese per la fabbricazione trattamento, conservazione e immissione sul mercato di prodotti alimentari) e successivamente l'utilizzo di acqua con scopo agricolo. La Concessione è rilasciata per un periodo variabile non superiore ai 30 anni (15 anni per le acque industriali) ad eccezione di acque con scopo irriguo (40 anni). Essa prevede il pagamento di un canone annuo (che viene discusso anno per anno) e stabilisce la quantità e la qualità d'acqua prelevabile mediante le seguenti condizioni:

- non peggioramento degli obiettivi di qualità del corpo idrico;
- rispetto del deflusso minimo vitale;
- risparmi e riciccoli della risorsa idrica.

A tale scopo è necessario il monitoraggio delle portate prelevate. Inoltre, una volta cessata l'attività di prelievo dell'acqua è obbligatoria la rimozione delle opere di derivazione e il ripristino dei luoghi.

Per quanto riguarda l'emungimento da falde in pressione, è importante dire che generalmente queste sono utilizzate per prelevare acqua non industriale, ma per il

consumo umano, data la migliore qualità della risorsa rispetto ad i corpi idrici superficiali maggiormente soggetti a inquinamento. Affinché un'azienda prelevi da una falda acquifera sono necessari alcuni requisiti:

- bisogna dimostrare che non vi sia possibilità di riutilizzo di acque reflue oppure di acqua piovana, oppure che comunque tale riutilizzo non sia economicamente sostenibile;
- rispetto del bilancio idrico della risorsa;
- vi sia adeguata disponibilità della risorsa;
- mancanza di fonti alternative per l'aspetto qualitativo e quello quantitativo.

Per il rilascio della concessione per l'emungimento di acque sotterranee, è necessario effettuare una domanda di Concessione con, in allegato, una Domanda di autorizzazione alla ricerca dell'acqua e la Domanda di autorizzazione alla trivellazione dei pozzi da presentare al Sindaco. La Concessione contiene il progetto dell'opera di captazione, uno studio idrogeologico del sito ed una relazione sulla mancanza di risorse idriche alternative.

Il Parere viene rilasciato dall'Autorità di Bacino entro 40 giorni e raccoglie pareri anche da parte di altri enti locali interessati (ARPA, ASL, Comuni ecc.). Il Parere rilasciato può presentare delle istruttorie, inoltre tutti i punti di prelievo devono presentare dei sistemi di misura delle portate. È necessario il monitoraggio delle portate almeno su base mensile da rilasciare annualmente alle autorità. Infine 30 giorni prima della fine delle operazioni di ricerca dell'acqua, l'azienda deve inoltrare all'autorità competente una relazione finale con il progetto esecutivo delle opere di captazione ed utilizzo. L'autorità potrà quindi procedere al rilascio o diniego dell'autorizzazione.

Nel rilascio delle concessioni l'autorità provvederà a valutare l'incidenza dei prelievi sugli obiettivi di qualità della risorsa. A tal scopo si valuta il *Piano di Tutela delle Acque* (di cui al Capo I Titolo II Sezione II della Parte Terza del D.Lgs152/2006) visionabile per ciò che concerne i bacini idrografici all'interno dell'ambito della Regione Piemonte sul sito: <http://www.regione.piemonte.it/ambiente/acqua/pianoTAcque.htm>. Il Piano in esame rappresenta il punto di partenza per la verifica della qualità della risorsa idrica. I Piani di

Tutela delle Regioni sono delle vere e proprie banche dati dove si possono recepire le informazioni sullo stato dei bacini idrografici sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo. Nei Piani di tutela sono individuate tutte le criticità che incidono sulla risorsa (prelievi e scarichi) e sono stati definiti di conseguenza degli obiettivi da raggiungere. Per ogni sezione del corpo idrico sono stati definiti tali obiettivi. Tale approccio deriva dal Codice Ambientale che prevede, per ogni singolo bacino idrografico, l'effettuazione dei seguenti passaggi:

- esame dello stato attuale dei bacini;
- valutazione dei fattori di pressione;
- obiettivi di riferimento.

Il D.M. 260/2010 ha introdotto una serie di parametri da tenere sotto controllo per verificare la qualità della risorsa. Si distinguono due categorie di parametri per la valutazione dello stato ecologico e dello stato chimico della risorsa e mediante tali parametri si esprime un giudizio di qualità del bacino idrografico.

Un altro strumento da considerare ai fini delle richieste di Concessione è un Rapporto annualmente redatto su scala Regionale riguardante lo stato di qualità dell'ambiente, effettuato per ciascuna matrice ambientale (aria, acqua ecc).

Per quanto riguarda i corpi idrici superficiali, la concessione è sempre rilasciata fatti salvi diritti di terzi e nei limiti di disponibilità della risorsa, tenendo sempre conto degli obiettivi presenti nel Piano. Spesso il prelievo da un corpo idrico superficiale richiede l'inserimento di sbarramenti. Tali sbarramenti possono generare una serie di impatti ambientali sulla qualità e quantità della risorsa idrica e sugli ecosistemi fluviali presenti. I possibili impatti sono ad esempio:

- aumento dei tiranti idrici a monte dello sbarramento conseguente riduzione di velocità del flusso e conseguente riduzione della portata nel tratto di valle con diminuzione dei tiranti idrici;
- peggioramento di natura fisico-chimica e termica della risorsa, in particolare a valle dello sbarramento la riduzione del tirante idrico genera un aumento di

temperatura dell'acqua e quindi lo sviluppo di processi chimici che ne alterano la qualità;

- diminuzione del trasporto solito e generazione di punti di sedimentazione concentrati;
- alterazione degli ecosistemi, impedendo il passaggio della fauna (sarà necessario l'inserimento di corridoi ecologici per il passaggio dei pesci).

Per la valutazione dello stato di un corpo idrico superficiale è di fondamentale importanza il rispetto del Deflusso Minimo Vitale (DMV). La Regione Piemonte mediante il D.P.R.G. n. 8/R/2007, che definisce il DMV come “[...] *la portata minima istantanea che deve essere presente in alveo immediatamente a valle dei prelievi, al fine di mantenere vitali le condizioni di funzionalità e di qualità degli ecosistemi interessati [...]*”. Il DMV viene calcolato mediante la formula riportata di seguito.

$$DMV = k q_{MEDIA} S M Z A T$$

In cui:

- k è un fattore che va da 0,07 a 0,15;
- q_{MEDIA} è la portata media annua naturale;
- S è la superficie del bacino
- M è il fattore morfologico che va da 0,9 a 1,3;
- Z è il valore Massimo tra I fattori N (parametro naturalistico), F (parametro di fruizione) e Q (parametro di qualità dell'acqua);
- A è il fattore di interscambio con la falda che va da 0,7 a 1,5;
- T è definito come la modulazione temporale basato sugli obiettivi di tutela da raggiungere anno per anno.

Come si evince la disciplina inerente i prelievi è molto dettagliata e presenta numerose restrizioni sia a livello Regionale che Nazionale, quindi un'attività industriale nel chiedere la Concessione o nell'effettuazione della richiesta di allacciamento dovrà tener conto di tali obblighi e normative.

Con particolare riferimento alle aziende del settore alimentare, la concessione per la captazione dell'acqua ad uso idropotabile viene rilasciata a seguito di un giudizio di qualità e di idoneità dell'acqua captata per il consumo umano. Il giudizio positivo si basa sulle analisi chimiche, fisiche e microbiologiche eseguite durante i campionamenti. Inoltre tiene conto anche dell'attendibilità delle relazioni effettuate con la richiesta di concessione. In particolare sono di fondamentale importanza:

- la relazione idrogeologica con le planimetrie del territorio, i punti di captazione, la stratigrafia del terreno, dati relativi alla falda e alle caratteristiche del pozzo con indicata la portata di emungimento;
- la relazione impiantistico-strutturale, che descrive nel dettaglio le opere di captazione le caratteristiche della rete idrica interna, impianti di sollevamento, distribuzione, accumulo e di potabilizzazione e la descrizione e conformità al D.M. 174/04 dei materiali di impianti e attrezzature.

Inoltre devono essere riportate le procedure di autocontrollo anche relative alla qualità dell'acqua destinata in particolare al consumo umano.

2.2 Acque ad uso potabile

Le aziende del settore alimentare utilizzano l'acqua nei processi di produzione, per manipolazione e trasformazione degli alimenti o come ingrediente del prodotto stesso. Ma tali imprese possono utilizzare acqua ad uso potabile anche solo per le operazioni di lavaggio degli alimenti o dei contenitori degli alimenti stessi, o anche per la pulizia di locali ed impianti o anche per la produzione di vapore o ghiaccio.

L'acqua utilizzata in tali impianti deve avere come prerequisiti la disponibilità e la potabilità. L'azienda deve controllare che l'acqua adoperata non immetta contaminanti

di natura microbiologica, chimica e fisica nel ciclo produttivo e deve effettuare una analisi dei rischi che possono sopraggiungere e conseguente gestione degli stessi.

Con lo scopo di valutare le operazioni di trattamento dell'acqua da effettuarsi, un'attività produttiva deve esaminare tutto ciò che riguarda l'utilizzo dell'acqua all'interno del proprio processo produttivo in modo da individuare quali caratteristiche chimiche e fisiche l'acqua deve avere per il corretto impiego della stessa nei processi di produzione.

Nel caso in esame si tratta di una azienda vinicola che utilizza l'acqua emunta per impianti di raffrescamento/riscaldamento, macchinari utilizzati nel processo di produzione come ad esempio le centrifughe ed i vari tipi filtri, lavaggio delle bottiglie ed infine per la produzione di alcuni tipi di vino.

L'acqua destinata al consumo umano viene disciplinata dal D.Lgs. 31/2001, che recepisce la Direttiva 98/83/CE e che si applica a tutte le acque destinate all'uso potabile, sia in ambito domestico che nelle imprese alimentari, a prescindere dalla loro origine e dal tipo di fornitura. Il decreto è stato poi modificato in alcune sue parti mediante il recepimento del D.Lgs. 2 febbraio 2002, n. 27 (modificato mediante il Decreto del 14 giugno 2017). Le imprese alimentari devono attuare le disposizioni descritte nella norma e rispettare i parametri relativi all'Allegato I, nel punto in cui le acque sono messe a disposizione del consumatore. Generalmente è l'Organizzazione Mondiale della Sanità a stabilire i parametri e i loro valori limite, spesso basandosi sugli orientamenti stabiliti dal parere del comitato scientifico della Commissione Europea, mentre il Consiglio Superiore di Sanità impone i valori più restrittivi o anche i parametri supplementari.

Il Decreto in questione è composto da 20 articoli e riguarda le acque destinate al consumo umano. La finalità della normativa è descritta dall'art.1 e mira a salvaguardare la qualità dell'acqua per la protezione della salute umana.

L'acqua destinata al consumo umano è definita come quell'acqua così prodotta (art.2):

1. acque destinate ad uso potabile e per usi domestici indipendentemente dalla loro provenienza;

2. acque utilizzate nelle imprese alimentari, nelle fasi di fabbricazione, trattamento, conservazione e immissione sul mercato di prodotti o sostanze destinate al consumo umano.

Per quanto riguarda le aziende del settore alimentare la normativa specifica i parametri da monitorare, nonché i limiti di emissione e la modalità di misurazione dei livelli di tali parametri. In ogni caso l'acqua non deve contenere microrganismi e parassiti e deve rispettare i requisiti minimi relativi all'Allegato I parti A e B (art.4 comma 2). I valori di parametro fissati nell'allegato devono essere rispettati, per le acque utilizzate nelle imprese alimentari, nel punto di ingresso nell'impianto di produzione dell'impresa. Inoltre la normativa stabilisce che i controlli devono essere nei seguenti punti d'interesse (art.6):

- punti di prelievo delle acque superficiali e sotterranee;
- negli impianti di adduzione, accumulo e potabilizzazione;
- reti di distribuzione;
- sulle acque utilizzate nelle imprese alimentari.

Inoltre le specifiche di controllo per le analisi sono descritte nell'Allegato III. I punti di prelievo e la frequenza dei controlli interni (ovvero da parte del gestore del servizio idrico integrato) nella specifica fattispecie possono essere concordati con l'unità sanitaria locale e le analisi vengono effettuate da laboratori convenzionati. I risultati di tali controlli devono essere conservati per almeno 5 anni. Per quanto riguarda invece i controlli esterni, ovvero quelli effettuati dall'azienda unità sanitaria, questi vengono svolti con lo scopo di (art.8):

- attuazione delle prescrizioni presenti nel Decreto;
- rispetto delle normative Regionali riguardanti gli impianti, i punti di controllo e la frequenza dei campionamenti;
- verifica che i controlli effettuati siano rappresentativi della qualità dell'acqua.

La normativa stabilisce inoltre le deroghe, i casi eccezionali e le sanzioni. Per gli impianti di produzione alimentare, la violazione dei requisiti presenti nel decreto, può essere punita con sanzioni amministrative pecuniarie che variano in base agli articoli del decreto in questione non rispettati.

In Allegato I – Parametri e valori di parametri, vi sono appunto i parametri da tenere sotto controllo. Nella Parte A dell'Allegato sono presenti le tabelle relative ad i parametri microbiologici, mentre nella Parte B vi sono i parametri chimici. La Parte C riguarda i Parametri indicatori, e i valori riportati Indipendentemente dalla sensibilità del metodo analitico utilizzato, devono essere espressi indicando lo stesso numero di decimali riportato in tabella per il valore di parametro. Per la durezza i valori consigliati: 15-50° F, per il Residuo secco a 180°C il valore massimo consigliato è di 1500 mg/L, infine per il disinfettante residuo, il valore consigliato 0,2 mg/L. Nella Parte C inoltre vi sono delle tabelle relative ad i parametri indicatori di radioattività.

Nell'Allegato II sono riportati i parametri relativi alle fasi di controllo. Per quanto concerne i controlli di routine questi devono essere effettuati ad intervalli regolari ed hanno lo scopo di fornire informazioni sulla qualità organolettica e microbiologica delle acque, e per valutare l'efficacia degli eventuali trattamenti dell'acqua (in particolare della disinfezione), per accertare se le acque siano conformi ad i valori di parametro del decreto in questione.

Nello stesso allegato sono descritti i parametri ed i rispettivi valori limite in ambito dell'effettuazione di controlli di verifica. Il controllo di verifica ha lo scopo di accertare se tutti i valori di parametro contenuti nel decreto sono rispettati. Tutti i parametri fissati sono soggetti a controllo di verifica. In Allegato III del decreto sono descritti i parametri da tenere sotto controllo e la modalità di svolgimento delle analisi. Nell'allegato vengono specificati i parametri sui cui bisogna avere delle specifiche caratteristiche di prestazione, inoltre per questi vi sono specifici metodi di analisi che consentono di misurare concentrazioni uguali al valore limite (quindi con un errore sul valore molto piccolo). Inoltre il limite di rivelabilità, l'esattezza e la precisione del valore misurato devono essere specificati.

Gli allegati II e III del Decreto Legislativo del 2 febbraio 2001 n. 31, hanno subito modifiche sostanziali con il Decreto del 14 giugno 2017. Gli allegati sono stati sostituiti per recepimento della direttiva (UE) 2015/1787 che modifica gli allegati II e III della direttiva 98/83/CE sulla qualità delle acque destinate al consumo umano. Gli allegati I e II del Decreto del 14 giugno 2017 hanno quindi sostituito totalmente gli allegati II e III del D.Lgs 31/2001 per il progresso delle competenze tecnico-scientifiche.

L'allegato I del Decreto del 14 giugno 2017 (in sostituzione dell'allegato II del D.Lgs 31/2001) è suddiviso in quattro parti.

- ❖ Parte A – Controllo: l'articolo 1 stabilisce che bisogna effettuare i controlli sull'acqua in su tutta la filiera idro-potabile, ovvero “ [...] *in tutte le fasi e le operazioni coinvolte nella captazione, adduzione, produzione, trattamento, distribuzione, stoccaggio e gestione delle acque destinate al consumo umano* [...]”. L'articolo 2 invece parla di Programmi di Controllo che devono essere stabiliti dall'autorità in conformità con la Parte B e devono essere riesaminati ed aggiornati ogni 5 anni. Tali Programmi di Controllo possono essere svolti in discreto, tramite prelievo e analisi di campioni delle acque, o mediante misurazioni in continuo. Inoltre per tutte le fasi dell'acqua precedentemente descritte devono essere effettuati dei programmi di monitoraggio (che riguardano anche il controllo delle attrezzature).

- ❖ Parte B - Parametri e frequenze: in questa parte vengono riportati i parametri obbligatori da tenere sotto controllo e la frequenza dei controlli. In parametri in questione sono (gruppo A):
 - escherichia coli (E. coli), batteri coliformi, conta delle colonie a 22°C;
 - colore;
 - torbidità;
 - sapore;
 - odore;
 - pH;

- conduttività;
- altri parametri ritenuti pertinenti per il programma di controllo, alcuni in seguito all'effettuazione dell'Analisi di Rischio descritti nella Parte C.

In circostanze specifiche, ai parametri del gruppo A vanno aggiunti quelli di ammonio e nitrito, oppure di alluminio e ferro. La frequenza minima delle analisi è riportata nella tabella seguente.

Volume di acqua distribuito o prodotto ogni giorno in una zona di approvvigionamento (cfr: note 1 e 2) m ³		Parametri - gruppo A numero di campioni all'anno (cfr: nota 3)	Parametri - gruppo B numero di campioni all'anno
	≤ 100	>0 (cfr: nota 4)	>0 (cfr: nota 4)
>100	≤ 1.000	4	1
>1.000	≤ 10.000	4 + 3 per ogni 1000 m ³ /g e relativa frazione del volume totale	1 + 1 per ogni 4.500 m ³ /g e relativa frazione del volume totale
>10.000	≤ 100.000		3 + 1 per ogni 10.000 m ³ /g e relativa frazione del volume totale
>100.000			12+1 per ogni 25.000 m ³ /g e relativa frazione del volume totale

Tab. 2.2.5 – TABELLA 1 'Frequenza minima di campionamento e analisi per il controllo di conformità' Allegato I Decreto 14 giugno 2017

Nota 1	Una zona di approvvigionamento idrico è una zona geograficamente definita all'interno della quale le acque destinate al consumo umano provengono da una o varie fonti e la loro qualità può essere considerata sostanzialmente uniforme.
Nota 2	I volumi calcolati rappresentano una media su un anno civile. Per determinare la frequenza minima è possibile basarsi sul numero di abitanti in una zona di approvvigionamento invece che sul volume d'acqua, supponendo un consumo di 200 l/giorno pro capite.
Nota 3	La frequenza indicata è così calcolata: ad esempio $4.300 \text{ m}^3/\text{g} = 16$ campioni (quattro per i primi $1.000 \text{ m}^3/\text{g} + 12$ per gli ulteriori $3.300 \text{ m}^3/\text{g}$).
Nota 4	La frequenza deve essere stabilita dall'azienda sanitaria locale.

Tab. 2.2.6 – Note relative alla TABELLA 1 Allegato I del Decreto 14 giugno 2017

- ❖ Parte C - Valutazione del rischio: questa parte stabilisce le modalità con cui effettuare le analisi di rischio ed i riferimenti normativi, inoltre devono essere effettuate anche dal gestore del servizio idrico integrato e devono essere sottoposte a valutazione da parte dell'Istituto superiore di sanità al fine dell'approvazione da parte del Ministero della salute.
- ❖ Parte D - Metodi di campionamento e punti campionamento: tale parte stabilisce alcuni obblighi per l'effettuazione del campionamento, inoltre per verificare l'osservanza dei parametri microbiologici bisogna tener conto della norma EN ISO 19458, mentre il campionamento presso la rete di distribuzione deve essere conforme alla norma ISO 5667-5.

L'allegato II del Decreto del 14 giugno 2017 (in sostituzione dell'allegato III del D.Lgs 31/2001) è suddiviso in due parti e riguarda le 'Specifiche per l'analisi dei parametri', inoltre i laboratori per l'effettuazione di tali analisi devono essere accreditati e devono applicare le pratiche conformi a quanto previsto dalla norma UNI EN ISO/IEC 17025.

- ❖ Parte A – Parametri microbiologici per i quali sono specificati metodi di analisi: i parametri microbiologici da analizzare sono riportati di seguito ed inoltre per ciascun parametro è specificata la procedura UNI EN ISO di riferimento:
 - escherichia coli (E. coli) e batteri coliformi;
 - enterococchi;
 - pseudomonas aeruginosa;
 - enumerazione dei microrganismi coltivabili (conta delle colonie a 22°C);
 - enumerazione dei microrganismi coltivabili (conteggio delle colonie a 36°C);
 - clostridium perfringens spore comprese.

- ❖ Parte B - Parametri chimici e indicatori per i quali sono specificate le caratteristiche di prestazione: in questa parte vi sono delle tabelle relative ad i parametri basilari ed all'incertezza tollerabile della misura. La TABELLA 1 riguarda l'incertezza delle misure, mentre la TABELLA 2 riguarda la minima esattezza, precisione e limite di rilevazione dei parametri, che possono essere utilizzate fino al 31 dicembre 2019. Le tabelle sono riportate di seguito.

Parametri	Incertezza di misura (cfr: nota 1) % del valore parametrico (ad eccezione che per il pH)	Note
Alluminio	25	
Ammonio	40	
Antimonio	40	
Arsenico	30	
Benzo(a)pirene	50	Cfr: nota 5
Benzene	40	
Boro	25	
Bromato	40	
Cadmio	25	
Cloruro	15	
Cromo	30	
Conduttività	20	
Rame	25	
Cianuro	30	Cfr: nota 6
1,2-dicloroetano	40	
Fluoruro	20	
Concentrazione in ioni idrogeno (espresso in unità pH)	0,2	Cfr: nota 7
Ferro	30	
Piombo	25	
Manganese	30	
Mercurio	30	
Nichel	25	
Nitrato	15	
Nitrito	20	
Ossidabilità	50	Cfr: nota 8
Pesticidi	30	Cfr: nota 9

Idrocarburi policiclici aromatici	50	Cfr: nota 10
Selenio	40	
Sodio	15	
Solfato	15	
Tetracloroetilene	30	Cfr: nota 11
Tricloroetilene	40	Cfr: nota 11
Triometani totale	40	Cfr: nota 10
Carbonio organico totale (TOC)	30	Cfr: nota 12
Torbidità	30	Cfr: nota 13
Acrilammide, epocloridrina e cloruro di vinile da controllare secondo le specifiche del prodotto.		

Tab. 2.2.7 – TABELLA 1 'Caratteristica di prestazione minima «Incertezza di misura»' Allegato II del Decreto 14 giugno 2017

Parametri	Esattezza (cfr: nota 2) % del valore parametrico (ad eccezione che per il pH)	Precisione (cfr: nota 3) % del valore parametrico (ad eccezione che per il pH)	Limite di rilevazione (cfr: nota 4) % del valore parametrico (ad eccezione che per il pH)	Note
Alluminio	10	10	10	
Ammonio	10	10	10	
Antimonio	25	25	25	
Arsenico	10	10	10	
Benzo(a)pirene	25	25	25	
Benzene	25	25	25	
Boro	10	10	10	
Bromato	25	25	25	
Cadmio	10	10	10	
Cloruro	10	10	10	
Cromo	10	10	10	
Conducibilità	10	10	10	
Rame	10	10	10	
Cianuro	10	10	10	Cfr: nota 6
1,2-dicloroetano	25	25	10	
Fluoruro	10	10	10	
Concentrazione in ioni idrogeno (espresso in unità pH)	0,2	0,2		Cfr: nota 7
Ferro	10	10	10	
Piombo	10	10	10	
Manganese	10	10	10	
Mercurio	20	10	20	
Nichel	10	10	10	
Nitrato	10	10	10	
Nitrito	10	10	10	
Ossidabilità	25	25	10	Cfr: nota 8
Pesticidi	25	25	25	Cfr: nota 9
Idrocarburi policiclici aromatici	25	25	25	Cfr: nota 10
Selenio	10	10	10	
Sodio	10	10	10	
Solfato	10	10	10	
Tetracloroetilene	25	25	10	Cfr: nota 11
Tricloroetilene	25	25	10	Cfr: nota 11
Triometani totale	25	25	10	Cfr: nota 10
Torbidità	25	25	25	

Acrilammide, epichelidrina e cloruro di vinile da controllare secondo le specifiche del prodotto.

Tab. 2.2.8 – TABELLA 2 ‘Le caratteristiche di prestazione minima «esattezza», «precisione» e «limite di rilevazione» che possono essere utilizzate fino al 31 dicembre 2019’ Allegato II del Decreto 14 giugno 2017

Nota 1	L'incertezza della misura è un parametro non negativo che caratterizza la dispersione dei valori quantitativi attribuiti a un misurando sulla base delle informazioni utilizzate. Il criterio di prestazione per l'incertezza di misura ($k = 2$) è la percentuale del valore parametrico indicato nella tabella, o una percentuale superiore. L'incertezza della misura è stimata a livello dei valori parametrici, salvo diversa indicazione.
Nota 2	L'esattezza è la misura di un errore sistematico, cioè la differenza fra il valore medio di numerose misurazioni ripetute e il loro valore vero. La norma ISO 5725 riporta ulteriori specifiche.
Nota 3	La precisione è la misura di un errore casuale ed è generalmente espressa come la deviazione standard (nell'ambito di un singolo lotto di campioni e fra lotti) dell'intervallo di variabilità dei risultati rispetto alla media. La precisione accettabile è pari al doppio della deviazione standard relativa. Questo termine è definito in maniera più completa nella norma ISO 5725.
Nota 4	Il limite di rilevazione è pari a: tre volte la deviazione standard all'interno di un lotto di un campione naturale contenente una concentrazione poco elevata del parametro; oppure cinque volte la deviazione standard del campione bianco (all'interno di un lotto).
Nota 5	In caso sia impossibile soddisfare il valore dell'incertezza di misura, occorre scegliere la miglior tecnica disponibile (fino al 60%).
Nota 6	Il metodo determina il tenore complessivo di cianuro in tutte le sue forme.
Nota 7	I valori di esattezza, precisione e incertezza di misura sono espressi in unità pH.
Nota 8	Metodo di riferimento: EN ISO 8467.
Nota 9	Le caratteristiche di prestazione dei singoli pesticidi vengono fornite a titolo indicativo. Per diversi pesticidi è possibile ottenere valori di incertezza di misura di appena il 30%, mentre per molti è possibile autorizzare valori più alti, fino all'80%.
Nota 10	Le caratteristiche di prestazione si riferiscono alle singole sostanze al 25% del valore parametrico che figura nella parte B dell'allegato I.
Nota 11	Le caratteristiche di prestazione si riferiscono alle singole sostanze al 50% del valore parametrico che figura nella parte B dell'allegato I.
Nota 12	L'incertezza di misura va stimata a livello di 3 mg/l del carbonio organico totale (TOC). Utilizzare le linee guida CEN 1484 per la determinazione del TOC e del carbonio organico disciolto (DOC).
Nota 13	L'incertezza di misura va stimata a livello di 1,0 NTU (unità nefelometriche di torbidità) conformemente alla norma EN ISO 7027.

