POLITECNICO DI TORINO

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

OTTIMIZZAZIONE DEL SISTEMA DI GESTIONE DELLE ACQUE

IN UN' INDUSTRIA AUTOMOBILISTICA

CASO STUDIO: STABILIMENTO MASERATI "AVV. GIOVANNI AGNELLI PLANT"

RELATORE:

PROF. MARIACHIARA ZANETTI

CO-RELATORI:

EHS MANAGER AGAP:
GIORGIO FIORE

EHS SPECIALIST AGAP:
ANNUNZIATA MUZZUPAPPA

CANDIDATO:

AGOSTINO DEL REGNO

ANNO ACCADEMICO 2017 – 2018

La tesi è stata svolta in collaborazione con il reparto EHS, Enviroment Healt and Safety, dello stabilimento di proprietà del gruppo FCA:

AGAP: Avvocato Giovanni Agnelli Plant

https://www.fcagroup.com/plants/it-IT/agap/the_plant

Abstract: Negli ultimi anni si sta assistendo ad un cambio di rotta a favore di una nuova visione di rivalutazione della risorsa idrica, in cui essa viene vista come un patrimonio che va universalmente condiviso ed utilizzato in maniera adeguata, senza alcuno spreco, e non più, come una risorsa inesauribile e di nessun costo notevole. A causa dell'inquinamento, dovuto ad un continuo sviluppo ed utilizzo di ultime tecnologie, e dei numerosi interventi d'ingegneria, si sta assistendo ad una modifica sostanziale del ciclo idrologico naturale che comporta, di conseguenza, anche un deterioramento della qualità dell'acqua. Purtroppo non è possibile intervenire direttamente, affrontando il problema della scarsità dell'acqua, con una diminuzione dell'utilizzo di essa. Una soluzione a tale problema, di grande attualità, oggetto di attenzione sia dal punto di vista scientifico che legislativo, consiste nella possibilità di riutilizzo delle acque reflue, a seguito di uno specifico trattamento. Questo comporta un uso più razionale ed evoluto della risorsa idrica, con una conseguente ottimizzazione del sistema di gestione delle acque. Il vantaggio che ne deriva, dal punto di vista economico, consiste nel fornire una fonte di approvvigionamento idrico alternativa, valida per ottemperare quegli usi, per i quali non è richiesta necessariamente acqua di elevata qualità. Uno dei settori, nel quale è diventata indispensabile una corretta gestione della risorsa idrica, delle acque reflue e del loro riutilizzo, è rappresentato da quello industriale.

Il presente lavoro di tesi mira proprio ad approfondire la tematica del riutilizzo, proponendo, allo stesso tempo, una soluzione pratica attraverso l'applicazione di tale strategia ad un caso studio reale, svolto presso lo stabilimento di produzione di automobili AGAP, "Avvocato Giovanni Agnelli Plant". Per la realizzazione di un intervento di riutilizzo è, innanzitutto, necessario individuare la componente da riutilizzare, analizzare l'intero percorso dell'acqua all'interno dello stabilimento, soffermandosi sui vari utilizzi e sui diversi requisiti minimi che deve possedere per assolvere alle varie funzioni, in modo tale da indicare quelle aree e/o processi che possono essere capaci di accogliere la componente riutilizzata. Infine, potrebbe essere necessario individuare un ulteriore trattamento di depurazione per attuare il riutilizzo della componente scelta. Per quanto riguarda il caso analizzato, il periodo di tirocinio effettuato in azienda, ha permesso di portare a termine le fasi appena descritte, consentendo di giungere ad una concreta proposta d'intervento: il riutilizzo delle acque reflue in uscita dall'impianto di depurazione, sotto forma di velo d'acqua per la cattura delle particelle di verniciatura, disperse all'interno delle cabine. Si è proseguito con lo studio di fattibilità pratica in termini di consumi, di logistica e di costi.