Tab. 2.2.9 – Note della TABELLA 1 e della TABELLA 2 Allegato II del Decreto 14 giugno 2017

Altri decreti importanti per quanto riguarda il consumo umano dell'acqua sono:

- Il Decreto ministeriale del 26 marzo 1991 riguardante la qualità delle acque destinate al consumo umano;
- R.D. 1775/1933, la disciplina delle derivazione di acqua e dei pozzi, in parte sostituita dal Codice Ambientale;
- il Decreto ministeriale 174 del 6 aprile 2004 ovvero il 'Regolamento concernente i materiali e gli oggetti che possono essere utilizzati negli impianti fissi di captazione, trattamento, adduzione e distribuzione delle acque destinate al consumo umano' (precedentemente citata);
- il Decreto legislativo 15 febbraio 2016, n. 28 che riguarda le sostanze radiattive che possono trovarsi nell'acqua destinata ad consumo umano.

Per la misurazione delle concentrazioni delle varie sostanze e composti, nonché per tutto ciò che concerne la materia acque destinate al consumo umano, un importante strumento è il manuale 'Metodi Analitici per le Acque'. Il manuale è stato pubblicato nella serie editoriale 'Manuali e Linee Guida' dell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (APAT). Il manuale è composto da tre volumi, suddivisi in sezioni. I metodi analitici riportati nel manuale sono stati elaborati da una Commissione istituita nel 1996 dall'Istituto di Ricerca sulle Acque del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IRSA-CNR).

Il Volume 1, dopo una parte generale, tratta dei parametri fisici, chimici e chimico-fisici basilari:

- acidità e alcalinità;
- colore;
- conducibilità;
- durezza;
- odore ;
- pH ;
- salinità;

- sapore;
- solidi (totali disciolti; totali sospesi; sedimentabili; fissi e volatili a 600°C);
- temperatura;
- torbidità;
- trasparenza.

Inoltre sono trattati i metalli e le specie metalliche.

Il Volume 2 tratta dei costituenti inorganici non metallici, alcuni dei quali sono:

- anidride carbonica;
- anioni;
- azoto e azoto totale;
- fosforo totale;
- cloro attivo libero;
- cloruro;
- fluoruro;
- fosforo;
- ossigeno disciolto;
- silice;
- solfato, solfito e solfuro.

Inoltre tratta dei costituenti organici alcuni dei quali sono:

- aldeidi, ammine alifatiche;
- azoto organico;
- carbonio organico disciolto;
- antiparassitari;
- pesticidi;
- fenoli;
- idrocarburi policiclici aromatici;
- pesticidi clorurati e fosforati;

- policlorobifenili e policloroterfenili;
- richiesta biochimica di ossigeno (BOOD5);
- richiesta chimica di ossigeno (COD);
- solventi organici aromatici e solventi clorurati;
- grassi e oli animali e vegetali e idrocarburi totali;
- tensioattivi anionici (MBAS) e tensioattivi non ionici (BIAS).

Il Volume 3 invece riguarda i metodi microbiologici. In particolare i metodi per la determinazione di microorganismi indicatori di inquinamento e di patogeni, come ad esempio:

- coliformi totali e fecali;
- escherichia coli;
- streptococchi fecali ed enterococchi;
- conteggio delle colonie su agar a 36°C e 22°C;
- spore di clostridi solfito riduttori;
- aeromonas spp;
- salmonella spp;
- vibrio spp;
- uova di elminti;
- batteriofagi;
- enterovirus;
- oocisti di *Cryptosporidium*;
- cisti di *Giardia*.

Inoltre sono descritti i metodi ecotossicologici e gli indicatori biologici.

Il gruppo di lavoro che ha collaborato ad effettuare tale manuale, coordinato dall'APAT, è formato da:

- Servizio di Metrologia Ambientale dell'APAT;
- Istituto di Ricerca sulle Acque del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IRSACNR);

- Agenzie Regionali per la Protezione dell’Ambiente (ARPA) e dalle Agenzie Provinciali per la Protezione dell’Ambiente (APPA);
- con il contributo del Centro Tematico Nazionale “Acque interne e marino costiere” (CTN/AIM);
- revisionato infine dalla Commissione istituita dall’IRSA-CNR.

Il manuale ‘Metodi Analitici per le Acque’ è il testo di riferimento per l’effettuazione delle analisi, ma si possono utilizzare anche altri metodi specificati ad esempio quelle promosse dall’Ente nazionale italiano di unificazione (UNI EN ISO), o anche dall’Environmental Protection Agency (EPA), previa approvazione dell’ente di controllo.

3. CASO DI STUDIO: AZIENDA VITIVINICOLA - PROCESSO PRODUTTIVO E UTILIZZO DELL'ACQUA

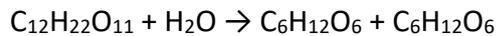
3.1 Processo di vinificazione e storia dell'azienda

L'Italia presenta una grande tradizione vinicola con più di 300 tipi di uve diverse. Inoltre a differenza di altri paesi in cui i vigneti sono disposti in un'unica grande area, in Italia ciascuna regione presenta una propria tradizione di vini locali ed uve tipiche, che non si trovano nelle altre regioni. Uno dei maggiori centri di produzione è proprio il Piemonte, specialmente un'area territoriale che include le province di Asti e Cuneo. In questo luogo si producono grandi vini rossi e bianchi, dei frizzanti e gli spumanti. Al Piemonte si deve la produzione di alcuni vini tra i più grandi d'Italia come il Barolo, Barbaresco, Gavi, Gattinara, Ghemme e i noti spumanti come il Moscato d'Asti.

Il vino viene prodotto dalle viti mediante molteplici procedimenti che partono dalla raccolta ed arrivano all'imbottigliamento finale. La vinificazione è quel procedimento mediante il quale dal grappolo d'uva si produce del vino mediante molteplici fasi che ne caratterizzano la tipologia, il colore ed il sapore. Il processo di vinificazione prevede l'azione di alcuni lieviti (funghi unicellulari) presenti sulla buccia degli acini che sono responsabili del processo di fermentazione alcolica che porta alla formazione del vino dal mosto. Tali lieviti mettono in atto un processo metabolico anaerobico

metabolizzando il glucosio e trasformandolo così in etanolo, il processo si sviluppa tramite la produzione di anidride carbonica e di energia. Questa tipologia di fermentazione si svolge in due fasi principali descritte di seguito.

1. Scissione degli zuccheri complessi: i disaccaridi (come il saccarosio: $C_{12}H_{22}O_{11}$) vengono scissi mediante l'enzima invertasi, formando glucosio e fruttosio (isomeri di $C_6H_{12}O_6$). La prima fase può essere descritta con la seguente reazione chimica.



2. Fermentazione vera e propria: si ha la glicolisi ovvero, l'organismo del lievito all'interno del suo citoplasma attua la fermentazione partendo da zuccheri semplici come glucosio e fruttosio portando alla formazione di due molecole di piruvato. Quindi vengono attuati ulteriori processi che portano alla formazione di acetaldeide e successivamente etanolo (C_2H_5OH). Il tutto può essere schematizzato con la seguente formula (scritta dal chimico Joseph Louis Gay-Lussac).



La fermentazione alcolica è un processo che si genera spontaneamente dopo la spremitura dell'uva ma generalmente per garantire che il processo avvenga in maniera ottimale vengono aggiunti al mosto lieviti selezionati in base al tipo di uva ed al tipo di vino che si vuole ottenere.

Andando con ordine, i grappoli d'uva vengono raccolti ed i grappi vengono separati dagli acini, successivamente mediante alcuni processi di disgregazione meccanica come ad esempio macinatura, pigiatura, pressatura, spremitura e lacerazione, viene prodotto il mosto (un liquido denso e torbido). Il mosto può essere composto da solo succo oppure

da polpa (80-85%), buccia (10-15%) e vinaccioli (5%) insieme, in base al tipo di vinificazione che si intende effettuare. Successivamente mediante i lieviti autoctoni e con l'aggiunta di lieviti selezionati, il mosto subisce la fermentazione alcolica precedentemente descritta. In base al tipo di vino che si vuole produrre vi sono varie tecniche di vinificazione di seguito descritte (<https://it.wikipedia.org/wiki/Vinificazione>; <http://www.chimica-online.it/biologia/fermentazione-alcolica.htm>; <https://sites.google.com/site/laborraceria/tabella-enoteca-italiana>).

- ❖ Vinificazione in rosso: il mosto viene fatto macerare assieme alle vinacce (ossia la restante parte dell'acino eliminata la polpa) a temperatura compresa tra 26-30°C. Durante questa fase mosto e vinacce fermentano assieme generando il passaggio dei pigmenti colorati e delle sostanze tanniche dalla buccia al mosto (questo processo può essere forzato dall'immissione di anidride solforosa). In questo modo durante la macerazione passano nel mosto i polifenoli, componenti delle sostanze tanniche contenuti nella buccia e nei semi. La vinificazione in rosso prevede la macerazione, ovvero il processo di rimescolamento delle bucce con la polpa in modo tale da consentire una maggiore estrazione dei flavonoidi e di altre sostanze che devono appunto passare dalle bucce al succo. La macerazione e la fermentazione avvengono contemporaneamente e la durata di questi due processi viene scelta in base alla tipologia di vino da produrre. Ad esempio la macerazione di 24 ore massimo crea vini rosé, mentre la macerazione di 3/5 giorni produce vini giovani. Una macerazione lunga da 7 a 21 giorni (e fino a 40 giorni per il processo di vinificazione) viene effettuata per ottenere vini di lungo invecchiamento. Successivamente avviene la fase di svinatura ovvero la separazione fisica del liquido dalle parti solide, le quali subiscono poi un processo di torchiatura per estrarre tutto il liquido possibile.

- ❖ Vinificazione in bianco: a differenza della vinificazione in rosso, non avviene la fase di macerazione, ma le bucce vengono allontanate dal mosto. Tale operazione può essere effettuata mediante pressatura diretta delle uve, oppure mediante le fasi di pigiatura (rottura degli acini) e diraspatura (separazione dai

graspi) con successiva sgrondatura del pigiato e pressatura delle parti solide per ricavare tutto il liquido possibile. Il mosto limpido viene fatto fermentare dopo circa 24-48 ore. La temperatura di fermentazione è di 18-20°C, al mosto viene subito aggiunta l'anidride solforosa per evitare lo sviluppo di fenomeni di ossidazione. Nella vinificazione in bianco non deve esserci il contatto con l'aria. Questo tipo di vinificazione viene effettuata su uve bianche o nere, per creare vini bianchi o anche delle basi per gli spumanti.

- ❖ Macerazione carbonica: i grappoli d'uva privi di imperfezioni vengono inseriti in botti (solitamente in acciaio) dotate di una grata a distanza di circa 15-20 cm dal fondo. I grappoli d'uva posti più in basso cadranno al fondo e questa piccola parte di mosto inizierà a fermentare producendo anidride carbonica nella vasca già saturata di CO₂. La temperatura deve essere mantenuta a 28-30°C in modo tale da dar vita a processi che generano il 2% di alcool. Dopo la fermentazione si procede a rimuovere la parte solida.
- ❖ Termovinificazione: si effettua un trattamento a caldo in cui parte delle vinacce viene surriscaldata a 90°C (viene aggiunta anidride solforosa) e successivamente viene aggiunta altra vinaccia in questo modo la temperatura si abbassa a 60°C. Successivamente si procede come nella vinificazione in bianco.
- ❖ Vinificazione in riduzione: in questo tipo di vinificazione vengono aggiunti dei gas inerti per evitare il contatto con l'aria.
- ❖ Vinificazione in iperossidazione: è una variazione della tecnica di vinificazione in bianco che consiste nell'effettuazione di una fase di prefermentazione mediante l'aggiunta di ossigeno con lo scopo di raggiungere una ossidazione del mosto il più completa è possibile.

Dopo la svinatura il vino può subire numerosi trattamenti (ad esempio il taglio, la rifermentazione, chiarificazione, centrifugazione ecc.) per migliorarne le caratteristiche,

inoltre subirà altri travasi e colmature fino ad arrivare all'imbottigliamento finale. Un importante trattamento facoltativo è l'invecchiamento del vino che può essere svolto in due fasi: invecchiamento in botte in presenza di ossigeno e invecchiamento in bottiglia in assenza di ossigeno.

Per quanto riguarda la produzione dello spumante, questo si ottiene mediante una seconda fermentazione che può avvenire in bottiglia o in autoclave. In base a ciò si distinguono due tipologie di metodi per la spumantizzazione del vino di seguito descritti. Il primo metodo nasce in Francia ed è denominato Metodo Classico. Tale metodo viene applicato ad uve raccolte in una fase di vendemmia anticipata in modo da avere una maggiore acidità, le uve inoltre vengono raccolte in maniera accurata e subiscono una spremitura delicata, successivamente il mosto subisce una prima fermentazione. In questo modo si ottiene il vino di base per la creazione dello spumante (champagne). Le fasi di spumantizzazione sono descritte di seguito.

1. Assemblaggio vini base: l'enologo selezionerà dei vini di base anche di diverse annate al fine di raggiungere le qualità desiderate (cuvée).
2. Tiraggio ed Imbottigliamento: al vino di base viene aggiunto lo sciroppo di tiraggio che è una miscela di vino con una precisa quantità di zucchero, lieviti e sostanze minerali che facilitano la compattazione delle fecce (ovvero i lieviti morti). I lieviti selezionati devono innescare la presa di spuma e devono avere delle proprietà flocculanti in modo da evitare che le fecce si attacchino alle pareti della bottiglia. Il vino, con l'aggiunta dello sciroppo di tiraggio, viene imbottigliato e tappato con uno specifico tappo a corona nel quale si accumulano le fecce durante la fase successiva.
3. Presa di spuma: questa fase prevede che le bottiglie vengano poste orizzontalmente all'interno di cantine dove umidità e temperatura sono costanti e vi è assenza di vibrazioni, rumori e odori, e luce scarsa. Dopo due settimane tutto lo zucchero avrà subito il processo di trasformazione in etanolo e anidride

carbonica, successivamente il lievito comincerà a degradare le sostanze di riserva, dopo 90 giorni inizieranno i processi autolitici e quindi non vi sarà più traccia di lievito vitale ma gli enzimi idrolitici continueranno a degradare le componenti cellulari, ciò che non potranno degradare sono le pareti cellulari. Gli enzimi idrolitici possono degradare anche per alcuni anni e maggiore è il tempo di affinamento più il vino risulterà pregiato. Periodicamente le bottiglie vanno sottoposte ad una piccola scossa per evitare che le fecce si attacchino alle pareti della bottiglia. In questa fase l'anidride carbonica generata non potendo fuoriuscire verrà solubilizzata nel vino.

4. Messa in punta: terminata la seconda fermentazione le bottiglie vengono scosse e per un periodo di 1-2 mesi vengono inclinate e fatte ruotare giornalmente in modo da accumulare le fecce nel tappo.
5. Sboccatura: i colli delle bottiglie vengono congelati mediante macchinari a glicole raggiungendo una temperatura che può arrivare a -30°C per una quindicina di minuti. La bottiglia viene quindi aperta e la pressione nella bottiglia provoca la fuoriuscita della parte ghiacciata.
6. Sciropo di dosaggio: questo sciroppo è costituito da vino e zucchero, ma la ricetta specifica varia da produttore a produttore e rappresenta un marchio per l'azienda produttrice. Lo sciroppo di dosaggio viene inserito nelle bottiglie che, con la fase precedente, hanno perso del liquido.
7. Tappatura e Confezionamento: le bottiglie vengono chiuse con tappo di sughero e gabbietta metallica e vengono fatte ruotare e messe a riposare nelle cantine per alcuni mesi.

Il secondo importante metodo di spumantizzazione è chiamato Metodo Martinotti-Charmat. Tale metodo è stato concepito in Italia e messo in pratica in Francia ed è stato creato poiché si adatta bene ai vitigni aromatici o fruttati (come quelli italiani). Le uve

utilizzate possono essere il Moscato, la Malvasia e il Brachetto. Inoltre tramite questo metodo si produce lo spumante d'Asti, il Prosecco ed il Lambrusco. Il metodo prevede le seguenti fasi:

1. Assemblaggio vini base: l'enologo selezionerà dei vini di base anche di diverse annate al fine di raggiungere le qualità desiderate (cuvée).
2. Filtrazione: il vino viene chiarificato e filtrato.
3. Presa di Spuma: il vino viene posto in autoclave assieme a lieviti selezionati, zucchero e sali minerali. Avviene la seconda fermentazione, che è molto rapida 15-20 giorni. Se l'autoclave presenta degli agitatori allora tale fase può essere ancora più rapida.
4. Filtrazione isobarica: lo spumante viene filtrato con sovrappressione (per evitare la fuoriuscita di anidride carbonica) e passa all'interno di un'altra autoclave, successivamente viene portato ad una temperatura bassa in modo da generare la precipitazione dell'acido tartarico e quindi viene di nuovo filtrato in condizioni isobariche.
5. Imbottigliamento isobarico: lo spumante viene quindi imbottigliato in condizioni di temperatura costante e ambiente isobarico.



Fig. 3.1.1 – Schema dei procedimenti di spumantizzazione mediante il metodo classico.

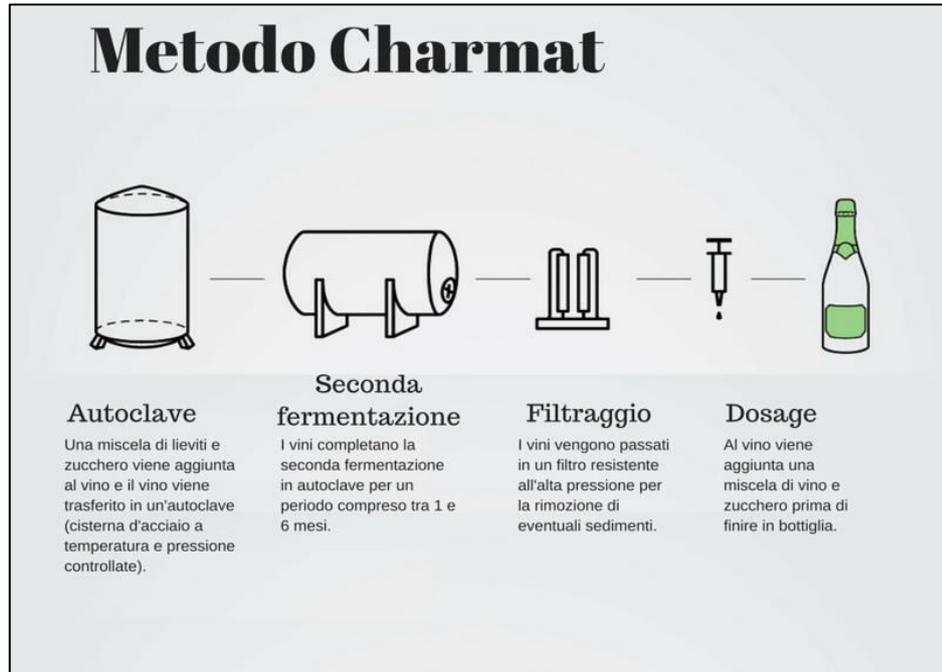


Fig. 3.1.1 – Schema dei procedimenti di spumantizzazione mediante il metodo Martinotti

L'azienda oggetto della presente tesi è specializzata nella produzione di spumanti, vermouth, vini aromatizzati e liquori. L'azienda si colloca in una zona dalle forti tradizioni vinicole ovvero nella zona del Moscato, famosa soprattutto per lo spumante d'Asti. Tale zona si colloca geograficamente tra i fiumi Bormida e Tanaro e comprende una serie di comuni della provincia di Alessandria, Cuneo ed Asti, i centri di maggior produttività ruotano attorno ai paesi di Canelli, Calosso per la provincia di Asti, Santo Stefano Belbo per quella di Cuneo e Strevi per Alessandria.

L'azienda è una delle più importanti case viti-vinicole italiane ed è rinomata in tutto il mondo per lo spumante moscato. Nel 1865 il fondatore dell'azienda apprese le tecniche di spumantizzazione dallo Champagne e le applicò alle uve moscato delle colline delle Langhe e del Monferrato assieme al fratello. Dopo una fase di sperimentazione per verificare l'adattabilità di vinificazione francese all'uva moscato, il fondatore dell'azienda per primo riuscì a bloccare la fermentazione delle uve dolci con ripetuta filtrazione del mosto, ottenendo il Moscato Champagne. Oggi l'azienda oggetto della tesi può contare 2.000 ettari di vigneti controllati e produce oltre 50 milioni di chili di uva vinificata con esportazione dei propri prodotti in oltre 60 paesi.

3.2 Descrizione dello stabilimento

L'intero stabilimento situato a Canelli è strutturato su due piani, al primo piano vi è un'area allestita con gli impianti per la produzione di vini e spumanti, il processo di produzione dei vini continua poi nelle cantine in cui avviene la fermentazione a temperatura controllata ed imbottigliamento.

Ciò che arriva in impianto sono mosto e vinacce, che vengono poi trattati per la vinificazione. L'intera area è suddivisa in tre reparti:

❖ Reparti ricevimento mosti e vini, in cui vengono svolte tutte le attività di vinificazione delle uve moscato ovvero stoccaggio dei vini e mosti, chiarifica e filtrazioni per la produzione degli spumanti e vermouth. In questi reparti vi sono varie tipologie di vasche e celle frigorifere inoltre sono presenti:

- le centrifughe, in cui il liquido viene immesso dal centro e la forza centrifuga dell'impianto fa sì che le parti solide più dense si distribuiscano lungo le pareti;
- filtri rotativi, in cui il liquido viene filtrato mediante un filtro formato da un tamburo rotante con superficie forata;
- filtri tangenziali, che presentano una serie di elementi filtranti e due pompe, una per forzare il flusso ed una per il ricircolo, i filtri sono a membrana;
- filtri ad alluvionaggio, in genere viene utilizzato per liquidi molto torbidi;
- vari tipi di pompe a pistone o mono pompe.

Tra i filtri che servono per chiarificare il vino e quindi ad eliminare i solidi, il filtro tangenziale consente di avere una chiarificazione particolarmente accurata.

- ❖ Reparto preparazioni spumanti dove sono eseguite tutte le operazioni per la presa di spuma, la filtrazione degli spumanti e la preparazione finale per l'imbottigliamento. Ciò avviene nelle cantine allestite con recipienti a pressione di varie capacità, che servono alla fabbricazione e alla stabilizzazione dello spumante mantenendo il vino a temperatura controllata. Gli spumanti sono filtrati con filtri tangenziali a pressione o centrifughe a pressione, per rendere limpido lo spumante. La presa di spuma è ottenuta grazie ai lieviti, che con la fermentazione degli zuccheri produce alcool e anidride carbonica e calore, il tutto in recipienti chiusi;
- ❖ Reparto produzione vermouth, in cui sono svolte tutte le operazioni per la fabbricazione di vini aromatizzati. Questi prodotti sono ottenuti dalla miscela di

vini (per il vermouth almeno al 75%) con un estratto ottenuto facendo macerare delle erbe in alcool e acqua, infine si aggiunge zucchero e caramello. Una volta miscelato il vino con l'estratto, il tutto viene refrigerato per la stabilizzazione tartarica, e successivamente viene aggiunto lo zucchero. Durante la fase di preparazione il prodotto viene filtrato mediante:

- Filtri a farina fossile, in cui la farina fossile (fossili di alghe marine o diatomee) è un coadiuvante di filtrazione, la granulometria di tale filtro può variare in base alle necessità;
- Filtri a cartoni, mediante dei cartoni filtranti attaccati a delle piastre attraverso cui si fa passare il liquido da filtrare.



Fig. 3.2.1 – Esempio di un filtro a tamburo presente in commercio



Fig. 3.2.2 – Esempio di un filtro tangenziale presente in commercio



Fig. 3.2.3 – Cantine di una azienda vitivinicola con bottiglie di spumanti durante la fase di messa in punta del metodo classico

Infine, sempre nelle cantine avviene la fase finale di imbottigliamento dei vini. I reparti di imbottigliamento sono dotati di tre linee di imbottigliamento spumante ed una per l'imbottigliamento del vermouth. Tutte le linee hanno impianti di microfiltrazione automatici, in grado di garantire la stabilità biologica del prodotto. Tutto il prodotto imbottigliato viene stoccato in un magazzino termo-condizionato.

Lo stabilimento presenta inoltre un impianto frigorifero ad ammoniaca e glicole (compressori, ciclo frigorifero, condensatore evaporativo, torri evaporative) situato in un'area adiacente a quella principale di produzione. L'ammoniaca una volta utilizzata viene raffreddata in torri evaporative a fascio tubiero (da 70 °C passa a 20 °C).

Per produrre calore viene adoperata una centrale termica per il riscaldamento degli uffici, delle cantine e del locale con le linee di imbottigliamento. Sono presenti poi varie cabine elettriche, dei compressori per la produzione di aria compressa per tutti i macchinari pneumatici, ed infine i serbatoi per lo stoccaggio dell'azoto per la compensazione dei gas nei vari reparti. Un'altra area è invece allestita con l'impianto per il trattamento dell'acqua da avviare ai diversi processi produttivi (impianto di potabilizzazione) ed in una zona esterna sono presenti le vasche dell'impianto di Depurazione.

Lo stabilimento è stato modificato più volte nel corso degli anni (una modifica importante è stata effettuata con il passaggio di proprietà dell'azienda ad una grande azienda estera) ragion per cui il percorso dell'acqua all'interno dello stabilimento risulta articolato e le condotte di adduzione sono sparse in più punti, gli impianti per la depurazione e la vasca di accumulo non sono allocati in un unico posto dello stabilimento e, in base alle planimetrie dello stabilimento, l'impianto di Potabilizzazione è abbastanza distante dal punto in cui l'acqua deve essere effettivamente utilizzata. Quindi vi sono una serie di reti e di pompe inserite negli anni per il trasporto dell'acqua da una zona all'altra dello stabilimento, che rendono il percorso dell'acqua abbastanza tortuoso.

L'acqua viene prelevata da 3 pozzi, subisce il processo di Potabilizzazione (successivamente descritto) arriva in impianto dove viene utilizzata per:

- centrale termica per il riscaldamento degli uffici
- centrale frigorifera ad ammoniaca e glicole (che lavora con 6 compressori, con una potenza complessiva di 3500kW, ed il carico maggiore da Luglio a Agosto);
- produzione del vermouth
- lavaggio delle bottiglie.

L'acqua da avviare al trattamento prima dello scarico in fognatura arriva in una vasca di accumulo che raccoglie:

- tutte le acque provenienti dagli impianti utilizzate nel ciclo di produzione
- acque provenienti da uffici e servizi igienici
- una parte delle acque meteoriche.

Le acque meteoriche vengono in parte immesse direttamente in fognatura, in parte defluiscono nel fiume Belbo ed una parte invece (comprese le acque di prima pioggia che per regolamento devono essere trattate) arrivano alla vasca grande di raccolta.

L'impianto di Depurazione è costituito da due linee di trattamento: trattamento liquami e trattamento fanghi. La linea di trattamento dei liquami è composta delle fasi seguenti:

1. Accumulo, mediante una vasca con capacità di 65m³, aerata tramite 56 ossigenatori in poliuretano alimentati da un elettro soffiante ad aspi rotanti e inserimento di soluzione di idrossido di sodio;
2. Aerazione/egualizzazione, composta da una vasca con dei setti (percorso a serpentina), costruita nel 2015, corredata di rete di distribuzione di aria costituita da 14 tubi forati collegati mediante un collettore ad una soffiante. Questa vasca è collegata alla vasca di accumulo tramite due tubazioni che le mettono in comunicazione solo nel momento del bisogno nel caso in cui il carico di liquami risulti eccessivo per la sola vasca di accumulo;
3. Sedimentatore Primario a pianta circolare, alimentato dal centro dall'alto verso il basso, il volume utile è il cilindro sovrastante l' "imbuto" occupato dai fanghi,

dotato di ponte mobile rotante con raschiatore di fondo tipo parabolico, deflettore centrale, stramazzo;

4. Vasca areata per Trattamenti biologici, con capacità di accumulo di 500m³, nel 2015 sono stati installati 150 piattelli e 5 macchinari per la distribuzione dell'aria a micro bolle ovvero aeratori-miscelatori sommergibili ad alto rendimento.
5. Sedimentatore Secondario, costituito da una vasca a pianta circolare, simile al sedimentatore primario, dotata di carroponete, raschiatore e sfioratore, di dimensioni maggiori della vasca di sedimentazione primaria.

La linea di trattamento fanghi è invece costituita da:

1. Digestore Aerobico, digestione dei fanghi di ricircolo provenienti dalle due fasi di sedimentazione con immissione di ossigeno mediante 24 ossigenatori in poliuretano alimentati da un'elettro-soffiante, la capacità utile della vasca è di 225m³.
2. Ispessimento, la vasca è suddivisa in 4 parti comunicanti tra loro per una capacità totale di circa 320m³;
3. Disidratazione meccanica, ottenuta tramite una centrifuga ad asse orizzontale, modello Baby2 (Pieralisi) attiva per circa 10 h/d, il fango da disidratare viene preventivamente condizionato con un polielettrolita, il tenore di secco del fango viene portato al 25%.

Vi è poi il Potabilizzatore, per il trattamento dell'acqua prelevata dai pozzi che verrà successivamente descritto (*Capitolo 5*).

4. PROCESSI DI TRATTAMENTO PER ACQUE RICCHE DI FERRO E MANGANESE

4.1 Ferro e Manganese in acqua

Le acque prelevate dall'azienda per il consumo umano mostrano una presenza diffusa di ferro e manganese in concentrazioni non ammissibili. Il ferro e il manganese sono metalli largamente diffusi sulla crosta terrestre, per questo in molteplici casi si ha la loro presenza in acque sotterranee, quindi in questo capitolo si vogliono descrivere le soluzioni precedentemente studiate e di comune applicazione, per il trattamento delle acque che presentano tali metalli. In particolare è stata effettuata una breve analisi delle soluzioni impiantistiche più utilizzate in modo da avere un confronto con quelle utilizzate dell'azienda in esame.

In acqua proveniente da acquifero profondo, il ferro ed il manganese si trovano in forma ridotta (Fe^{2+} e Mn^{2+}) poiché l'acqua presenta un basso tenore di ossigeno disciolto.

Per le acque ad uso potabile la concentrazione massima ammissibile per il ferro è di 0,2mg/L (metodo di misurazione utilizzato: APAT CNR IRSA 3160 Man 29 2003), mentre per il manganese è di 0,05mg/L (metodo di misurazione utilizzato: UNI EN ISO 17294-1).

Se presenti in quantità elevate, questi metalli devono essere rimossi poiché possono causare problemi estetici, organolettici ed in particolare operativi, appesantendo tutti i processi di trattamento, abbassando il rendimento delle varie fasi dell'impianto.

4.2 Ossidazione e filtrazione

Un processo ampiamente utilizzato per rimozione di tali metalli prevede due fasi, una prima ossidazione e la successiva filtrazione dell'acqua. La fase di ossidazione prevede l'immissione di aria nell'acqua da trattare, al fine di portarla dalle condizioni riducenti (tipiche dell'acqua di acquifero) alle condizioni ossidanti. In questo modo gli ossidi di ferro e di manganese possono essere trattenuti mediante filtrazione a sabbia.

Nella fase di ossidazione i parametri più importanti sono:

- il pH (range ottimale: 6-7 unità), che influenza i tempi di reazione di ossidazione;
- il potenziale di ossido riduzione Eh poiché indice delle condizioni relative alla presenza di ossigeno in vasca.

L'aerazione mediante ossigeno è sufficiente per l'ossidazione del ferro poiché i tempi di reazione sono accettabili, invece nel caso del manganese la cinetica risulta molto lenta e quindi viene utilizzato un ossidante chimico. Gli ossidanti chimici più utilizzati sono:

- ipoclorito di sodio (NaClO);
- cloro gassoso (Cl₂);
- diossido di cloro (ClO₂);
- ozono (O₃);
- permanganato di potassio (KMnO₄);
- ipoclorito di calcio (CaClO).

Il biossido di cloro (con pH almeno pari a 5,5) agisce in pochi secondi con il ferro e in 20min circa con il manganese, ma deve essere prodotto in stabilimento; il permanganato di potassio agisce anch'esso rapidamente, ma non viene molto utilizzato in Italia poiché genera problemi dal punto di vista estetico; l'ozono è molto efficace, ma anch'esso deve essere generato in stabilimento e quindi presenta elevati costi; infine l'ipoclorito di sodio è di ampio utilizzo poiché facilmente stoccabile e comunque abbastanza performante.

Gli ossidi di ferro e manganese così generati, possono quindi passare ad una eventuale fase di sedimentazione (nella quale in parte sedimentano in una vasca di calma) e una fase di filtrazione a sabbia. Mediante l'ossidazione gli ioni di ferro e di manganese Mn^{2+} e Fe^{2+} vengono trasformati in idrossidi MnO_2 e $Fe(OH)_3$, che successivamente vengono separati dall'acqua tramite filtrazione su sabbia o anche sedimentazione.

Come mezzo filtrante, insieme o al posto della sabbia, possono essere utilizzati altri materiali, in particolare per aumentare l'efficienza di rimozione di ferro e manganese viene utilizzata la pirolusite MnO_2 . I materiali filtranti presentano un particolare potere ossidante, specialmente la pirolusite che può trasformare il ferro in soluzione nel corrispondente idrossido di ferro insolubile rendendolo facilmente eliminabile. Inoltre questo materiale non richiede rigenerazione o aggiunta di reagenti e viene miscelato spesso assieme alla quarzite, formando un letto filtrante multistrato.



Fig. 4.2.1 – Schema di trattamento acqua con ferro e manganese in concentrazioni eccessive

4.3 Trattamenti biologici

I trattamenti biologici per la rimozione del ferro e del manganese prevedono l'utilizzo di determinati batteri specifici in grado di ossidare biologicamente i due metalli e renderli quindi sedimentabili e filtrabili.

I microrganismi responsabili dell'ossidazione del ferro possono essere acidofili (*thiobacillus ferrooxidans*, *leptospirillum*, *sulfobacillus*, *acidianus*). In alternativa un altro tipo di batterio valido è il *calarobium ferrooxidans*, microorganismo fototropico e anaerobico. La quantità di ferro ossidato cresce all'aumentare del pH, della biomassa e della presenza di Fe^{2+} , mentre diminuisce all'aumentare della presenza della specie Fe^{3+} . Gli idrossidi di ferro che si formano mediante questi processi sono più compatti rispetto a quelli formati tramite ossidazione chimica, il composto $FeO(OH)$ presenta una maggiore densità di $Fe(OH)_3$. I batteri che operano l'ossidazione biologica del ferro, hanno le seguenti caratteristiche:

- producono filamenti citoplasmatici, che hanno un effetto flocculante;
- ossidano il ferro producendo fiocchi e i fanghi più grandi e più densi di quelli dell'ossidazione chimica, quindi maggiormente soggetti a sedimentazione.

Per quanto riguarda i microrganismi in grado di ossidare il manganese, questi fanno parte della stessa famiglia dei ferrobatteri, e quello più rilevante è il *leptothrix discophora* (eterotrofo e aerobico). In questo caso, l'ossidazione biologica porta lo ione Mn^{2+} ad essere ossidato nelle due forme di precipitati: MnO_2 e $MnO(OH)_2$.

L'ossidazione biologica di questi metalli viene effettuata in maniera ottimale in condizioni di pH ed Eh (potenziale di ossido riduzione) intermedie tra le condizioni dell'acqua in superficie e le condizioni in profondità, ciò si può osservare anche nel seguente grafico (Fig. 4.3.1). Quindi, prima di adoperare questi trattamenti bisogna portare l'acqua alle condizioni ottimali mediante insufflazione di ossigeno. Dal grafico si evince che vi sono dei campi di pH-Eh in cui può avvenire l'ossidazione biologica, ad esempio per il ferro (con acqua che presenta una elevata quantità di ossigeno) in condizioni di $pH < 7$ allora la cinetica di reazione dei processi chimici è lenta e quindi

prevarranno quelli biologici, mentre per $\text{pH} > 7,5$ la reazione chimica ha una cinetica veloce quindi non si instaurano processi di ossidazione biologica. Per di più, si può osservare che il campo di applicazione dei processi biologici per l'ossidazione del manganese è anche più ristretto a quello del ferro.

Inoltre i batteri che producono l'ossidazione del ferro, e quelli necessari per l'ossidazione del manganese non agiscono al meglio nelle stesse condizioni di pH-Eh, infatti i campi di applicazione non si incrociano mai (*Fig. 4.3.1*). Quindi è necessario separare le due fasi e far avvenire l'ossidazione del ferro e quella del manganese in due reattori separati. Ulteriori accorgimenti riguardano determinate sostanze che possono danneggiare ferrobatteri e manganobatteri, come ad esempio la presenza di H_2S in acqua determina l'inefficienza del processo a causa della sua tossicità per ferrobatteri e manganobatteri, mentre la presenza ulteriore di cloro, metalli pesanti ed ammoniaca può danneggiare i ferrobatteri.

La realizzazione di tali impianti prevede dei tempi specifici che dipendono dalle caratteristiche dei batteri stessi. I microorganismi devono avere il tempo di accrescersi ed acclimatarsi prima di essere pronti per l'ossidazione dei due metalli. L'impianto biologico per la rimozione del ferro viene attivato in un periodo breve che va da un giorno a una settimana, mentre per la rimozione del manganese l'attivazione del processo richiede tempi maggiori, che vanno da tre settimane a tre mesi.

Gli impianti che si trovano in commercio presentano una prima fase di aerazione e filtrazione biologica per l'ossidazione del ferro. Successivamente si fa ossidare il manganese mediante un innalzamento del pH generato dallo strippaggio di ammoniaca. Gli idrossidi di ferro e manganese vengono trattenuti sui mezzi filtranti. Il ferro viene ossidato in tempi molto brevi, mentre il manganese impiega tempi maggiori, quindi per ovviare a questo problema viene utilizzato come mezzo filtrante per il manganese la pirolusite. Questo tipo di letto consente anche l'immissione di cloro per la disinfezione finale, in concentrazioni non troppo alte.

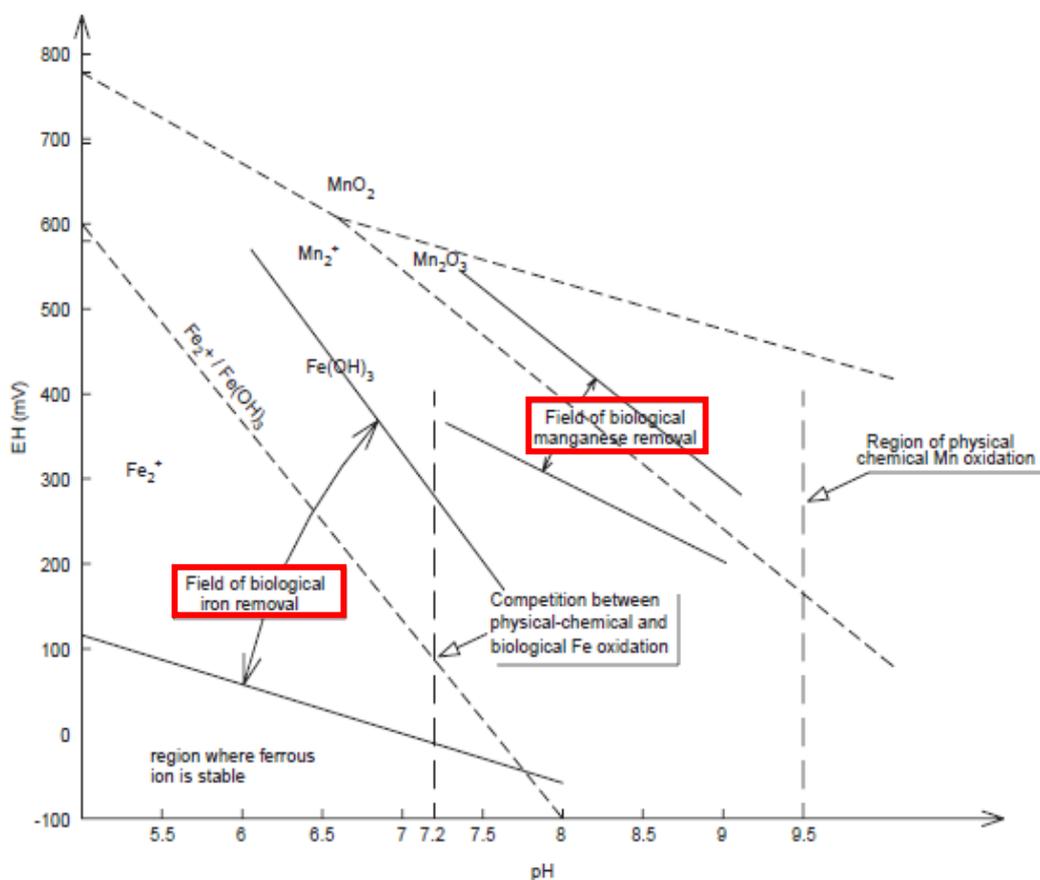


Fig. 4.3.1 – Diagramma Eh-pH con i campi di applicazione per l'ossidazione biologica di ferro e manganese (dall'articolo "Removal of iron and manganese using biological roughing up flow filtration technology" di Virginia Alejandra Pacini, Ana Mari'a Ingallinella, Graciela Sanguinetti).

Lo schema d'impianto maggiormente adottato presenta una prima fase di aerazione, poi abbiamo il processo biologico per la rimozione del ferro, una seconda aerazione ed infine il filtro per il trattamento biologico del manganese.



Fig. 4.3.2 – Schema di un tipico trattamento biologico di acqua con forte presenza di ferro e manganese



Fig. 4.3.3 – Un altro schema di un tipico trattamento biologico di acqua con forte presenza di ferro e manganese

I vantaggi dell'ossidazione biologica rispetto all'ossidazione chimica sono:

- possibilità di effettuare l'aerazione e la filtrazione nella stessa vasca;
- sistemi di filtrazione più piccoli rispetto alla filtrazione successiva all'ossidazione chimica;
- assenza di reagenti chimici
- minore frequenza di controlavaggio
- conseguente diminuzione dei costi di trattamento.

4.4 Filtrazione su membrana

La rimozione di ferro e manganese mediante filtri a membrana è stata oggetto di studi più recenti. In linea teorica le membrane in grado di eliminare ioni di metalli sono quelle relative alla Microfiltrazione, Ultrafiltrazione, Nanofiltrazione ed Osmosi Inversa. L'osmosi inversa in particolare è in grado di rimuovere tali metalli in maniera più efficace. I test svolti con vari tipi di filtri sottolineano l'importanza di effettuare una fase di pre-clorazione, inoltre nell'ossidazione dei due metalli hanno influenza alcuni fattori che influiscono sull'efficienza di rimozione. Tali fattori, che dipendono dalla membrana e dal refluo, sono i seguenti:

- tipologia di membrana (UF, MF, NF, RO);
- proprietà dei materiali di cui è composta la membrana;
- condizioni operative;
- rigenerazione del filtro;
- caratteristiche dell'acqua di feed;
- pH, forza ionica e contenuto di sali.

Gli ultimi parametri possono influenzare l'interazione particella-particella e particella-membrana, modificando le capacità di filtrazione della membrana.

La rimozione di ferro e manganese mediante processi di filtrazione sono stati studiati negli ultimi anni. In particolare uno studio effettuato alla Kyungpook National University in Corea, ha dimostrato l'efficacia dell'Ultrafiltrazione preceduta da una fase di pre-clorazione, per acqua ricche di questi metalli. Lo studio è stato svolto mediante una membrana in acetato di cellulosa in reattore batch, la concentrazione di ferro era di 1,0mg/L e di manganese di 0,5mg/L. Per verificare le migliori condizioni operative sono stati effettuati vari test modificando la concentrazione di cloro e in assenza di pre-clorazione, mediante sistemi di controllo automatico è stato possibile valutare l'andamento del processo di rimozione dei due metalli. Una volta individuata la concentrazione ottimale di cloro, è stato osservato che per quanto riguarda il ferro la combinazione delle due fasi di processo presenta una efficienza di rimozione elevata,

inoltre anche senza la fase di pre-clorazione la rimozione del ferro avviene in maniera efficiente, ciò è possibile grazie all'ossidazione del ferro mediante l'azione dell'ossigeno disciolto e la successiva rimozione dei precipitati tramite l'ultrafiltrazione. Per quanto riguarda il manganese, invece l'efficienza di rimozione è minore in quanto questo metallo è più difficile da ossidare, quindi è necessaria una dose maggiore di cloro.

Un altro esperimento riguardante l'Ultrafiltrazione è stato condotto dal Polytechnique di Montreal in Francia. In particolare la procedura sperimentale prevedeva due fasi di processo, una prima ossidazione seguita dalla filtrazione, paragonando due tipi di filtri uno in materiale ceramico e l'altra in materiale polimerico. Tali filtri sono posizionati in parallelo all'uscita della fase di ossidazione, effettuata mediante permanganato di potassio nei test relativi al manganese, e l'ipoclorito di sodio per il ferro. I due metalli infatti sono stati indagati separatamente.

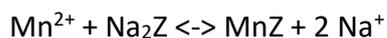
Le rese di rimozione dipendono ampiamente dalle caratteristiche chimiche dell'acqua, ma le analisi hanno dimostrato che l'efficienza di rimozione dei due metalli può arrivare anche al 99,5%. Inoltre entrambe le tipologie di filtro presentavano all'incirca le stesse caratteristiche di rimozione, mentre il controlavaggio della membrana in ceramica è più efficace di quella in materiale polimerico.

Quindi in base ai vari studi effettuati si può affermare che la rimozione dei due metalli dall'acqua può avvenire efficacemente mediante una tecnologia che prevede una pre-ossidazione e successiva filtrazione a membrana.

4.5 Resine a scambio ionico

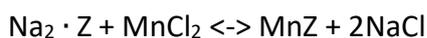
Le resine a scambio ionico possono essere adatte per la rimozione di ferro e manganese a bassa concentrazione. Gli Ioni di ferro e manganese possono essere rimossi mediante

resine a scambio cationico che presentano una tecnologia che permette lo scambio con lo ione sodio Na^+ . Lo scambio avviene secondo lo schema seguente:



Quando il letto è esausto, questo viene rigenerato mediante controlavaggio con acqua salata pompata con una certa pressione. Gli ioni di ferro e manganese verranno ossidati e precipiteranno grazie alla loro reazione con l'ossigeno. Questa tipologia di resina viene prodotta in carbone solfonato o in silicio naturale, ma anche altri tipi di resine possono essere eccellenti.

Un'altra tipologia di resine sono quelle che utilizzano la zeolite per la rimozione del ferro e del manganese. In particolare per acque di pozzo che non contengano una concentrazione elevata di questi metalli si può utilizzare uno speciale "zeolite di manganese" questo viene preparato mediante glauconite con sodio (ottenuto da particolari tipi di sabbia) e cloruro manganoso, in modo da formare lo scambiatore in manganese, come riportato di seguito.



La resina di scambio in manganese viene trattata con permanganato di potassio, in modo da far precipitare gli ossidi di manganese:



in questa forma, il materiale serve come una risorsa di ossigeno per l'ossidazione degli ioni Fe^{2+} e Mn^{2+} portandoli ad uno stato Fe^{3+} e Mn^{3+} . In stato ossidato tali metalli precipitano come idrossidi insolubili. La reazione di rimozione del ferro è la seguente.



Gli ossidi precipitati vengono rimossi mediante periodici controlavaggi, la cui frequenza deve aumentare maggiore è la concentrazione di ferro e manganese nell'acqua. Quando la capacità di ossidazione della resina diminuisce la resina deve essere rigenerata con una soluzione di permanganato di potassio al 1-2% e risciacquata in assenza di sali. I letti in "zeolite di manganese" vengono generalmente utilizzati dopo una fase pre-ossidazione dell'acqua da trattare.

5. IMPIANTO DI POTABILIZZAZIONE

5.1 Parametri di progetto

Lo scopo della potabilizzazione è di rendere l'acqua che viene prelevata compatibile con il consumo umano. Le sostanze che si vogliono rimuovere sono delle due tipologie riportate di seguito.

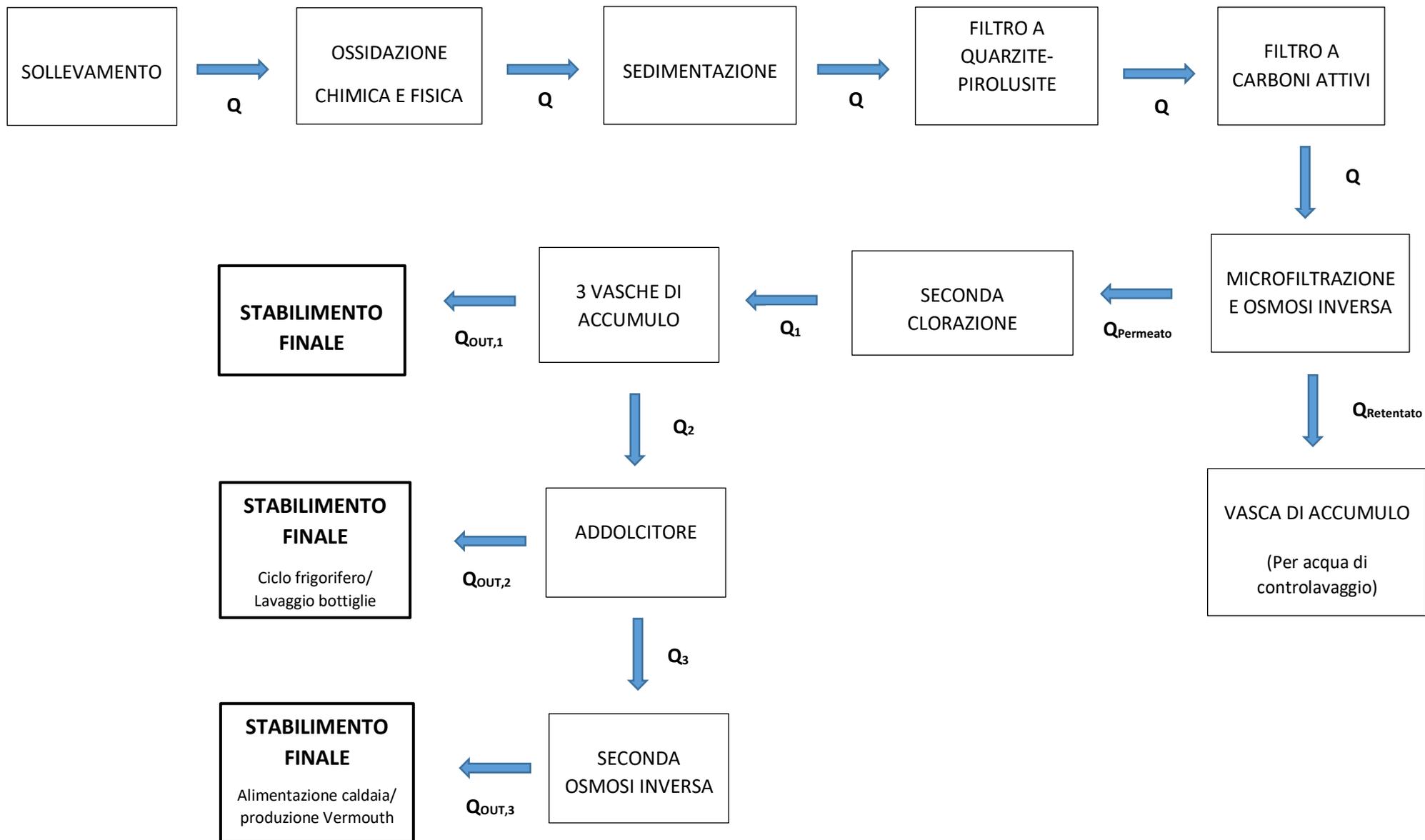
1. Health-related contaminants (HRCs), ovvero sostanze con caratteristiche di tossicità per il consumatore:
 - organismi patogeni (virus, batteri, protozoi e elminti);
 - metalli pesanti (ad esempio il cromo, il cadmio, e l'arsenico);
 - nitrati e nitriti;
 - sottoprodotti di disinfezione (THM trialometani, HAAs acidi aloacetici).
2. Aesthetic Contaminants (ACs), ovvero le sostanze indesiderate che conferiscono all'acqua cattivo odore o sapore sgradevole oppure un aspetto poco appetibile:
 - torbidità (dovuta alla presenza di particelle difficilmente sedimentabili);
 - ferro e manganese in basse concentrazioni (responsabili di gusto e odori poco gradevoli);
 - composti contenenti zolfo (gusto poco gradevole).

Ulteriori sostanze indesiderate in acqua sono le sostanze organiche, poiché sono responsabili di problemi nelle varie fasi di trattamento in particolare nella filtrazione su carboni attivi, in quanto sono concorrenti per i siti attivi del carbone e quindi ne aumentano l'usura. Inoltre nella fase di disinfezione reagiscono con il cloro generando dei sottoprodotti di disinfezione consumando in questo modo parte dei disinfettanti necessari per la rimozione degli organismi patogeni.

L'impianto di Potabilizzazione dell'azienda è situato per la maggior parte in un'unica area, è stato costruito nel 1991 e modificato durante gli anni. La portata che tratta in media è di 131000m³/anno. Per verificare la qualità dell'acqua da trattare vengono effettuate, con cadenza semestrale, delle analisi sulle acque in ingresso dai pozzi da cui si evince la presenza di ferro e manganese in concentrazioni elevate (ciò costituisce il problema di qualità dell'acqua maggiore), mentre il carico organico e gli inquinanti tossici risultano in concentrazioni inferiori rispetto ai limiti di legge. I valori di picco dei parametri più rilevanti nel caso in esame sono riportati di seguito (*Tab. 5.1.1*).

Alte concentrazioni di ferro e manganese che, oltre a generare cattivo odore e sapore, possono causare i seguenti problemi:

- provocano danni per l'organismo ricettore;
- sono d'intralcio per l'intera filiera di trattamento appesantendo le varie fasi di trattamento e diminuendone la resa;
- all'interno dello stabilimento danneggiano gli impianti (pulizia delle bottiglie, impianto di riscaldamento e raffrescamento, nonché per la produzione di alcuni tipi di vino).