Il lavoro si conclude con una valutazione dei vantaggi apportati a seguito dell'attuazione dell'intervento, con particolare attenzione alla quantificazione della riduzione dell'impatto ambientale dello stabilimento, derivante da una diminuzione degli scarichi effettuati in pubblica fognatura (S.MA.T.). Lo studio effettuato ha permesso, inoltre, di poter avanzare ulteriori proposte di riutilizzo, che a seguito di analisi più approfondite, possono essere applicate in futuro, e condurre lo stabilimento verso una politica ambientale incentrata sempre più sul concetto di "sviluppo sostenibile".

INTRODUZIONE 1

1. AVVOCATO GIOVANNI AGNELLI PLANT: DESCRIZIONE DELLO STABILIMENTO 3

1.1. STORIA: DAL 1959 AD OGGI 3

1.2. SITUAZIONE ATTUALE 5

2. CICLO DI PRODUZIONE DI UN'AUTOMOBILE 7

2.1. LASTRATURA 8

2.2. VERNICIATURA 11

2.3. MONTAGGIO 25

2.4. FINIZIONE 27

3. PROBLEMA APPROVVIGIONAMENTO IDRICO: APPROCCIO E SOLUZIONE… 28

3.1. ACQUE REFLUE 30

3.2. ACQUE REFLUE INDUSTRIALI 35

4. CICLO DELLE ACQUE INTERNE ALLO STABILIMENTO 37

4.1. ACQUA INDUSTRIALE: APPROVVIGIONAMENTO 37

4.2. ACQUA INDUSTRIALE: LASTRATURA 43

4.3. ACQUA INDUSTRIALE: VERNICIATURA 49

4.4. ACQUA INDUSTRIALE: MONTAGGIO 54

4.5. ACQUA INDUSTRIALE: CENTRALE TERMICA 57

4.6. ACQUA INDUSTRIALE: IMPIANTO DI OSMOSI INVERSA E DEMINERALIZZAZIONE 59

4.7. ACQUA INDUSTRIALE: TRATTAMENTO ACQUE REFLUE 68

5. POSSIBILI INTERVENTI DI OTTIMIZZAZIONE 74

5.1. CRITERI DI SCELTA DELL'INTERVENTO 75

5.2. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO 82

5.3. DIMENSIONAMENTO DELL'INTERVENTO: ANALISI CONSUMI 88

5.4. ANALISI BENEFICI/COSTI 95

5.5. PROGETTI FUTURI: PROPOSTE D'INTERVENTO 102

6. CONCLUSIONI 105

BIBLIOGRAFIA 107

SITOGRAFIA 109

INTRODUZIONE

L'acqua riveste il ruolo della risorsa più importante sulla Terra, in quanto è in grado di apportare cambiamenti al nostro pianeta dal punto di vista, sia geologico che paesaggistico; ed è proprio grazie alla sua presenza ed abbondanza, che è stata possibile la nascita della vita. La Terra è ricoperta per tre quarti della sua superfice da acqua, e, infatti, vista dallo spazio, appare come un pianeta azzurro. La gran parte di questa, però, non è immediatamente disponibile per gli usi umani.

Di tutta l'acqua che è presente negli oceani e nelle acque superficiali, soltanto una piccola parte viene "movimentata" tramite l'azione dell'energia solare, attraverso l'evaporazione, partecipando così al ciclo dell'acqua, e precipitando, in seguito, nuovamente al suolo. La gran parte di quest'ultima aliquota, non rappresenta una risorsa idrica utilizzabile, dal momento che, una parte evapora nuovamente dal suolo, mentre un'altra viene intercettata dalla vegetazione, oppure defluisce verso il mare in breve tempo, e non è, dunque, disponibile con continuità nell'anno. L'acqua che precipita al suolo, viene immagazzinata in strati di terreni permeabili (acquiferi), i quali ne rallentano il deflusso verso il mare: questa rappresenta la risorsa idrica, potenzialmente accessibile con continuità, per gli usi antropici.