Schema 1 – Impianto di potabilizzazione

		Valori picco	Valori picco	Limiti
		Pz 1-3	Pz 2	Normativi
pH	-	7,0	7,0	6,5 - 9,5
Conducibilità	µS/cm	1370	1520	2500
Cloruro	mg/L	208	231	250
Solfato	mg/L	141	152	250
Calcio	mg/L	155	184	-
Magnesio	mg/L	46,7	63,7	-
Durezza totale	°F	57,2	67,2	15-50
Nitrato	mg/L	5,2	3,6	50
Nitrito	mg/L	< 0,01	< 0,01	0,5
Ammonio	mg/L	0,37	0,45	0,5
Ossidabilità	mg O ₂ /L	1,1	1,1	5
Ferro	µg/L	765	4167	200
Manganese	µg/L	325	774	50
Nichel	µg/L	6,5	2,7	20
Conta Escherichia coli	UFC /100mL	0	0	0
Conta coliformi totali	UFC /100mL	0	0	0
Conta microorganismi vitali a 36°C	UFC /100mL	1	2	-
Conta microorganismi vitali a 22°C	UFC /100mL	22	4	≤ 100

Tab. 5.1.1 – Valori medi e di piccolo di alcuni parametri analizzati relativi agli anni 2016-2017

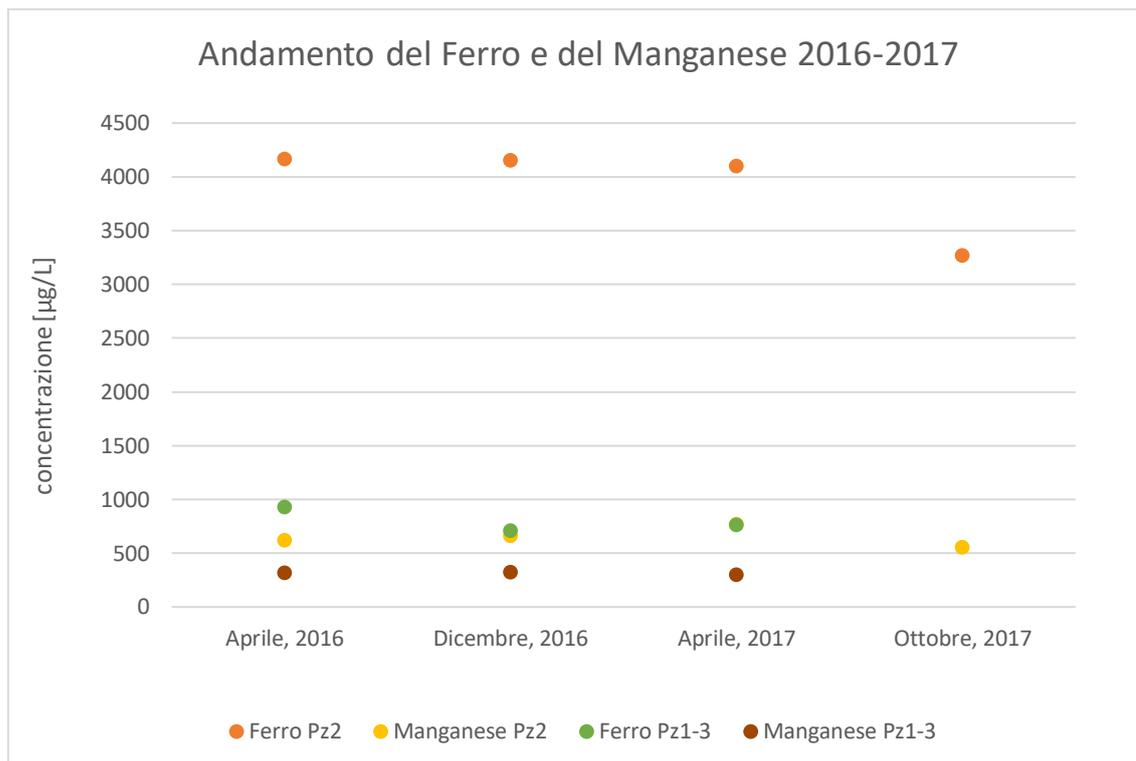


Fig.5.1.1 – Andamento del ferro e del manganese negli anni 2016-2017

5.2 Sollevamento

L'acqua viene prelevata da 3 pozzi dotati di elettropompa sommersa profondi circa 20m e dal diametro di 250mm terebrati nel 1991 in falda superficiale in prossimità del fiume Belbo e circa a 1km di distanza dalle principali attività produttive dello stabilimento. I pozzi 1 e 3 sono vicini tra loro, il pozzo 3 in passato era collocato in un punto più distante ma poi a causa di problemi di qualità dell'acqua è stato chiuso. I pozzi 1 e 3 prelevano in parallelo, mentre il pozzo 2 è poco più distante dagli altri. La portata totale prelevata è di circa 24,1m³/h e l'impianto funziona per circa 11-12 ore al giorno. Il pozzo 1-3 presenta una pompa sommersa dalla potenza di 3kW, mentre il pozzo 2 presenta una pompa di 2,2kW di potenza, quindi si stima che il 41% dell'acqua venga prelevata dal

pozzo 2 ed il 59% dal pozzo 1-3. Durante i sopralluoghi effettuati in azienda è stato osservato che le caratteristiche dell'acqua proveniente dal 2 sono peggiori rispetto a quelle dei pozzi 1-3, in ogni caso è evidente una presenza diffusa di ferro e manganese.



Fig. 5.2.1 – Tubi di immissione dell'acqua dai pozzi alla vasca di ossidazione, in alto abbiamo il tubo proveniente dal pozzo 2 ed in basso quello del pozzo 1-3.

5.3 Fase di Ossidazione

L'aerazione è un procedimento largamente utilizzato per il trattamento di acque sotterranee, e consiste nell'immissione di bolle d'aria in vasca in modo tale da favorire l'interscambio tra aria e acqua. Maggiore è la finezza delle bolle insufflate, più la

superficie di contatto aria-acqua aumenta, provocando un maggiore trasferimento di ossigeno.

L'ossigenazione dell'acqua proveniente dai pozzi è necessaria poiché genera una serie di processi all'interno del fluido:

- incrementa il tenore di ossigeno disciolto, portando l'acqua in condizioni aerobiche;
- genera lo strippaggio delle sostanze volatili;
- provoca l'ossidazione delle sostanze che si trovano in forma ridotta (solfuri, ferro, manganese ecc.).

I dispositivi disponibili in commercio per la generazione di bolle d'aria presentano vari tipi di tecnologie. I più comuni sono i diffusori che iniettano bolle d'aria in pressione mediante un soffiante. Questa tecnologia permette la diffusione di aria in vasca tramite piattelli forati a disco (*Fig. 5.3.3*) o a pannello (*Fig. 5.3.1* e *Fig. 5.3.2*).

Vi sono poi degli aeratori a spruzzo che immettono l'acqua in vasca, mediante degli ugelli che spruzzano acqua sotto forma di goccioline. Un altro sistema prevede il passaggio del flusso d'acqua attraverso una serie di tramezzi, i salti che l'acqua deve effettuare generano un'aerazione. Vi è poi l'aeratore a piatti la cui tecnologia prevede che l'acqua venga spruzzata dall'alto e passi attraverso una serie di piatti prima di arrivare al fondo. Ovviamente i sistemi a spruzzo sono meno preferibili rispetto a quelli mediante piattelli, soprattutto se le portate in gioco sono elevate. Altre tecnologie prevedono l'inserimento di turbine a fondo vasca in cui l'agitazione garantisce una aerazione, vi sono anche degli aeratori di superficie di più recente sviluppo.



Fig. 5.3.1 – Tipologia di aeratori a pannello



Fig. 5.3.2 – Tipologia di aeratori a pannello

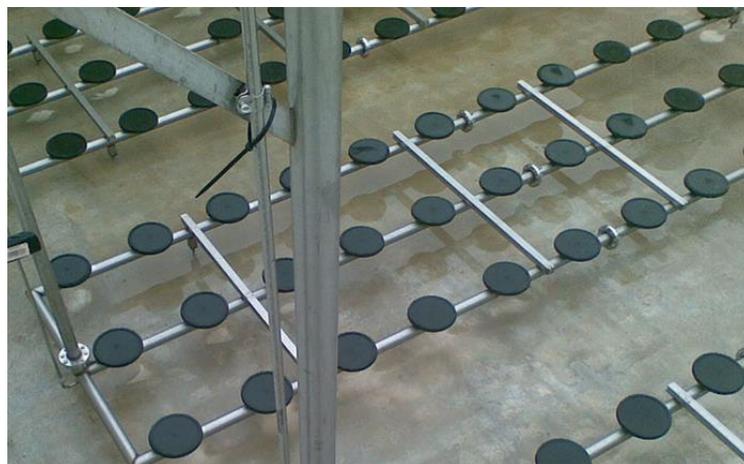


Fig. 5.3.3 – Tipologia di aeratori a disco

L'acqua dai pozzi arriva direttamente alla vasca aerata. Tale vasca è stata svuotata (Aprile 2018) ed i piattelli sono stati sostituiti in quanto ostruiti a causa dalla presenza di ossidi sedimentati nella vasca. Infatti la vasca di ossidazione, una volta svuotata, presentava uno spessore di materiale sedimentato di una ventina di centimetri. La vasca non presenta un sistema di rimozione fanghi al fondo quindi è necessario spurgare la vasca periodicamente.

Per il calcolo dell'ossigeno insufflato è stata considerata una portata 24,1m³/h. Il volume utile della vasca è di circa 20m³, considerando un battente idraulico di 1,40m. I piattelli installati sono rigidi e presentano le seguenti caratteristiche di seguito riportate.

- Diametro effettivo: 218 mm.
- Area perforata: 0,037 m².
- Materiale membrana: EPDM/silicone.
- Peso: 0,6 kg.
- Diametro totale: 260mm.
- Altezza sopra il tubo: 20mm.
- Altezza totale: 40mm.

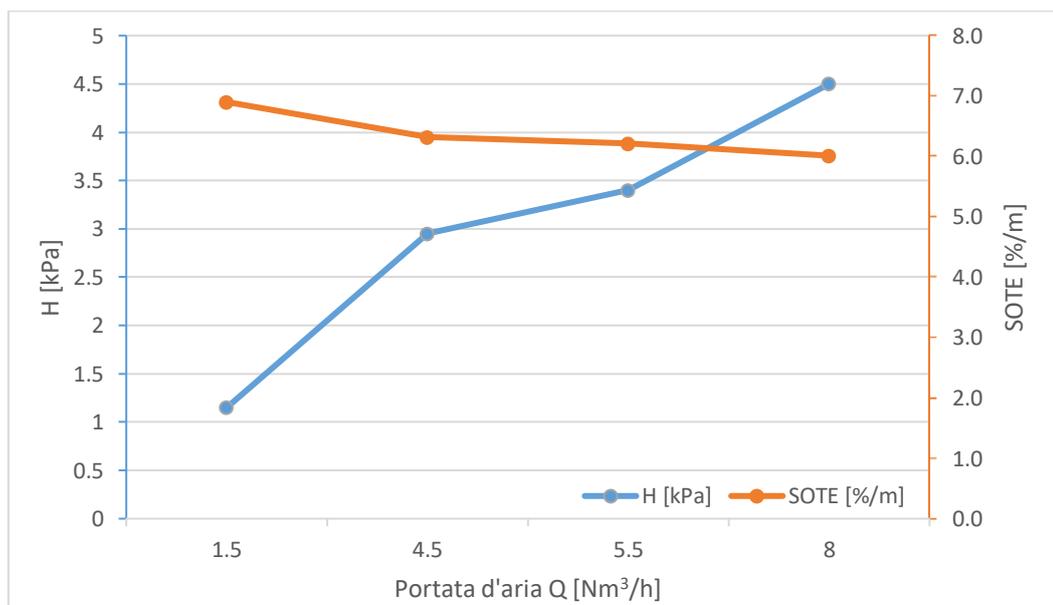


Fig. 5.3.4 – SOTE piattelli vasca di ossidazione potabilizzazione e perdite di carico H in relazione alla portata d'aria Q (figura ricavata dalla scheda tecnica dei piattelli)

Il SOTE (Standard Oxygen Transfer Efficiency) rappresenta il rapporto tra la massa di ossigeno trasferita e la massa di ossigeno nell'aria insufflata ed inoltre aumenta al crescere della sommergenza dei piattelli e della finezza delle bolle.

Per ricavare la quantità di ossigeno trasmessa bisogna effettuare le seguenti considerazioni. I dati progettuali dei piattelli e della vasca sono:

- numero di piattelli: 14;
- portata massima insufflata dal soffiante: 100 Nm³/h;
- portata d'aria insufflata da ciascun piattello: 7,1m³/h, calcolato dal rapporto tra la portata massima insufflata dal soffiante e il numero dei piattelli;
- carico idraulico sul piattello: 1,5m;
- temperatura dell'acqua nella vasca: 15°C.

L'aria trasferita è stata calcolata mediante i passaggi riportati di seguito.

$$\text{Portata aria totale} = 100 \text{ Nm}^3/\text{h} * 11 \text{ h} / 1 \text{ d} = 1100 \text{ Nm}^3/\text{d}$$

Per il calcolo della portata massica di O₂ trasferita si considera la formula che segue:

$$OC = (OC)_{st} \alpha 1,024^{T-20} \frac{\beta c_s - c_w}{c_s^*}$$

In cui:

- α è un fattore di correzione che tiene conto della presenza della sostanza secca nel reattore (in quanto questa formula è stata elaborata nell'ambito del trattamento biologico delle acque reflue)
- β è un fattore di correzione che tiene conto della salinità della fase liquida
- Capacità di ossigenazione in condizioni standard: $(OC)_{st}$
- Capacità di ossigenazione in condizioni operative: OC
- Concentrazione di ossigeno a saturazione dell'acqua pulita e alle condizioni di esercizio: c_s
- Concentrazione di esercizio alle condizioni reali: c_w

- Concentrazione a saturazione in acqua pulita per condizioni standard: c_s^*

Il valore di OC è stato calcolato ipotizzando un valore di c_w pari a 1,5mg/L (ipotizzando una condizione operativa media) e risulta pari a 6,7%. Partendo dal valore del SOTE ricavato graficamente mediante il battente idraulico sui piattelli, tramite la formula precedente, è stato calcolato $(OC)_{st}$ che risulta pari a 8,5%. Inoltre è stata ricavata la portata di ossigeno al giorno tramite la formula seguente.

$$\text{Portata ossigeno trasferita} = OC * 0,21 * 1100 \text{ Nm}^3/\text{d} = 15 \text{ Nm}^3/\text{d}$$

Considerando che la portata è di 24,1m³/h e le ore di funzionamento dell'impianto sono 11h al giorno, è stato possibile calcolare la portata di O₂ immessa in vasca, ed infine è stata calcolata la concentrazione di ossigeno trasferita dividendo tale valore per la portata dell'acqua.

Le condizioni operative dell'impianto sono riassunte nella seguente tabella (Tab. 5.3.1).

Portata aria totale	Nm ³ /d	1100
Portata ossigeno trasferita	Nm ³ /d	15
Portata massica O₂ trasferita	kg O ₂ /h	2,01
Massa di O₂ per litro d'acqua	mg O ₂ /L	83,70

Tab. 5.3.1 – Caratteristiche relative al trasferimento di ossigeno nella Vasca di ossidazione

Le pompe che insufflano aria vengono attivate insieme alle pompe che prelevano acqua dai pozzi e dopo circa una decina di minuti vengono disattivate automaticamente e riattivate una volta che le pompe riprendono ad immettere acqua dai pozzi.

Per verificare l'efficienza del processo di aerazione, durante un sopralluogo dell'impianto (effettuato il 10 Aprile 2018), sono stati prelevati dei campioni di acqua in vari punti e per ciascun punto è stata misurata la temperatura ed il potenziale di ossido riduzione (affinché la vasca sia in condizioni aerobiche è necessario che tale parametro

Eh misuri almeno un centinaio di mV). I risultati delle misure sono riportate nella tabella (Tab. 5.3.2) da cui si evince che l'aerazione è sufficiente a portare l'acqua da pozzo in condizioni aerobiche.

Analisi Potenziale di Ossidoriduzione e Temperatura		
	Eh [mV]	T [°C]
Uscita da Pozzo 2	-20	13,9
Uscita da Pozzo 1-3	44	15,2
Fine Vasca 1	624	14,6

Tab. 5.3.2 – Alcuni parametri misurati nella vasca di ossidazione e nelle vasche di sedimentazione

Un processo comune per la rimozione del ferro ed in particolare del manganese è dato dall'ossidazione chimica mediante cloro. Questa è necessaria poiché, mentre per il ferro è sufficiente l'ossidazione mediante aria ed i tempi di reazioni sono abbastanza brevi (una decina di minuti), per il manganese i tempi di reazione molto lunghi con il solo ossigeno, mentre grazie all'azione di un ossidante chimico i tempi si riducono molto. L'azienda ha scelto di utilizzare come ossidante chimico l'ipoclorito di sodio NaClO in soluzione al 13-14%. Il reagente viene stoccato in tre contenitori collegati ad un sistema che immette ipoclorito di sodio una volta azionate le pompe di prelievo dell'acqua dai pozzi. In base alla quantità di ipoclorito acquistata nel periodo di durata sei mesi che va da Luglio 2017 a Settembre 2017 (cioè 1000kg), è stato possibile calcolare la quantità di NaClO immessa in vasca, i calcoli effettuati sono riportati di seguito (Tab. 5.3.3 e Tab. 5.3.4).

Nella tabella che segue sono stati riportati alcuni dati significativi relativi al cloro nel trattamento dell'acqua, mese per mese. Nella prima colonna abbiamo la concentrazione media di cloro misurata nella vasca di ossidazione che rappresenta la concentrazione di ipoclorito di sodio che non ha reagito e che bisogna riportare al di sotto di 0,3 ppm. La

seconda colonna invece riporta la quantità di soluzione di ipoclorito di sodio acquistata dall'azienda. Dalla tabella si evince che la quantità di questa soluzione risulta eccessiva dato che abbiamo in vasca una concentrazione media di 1,7 ppm di cloro derivante dall'ipoclorito che non ha reagito, che dovrà quindi essere abbattuta nelle fasi successive.

Dati relativi al Cloro		
	Conc media Cloro in Voss	NaClO 13-14% acquistato
	ppm	Kg
Luglio	1,30	0
Agosto	1,90	2500
Settembre	1,38	2500
Ottobre	1,38	2500
Novembre	2,04	2500
Dicembre	2,08	0

Tab. 5.3.3 - Concentrazione media mensile di Cloro all'uscita della vasca di ossidazione e quantità di cloro acquistato mese per mese

In base alla soluzione di ipoclorito di sodio al 13-14% acquistato è possibile calcolare la concentrazione di ipoclorito di sodio immessa in vasca. Quindi partendo dalla considerazione che in 6 mesi sono stati acquistati 10'000 kg di soluzione, i calcoli effettuati sono i seguenti:

$$Q_{NaClO\ 13-14\%} = (10'000\ \text{kg} / 6\ \text{mesi}) / 24,5\ \text{d} / 11\ \text{h} = 6,18\ \text{kg/h}$$

$$C_{NaClO\ 13-14\%} = \frac{Q_{NaClO\ 13-14\%}}{Q} = 256,61\ \text{mg/L}$$

$$[NaClO] = C_{NaClO\ 13-14\%} * 13\% = 33,36\ \text{mg/L}$$

In cui:

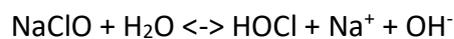
- $Q_{NaClO\ 13-14\%}$ [kg/h] è la portata della soluzione di NaClO 13-14% immessa
- $C_{NaClO\ 13-14\%}$ è la concentrazione di soluzione di NaClO al 13-14%
- Q [m³/h] è la portata di acqua che viene prelevata dai pozzi pari a 24,1 m³/h
- $[NaClO]$ è la concentrazione di Ipoclorito di sodio immessa

i risultati sono stati riassunti nella seguente tabella (Tab. 5.3.4).

Valutazione sul Cloro in vasca di ossidazione		
$Q_{NaClO\ 13-14\%}$ (in 6 mesi)	kg/ 6 mesi	10'000
$Q_{NaClO\ 13-14\%}$	kg/h	6,18
$C_{NaClO\ 13-14\%}$	mg/L	256,61
$[NaClO]$	mg/L	33,36

Tab. 5.3.4 – Concentrazione di Ipoclorito di Sodio immessa nella vasca di ossidazione

L'ipoclorito di sodio in acqua si dissocia dando luogo alla seguente reazione:



è l'acido ipocloroso che effettivamente reagisce con ferro e manganese generando in questo modo gli ossidi dei due metalli che quindi potranno sedimentare nella successiva fase. La concentrazione di acido ipocloroso immessa è stata calcolata di seguito.

$$\frac{[HOCl]}{[NaClO]} = 0,704$$

$$[HOCl] = 0,704 \text{ mgHOCl/mgNaClO} * 33,36 \text{ mgNaClO/L} = 23,50 \text{ mg/L}$$

La concentrazione di acido ipocloroso che non parteciperà alla reazione costituisce il cloro libero indissociato che deve essere mantenuto al disotto del limite di 0,3 ppm nel punto di ingresso dell'acqua nell'impianto per il processo di produzione vero e proprio.

Il tempo di permanenza dell'acqua nella vasca si ottiene dal rapporto tra il volume della vasca V_{oss} e la portata Q e risulta il seguente:

$$HRT = V_{oss} / Q \cong 50 \text{ minuti}$$

In cui V_{oss} è stato calcolato considerando un battente nella vasca di 1,8 m.

$$V_{oss} = 1,8 \text{ m} * 5 \text{ m} * 2,22 \text{ m} = 20 \text{ m}^3$$

$$Q = 24,1 \text{ m}^3/\text{h}$$

Considerando un pH pari a quello di esercizio (circa 7 unità) allora il tempo di ritenzione idraulica HRT risulta sufficiente affinché si verifichi la completa ossidazione del ferro e del manganese. Dalle considerazioni precedenti risulta che i problemi principali relativi a questa fase del processo siano i seguenti:

1. il problema di maggiore importanza è dato dalla quantità ingente di cloro libero non reagito presente in vasca che verrà poi rimosso nei passaggi successivi mediante un agente dechlorante e la successiva ossidazione del carbonio (riduzione del cloro) con il filtro a carboni attivi, infatti la concentrazione di soluzione di ipoclorito di sodio in vasca risulta elevata rispetto a quanto sia necessario immettere;
2. vi è il problema relativo agli ossidi che, in parte, sedimentano nella vasca di ossidazione durante le ore in cui l'acqua non viene più pompata e cessa l'insufflazione di aria. Infatti ci sono dei tempi in cui la vasca di aerazione diventa una vasca di calma poiché l'acqua non viene prelevata in continuo e il sistema di aerazione viene spento dopo circa una decina di minuti dall'attivazione delle

pompe che prelevano acqua dai pozzi, inoltre l'impianto funziona per 11h quindi nelle restanti ore del giorno l'acqua rimarrà in vasca senza essere movimentata. In questo modo una prima sedimentazione avviene già nella vasca di ossidazione;

3. un ulteriore problema è l'assenza di un sistema di raccolta dei solidi a fondo vasca, quindi man mano gli strati di materiale tenderanno ad accumularsi sul fondo e ad intasare i fori dei piattelli (come è avvenuto in precedenza). Per ovviare a questo problema l'azienda provvede a spurgare la vasca periodicamente, però è evidente che gli spurghi devono essere effettuati con maggiore frequenza.



Fig. 5.3.5 – Foto della vasca di aerazione una volta svuotata, prima dello spurgo

5.4 Fase di Sedimentazione

Il processo di sedimentazione consente di ottenere una rimozione dei solidi sospesi sedimentabili mediante separazione fisica, per effetto della forza di gravità. La vasca può avere flusso radiale (vasca a pianta circolare) o flusso longitudinale (a pianta rettangolare) come nel caso in esame. Il processo di sedimentazione avviene mediante l'immissione del flusso con velocità molto basse.

Le velocità in gioco sulla particella sono le seguenti:

- Velocità di sedimentazione v_s , verticale ed orientata verso il fondo della vasca, è la velocità che porta la particella a sedimentare;
- Velocità del flusso v , orizzontale ed in direzione del flusso di acqua, rappresenta un ostacolo alla sedimentazione della particella.

In assenza di flusso si avrebbe unicamente la velocità di sedimentazione e le forze in gioco sarebbero: la forza peso, la spinta di Archimede, e la forza di resistenza (*Fig. 5.4.1*).

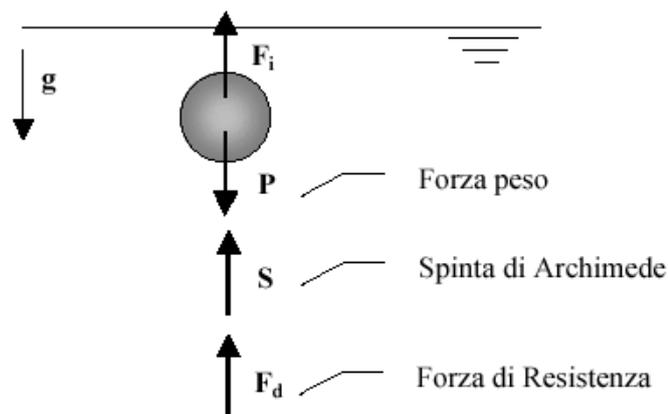


Fig. 5.4.1 – Forze in gioco sulla particella in un fluido in assenza di flusso

Queste sono le forze che influenzano la velocità di sedimentazione. All'interno della vasca di sedimentazione vi è, però, anche la velocità del flusso, quindi per similitudine geometrica avremo:

$$\frac{v_s}{v} = \frac{H}{L}$$

In cui H è la profondità della vasca e L è la lunghezza longitudinale (parallela al flusso). Da questa considerazione, mediante alcuni passaggi si ricava la velocità di sedimentazione massima in vasca, ovvero il carico idraulico superficiale CIS (parametro caratteristico del processo di sedimentazione).

$$v_s = Q / A = CIS$$

Un altro importante parametro è il tempo di residenza idraulico, ovvero il tempo impiegato dal flusso d'acqua per attraversare la vasca:

$$\tau = Q / V$$

Infine, mediante una analisi granulometrica dei solidi in vasca è possibile ricavare l'efficienza di rimozione degli SST. Per ciascuna classe granulometrica di particelle si calcola la frazione di particelle rimosse (FR_i):

$$FR_i = v_{s,i} / CIS$$

in cui $v_{s,i}$ è proprio la velocità di sedimentazione dell'*i*-esimo gruppo granulometrico, e il CIS è appunto la velocità di sedimentazione limite nella vasca. Infine si può calcolare l'efficienza di rimozione ETR mediante la formula che segue, in cui n_i è il numero di particelle dell'*i*-esima classe.

$$ETR = \frac{\sum_i FR_i * n_i}{\sum_i n_i}$$

Nel caso in esame, la sedimentazione dei solidi totali, ed in particolare degli ossidi generati nella vasca precedente, avviene mediante due vasche di diverse dimensioni. L'acqua arriva per tracimazione nella prima vasca di sedimentazione e poi allo stesso modo raggiunge la seconda vasca di sedimentazione, le caratteristiche dimensionali delle vasche sono riportate di seguito nella tabella (Tab. 5.4.1).

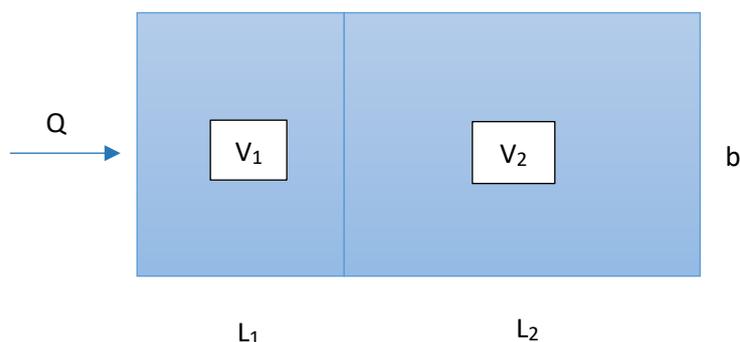


Fig. 5.4.2 – Schema delle vasche di sedimentazione.

VASCA SEDIMENTAZIONE 1		
Battente	cm	20
H	m	2
b	m	5
L ₁	m	1,63
V ₁	m ³	14,67

VASCA SEDIMENTAZIONE 2		
Battente	cm	40
H	m	2
b	m	5
L ₂	m	6,65
V ₂	m ³	53,20

Tab. 5.4.1 – Parametri dimensionali delle vasche di sedimentazione

I parametri caratteristici della fase di sedimentazione sono:

- Carico idraulico superficiale CIS [m^3/m^2h]

$$CIS_{1,2} = Q / (b * L_{1,2})$$

- Tempo di residenza τ [minuti]

$$\tau_{1,2} = Q / V_{1,2}$$

Inoltre è stata calcolata la velocità longitudinale del flusso d'acqua nella vasca:

$$V_{long} = Q / A_{long}$$

$$A_{long} = h * L_{1,2}$$

i risultati dei calcoli sono stati riportati nelle tabelle seguenti (Tab. 5.4.2).

VASCA SEDIMENTAZIONE 1		
CIS_1	m^3/m^2h	2,945
τ_1	h	0,611
A_{long}	m^2	2,934
V_{long}	m/h	8,180

VASCA SEDIMENTAZIONE 2		
CIS_2	m^3/m^2h	0,722
τ_2	h	2,217
A_{long}	m^2	2,256
V_{long}	m/h	0,722

Tab. 5.4.2 – Parametri caratteristici della sedimentazione nelle due vasche

Allo scopo di rilevare la quantità di solidi totali sospesi in acqua sono stati effettuati due campionamenti per ciascun pozzo, nel punto di immissione dell'acqua in vasca. Le analisi sono state condotte mediante i seguenti passaggi (APAT, Linee Guida 29/2003):

1. il filtro viene condizionato in stufa a 105°C per 2 ore;
2. il refluo viene filtrato mediante un filtro in acetato di cellulosa con diametro dei fori di 0,45µm, man mano sul filtrino si depositeranno i solidi totali;
3. essiccazione completa in stufa alla temperatura di 105°C, il filtrino viene lasciato in stufa per un tempo tale per cui il suo peso raggiunga un valore costante (si ipotizza che 12 ore circa sono sufficienti per una completa essiccazione);
4. il filtrino con il filtrato viene lasciato in un essiccatore per qualche ora.

La massa dei SST in soluzione viene calcolata eseguendo dei pesi del filtrino prima dell'analisi e dopo l'essiccazione totale dei solidi, a fine analisi. La formula utilizzata è la seguente:

$$SST = \frac{(M_1 - M_0)}{V} * 1000$$

in cui M_1 è la massa del filtrino più il filtrato dopo l'essiccamento, M_0 è la massa del filtrino e V è il volume del campione d'acqua analizzato. I risultati delle analisi sono riportate in tabella (Tab. 5.4.3).

	M₀ [g]	M₁ [g]	SST [mg/L]
pozzo 1-3	0,0749	0,0752	0,30
	0,0749	0,0748	-
pozzo 2	0,0746	0,0811	6,51
	0,0754	0,0815	6,13

Tab. 5.4.3 – Solidi totali sospesi misurati

Si evince che i SST presenti nella vasca sono in concentrazioni molto basse e non costituiscono un problema per la sedimentazione, che risulta quindi indisturbata, rendendo possibile l'utilizzo della Formula di Stokes per il calcolo della velocità di sedimentazione.

All'interno delle vasche ogni particella sedimenta con una propria velocità che dipende dalla specifica massa della particella stessa. Ciò che bisogna far sedimentare nella vasca sono i solidi totali, soprattutto quelli dati dagli ossidi di ferro e manganese che costituiscono il principale problema di qualità dell'acqua. E' stato calcolato il diametro limite, ossia il diametro minimo che le particelle, a parità di densità, devono avere per sedimentare a questo scopo è stata utilizzata la formula di Stokes:

$$v = \frac{g (\rho_s - \rho_F) D^2}{18 \mu}$$

In cui:

- g [m/s²] è l'accelerazione gravitazionale
- ρ_s [g/cm³] è la densità delle particelle solide
- ρ_F [g/cm³] è la densità dell'acqua
- μ [kg/ms] è la viscosità dinamica dell'acqua che dipende dalla temperatura
- D [mm] è il diametro della particella
- v [m/s] è la velocità di sedimentazione della particella

affinché la particella sedimenti la velocità di Stokes deve essere superiore rispetto al *CIS*.

$$v > CIS$$

Tutte le particelle con velocità v che rispetta tale disequaglianza sedimenteranno nella vasca. Il diametro degli ossidi di ferro e manganese non è noto quindi, come accennato in precedenza, si può ragionare calcolando il diametro minimo che devono avere le particelle per sedimentare nella vasca. A questo scopo sono stati ricavati da letteratura i valori di densità dei due ossidi:

$$\rho_s \text{ Fe(OH)}_3 = 3,65 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_s \text{ MnO}_2 = 5,026 \text{ g/cm}^3$$

i diametri limite calcolati per le vasche V_1 e V_2 sono riportati di seguito.

$$D_1 \text{ Fe(OH)}_3 = 2,56 \text{ }\mu\text{m}$$

$$D_1 \text{ MnO}_2 = 2,07 \text{ }\mu\text{m}$$

$$D_2 \text{ Fe(OH)}_3 = 1,27 \text{ }\mu\text{m}$$

$$D_2 \text{ MnO}_2 = 1,03 \text{ }\mu\text{m}$$

Tali diametri limite valgono per le particelle che presentano un densità uguale a quella degli ossidi di ferro, nel primo caso e degli ossidi di manganese nel secondo caso.

Seguendo lo stesso ragionamento relativo alla formula di Stokes, è stata calcolata la velocità limite di sollevamento delle particelle mediante la formula di Camp:

$$v_c = \sqrt{\frac{8 k (s - 1) g D}{f}}$$

In cui:

- k è il coefficiente di coesione pari a 0,05
- s è la densità relativa data dal rapporto tra la densità della particella e quella dell'acqua
- f è il coefficiente di Darcy-Weisbach posto pari a 0,025.

La velocità limite di sollevamento dovrà essere superiore alla velocità longitudinale delle particelle in vasca.

$$v_c > V_{\text{long}}$$

I diametri limite per le due vasche sono riportati di seguito.

$$D_1 \text{ Fe(OH)}_3 = 1,2 \times 10^{-2} \mu\text{m}$$

$$D_1 \text{ MnO}_2 = 8,2 \times 10^{-3} \mu\text{m}$$

$$D_2 \text{ Fe(OH)}_3 = 9,4 \times 10^{-4} \mu\text{m}$$

$$D_2 \text{ MnO}_2 = 6,2 \times 10^{-4} \mu\text{m}$$

Un problema importante per quanto riguarda le vasche di sedimentazione è dato dal fatto che, come per la vasca di ossidazione, non è presente un sistema di raccolta fanghi a fondo vasca. Le vasche sono state spurgate assieme a quella di ossidazione nel mese di Aprile 2018. Durante tale spurgo sono stati rilevati strati di solidi sul fondo della vasca e sulle pareti della vasca stessa di spessori considerevoli (inoltre vi era la presenza di stalattiti). Anche in questo caso sarà necessario l'inserimento di un sistema di raccolta oppure l'effettuazione dello spurgo a cadenza più ravvicinata.



Fig. 5.4.3 – Spurgo della seconda vasca di sedimentazione

5.5 Filtro a quarzite-pirolusite

Due pompe sommerse prelevano acqua dalla seconda vasca di sedimentazione immettendola nel filtro, mandando il sistema in pressione (7-8 bar) con una portata di esercizio di 20m³/h. Gli impianti di deferrizzazione/demanganizzazione sono necessari per il trattamento dell'acqua nei casi in cui le concentrazioni di ferro o di manganese, siano superiori rispetto ai limiti prescritti dalla normativa D.L. 31/01 e s.m.i. (ferro: 0,2mg/L, manganese: 0,05 mg/L).

Il filtro a quarzite-pirolusite non è altro che un impianto di filtrazione con tipologie di mezzi granulari che facilitano la trattenuta e l'eliminazione del ferro e del manganese. La filtrazione in genere è utilizzata per la separazione fisica dei solidi sospesi, in questo caso è utilizzata principalmente per rimuovere gli ossidi di ferro e di manganese che non sono sedimentati nella fase precedente. Tale tecnologia viene utilizzata poiché presenta delle rese di rimozione dei solidi molto elevate, persino superiori al 95%. Il mezzo filtrante viene scelto in base alle particelle che si vogliono trattenere, in questo caso è stato scelto un filtro pluristrato con quarzite e pirolusite, con filtrazione rapida in volume e flusso downflow. La scelta della pirolusite (MnO_2) deriva dalla presenza degli ossidi di ferro ed in particolare di manganese. Infatti la pirolusite è in grado di reagire e filtrare tali ossidi, consentendo una maggiore efficacia di rimozione. L'azienda ha provveduto alla sostituzione del materiale granulare del filtro nel mese di Luglio 2017 a causa di incrostazione del filtro, rilevata con aumento delle perdite di carico. I parametri dimensionali della vasca e del materiale granulare utilizzato sono descritti nella seguente tabella (Tab. 5.5.1).

Dati Filtro		
H (profondità)	m	1,9
ϕ (diametro)	m	1,7
A (area)	m^2	2,27
V (volume)	m^3	4,31
f (riempimento)	-	70%
$V_{reale} = V * f$	m^3	3,02
$H_{reale} = V_{reale}/A$	m	1,33

Tab. 5.5.1 – Parametri dimensionali del filtro

La vasca è composta da una zona superiore ed una inferiore prive di riempimento che possono essere considerate zone morte. Tali zone occupano il 30% della vasca. Il termine

f indica proprio il volume di riempimento con materiale granulare, al netto di queste zone.

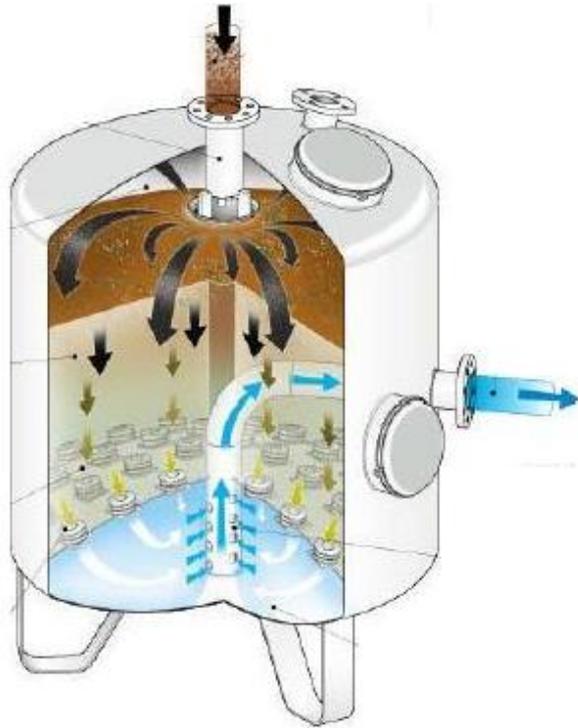


Fig.5.5.1 – Schema di un filtro presente in commercio

Il filtro è composto da tre strati, due di quarzite di diverse dimensioni e una di pirolusite sono:

- STRATO 1 → quarzite, diametro materiale granulare 3-5 mm, di massa 1200kg
- STRATO 2 → quarzite, diametro materiale granulare 0,8-1,2 mm, di massa 2500kg
- STRATO 3 → pirolusite, materiale granulare di massa 1700kg e densità del letto di $2,0\text{g/cm}^3$.

Tramite la densità del letto filtrante dello STRATO 3 (ρ_{bulk}) e la massa della pirolusite nella vasca, è stato calcolato il volume occupato dalla pirolusite (V), quindi il restante

volume sarà quello occupato dalla quarzite. Da tale volume e dalla densità della quarzite (ρ_s) è stata calcolata la densità del letto in quarzite (ρ_{bulk}). Note le densità è stato possibile calcolare il volume dei vuoti (V_v), il volume della sostanza solida (V_s), e quindi la porosità di ciascuno strato (per lo strato di quarzite è stata fatta una media dei due strati pesata sulla massa). E' stata poi calcolata l'altezza (H) della strato occupato dalla pirolusite e quella degli strati relativi alla quarzite. Le formule utilizzate sono le seguenti:

$$\rho_{bulk} = m / V_v + V_s$$

$$\rho_s = m / V_s$$

$$n = V_v / V$$

$$H = V / A$$

i risultati dei calcoli sono riportati in tabella (Tab. 5.1.2).

		STRATO 1 + STRATO 2	STRATO 3
ρ_s	g/cm^3	2,65	5,06
V	m^3	2,17	0,85
ρ_{bulk}	g/cm^3	1,71	2,00
V_s	m^3	1,40	0,34
V_v	m^3	0,77	0,51
n	-	0,4	0,6
H	m	0,96	0,37

Tab. 5.1.2 – Caratteristiche del letto filtrante

Per quanto riguarda i parametri principali per la caratterizzazione del filtro (diametro al 10%, coefficiente di uniformità coefficiente di sfericità dei granuli, resistenza meccanica ecc.), poiché non sono stati ricevuti dal costruttore non è possibile reperirli (possono essere misurati solo mediante delle prove sul filtro dopo averlo estratto). Gli unici parametri ricavati sono la velocità di attraversamento del filtro (V_0) e la massima portata transitata per unità di superficie all'ora (CIS):

$$V_0 = Q / A * n = 20,67 \text{ m/h}$$

$$CIS = Q / A = 8,81 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$$

L'acqua entra dall'alto, attraversa il letto filtrante e le impurità si depositano sui vari strati di materiale granulare, man mano la resistenza al passaggio dell'acqua aumenta, portando ad un aumento delle perdite di carico. Quando tale perdita raggiunge valori di non ammissibilità è necessario lavare il filtro mediante l'operazione di controlavaggio (prima che il filtro si ostruisca totalmente come è invece avvenuto in passato nell'impianto in esame). Le operazioni di controlavaggio sono di fondamentale importanza e prevedono l'immissione di acqua in pressione, nel filtro in direzione opposta a quella del flusso. Con il controlavaggio le particelle che ostruiscono il filtro vengono prima movimentate e poi trascinate dal flusso e infine rimosse.

Le modalità operative del controlavaggio effettuato in questo specifico impianto verranno descritte nel paragrafo successivo in quanto si svolgono assieme a quelle del filtro a carboni attivi.

5.6 Filtro a carboni attivi

L'adsorbimento è il processo mediante il quale le molecole di determinate sostanze o composti vengono trattenute da alcuni solidi porosi. In genere si utilizza come solido adsorbente il carbone attivo granulare. Vi sono due tipi di adsorbimento:

- adsorbimento chimico, in cui avvengono delle reazioni chimiche tra adsorbato e mezzo adsorbente (processo irreversibile);
- adsorbimento fisico, l'adsorbato viene trattenuto mediante forze di Van der Waals, legami idrogeno o forze elettrostatiche (processo reversibile).

Il mezzo adsorbente deve avere una elevata superficie specifica principalmente per offrire molti siti attivi e per intrappolare la sostanza o composto da rimuovere. Il processo di adsorbimento avviene mediante 4 fasi:

1. Advezione-Dispersione, in cui il flusso con il contaminante arriva vicino la particella di mezzo adsorbente, senza però entrare in contatto con il sito attivo;
2. Diffusione, il flusso arriva all'ingresso della zona porosa della particella di adsorbente, all'ingresso del sito attivo (porosità interparticellare);
3. Seconda Diffusione, il contaminante arriva nei pori (porosità intraparticellare);
4. Adsorbimento, il contaminante entra finalmente in contatto con il sito attivo.

Nel caso in esame il mezzo adsorbente utilizzato è il materiale legnoso originato dai gusci delle noci di cocco (trattato). La caratteristica principale di questo materiale è di essere per lo più microporoso (mentre altri materiali legnosi presentano una buona distribuzione di micro, macro e mesopori). Il contaminante o adsorbato, in questo caso è il cloro libero.

Il cloro proviene dall'acido ipocloroso in eccesso che non partecipa alla reazione di ossidazione nella vasca areata descritta in precedenza. In ingresso al processo di adsorbimento viene anche inserita una soluzione decolorante (WTRO Clor-20 sodio bisolfito NaHSO₃ 10-25%).

I parametri in ingresso, del filtro a carboni attivi, sono riportati nella tabella seguente (Tab. 5.6.1).

H (profondità)	m	1,70
φ (diametro)	m	1,50
m (massa carbone attivo)	kg	800
A (area)	m ²	1,77
ρ_{bulk}	g/cm ³	0,53
V_{reale}	m ³	1,51
H_{reale}	m	0,89
Diametro tipico	mm	0,5-1,00

Tab. 5.6.1 – Caratteristiche della fase di filtrazione a carboni attivi

Il volume reale (**V_{reale}**) e la profondità reale (**H_{reale}**) ovvero al netto dei vuoti, sono state calcolate sfruttando la formula relativa alla densità apparente come in precedenza.

Mediante i valori di portata e del volume, è stato possibile ricavare il valore del carico idraulico superficiale:

$$CIS = Q/A = 11,32 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$$

Per una efficace azione biologica del filtro, da letteratura, il *CIS* dovrebbe essere tra 6-10 m/h, ma in questo caso lo scopo del filtro non è la rimozione della sostanza organica ma dell'ipoclorito di sodio in eccesso presente in acqua. Un altro parametro importante

è il tempo di contatto tra refluo e letto di carbone attivo GAC (*EBCT*). Tale parametro viene calcolato con la seguente formula:

$$V_{gac} = A * H_{reale} = 1,51 \text{ m}^3$$

$$EBCT = 4,53 \text{ min}$$

Da letteratura il tempo di contatto affinché l'azione biologica del filtro sia efficace deve essere maggiore a 30 minuti, ma in questo caso il carico organico è molto basso quindi il processo funziona anche senza che tale condizione venga rispettata poiché lo scopo è l'abbassamento di concentrazione del cloro libero.

Nella tabella seguente (*Tab. 5.6.2*) sono riportati i dati relativi alla concentrazione di cloro in ingresso ed in uscita dal filtro a carbone e la quantità di cloro immessa, mese per mese, considerando un arco temporale di 6 mesi (da Luglio a Dicembre 2017).

VALUTAZIONE CLORO IN – OUT FILTRO A CARBONE				
	WT Clor Consumato Kg	WT Clor Consumato kg/h	Conc WT Clor mg/L	Abbattimento Cloro mg/L
Luglio	50	0,17	7,25	1,17
Agosto	200	0,67	27,94	1,72
Settembre	500	1,75	72,54	1,14
Ottobre	300	1,05	43,52	0,93
Novembre	200	0,70	29,02	1,70
Dicembre	300	1,05	43,52	1,60

Tab. 5.6.2 – Concentrazione di deodorante immesso e di cloro in ingresso ed in uscita dal filtro a carboni

Nella precedente tabella (Tab. 5.6.2) sono stati riportati i dati relativi al decolorante WT Clor acquistato mese per mese e quindi la portata di decolorante immessa in vasca in kg/h, dividendo tale valore per la portata di acqua immessa, è stata calcolata la concentrazione del decolorante. Nell'ultima colonna della stessa tabella, invece, è stata riportata la concentrazione di cloro abbattuta grazie al processo di filtrazione a carboni attivi e al decolorante immesso. Tale valore è stato calcolato sottraendo alla concentrazione all'uscita della filtrazione a sabbia-pirolusite, la concentrazione in uscita dalla filtrazione a carboni attivi.

Il sistema produce un abbattimento del cloro che porta la sua concentrazione da un valore medio di 1,44ppm ad un valore medio di 0,06ppm.

Per quanto riguarda le operazioni di controlavaggio, queste vengono effettuate ogni 30 ore di funzionamento dell'impianto e vengono svolte in serie, passando prima attraverso il filtro a quarzite e pirolusite e successivamente per il filtro a carboni attivi. I dati ricevuti dall'azienda sono presenti nella seguente tabella (Tab. 5.6.3).

V_{cont} (Volume totale controlavaggio)	m ³	65,00
t (tempo di funzionamento)	min	85
Q (portata controlavaggio)	m ³ /h	45,88

Tab. 5.6.3 – Caratteristiche in ingresso del controlavaggio dei due filtri

Tramite i dati in tabella (Tab. 5.6.3) si ipotizza che il controlavaggio avvenga mediante tre fasi.

- ❖ Fase 1 → la prima fase riguarda il filtro a sabbia e pirolusite ed avviene mediante aria in pressione e acqua di retentato:

$$Q_{aria} = 70 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q = 46 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$t = 20 \text{ min}$$

$$V_{\text{acqua}} = 15,33 \text{ m}^3$$

la portata di aria Q_{aria} così come la durata t di questa fase di controlavaggio, sono state ipotizzate in base al corretto funzionamento delle operazioni di controlavaggio ed ai dati forniti dall'azienda.

- ❖ Fase 2 → la seconda fase riguarda il filtro a sabbia e pirolusite ed avviene mediante l'immissione di acqua proveniente dalla vasca di sedimentazione:

$$Q = 46 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$t = 20 \text{ min}$$

$$V_{\text{acqua}} = 15,33 \text{ m}^3$$

la durata t di questa fase di controlavaggio è stata ipotizzata in base al corretto funzionamento delle operazioni di controlavaggio ed ai dati forniti dall'azienda.

- ❖ Fase 3 → la terza fase riguarda il filtro a carboni attivi e avviene mediante l'immissione di acqua proveniente dalla vasca di sedimentazione:

$$Q = 46 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$t = 45 \text{ min}$$

$$V_{\text{acqua}} = 34,50 \text{ m}^3$$

la durata t di questa fase di controlavaggio è stata ipotizzata in base al corretto funzionamento delle operazioni di controlavaggio ed ai dati forniti dall'azienda.

Per verificare il rendimento del controlavaggio bisogna calcolare il rapporto tra volume di acqua di controlavaggio (V_{cont}) e volume di acqua trattata prima di ogni controlavaggio (V_{prod}):

$$V_{prod} = Q * 30h = 600 \text{ m}^3$$

$$V_{cont} / V_{prod} * 100 = 10,83 \%$$

Per una buona progettazione il rendimento di controlavaggio dovrebbe essere inferiore al 5%, quindi in questo caso il volume di acqua di controlavaggio utilizzato è troppo elevato, per ovviare a questo problema si potrebbe agire diminuendo il tempo di controlavaggio o riducendo la portata d'acqua utilizzata. Inoltre una parte di acqua utilizzata non è acqua "pulita" ma retentato proveniente da una vasca di accumulo in uscita dall'impianto a membrana, ciò genera una diminuzione del rendimento del controlavaggio, sarebbe più opportuno utilizzare sempre l'acqua proveniente dalla fase di sedimentazione.

5.7 Microfiltrazione e Osmosi Inversa

La filtrazione su membrana è di sviluppo più recente rispetto alle tecnologie precedenti e prevede il passaggio del refluo attraverso mezzi filtranti di diverso diametro dei pori. Il flusso passa attraverso la membrana, la quale trattiene le particelle con dimensioni che dipendono dal filtro scelto. In base al filtro, infatti, si hanno i seguenti processi:

- ❖ Microfiltrazione (100-1000nm), la membrana riesce a trattenere solo batteri ed microrganismi patogeni;

- ❖ Ultrafiltrazione (10-100nm), trattiene virus e macromolecole organiche (sostanze humiche);

- ❖ Nanofiltrazione (1-10nm), trattenimento di ioni divalenti, sostanze organiche a basso peso molecolare (ad esempio i pesticidi);
- ❖ Osmosi Inversa (<1nm) rimozione anche delle molecole monovalenti.

Il flusso d'acqua in ingresso al filtro è chiamato *feed*, mentre in uscita avremo il flusso di *permeato* (acqua trattata) ed il *retentato* (acqua trattenuta concentrata di inquinanti).

L'acqua dello stabilimento oggetto di studio, dopo il passaggio attraverso il filtro a carboni attivi, arriva alla fase di prefiltrazione. Prima di tutto si effettua una microfiltrazione mediante due vessels, due contenitori in acciaio con 7 cartucce ciascuno, montati in parallelo con diametro dei pori di 20 μ m, successivamente l'acqua passa attraverso un filtro con una cartuccia di 1 μ m. La portata in ingresso è di 20m³/h e la pressione di esercizio è di 2bar.

Dopo la microfiltrazione parte della portata arriva all'impianto di osmosi inversa, mentre l'altra parte andrà a costituire il blending che verrà aggiunto all'acqua in uscita dall'osmosi inversa. La portata in uscita dalla fase di microfiltrazione viene frazionata in questo modo:

- $Q_{1,MF} = 18 \text{ m}^3/\text{h}$ entra all'impianto di osmosi inversa;
- $Q_{2,MF} = 2 \text{ m}^3/\text{h}$ acqua di blending.

L'impianto di osmosi inversa è alimentato da una portata di 20 m³/h dati dalla somma di due portate:

- $Q_{1,IN} = Q_{1,MF} = 18 \text{ m}^3/\text{h}$ acqua proveniente dalla fase di prefiltrazione;
- $Q_{2,IN} = 2 \text{ m}^3/\text{h}$ acqua di retentato dell'osmosi inversa, che costituisce il ricircolo dell'impianto e viene miscelata con degli agenti antiprecipitanti (WTC 116 25-40% ovvero polifosfato di sodio, dosato tra 10 e 30 ppm; e WTRO 191 ovvero acido etidronico <5%, di-idrogeno bifosfonato di sodio >10%, dosato tra 2 e 15 ppm).

L'impianto è composto da 5 vessels in vetroresina da 3m ciascuno, raccordati con tubi in acciaio inox alla sezione alta pressione e tubi in PVC. In ciascun vessel sono presenti 3 membrane RE8040-BLR (di tipo spiral wound), le cui caratteristiche sono riportate in tabella (Tab. 5.7.2). L'acqua passa attraverso i primi due vessels in parallelo, poi attraversa un'altra coppia di vessels sempre in parallelo, ed infine l'acqua arriva all'ultimo vessel.

La portata in uscita Q_{OUT} , viene suddivisa in:

- $Q_{1,OUT} = 14 \text{ m}^3/\text{h}$ permeato
- $Q_{2,OUT} = 6 \text{ m}^3/\text{h}$ retentato

L'acqua di retentato Q_{ret} ($= Q_{2,OUT}$), invece viene suddivisa in due portate:

- $Q_{ret,1} = Q_{2,IN} = 2 \text{ m}^3/\text{h}$ portata di ricircolo;
- $Q_{ret,2} = 4 \text{ m}^3/\text{h}$ va allo stoccaggio in vasca.