Tale componente d'acqua, permeata nel terreno, si distingue in: risorsa disponibile, cioè quella che affiora spontaneamente in sorgenti dando vita ai corsi d'acqua, e risorsa potenziale, che resta in falda ed è potenzialmente emungibile mediante pozzi .In Italia, la risorsa idrica viene impiegata soprattutto per i seguenti utilizzi: irriguo, industriale, energetico e ovviamente quello idropotabile, cioè l'acqua utilizzata per gli usi domestici. Quindi, la componente di acqua, utilizzata in ambito industriale, non è da trascurare.

Il problema della scarsità d'acqua, oggi, è diventato più realistico che mai, arrivando a minacciare anche quei paesi industrializzati, nei quali, la risorsa idrica, viene utilizzata in modo irrazionale, con continui sprechi. Non è, dunque, un problema che riguarda soltanto quei paesi caratterizzati storicamente da stress idrico, quali, ad esempio, l'Africa.

Soprattutto per questi motivi, giorno per giorno, in tutto il mondo, sta aumentando la consapevolezza di dover mettere in atto, al più presto, effettive contromisure per salvaguardare tale risorsa. In termini pratici, una delle soluzioni effettuabili, in maniera istantanea ma allo stesso tempo efficace, è rappresentata dal riutilizzo delle acque reflue depurate, già da qualche tempo, adottata, soprattutto in ambito aziendale.

L'elaborato seguente, ha come obiettivo quello di applicare tale soluzione ad un caso reale, ossia allo stabilimento di produzione di automobili denominato AGAP, "Avv. Giovanni Agnelli Plant", di proprietà FCA, al fine di ottimizzare il sistema di gestione delle acque.

Il periodo di tirocinio effettuato in azienda, ha avuto inizio nel mese di Ottobre 2017 e si è concluso nel mese di Febbraio 2018, per cui, è stato scelto di basare l'intero lavoro sui dati riguardanti un anno di riferimento che va dal mese di Ottobre 2016 al mese di Settembre 2017.

Si è partiti da una descrizione strutturale dell'intero stabilimento, soffermandosi su un'analisi descrittiva delle attività produttive, che vengono svolte all'interno dello stesso, per poi, in seguito, focalizzarsi, da un punto di vista generale, sul problema dell'approvvigionamento idrico. Da qui i temi trattati in maniera generale, sono stati approfonditi per lo stabilimento in questione, con particolare attenzione verso la descrizione del percorso dell'acqua, a partire dalla fase di prelievo, fino alla fase di smaltimento in rete fognaria. Per poter giungere alla formulazione di un'ipotesi d'intervento, che preveda il riutilizzo delle acque reflue, al fine di ottimizzare il sistema di gestione, è stato effettuato uno studio approfondito sulle diverse lavorazioni, che richiedono l'utilizzo della risorsa idrica in entrata al plant. In base alle analisi effettuate, riguardo alla valutazione quantitativa e qualitativa sia delle acque utilizzate che dell'aliquota in uscita dallo stabilimento, è stato poi individuato il processo più idoneo a riutilizzare le acque di scarico depurate, senza che ciò richiedesse ulteriori trattamenti di tale risorsa.

Il passo immediatamente successivo, ha previsto un'analisi approfondita dei consumi, e dei potenziali benefici, nell'ottica di riduzione dell'impatto ambientale, conseguente all'applicazione pratica della soluzione trovata, nonché, una ricerca delle possibili proposte per attuare l'intervento in modo concreto.

Tutto ciò è stato possibile grazie alla gentile e cortese collaborazione del personale dello stabilimento AGAP, dimostratosi sempre disponibile ad ogni richiesta, ed in particolare, del reparto EHS, Environment Health and Safety, che si è sempre impegnato nel condurre tutte le azioni necessarie a raggiungere gli obiettivi di tale studio.

La proposta d'intervento è stata accolta in maniera molto positiva ed è stata presa in considerazione per una prossima attuazione pratica dalla dirigenza.