Il sistema funziona in modo tale che il Retentato in uscita dai primi due vessels in parallelo circoli nei secondi due vessels in parallelo e quindi il Retentato di questi ultimi arrivi nell'ultimo vessel. Il permeato finale $Q_{1,OUT}$, di conseguenza è dato dalla somma del permeato in uscita da ciascun vessel separatamente.

Ciò che arriva allo stabilimento è l'acqua del permeato ($Q_{1,OUT}$) miscelata con l'acqua di blending ($Q_{2,MF}$), ciò viene effettuato poiché bisogna raggiungere valori di conducibilità elettrica non troppo bassi, come si evince nella tabella seguente (Tab. 5.7.1).

	Portata [m ³]	Conducibilità [μS/cm]
$Q_{1,IN} = Q_{1,MF}$	18	1600
$Q_{1,OUT}$	14	250
$Q_{ret} = Q_{2,OUT}$	6	4500
Q_{OUT}	16	500

Tab. 5.7.1 – Valori di Conducibilità elettrica di alcune portate dell’impianto di osmosi inversa

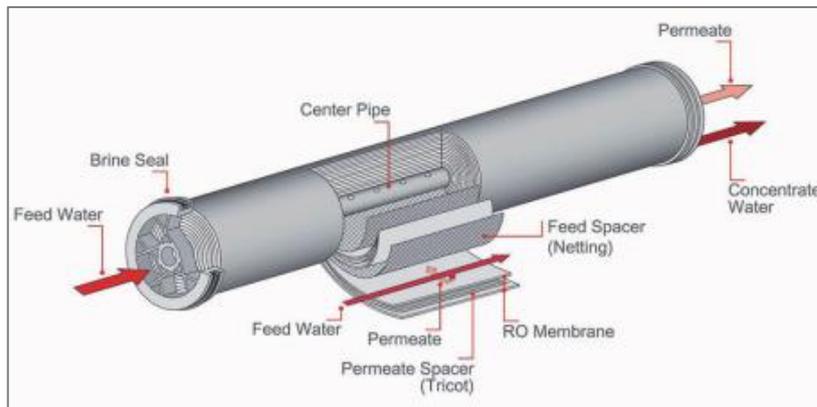


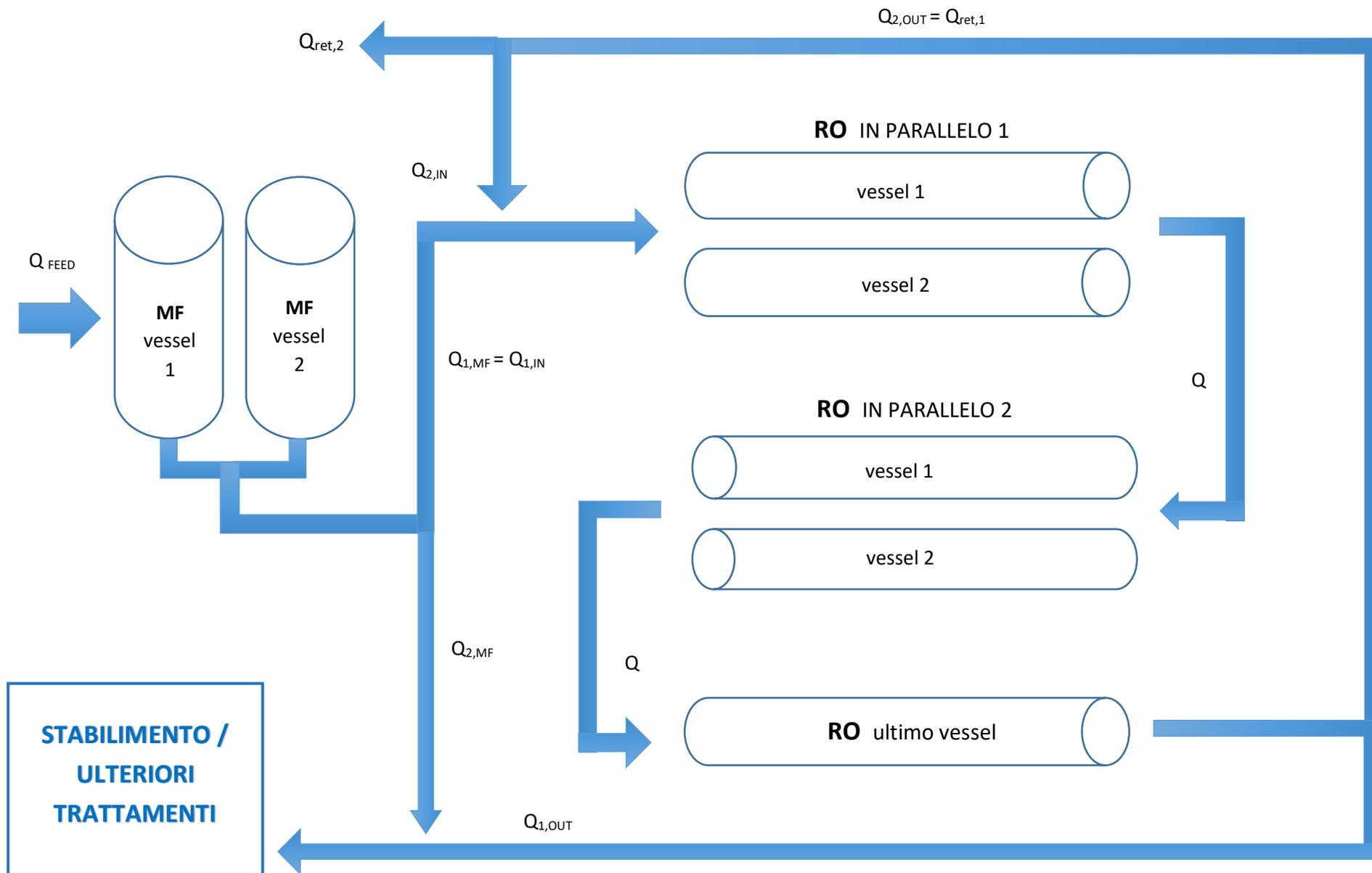
Fig. 5.7.1 – Schema di una membrana spiral wound



Fig. 5.7.2 – Tipico impianto di osmosi inversa presente in commercio

Caratteristiche delle membrane Osmosi Inversa	
Flusso di permeato	34 m ³ /d
Nominal salt rejection	99,60%
Area effettiva della membrana	37,2
Massima pressione di salto ad elemento	15 psi (0.1 MPa)
Massima pressione di salto / 240" Vessel	60 psi (0.41 Mpa)
Massima pressione operativa	600 psi (4.14 MPa)
Massima portata di flusso del FEED	17
Massima portata di flusso del Concentrato (Retentato)	3,6
Max. Operating Temperature	45 °C
Operating pH Range	2.0–11.0
CIP pH Range	1.0–13.0
Max turbidità	1.0 NTU
Max. SDI (15 min)	5.0
Max. Chlorine Concentration	< 0.1 mg/L
Permeate flow rate (alle condizioni di 1,5g/L di NaCl, 25°C, 8bar...):	34m ³ /d (15% recovery)

Tab. 5.7.2 – Caratteristiche delle membrane utilizzate per l'impianto di Osmosi Inversa



Schema 2 – Impianto di filtrazione a membrana

È importante valutare il salto di pressione in ingresso ed in uscita da ciascun vessel, infatti se la variazione di pressione è maggiore di 2 bar allora è necessaria la rigenerazione del filtro poiché è evidente che questo si è ostruito generando una resistenza eccessiva al passaggio dell'acqua. Le pressioni di esercizio valutate in impianto sono riportate nella tabella seguente (Tab. 5.7.3). Si evince che la pressione in ingresso all'impianto è di 15 bar e quella in uscita è di 10 bar.

Pressione Osmosi Inversa [bar]	
IN primi vessel in parallelo	15
IN secondi vessel in parallelo	13
IN ultimo vessel	12
OUT ultimo vessel	10

Tab. 5.7.3 – Pressioni in ingresso ed uscita delle varie fasi dell'impianto di osmosi inversa

I parametri caratteristici dei sistemi a membrana sono:

- ❖ Molecular weight cut-off (MWCO) ovvero il taglio molecolare medio corrispondente al soluto trattenuto al 90%;
- ❖ Fattore di recupero

$$R = Q_p / Q_f * 100 \text{ [%]}$$

in cui Q_p è la portata del permeato e Q_f è la portata del feed;

- ❖ Portata idrica unitaria ovvero il flusso per unità di superficie e di tempo

$$J = \Delta P / (\mu R_m) \text{ [L/h m}^2\text{]}$$

in cui ΔP è la pressione all'interno della membrana e μ è la viscosità dinamica dell'acqua. Per un impianto ad osmosi inversa vale la seguente legge:

$$J = Qp / A \text{ [L/h m}^2\text{]}$$

in cui Rm è la resistenza idraulica della membrana pulita, mentre A è l'area della membrana .

- ❖ Permeabilità ovvero il flusso per unità di superficie e di tempo per unità di pressione applicata

$$Js = J / \Delta P \text{ [L/m}^2 \text{ h bar]}$$

- ❖ Reiezione ovvero la capacità di trattenimento di una specifica sostanza

$$s = 1 - (Cp / Cf) \text{ [-]}$$

in cui Cp è la concentrazione del contaminante nel permeato e Cf è quella nel feed

- ❖ Volume concentration ratio

$$VCR = Vf / Vr$$

in cui Vf è il volume d'acqua da trattare e Vr è il volume d'acqua del retentato.

Nel caso in esame non è stato effettuato il calcolo di $MWCO$, VCR , s e Js per mancanza di dati. Invece è stato effettuato il calcolo degli altri parametri per ciascun vessel, i risultati sono in tabella (Tab. 5.7.4).

In serie abbiamo			
Vessels in Parallelo 1 (per ciascun vessel):			
numero moduli	n	-	3
Superficie totale	S	m ²	111,6
Recovery	Q _p /Q _f	-	0,33
Portata del feed	Q _f	l/h	10000
Portata permeato	Q _p	l/h	3306
Portata retentato	Q _r	l/h	6694
Portata idrica unitaria	$J = \Delta P / \mu R_m = Q_p / A$	l/h m ²	29,62
Vessels in Parallelo 2 (per ciascun vessel):			
numero moduli	n	-	3
Superficie totale	S	m ²	111,6
Recovery	Q _p /Q _f	-	0,33
Portata del feed	Q _f	l/h	6694
Portata permeato	Q _p	l/h	2213
Portata retentato	Q _r	l/h	4481
Portata idrica unitaria	$J = \Delta P / \mu R_m = Q_p / A$	l/h m ²	19,83
ULTIMO VESSEL			
numero moduli	n	-	3
Superficie totale	S	m ²	111,6
Recovery	Q _p /Q _f	-	0,33
Portata del feed	Q _f	l/h	8963
Portata permeato	Q _p	l/h	2963
Portata retentato	Q _r	l/h	6000
Portata idrica unitaria	$J = \Delta P / \mu R_m = Q_p / A$	l/h m ²	26,55
Portata permeato totale	Q _{1,OUT}	l/h	14000

Tab. 5.7.4 – Parametri del processo di filtrazione su membrana nelle tre fasi di trattamento

Il Recovery è stato calcolato tenendo conto del fatto che la portata di permeato in uscita dall'intero impianto è nota e misura 14 m³/h. Tale valore risulta molto basso proprio perché l'acqua risulta molto concentrata, inoltre ciò che viene ricircolato non è il permeato ma il retentato, quindi andrebbe calcolato non tanto il Recovery ma il rapporto tra Q_r e Q_f che vale 0,67. La portata del feed Q_f dell'ultimo vessel è stata calcolata tramite portata di retentato Q_r in uscita dal vessel precedente moltiplicata per il numero di vessels (appunto abbiamo due vessels in parallelo).

L'acqua in uscita, miscelata con il blending, subisce una seconda clorazione portando la concentrazione di cloro libero a valori di circa 0,25-0,35 ppm, nel rispetto della concentrazione limite ammissibile.

Una parte della portata in uscita viene utilizzata direttamente nello stabilimento, mentre un'altra parte passa attraverso il processo di addolcimento (tramite resine sodiche rigenerate con una soluzione di NaCl) e successivamente arriva in un secondo impianto di osmosi inversa di piccole dimensioni. Tale acqua viene utilizzata per la produzione di vermouth e per alimentare l'impianto di riscaldamento degli uffici.

5.8 Altri Impianti

In uscita dalla fase di osmosi inversa parte del retentato viene accumulato in una vasca da 35m³. Tale acqua viene utilizzata per il controlavaggio del filtro. In uscita dall'osmotizzatore, l'acqua trattata subisce una seconda clorazione che avviene all'interno delle tubazioni mediante l'aggiunta preventiva di una soluzione contenente ipoclorito di sodio. L'acqua viene quindi accumulata in tre vasche, una da 105m³ e le altre due (poste ad una certa altezza dal piano campagna) presentano un volume totale di 108m³ in totale. Dalle vasche viene prelevata l'acqua utilizzata nell'impianto di produzione vero e proprio. Una certa portata però subisce degli ulteriori trattamenti di seguito descritti.

- ❖ Addolcimento: mediante un addolcitore a doppio corpo con utilizzo di NaCl per la rigenerazione della resina. Infatti in genere l'acqua presenta dei carbonati di calcio e magnesio che causano una elevata durezza dell'acqua. Gli addolcitori sono gli impianti che permettono di ridurre le concentrazioni di sostanze che causano il problema della durezza dell'acqua. Una eccessiva concentrazione di carbonati oltre a non essere compatibile con la qualità dell'acqua destinata al

consumo umano potrebbe danneggiare l'impianto della caldaia. Infatti alte concentrazioni di carbonati di calcio e magnesio generano il formarsi di incrostazioni calcaree che ostacolano lo scambio termico (date le caratteristiche molto isolanti del calcare), quindi è necessario avere una bassa durezza delle acqua destinate a caldaie, scambiatori ed altri impianti. Inoltre tali incrostazioni sono dannose anche nelle tubazioni, perché possono portare ad una graduale ostruzione delle stesse.

L'addolcitore è costituito da una colonna con all'interno delle resine a scambio ionico. L'acqua passa attraverso la resina ed avviene uno scambio di ioni, il calcio prende il posto del sodio e si lega alla resina, il sodio quindi viene messo in soluzione. La rigenerazione si effettua facendo in modo che una soluzione salina concentrata venga aspirata e fatta passare attraverso le resine per mezzo dell'energia idraulica dell'acqua stessa (eiettori), senza dover aprire il contenitore delle resine. Gli impianti a doppia colonna sono particolarmente efficienti poiché permettono l'erogazione continua (24 ore su 24) poiché hanno una colonna di resine in esercizio ed una in rigenerazione.

- ❖ Seconda Osmosi: l'acqua passa poi per un secondo osmotizzatore molto piccolo, che lavora con una portata di $1,2\text{m}^3/\text{h}$.

Tale acqua è destinata all'impianto di produzione del vermouth e per alimentare la caldaia.



Fig. 5.8.1 – Schema di un impianto di addolcimento dell'acqua

5.9 Valutazione dei costi

È stata effettuata un'analisi dei costi con lo scopo di individuare quali operazioni pesano maggiormente nella definizione del costo di trattamento e valutare delle possibili alternative con lo scopo di rendere l'impianto maggiormente sostenibile dal punto di vista economico.

I dati provenienti dall'azienda sono relativi alle spese effettuate nei mesi che vanno da Luglio 2017 a Marzo 2018, considerando quindi un arco temporale di 9 mesi che comprende anche il periodo in cui lo stabilimento è maggiormente attivo (mesi di Agosto e Settembre). I dati sono riportati in tabella (Tab. 5.9.1).

COSTI DELLA POTABILIZZAZIONE 2017 - 2018					
	Manutenzione	Materiale	Consulenza	Reagenti	Cespiti
	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]
Luglio	5000,00	5355,95	0,00	2551,00	0,00
Agosto	8372,81	0,00	0,00	3165,00	0,00
Settembre	3150,00	0,00	0,00	3635,00	0,00
Ottobre	3550,00	0,00	0,00	3515,00	0,00
Novembre	3300,00	1675,79	0,00	2997,00	0,00
Dicembre	1950,00	1340,44	0,00	3058,00	0,00
Gennaio	2100,00	1579,57	4000,00	420,00	0,00
Febbraio	1800,00		0,00	1945,00	0,00
Marzo	2000,00	1340,50	0,00	1482,50	0,00
tot €	31222,81	11292,25	4000,00	22768,50	0,00
TOTALE 69283,56 €					

Tab. 5.9.1 – Costi relativi all’impianto di potabilizzazione delle acqua relativi ad i mesi che vanno da Giugno 2017 a Marzo 2018

Un dato importante da considerare è che nel mese di Luglio 2017 il materiale di riempimento dei filtri a sabbia e a carbone è stato sostituito completamente e le membrane dell’osmosi inversa sono state cambiate, generando dei costi di investimento che possono essere distribuiti nell’arco temporale di 10 anni (anche se la durata di questi risulta maggiore è stato scelto di ipotizzare che tali spese devono essere smaltite nei primi 10 anni di funzionamento), a tale scopo si calcola il costo di ammortamento dei filtri mediante la formula seguente.

$$C_{ammortamento} = C_i * \left[\frac{(1+i)^n}{i(1+i)^n} \right]^{-1}$$

In cui:

- C_i è il costo iniziale dell’impianto;

- n è il numero degli anni sul quale calcolo l'ammortamento, in questo caso consideriamo 10 anni;
- i è il tasso di sconto impostato pari al 5%.

Di seguito si riportano tali dati per ciascun filtro (Tab.5.9.2).

Filtro sabbia		
C_i	€	6354
Cammortamento	€/anno	823
Filtro carboni		
C_i	€	3538
Cammortamento	€/anno	458
Osmosi Inversa		
C_i	€	12078
Cammortamento	€/anno	1564
Costo annuo	2371	€

Tab.5.9.2 – Costi di investimento e di ammortamento degli impianti installati nei mesi considerati

I costi relativi ai reagenti sono riportati di seguito (Tab. 5.9.3).

	LUG		AGO		SET		OTT		NOV		DIC	
	kg	Euro	kg	Euro	kg	Euro	kg	Euro	kg	Euro	kg	Euro
WB CWT 116	400	1680	300	1260	300	1260	300	1260	260	1092	340	1428
WTRO	120	696	100	580		0	100	580	100	580	100	580
WTRO Clor-20	50	175	200	700	500	1750	300	1050	200	700	300	1050
IPOCLORITO 13/14%	0	0	2500	625	2500	625	2500	625	2500	625	0	0

	GEN		FEB		MAR		TOTALE kg	EURO al kg	COSTO TOTALE
	kg	Euro	kg	Euro	kg	Euro			
WB CWT 116	100	420	200	840	100	420	2300	4,2	€ 9.660,00
WTRO	0	0	100	580	0	0	620	5,8	€ 3.596,00
WTRO Clor-20	0	0	150	525	125	437,5	1825	3,5	€ 6.387,50
IPOCLORITO 13/14%	0	0	0	0	2500	625	15000	0,22 - 0,25	€ 3.675,00
									€ 22768,50

Tab. 5.9.3 – Quantità e costi dei reagenti dell'impianto di potabilizzazione nel periodo di riferimento.

I reagenti utilizzati sono (Fig.5.9.1):

- WB CWT 116 → antincrostante per circuiti osmosi inversa;
- WTRO → antiprecipitante per osmosi inversa;
- WTRO Clor-20 → dechlorante in ingresso all’impianto di filtrazione a carboni attivi;
- IPOCLORITO 13/14% → soluzione di NaClO in ingresso alla vasca di ossidazione.

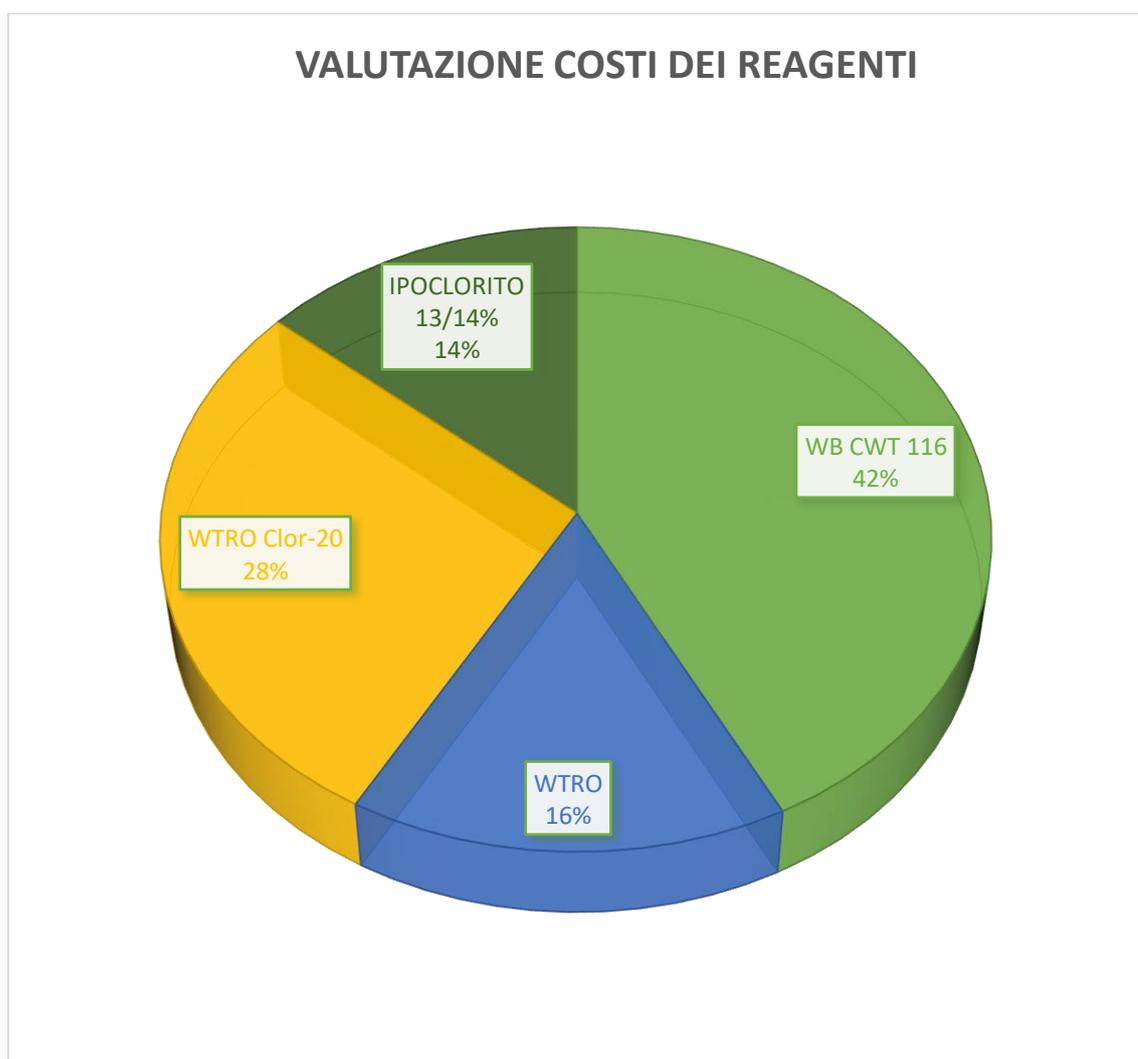


Fig.5.9.1 – Suddivisione dei costi dei reagenti

Per il calcolo del consumo energetico dell'impianto sono state effettuate delle considerazioni partendo dalla quantità d'acqua emunta e di quella potabilizzata, mese per mese.

Per quanto riguarda l'energia data dal prelievo dai pozzi, si calcolano le ore di funzionamento delle pompe dei pozzi dividendo il volume d'acqua emunta (Tab. 5.9.4) per la portata, poi si considera che la pompa del pozzo Pz1-3 presenta una potenza di 3kW, mentre quella del pozzo Pz2 di 2,2 kW.

	Acqua emunta [m ³]	Acqua potabilizzata [m ³]
Luglio	11163	7182
Agosto	8840	5505
Settembre	11956	7652
Ottobre	11747	7432
Novembre	12959	8177
Dicembre	10173	6505
Gennaio	6664	4151
Febbraio	6207	3935
Marzo	9551	5940
TOTALE	89260	56479

Tab. 5.9.4 – Tabella relativa alla massa d'acqua emunta mese per mese

Il prodotto della potenza della pompa per le ore di funzionamento dell'impianto restituisce il valore di energia consumata.

Ciò è stato effettuato considerando varie fasi dell'impianto di potabilizzazione.

- ❖ L'impianto di pompaggio dai pozzi:

Considerando che la pompa del pozzo 1-3 presenta una potenza di 3kW mentre quella del pozzo 2 di 2,2kW e calcolando le ore di funzionamento delle pompe pari al rapporto tra il volume dell'acqua emunta e portata trattata, avremo i seguenti valori.

$$\text{Ore di funzionamento} = 89620 \text{ m}^3 / 24,1 \text{ m}^3/\text{h} = 3703,73 \text{ h}$$

$$\text{Energia della Pompa del pozzo 1-3} = 3703,73 \text{ h} * 3 \text{ kW} = 11111,2 \text{ kWh}$$

$$\text{Energia della Pompa del pozzo 2} = 3703,73 \text{ h} * 2,2 \text{ kW} = 8148,22 \text{ kWh}$$

- ❖ I rilanci dell'acqua da una vasca all'altra dell'impianto, che sono stati riportati in tabella (Tab.5.9.5).

Ore funzionamento	h	3703,73
rilancio 1	kW	5,59
rilancio 2	kW	5,59
rilancio 1	kWh	20714,06
rilancio 2	kWh	20714,06

Tab. 5.9.5 – calcolo della potenza dei rilanci nelle vasche

- ❖ Il motore degli impianti di filtrazione a membrana, in particolare il motore dell'impianto a membrana ha una potenza di esercizio di 16kW e quindi moltiplicando tale valore per le ore di funzionamento si ottengono 59259,75kWh di energia.
- ❖ Il motore delle pompe per l'effettuazione del controlavaggio, il motore per il controlavaggio presenta una potenza di 9,32kW, che moltiplicati per le ore di funzionamento ovvero 185,96h allora portano ad una energia complessiva di 1733,13kWh.

- ❖ La soffiante presenta una potenza di 1,5 kW che moltiplicata per le ore di funzionamento restituisce una energia consumata di 5555,60 kWh.

In questo modo è stata calcolata l'energia richiesta, i risultati dei calcoli effettuati sono riportati in tabella (Tab.5.9.6).

Valutazione Energia consumata dagli impianti		
Pompe dai pozzi	kWh	19259,42
Rilanci nelle vasche	kWh	49920,89
Filtrazione a membrana	kWh	71408,00
Controlavaggi	kWh	1733,13
Soffiante	kWh	5555,60
TOTALE	kWh	147877,04

Tab.5.9.6 – Costi energetici

Dal costo dell'energia pari a 0,145 €/kWh è stato possibile calcolare il costo totale dell'energia considerando i 9 mesi di riferimento è di 21'442 €.

Il costo totale dell'impianto relativo ad un arco temporale di 9 mesi è di 93'096 € e comprende i costi energetici, costi dei reagenti, il costo del materiale, della consulenza e della manutenzione ed inoltre il costo di ammortamento dei nuovi impianti (filtro a sabbia, filtro a carbone e membrane per l'osmosi inversa). Il costo dell'acqua è pari a 1,65 €/m³ di acqua potabilizzata, calcolato tramite il rapporto tra costo totale e volume di acqua emunta. Sulla base dei 9 mesi di riferimento si può stimare all'incirca il costo annuo di mantenimento dell'impianto di potabilizzazione che risulta pari a 124'129€/anno.

Di seguito sono riportati i grafici a torta che riguardano la suddivisione dei costi energetici delle apparecchiature (Fig. 5.9.2) e la suddivisione dei costi totali per tipologia (Fig. 5.9.3), in questo modo si può valutare quali sono i settori che consumano in misura

maggiore e quindi su quali fasi sia opportuno cercare di intervenire per avere un migliore rendimento dal punto di vista economico.

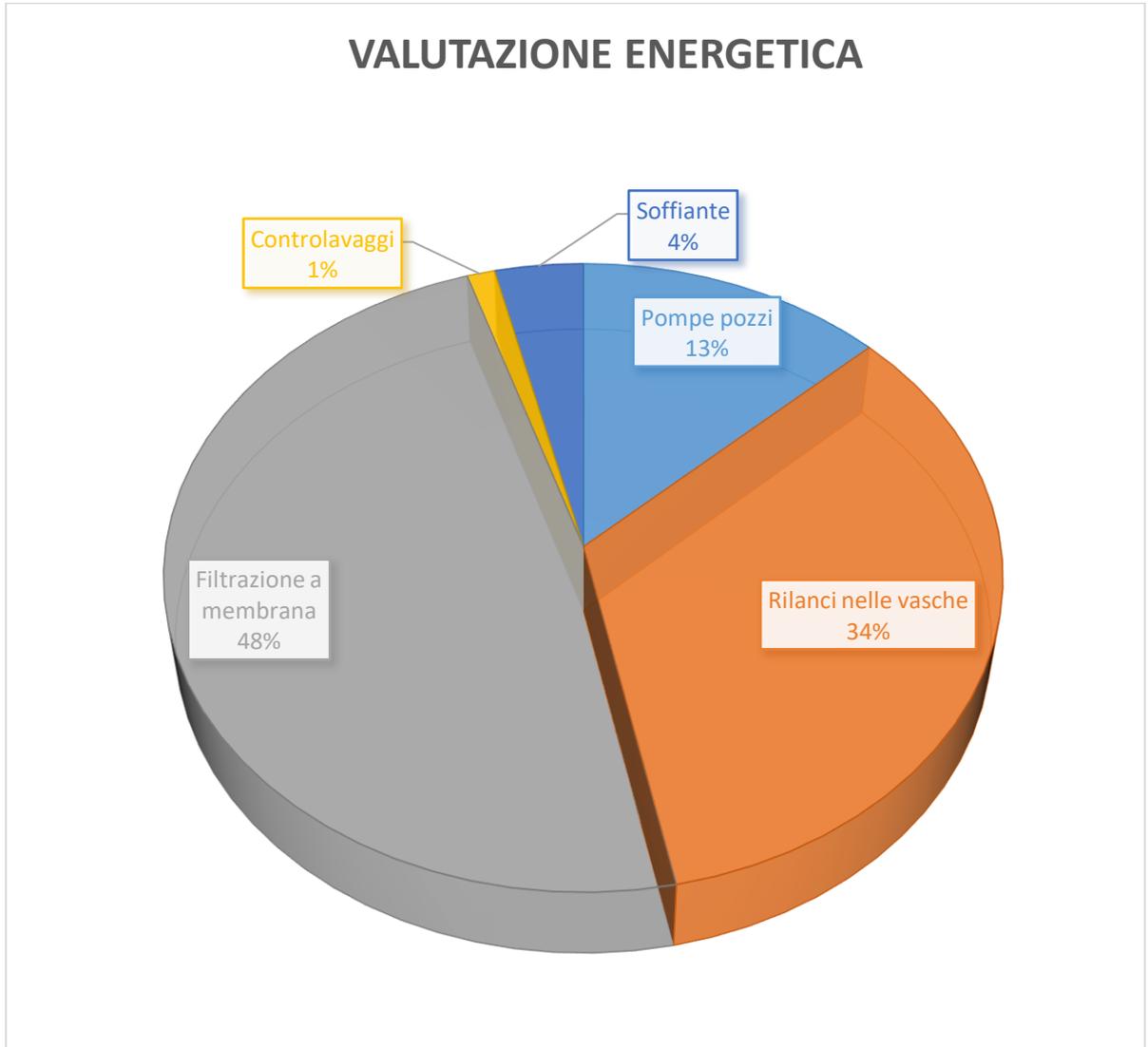


Fig. 5.9.2 – Suddivisione dell'energia richiesta per le varie fasi dell'impianto

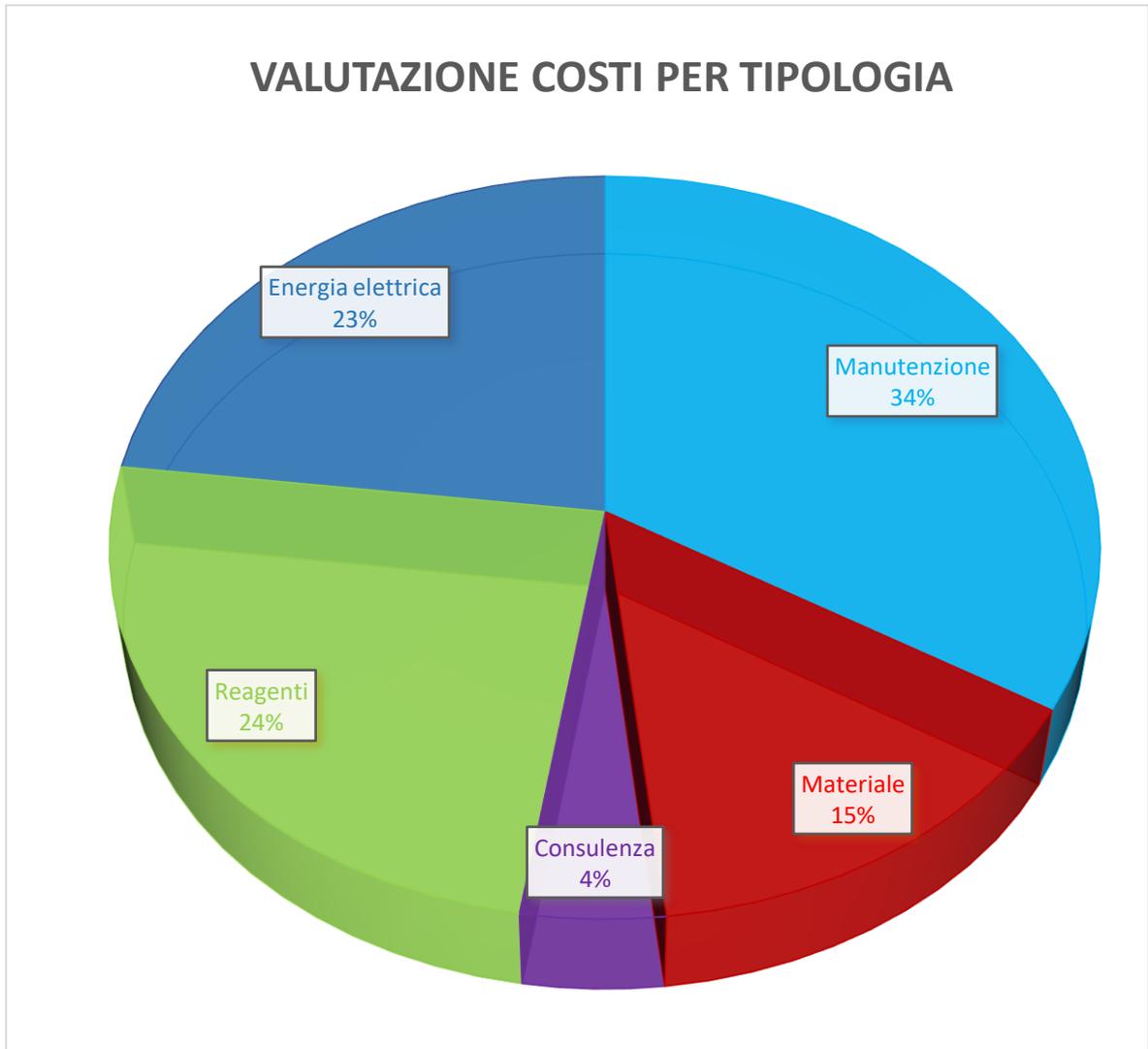


Fig. 5.9.3 – Percentuale di costo, sul totale, per le varie tipologie di costi

6. POSSIBILI ALTERNATIVE PER IL MIGLIORAMENTO DELL'IMPIANTO DI POTABILIZZAZIONE

6.1 Modifiche della fase di ossidazione

Sono state valutate delle possibili alternative per il miglioramento prestazionale dell'impianto e per la riduzione dei costi. Una delle alternative prevede un minor dosaggio di ipoclorito di sodio all'interno della vasca di ossidazione. In questo modo oltre a diminuire il costo del tale reagente, diminuirà anche quello del reagente decolorante.

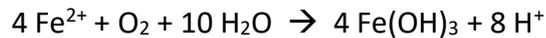
Prima di tutto è stata calcolata la quantità stechiometrica di ossigeno da insufflare, che viene consumata per l'ossidazione del ferro e del manganese e la concentrazione di ipoclorito di sodio stechiometrica sempre per l'ossidazione dei due metalli, in modo da garantire l'ossidazione degli stessi a vantaggio di sicurezza. Per ricavare la concentrazione di ferro e di manganese in vasca sono state considerate due condizioni (*Tab. 6.1.1*):

1. concentrazioni massime negli anni di riferimento (2017-2018) mediata pesata sulla portata dei pozzi (41% proveniente dal pozzo 2 e 59% dal pozzo 1-3);
2. concentrazioni massime assolute negli anni di riferimento (2017-2018) senza effettuazione della media dei due pozzi.

		Media Pozzo 1 e 2	Picco
Ferro	µg/L	2257	4167
Manganese	µg/L	509	774

Tab. 6.1.1 – Concentrazioni di riferimento di ferro e manganese considerando le sue condizioni di funzionamento ipotizzate

Per quanto riguarda la concentrazione stechiometrica per l'ossidazione del ferro mediante ossigeno, la reazione che avviene in vasca è la seguente:

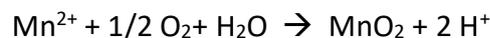


Dalla reazione si ricava il dosaggio stechiometrico per l'ossidazione del ferro: 0,14mgO₂/mgFe²⁺. Moltiplicando tale valore per le concentrazioni di ferro in vasca, si ricava la concentrazione di O₂ necessaria (Tab. 6.1.2).

Concentrazione di O ₂ per il Ferro		
	Media Pozzo 1 e 2	Picco
mgO ₂ /L	0,316	0,583

Tab. 6.1.2 – Concentrazione stechiometrica di ossigeno per l'ossidazione del ferro nelle due condizioni di funzionamento

La reazione stechiometrica per l'ossidazione del manganese è la seguente:



il dosaggio stechiometrico per l'ossidazione del manganese dalla reazione è: $0,29\text{mgO}_2/\text{mgMn}^{2+}$. Le concentrazioni di O_2 necessaria per l'ossidazione del manganese sono riportate in tabella (Tab. 6.1.3).

Concentrazione di O_2 per il Manganese		
	Media Pozzo 1 e 2	Picco
mgO_2/L	0,148	0,224

Tab. 6.1.3 – Concentrazione stechiometrica di ossigeno per l'ossidazione del manganese nelle due condizioni di funzionamento

La concentrazione totale di ossigeno che è necessario vi sia in vasca per l'ossidazione dei due metalli è riportata in tabella (Tab. 6.1.4).

Totale Ossigeno necessario		
	Media Pozzo 1 e 2	Picco
mgO_2/L	0,4636	0,8078
$\text{kg O}_2/\text{h}$	0,0112	0,0195

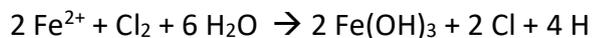
Tab. 6.1.4 – Concentrazione totale stechiometrica di ossigeno nelle due condizioni di funzionamento

A differenza dell'ossigeno disciolto, su cui non è possibile agire, per l'ipoclorito di sodio il consumo può essere modificato. L'ipoclorito di sodio in acqua si dissocia generando acido ipocloroso secondo la seguente reazione di equilibrio:

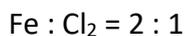


invece, la concentrazione stechiometrica per l'ossidazione del ferro mediante acido ipocloroso è stata ricavata a partire da quella del cloro gassoso mediante alcune

considerazioni descritte di seguito, poiché anche il cloro gassoso, come l'ipoclorito, genera acido ipocloroso.



Le moli equivalenti di ferro relative alle concentrazioni nei due casi in esame sono state calcolate dividendo le concentrazioni in vasca per il peso molecolare del ferro, inoltre considerando il rapporto:

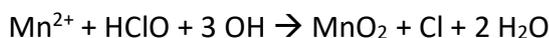


sono state calcolate le moli di Cl_2 e HOCl necessarie per l'ossidazione, quest'ultimo valore è stato poi diviso per il peso molecolare dell'acido ipocloroso ricavando, infine, la concentrazione di HOCl necessaria per l'ossidazione del ferro nei due casi di riferimento, è riportata nella tabella seguente (Tab. 6.1.5).

Concentrazione di HOCl per il Ferro		
	Media Pozzo 1 e 2	Picco
mgHOCl/L	1,060	1,957

Tab. 6.1.5 – Concentrazione stechiometrica di acido ipocloroso per l'ossidazione del ferro nelle due condizioni di funzionamento

Il manganese reagisce con l'acido ipocloroso in acqua mediante la seguente reazione stechiometrica:



il dosaggio stechiometrico relativo al manganese è: 0,955 mgHOCl/mgMn²⁺. Quindi la concentrazione di acido ipocloroso necessaria per l'ossidazione del manganese considerando le due condizioni di funzionamento è la seguente (Tab. 6.1.6).

Concentrazione di HOCl per il Manganese		
	Media Pozzo 1 e 2	Picco
mgHOCl/L	0,486	0,739

Tab. 6.1.6 – Concentrazione stechiometrica di acido ipocloroso per l'ossidazione del manganese nelle due condizioni di funzionamento

La concentrazione totale di HOCl necessario in vasca per l'ossidazione dei due metalli è riportata in tabella (Tab. 6.1.7).

Totale acido ipocloroso necessario		
	Media Pozzo 1 e 2	Picco
mgHOCl/L	1,5460	2,70
kgHOCl/h	0,0373	0,07

Tab. 6.1.7 – Concentrazione stechiometrica totale di acido ipocloroso nelle due condizioni di funzionamento

Considerando la reazione stechiometrica che porta dall'ipoclorito di sodio all'acido ipocloroso è stato possibile calcolare il dosaggio stechiometrico seguente: 1,42mgNaClO/mgHClO. Quindi è stata ricavata la concentrazione di ipoclorito di sodio necessaria (Tab. 6.1.8).

Totale Ipoclorito di sodio necessario		
	Media Pozzo 1 e 2	Picco
mgNaClO/L	2,194	3,827

Tab. 6.1.8 – Concentrazione stechiometrica totale di Ipoclorito di sodio nelle due condizioni di funzionamento

La massa di ipoclorito di sodio da acquistare al mese è stata calcolata partendo dal prodotto tra la soluzione di ipoclorito di sodio e la portata d'acqua prelevata e tale valore è stato moltiplicato per il numero di ore di funzionamento dell'impianto al giorno per il numero di giorni di funzionamento al mese. I risultati sono riportati in tabella (Tab. 6.1.9).

Il dosaggio calcolato tiene conto che l'azienda utilizza una soluzione di ipoclorito di sodio al 13-14%.

Ipoclorito di sodio stechiometrico necessario			
		Media Pozzo 1 e 2	Picco
[NaClO]	mg/L	2,19	3,83
C_{NaClO} 13-14%	mg/L	16,85	29,44
Q_{NaClO} 13-14%	kg/h	0,41	0,71
Q_{NaClO} 13-14% (al mese)	kg/mese	109,41	191,21

Tab. 6.1.9 – Massa di soluzione di ipoclorito di sodio 13-14% per ossidare i due metalli, nelle condizioni di funzionamento ipotizzate

La concentrazione di ipoclorito di sodio necessario deve essere incrementata, moltiplicando la stessa per un coefficiente di sicurezza che tiene conto della presenza di ulteriori sostanze in acqua che possono subire ossidazione e di altre reazioni che avvengono nel refluo che non è possibile conoscere a priori. Moltiplicando la concentrazione per un fattore di sicurezza pari a 1,5 avremo i valori presenti in tabella (Tab. 6.1.10).

Ipoclorito di sodio necessario considerando un fattore di sicurezza di 1,5			
		Media Pozzo 1 e 2	Picco
[NaClO]	mg/L	3,29	5,74
C_{NaClO} 13-14%	mg/L	25,27	44,16
Q_{NaClO} 13-14%	kg/h	0,61	1,06
Q_{NaClO} 13-14% (al mese)	kg/mese	164,12	286,81

Tab. 6.1.10 – Massa di soluzione di ipoclorito di sodio 13-14% per ossidare i due metalli incrementata mediante il fattore di sicurezza, nelle condizioni di funzionamento ipotizzate

Confrontando il dosaggio teorico con quello attuale si evince che la concentrazione di NaClO in vasca dovrebbe essere più bassa di quella corrente. Infatti la concentrazione al momento immessa è di 33,36ppm, mentre si dovrebbe introdurre una concentrazione di 3,29 ppm (considerando il valore medio calcolato sui picchi). Ciò porterebbe ad un minore acquisto di soluzione di ipoclorito di sodio, passando da 10'000 kg acquistati ogni 6 mesi a circa 985 kg da acquistare nello stesso arco di tempo.

In questo modo la spesa dei reagenti passa da 22'768,5 € a 19'971,7 €. Il costo di mantenimento dell'impianto relativo a 9 mesi di funzionamento sarebbe pari a 90'299,9€ invece che 93'096,7 € ed il costo dell'acqua passerebbe da 1,65 €/m³ di acqua a 1,60 €/m³ di acqua trattata.

Ipotizzando di aver inserito la concentrazione stechiometrica necessaria per l'abbattimento di ferro e manganese, l'ipoclorito di sodio che non reagisce e che rimane nel flusso d'acqua risulta molto bassa e quindi non è necessario l'inserimento del deodorante ma sarà sufficiente la sola filtrazione a carboni attivi, infatti poiché un inferiore dosaggio di ipoclorito di sodio porta ad un inferiore dosaggio anche di deodorante. Si può calcolare un ulteriore abbattimento dei costi dato dal mancato acquisto di deodorante. In tal caso il costo dei reagenti si ridurrebbe ulteriormente arrivando a 13'584 €. In tal modo il costo dell'impianto relativo a 9 mesi di funzionamento sarebbe pari a 83.912,46 €, ed il costo dell'acqua potabilizzata scenderebbe a 1,49 €/m³.

Il miglior dosaggio dell'ipoclorito di sodio produce tali vantaggi:

- minor costo della soluzione di ipoclorito di sodio;
- minor clorante necessario per abbattere il cloro libero in eccesso;
- alleggerimento dell'impianto a carboni attivi;
- assenza di costi iniziali.

Per migliorare le prestazioni dell'ossidazione sarà opportuno evitare una prima sedimentazione dei solidi in vasca, a tal scopo si possono mettere in atto le seguenti alternative:

1. inserimento di un sistema di areazione che immetta aria in continuo, in modo da creare una turbolenza costante in vasca che non permetta la sedimentazione delle particelle;
2. inserimento di un sistema di aerazione che non sia al fondo ma verticale oppure sul pelo libero come ad esempio gli aeratori di superficie, tubi forati verticali, oppure aeratori a piatti;
3. inserimento di un sistema automatico di raccolta dei solidi sul fondo (in questo caso però comunque il problema di ostruzione dei fori dei piattelli attualmente in uso si ripresenterà).

Scegliendo di modificare l'impianto tramite le tecnologie 2. e 3. si avrebbero dei costi iniziali che potrebbero poi essere ammortizzati entro gli anni di funzionamento dell'impianto introdotto, il cui numero sarà di certo superiore rispetto al numero degli anni di funzionamento dei piattelli attualmente presenti.

È importante valutare l'aumento dei costi, nel caso in cui si optasse per la soluzione 1. ovvero l'immissione di aria in continuo nella vasca di ossidazione. In questo modo le ore di funzionamento della soffiante sarebbero 6576 h (a fronte delle 3704 h attuali) il costo dell'energia passerebbe a 21'590,35 € e il costo totale dell'impianto aumenterebbe di

poco poiché si passa da 93'096,72 € a 93'244,89 € ed il costo dell'acqua rimane sempre intorno a circa 1,65 €/m³. Quindi in conclusione l'aumento del prezzo è molto basso a fronte dei benefici generati da tale scelta.



Fig. 6.1.1 - Esempio di sistema di aerazione in superficie

Un'ulteriore modifica che può essere effettuata è l'ossidazione chimica. Per ovviare al problema dell'elevata concentrazione di cloro libero in uscita dalla vasca di ossidazione, oltre alla soluzione precedentemente descritta, si potrebbe pensare ad una diversa scelta dei reagenti, in particolare mediante delle soluzioni che non presentano cloro nella loro struttura, come ad esempio l'ozono.

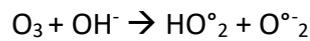
Una valida alternativa ad i composti che presentano cloro è proprio l'ozono. Tale gas consente l'effettuazione di:

- ossidazione di sostanze inorganiche ed organiche;
- disinfezione, senza generare i prodotti secondari di disinfezione (THMs)

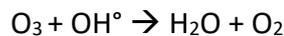
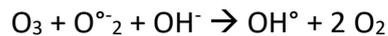
- eliminazione delle sostanze o composti rendendo l'acqua incolore e inodore;
- abbattimento di BOD e COD.

L'ozono deve essere prodotto in impianto e a contatto può generare le seguenti reazioni di decomposizione (da "Potabilizzazione delle acque - Processi e tecnologie. Teoria, applicazioni, esempi di calcolo" di Carlo Collivignarelli, Sabrina Sorlini; Editore: Flaccovio Dario):

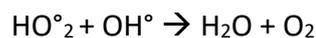
1. Iniziazione



2. Propagazione



3. Conclusione



Il gas reagisce in acqua sia in maniera diretta sia mediante la generazione di vari tipi di radicali, il più reattivo è il radicale OH° (altri radicali sono O_3° e HO_2°). Mentre l'ozono indissociato risulta più selettivo ed agisce solo con alcune sostanze, la specie radicalica OH° presenta elevata energia e reagisce velocemente con molte sostanze e composti. Le due tipologie di reazione, le quali si generano insieme, sono:

- ❖ Reazione Diretta → l'ozono reagisce come un dipolo, e si comporta sia in maniera elettrofila (diventa accettore di elettroni) che nucleofila (ovvero come donatore di elettroni), la velocità di degradazione di una sostanza dipende dalla concentrazione di ozono e della concentrazione della sostanza stessa con una velocità di reazione del primo ordine:

$$\frac{d [S]}{dt} = k_{O_3} [S] [O_3]$$

In cui $[S]$ è la concentrazione della sostanza da ossidare e k è la costante cinetica della reazione mediante ozono.

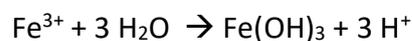
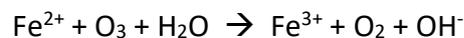
- ❖ Reazione Indiretta → la sostanza o composto viene attaccato dai radicali presenti in acqua dati dalla decomposizione dell'ozono, durante il processo di ossidazione avanzato (POA), l'ossidazione è in gran parte determinata dai radicali OH° . Tali radicali sono composti molto reattivi. La reazione è la seguente:

$$\frac{d [S]}{dt} = k_{OH^\circ} [S] [O_3]$$

in cui k_{OH° è la costante cinetica della reazione mediante il radicale OH° .

Il Processo di Ossidazione Avanzata (POA) si ha quando il numero di radicali in soluzione aumenta. Questo processo è determinato dall'ossidazione sia mediante ozono (diretto) sia con radicali OH° (indiretto). In ogni caso avvengono entrambe le reazioni di ossidazione diretta ed indiretta, ma una delle due sarà predominante.

L'ozono può ossidare gli ioni metallici in soluzione. In particolare per quanto riguarda il ferro le reazioni generate sono le seguenti:

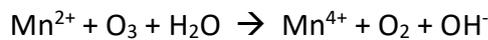


il dosaggio stechiometrico relativo all'ossidazione del ferro mediate ozono, da letteratura, è: $0,43mgO_3/mgFe^{2+}$. Quindi nel caso in esame la concentrazione di ozono necessaria per l'ossidazione del ferro considerando le due condizioni di funzionamento è la seguente (Tab. 6.1.11).

Concentrazione di Ozono per l'ossidazione del Ferro		
	Media Pozzo 1 e 2	Picco
mgO ₃ /L	0,970	1,792

Tab. 6.1.11 – Concentrazione stechiometrica di ozono necessaria per l'ossidazione del ferro nelle due condizioni di funzionamento

Per quanto riguarda il manganese, la reazione coinvolta è la seguente:

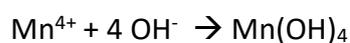


il dosaggio stechiometrico relativo all'ossidazione del ferro mediante ozono, da letteratura, è: 0,88mgO₃/mgMn²⁺. Quindi la concentrazione di ozono necessaria per l'ossidazione del manganese, considerando le due condizioni di funzionamento è la seguente (Tab. 6.1.12).

Concentrazione di Ozono per l'ossidazione del Manganese		
	Media Pozzo 1 e 2	Picco
mgO ₃ /L	0,448	0,681

Tab. 6.1.12 – Concentrazione stechiometrica di ozono necessaria per l'ossidazione del manganese nelle due condizioni di funzionamento

Bisogna comunque dire che non è stata considerata un'altra reazione che si può verificare:



tale reazione porta alla formazione di idrossidi di manganese che precipitano in acqua.

Nella fase di ossidazione, in vasca, la concentrazione totale di ozono da far reagire, per l'ossidazione dei due metalli è riportata in tabella (Tab. 6.1.13).

Concentrazione stechiometrica di Ozono		
	Media Pozzo 1 e 2	Picco
mgO ₃ /L	1,418	2,473
kgO ₃ /h	0,0342	0,0596

Tab. 6.1.13 – Concentrazione stechiometrica totale di ozono nelle due condizioni di funzionamento

Come già accennato l'ozono deve essere prodotto in stabilimento, e non può essere stoccato. Il gas instabile può essere generato mediante l'utilizzo di ossigeno puro liquido in alimentazione, oppure tramite aria che però deve essere priva di vapore acqueo, pulviscolo e impurità (il gas generato è comunque ossigeno arricchito da ozono, non si ha una conversione del 100% poiché il vapore acqueo, il pulviscolo e le impurità dell'aria abbassano l'efficienza del processo). Il sistema di generazione di ozono è composto da un serbatoio di stoccaggio (per ossigeno liquido), un sistema di alimentazione e dosaggio, ed infine l'Ozonatore vero e proprio.

Gli impianti per la produzione di ozono possono essere di vario tipo. Quelli più diffusi sono:

- scarica con celle ad effetto corona;
- raggi UV;
- via elettrolitica;
- plasma.

Il sistema scarica a corona, genera una scarica elettrica che genera ozono rompendo la stabilità delle molecole di ossigeno che formerà due radicali ossigeno. I radicali si combineranno con le molecole di ossigeno generando così le molecole di O₃. Un altro sistema molto diffuso è quello a scarica elettrica: si fa passare un flusso d'aria o ossigeno

tra due elettrodi, ai quali è applicata una differenza di potenziale. In questo modo viene generato un flusso di elettroni che dà l'energia necessaria per dissociare le molecole di ossigeno producendo O₃. Un altro processo impiega lampade a raggi ultravioletti (la produttività di ozono è minore ed il consumo di elettricità è maggiore, inoltre la vita operativa rispetto alle celle ad effetto corona è minore). Infine, i metodi per via elettrolitica ed il plasma freddo sono in via di sviluppo.

Per quanto riguarda invece l'immissione di ozono in acqua, questa deve essere effettuata massimizzando il contatto tra acqua e gas di ozono, essendo questo un composto poco solubile in acqua. La scelta del tempo di contatto e del metodo di immissione è di fondamentale importanza. I meccanismi di immissione di ozono sono vari:

- diffusori porosi a bolle in grado di immettere ozono in bolle fini (minori sono le dimensioni delle bolle maggiore è la solubilizzazione del gas);
- dissoluzione tramite iniettori, acqua passa in un iniettore di ozono gassoso e poi in un reattore di contatto con l'ozono fino ad arrivare alla camera di controllo (in-line), altrimenti una parte d'acqua viene deviata in un flusso secondario, fatto passare attraverso l'iniettore di ozono e reimpressa nel flusso principale, successivamente il flusso passa nella camera di contatto (side-stram);
- sistemi a turbina e deep U-tube, che sono i meno utilizzati.

Un'altra considerazione importante riguarda il gas in uscita dai reattori, che deve essere intercettato e, mediante un processo di distruzione di ozono per via termica o catalitica, viene trasformato in ossigeno e può essere liberato in aria o reinserito nel processo.

L'inserimento di ossidazione mediante ozono porta dei costi iniziali che potranno essere smaltiti entro gli anni di funzionamento dell'impianto. Inoltre vi sono dei costi di mantenimento dell'impianto ed in particolare dei costi energetici. I vantaggi sono dati dall'abbattimento dei costi del reagente ipoclorito di sodio e del decolorante ed un miglior funzionamento del sistema di ossigenazione.

In conclusione nella tabella seguente sono stati riportati in maniera riassuntiva i costi risparmiati relativi alle condizioni di funzionamento alternative su cui è stato possibile effettuare una valutazione economica.

	Impianto attuale	Miglior dosaggio dei reagenti	Insufflazione aria 24H	Miglior dosaggio dei reagenti + Insufflazione aria 24H
Costo annuo dell'impianto	124'129 €/anno	111'883 €/anno	124'327 €/anno	112'081 €/anno
Costo dell'acqua potabilizzata	1,65 €/m ³	1,49 €/m ³	1,65 €/m ³	1,49 €/m³
Risparmio annuo		12'246 €	-198 €	12'048 €
Abbattimento dei costi		9,87%	-0,16%	9,71%

Tab. 6.1.14 – Analisi dei costi di alcune possibili alternative

6.2 Modifiche della fase di sedimentazione

Un'altra modifica che si può effettuare riguarda il miglioramento della fase di sedimentazione. Infatti la sedimentazione avviene in due vasche, l'acqua passa per trascinamento nella prima vasca e poi allo stesso modo nella seconda vasca. Nelle vasche di sedimentazione si innescano dei meccanismi che portano alla formazione di zone morte, che non sono disponibili per la sedimentazione. Nella zona di ingresso e in quella d'uscita, la sedimentazione è disturbata dalla vicinanza dei dispositivi di immissione e di scarico (dalle parti stesse), mentre sul fondo sono presenti i solidi sedimentati non rimossi.

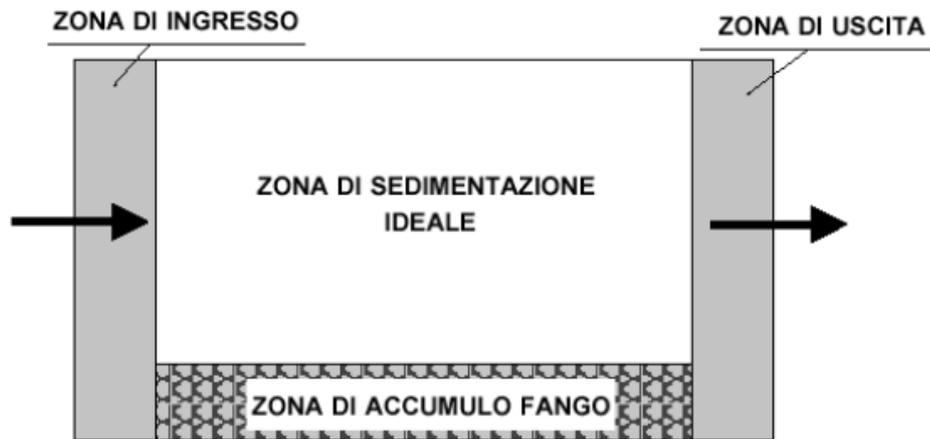


Fig. 6.2.1 – Zone della vasca di sedimentazione, relative al processo di sedimentazione

Per migliorare le prestazioni della sedimentazione si potrebbe pensare di abbattere la parete divisoria tra le due vasche di sedimentazione eliminando due zone morte ottenendo una diminuzione della velocità del flusso in vasca.

In questo modo i parametri di progetto sarebbero i seguenti (Tab. 6.2.1).

V (volume vasca)	m ³	67,87
Q (portata)	m ³ /h	24,1
H (profondità)	m	1,8
b (larghezza)	m	5
L (lunghezza)	m	8,28
A (area)	m ²	41,4
Along = L * H	m ²	14,904

Tab. 6.2.1 – Parametri di progetto della vasca di sedimentazione ipotizzata

I parametri funzionali della vasca sarebbero:

- Velocità longitudinale

$$V_{long} = Q / A_{long} = 1,617 \text{ m/h}$$

- Carico idraulico superficiale

$$CIS = Q / A = 0,582 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$$

- Tempo di residenza idraulico

$$\tau = V / Q = 2,816 \text{ h}$$

Inoltre i diametri limite sono stati riportati di seguito.

- Calcolati mediante la formula di Stokes:

$$D_{limite} [\text{Fe}(\text{OH})_3] = 1,14 \text{ } \mu\text{m}$$

$$D_{limite} [\text{MnO}_2] = 0,922 \text{ } \mu\text{m}$$

- Calcolati mediante la formula di Camp:

$$D_{limite} [\text{Fe}(\text{OH})_3] = 4,851 \times 10^{-4} \text{ } \mu\text{m}$$

$$D_{limite} [\text{MnO}_2] = 3,193 \times 10^{-4} \text{ } \mu\text{m}$$

Si può notare che i diametri limite sono inferiori rispetto a quelli precedentemente calcolati nelle due vasche di sedimentazione. Per effettuare un confronto sono stati riportati i valori minimi precedentemente calcolati, in particolare quelli relativi alla seconda vasca sono riportati di seguito.

- Calcolati mediante la formula di Stokes:

$$D_2 Fe(OH)_3 = 1,27 \mu\text{m}$$

$$D_2 MnO_2 = 1,03 \mu\text{m}$$

- Calcolati mediante la formula di Camp:

$$D_2 Fe(OH)_3 = 9,4 \times 10^{-4} \mu\text{m}$$

$$D_2 MnO_2 = 6,2 \times 10^{-4} \mu\text{m}$$

In particolare si può notare che i diametri calcolati con la formula di Camp siano circa la metà considerando un'unica vasca di sedimentazione anziché due. Ciò significa che comunque si ha una migliore sedimentazione nella vasca rispetto all'impianto attuale.

Un'altra possibile alternativa per il miglioramento delle prestazioni della sedimentazione, potrebbe essere l'immissione di acqua dalla vasca di ossidazione alla prima vasca di sedimentazione lungo la lunghezza inferiore L e non lungo b .

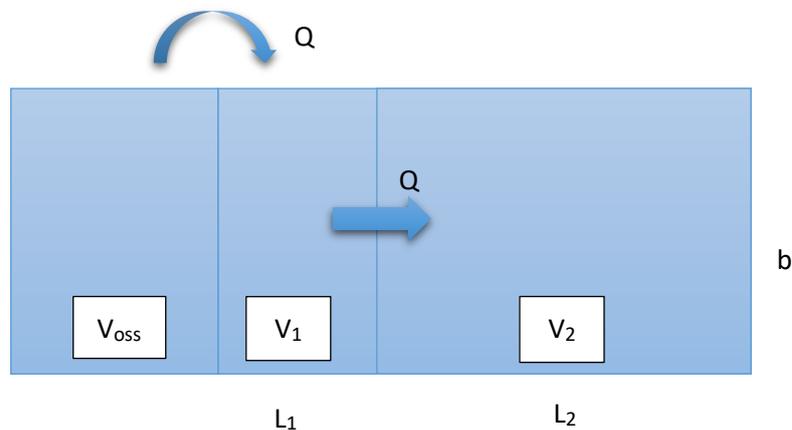


Fig.6.2.2 – Schema delle vasche di sedimentazione

I vantaggi di questi sistemi sono il miglioramento delle prestazioni dell'impianto, alleggerendo tutte le fasi successive alla sedimentazione stessa, con un costo iniziale molto basso.

Un'alternativa che migliorerebbe nettamente la fase di sedimentazione dell'impianto sarebbe l'inserimento di un sistema di pacchi lamellari. La tecnologia dei pacchi lamellari funziona indirizzando il flusso lungo una serie di tubi obliqui che consentono una maggiore sedimentabilità delle particelle. Il sistema, formato dal telaio e dalle lamelle (*Fig. 6.2.3 e Fig. 6.2.4*), presenta una maggiore efficienza nella separazione dei solidi mediante i canali a V.

Il serbatoio è diviso in quattro zone: area di ingresso, zona di accumulo del fango, zona di separazione mediante le lamelle, zona di acqua chiarificata. Il flusso d'acqua arriva dall'alto, l'acqua scende e risale attraverso le lamelle, man mano i solidi scivolano all'interno dei fasci tubolari delle lamelle e arrivano nella tramoggia e si accumulano nella zona di ispessimento, intanto l'acqua chiarificata risale dalle lamelle stesse. In commercio vi sono molteplici tipologie di serbatoi con pacchi lamellari prefabbricati (*Fig. 6.2.5*) che possono essere inseriti all'interno dell'impianto in esame, dopo la fase di ossidazione.

I parametri importanti di questo sistema sono: le dimensioni della vasca (che dipendono dalla portata), il tipo di materiale del serbatoio e delle lamelle (che dipende dalle caratteristiche fisico-chimiche dell'acqua da trattare), la forma della sezione delle lamelle che può essere di vario tipo (romboidali, circolari ecc.) e la superficie di sedimentazione ovvero la proiezione orizzontale della superficie dei fasci tubolari.

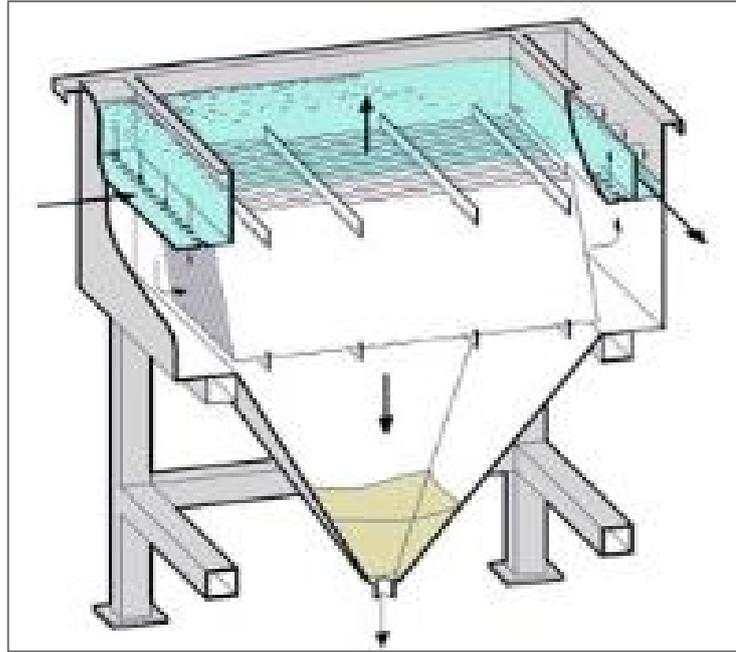


Fig. 6.2.3 – Esempio di serbatoi per pacchi lamellari di tipo circolare

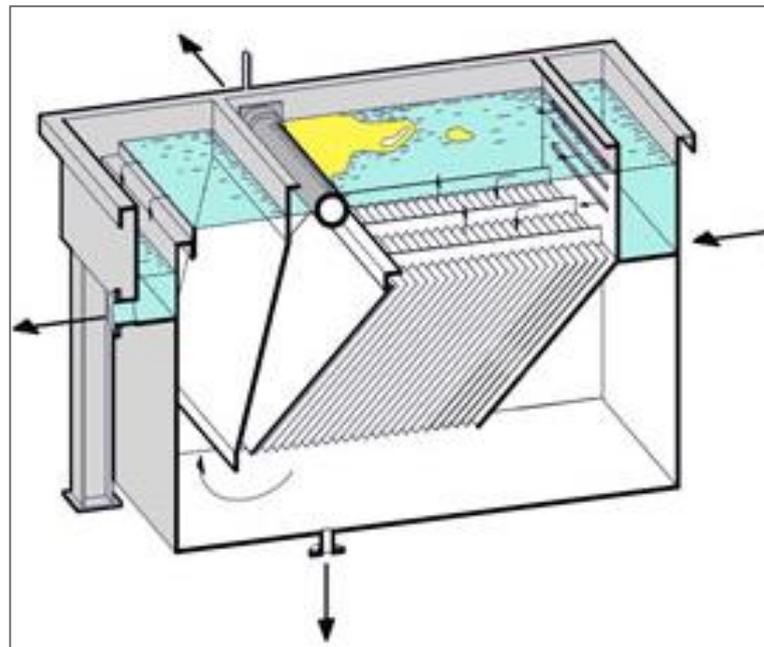


Fig. 6.2.4 – Esempio di serbatoi per pacchi lamellari di tipo rettangolare

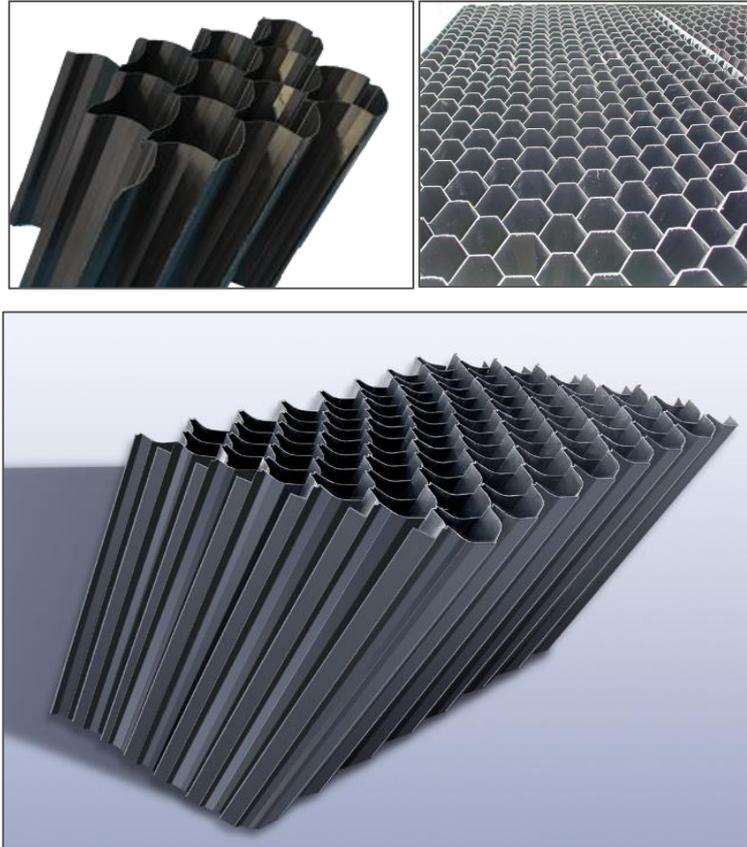


Fig. 6.2.5 – Esempi di pacchi lamellari in commercio

7. CONCLUSIONI

Mediante questa tesi è stato analizzato l'impianto di trattamento delle acque a scopo potabile di un'importante azienda vitivinicola. Il principale problema che l'azienda deve affrontare è dato dalle elevate concentrazioni di ferro e manganese che caratterizzano l'acqua da trattare. Gli impianti di potabilizzazione per il trattamento di acque ricche di ferro e manganese possono avere varie configurazioni impiantistiche, le più importanti sono costituiti da filtrazione biologica, filtrazione a membrana, e infine possono avere, come nel caso analizzato all'interno di questa tesi, una pre-ossidazione, una eventuale sedimentazione ed infine una filtrazione a sabbia.

L'azienda operante nel settore alimentare, oggetto di questa tesi, con il proprio impianto di potabilizzazione deve trattare una portata di circa 24,1 m³/h, l'impianto che funziona circa 11-12 ore al giorno, ed è composto da una vasca di ossidazione, due vasche per la sedimentazione, la filtrazione a quarzite-pirolusite e la filtrazione a carboni attivi, ed infine vi è l'impianto a membrane con microfiltrazione e successiva osmosi inversa.

Lo scopo principale dell'impianto è l'abbattimento del ferro da un valore di picco di 4,17mg/L a 0,2mg/L e del manganese da 0,77mg/L a 0,05mg/L (riferimento normativo D.L. 31/01 e s.m.i.).

L'impianto è stato analizzato in ogni sua fase di trattamento con lo scopo di ricercare delle possibili tecnologie migliorative che aumentino il rendimento tecnologico e che siano economicamente sostenibili. Dopo una attenta analisi sono stati rilevati due

principali problemi relativi alla fase di ossidazione, ovvero la presenza di solidi sedimentati in vasca ed una eccessiva concentrazione di reagenti, in particolare di ipoclorito di sodio, che causa una eccessiva immissione di clorante durante la filtrazione a carboni attivi, infine vi è l'utilizzo di acqua non depurata per le operazioni di controlavaggio che genera un abbassamento della resa di rimozione dei solidi nel filtro.

Il costo annuo del trattamento stimato è di 124'129 €/anno e l'acqua presenta un costo di 1,65 €/m³ di certo minore del costo dell'acqua erogata dal gestore del servizio idrico integrato che, per utenze produttive con portate maggiori di 200m³/anno, come nell'azienda in esame, presenta un costo di circa 4,14 €/m³ di acqua (quota variabile relativa all'anno 2017).

L'analisi dei singoli processi e l'osservazione del funzionamento dell'impianto hanno portato ad ipotizzare varie tecnologie migliorative. La soluzione migliorativa che risulta maggiormente sostenibile e tecnologicamente adeguata, quindi di maggior approfondimento all'interno di questa tesi, consiste nel giusto dosaggio di ipoclorito di sodio e conseguente clorante e nell'immissione di aria in continuo all'interno della vasca di ossidazione. Questa soluzione porterebbe ad un minor costo dei reagenti ed inoltre risolverebbe il problema relativo ai solidi sedimentati nella vasca di ossidazione.

Dai calcoli effettuati risulta che tali migliorie porterebbero ad una riduzione dei costi del 9,71%. Il costo di mantenimento dell'impianto all'anno, passerebbe da 124'129 €/anno a 112'081 €/anno con un costo dell'acqua che non sarebbe più di 1,65 €/m³ ma diventerebbe pari a 1,49 €/m³. Tale intervento genera un risparmio ed un miglioramento tecnologico che hanno un risultato certo sull'efficacia del trattamento, sui costi di mantenimento e sulla funzionalità delle apparecchiature.

Un'altra miglioria indagata riguarda l'utilizzo dell'acqua di retentato presente nella vasca di accumulo e dell'acqua della vasca di sedimentazione per le operazioni di controlavaggio dei filtri (il cui materiale di riempimento è stato cambiato a causa di incrostazioni). Tali acque risultano cariche di metalli e cloro che a contatto con il filtro diminuiscono l'efficienza del controlavaggio, quindi una possibile scelta tecnologica

consiste nell'utilizzo di acqua in uscita dal filtro a carboni attivi la cui concentrazione di ossidi di ferro, di manganese e di cloro indissociato è sicuramente inferiore. Inoltre il volume d'acqua di controlavaggio risulta troppo elevato, quindi deve essere utilizzata una portata che restituisca un valore di rendimento di controlavaggio inferiore o uguale al 5%. Ciò consente di avere un miglioramento tecnologico senza nessuna spesa aggiuntiva.

Queste scelte tecnologiche possono essere applicate all'impianto di potabilizzazione in quanto presentano degli indubbi vantaggi a fronte di costi iniziali nulli, restituendo un evidente abbattimento dei costi annuali e possono essere effettuate senza la necessità di importanti variazioni di processo o dell'impianto. Altre possibili alternative indagate riguardano il possibile inserimento di un impianto ad ozono o di turbine di superficie, inoltre è possibile il miglioramento della fase di sedimentazione, mediante l'integrazione di un sistema a pacchi lamellari. Tali tecnologie richiedono comunque dei costi iniziali. Una possibile analisi che può essere portata avanti riguarda un approfondimento sull'analisi dei costi delle altre tecnologie migliorative ipotizzate ed i costi di ammortamento delle stesse. Inoltre è necessario comunque un periodo di monitoraggio delle tecnologie migliorative applicate in modo da poter analizzare e considerare ulteriori miglorie applicabili all'impianto in esame.

BIBLIOGRAFIA

“Potabilizzazione delle acque - Processi e tecnologie. Teoria, applicazioni, esempi di calcolo” di Carlo Collivignarelli, Sabrina Sorlini; Editore: Flaccovio Dario.

“Imprese alimentari - La gestione dell’acqua potabile” di Piergiuseppe Calà; articolo da “Alimenti & Bevande” Anno XVIII - 1 - Gen-Feb 2016.

Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, Norme in materia ambientale.

Decreto della Presidente della Giunta Regionale 4 agosto 2009, n. 14/R.

Decreto legislativo 2 febbraio 2001, n. 31.

Decreto 6 aprile 2004, n. 174, del Ministero della Salute.

Decreto del ministero della Salute 14 giugno 2017, in “Gazzetta ufficiale” del 18 agosto 2017, n. 192.

Deliberazione della Giunta Regionale 10 gennaio 2012, n. 2-3258

Regio Decreto 11 dicembre 1933, n. 1775, “Testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e impianti elettrici”.

“Metodi analitici per le acque” APAT - Manuali e Linee Guida 29/2003, edizione finale è a cura di: Maria Belli, Damiano Centioli, Paolo de Zorzi, Umberto Sansone (Agenzia per la protezione dell’ambiente e per i servizi tecnici - APAT) Silvio Capri, Romano Pagnotta, Maurizio Pettine (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca sulle Acque - CNR-IRSA).

Regolamento Regionale 11 dicembre 2006 N. 15/R.

“Ion Exchange: Theory and Application”, di F.C. Nachod

“Iron and manganese removal and membrane fouling during UF in conjunction with prechlorination for drinking water treatment” di Kwang-Ho Choo*, Haebum Lee, Sang-June Choi; Journal of Membrane Science 267 (2005) 18–26.

“Removal of iron and manganese using biological roughing up flow filtration technology” di Virginia Alejandra Pacini, Ana Mari´a Ingallinella, Graciela Sanguinetti; Water Research 39 (2005) 4463–4475.

“Trattamenti biologici per le acque potabili: si può fare in sicurezza? – Analisi di alcuni casi di studio” slides di Luca Pedrazzi; da “8 Maggio 2017 – Fast acque potabili: sicurezza e ottimizzazione per impianti e reti smart” SUEZ.

“Iron and manganese removal: Recent advances in modelling treatment efficiency by rapid sand filtration” di D. Vries, C. Bertelkamp, F. Schoonenberg Kegel, B. Hofs, J. Dusseldorp, J.H. Bruins, W. de Vet, B. van den Akker; Water Research 109 (2017) 35-45.

“Understanding ultrafiltration fouling of ceramic and polymeric membranes caused by oxidized iron and manganese in water treatment” di Seyedeh Laleh Dashtban Kenari, Benoit Barbeau; Journal of Membrane Science 516 (2016) 1–12.

“TECNOLOGIE PER L’ACQUACOLTURA” slides Professor Massimo Lazzari; Scuola di specializzazione in: Allevamento, igiene, patologia delle specie acquatiche e controllo dei prodotti derivati; Dipartimento di scienze veterinarie per la salute, la produzione animale e la sicurezza alimentare; Università di Milano.

“Caratteristiche e proprietà dei sedimenti” del Prof. Giorgio Fontolan; Università degli studi di Trieste.

“USO DELL’ OZONO NEL TRATTAMENTO DI ACQUE REFLUE DI CANTINE”; Tesi di Laurea in Ingegneria Chimica e dei Materiali (Laurea triennale DM 270/04 – indirizzo Processi Industriali); Laureando: Davide Andriollo, Relatore: Prof. Lino Conte, Tutor aziendale: Dott. Cristian Carboni; Università degli studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale.

“ACQUA DESTINATA AL CONSUMO UMANO - La normativa di riferimento” di Carlo Foppa, Francesco Bruno, Mario Cifarelli, Michela Favaro, Susanna Fucini, Massimiliano Motta, Riccardo Negro, Angela Maria ROSOLEN; Agenzia per i servizi pubblici locali del Comune di Torino

PIANO DI TUTELA PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE DELLE ACQUE (D.C.R. n. 117-10731 del 13 marzo 2007), A.1 RELAZIONE ILLUSTRATIVA, REGIONE PIEMONTE - Direzione Pianificazione delle Risorse Idriche

SITOGRAFIA

http://www.salute.gov.it/portale/temi/p2_6.jsp?lingua=italiano&id=4456&area=acque_potabili&menu=norme

<http://www.chimica-online.it/biologia/fermentazione.htm>

<http://www.chimica-online.it/biologia/fermentazione-alcolica.htm>

<http://www.diwinetaste.com/dwt/it2002102.php>

https://it.wikipedia.org/wiki/Metodo_classico

https://it.wikipedia.org/wiki/Metodo_Martinotti

<https://sites.google.com/site/laborraceria/tabella-enoteca-italiana>

<https://it.wikipedia.org/wiki/Vinificazione>

<http://www.agraria.org/viticultura-enologia/vino-spumante.htm>

<http://www.depurazioneacquearrigoni.it/addolcitori/prezzi.html>

<https://www.enexio.com/>

<http://www.regione.piemonte.it/ambiente/>

<http://www.depurazioneacque.it/>

<https://www.scmtec.com/>

<http://www.ciemimpianti.com/index.asp>

<http://www.osmosistemi.it/>

<https://www.lenntech.it/>

https://www.giordanovini.it/blog/Metodi_Spum