1.AVVOCATO GIOVANNI AGNELLI PLANT: DESCRIZIONE DELLO STABILIMENTO

1.1. STORIA: DAL 1959 AD OGGI

Figura 1. Logo dello stabilimento

AGAP (Avvocato Giovanni Agnelli Plant) è uno degli stabilimenti Maserati di proprietà FCA, la quale presenta un ampio numero di impianti, situati sull'intero territorio italiano. Gli altri principali stabilimenti presenti in Italia, di proprietà della medesima azienda, sono ubicati a Torino (Mirafiori), Piedimonte San Germano (Cassino), Pomigliano d'Arco, Melfi e Modena.

Lo stabilimento è una fabbrica automobilistica situata in Piemonte, precisamente nel comune di Grugliasco in provincia di Torino. Costruita nel 1959 dalla Bertone, è dal 2009 di proprietà del Gruppo FCA.

Durante un piano di sviluppo della produzione, la Carrozzeria Bertone decise di costruire un nuovo polo produttivo, che venne inaugurato nel 1959. Da quel momento iniziò la produzione e/o l'assemblaggio di versioni specifiche dei modelli di serie, per varie case automobilistiche, quali: Fiat 850 Spider, tra il 1965 e il 1972, di cui furono prodotti più di 130.000 esemplari. Tra gli altri modelli che, oltre a essere disegnati, furono assemblati direttamente a Grugliasco, vi sono la ASA 1000 GT, la Volvo 780, le versioni cabriolet dell'Opel Astra F e della Fiat Punto e la Opel Astra Coupè e Cabriolet G. Nel 2000 vi fu anche un'escursione nel campo delle motociclette, con l'assemblaggio del BMW C1.

Alla morte di Nuccio Bertone nel 1997, figlio dello storico fondatore dell'azienda Giovanni, seguì un lento declino della società, dovuto all'insorgere di alcuni problemi economici e organizzativi che sancirono uno dei momenti peggiori per l'azienda, non solo dal punto di vista societario ma anche da quello familiare. L'inizio di tale momento, fu sancito dall'annullamento del contratto produttivo con la FIAT, la quale non acconsentì alla Bertone di produrre l'Alfa Romeo GT, preferendo di assemblarla nel proprio stabilimento di Pomigliano d'Arco.

Fra le varie trattative di acquisizione, nel 2007 si fece avanti la DR Automobiles: l'intesa poi non fu conclusa per decisione della dirigenza Bertone.

Il 23 gennaio 2008, dopo una lunga crisi, l'azienda fu venduta da Lilly Bertone, la presidente e moglie di Giovanni, a Domenico Reviglio, presidente del gruppo Keiber;

La Carrozzeria Bertone (all'epoca contava circa 1100 dipendenti), compresa la holding, fu dichiarata in stato di insolvenza nel 2008, e i 3 commissari straordinari, nominati dal Ministero dello Sviluppo Economico, richiesero l'amministrazione straordinaria per procedere alla redazione di un programma di cessione dell'azienda e alla pubblicazione del relativo bando di gara.

Il 6 agosto 2009, l'ex stabilimento Bertone di Grugliasco, venne acquisito dalla FIAT con il nuovo nome di *FGA-OAG* (*Officine Automobilistiche Grugliasco*), che in seguito nel 2013, è stato modificato in AGAP, acronimo di "Avvocato Giovanni Agnelli Plant", denominazione rimasta ancora valida al giorno d'oggi.

La fabbrica è stata trasformata in un centro di produzione di modelli di autovetture *Premium*, oggi all'avanguardia a livello mondiale: **Maserati.**

Nel corso del 2012 è partito il rilancio di questo stabilimento con la fine della cassa integrazione, in corso dal 2008, per i suoi 1100 dipendenti; i modelli in produzione sono la **Maserati Quattroporte** (*Figura 2a*) del 2013, il cui lancio risale, proprio, a metà gennaio dello stesso anno, e la **Maserati Ghibli** (*Figura 2b*), il cui lancio è avvenuto nello stesso periodo.(*www.fcagroup.com, 2017*)

Figura 2. Maserati Quattroporte (prima modello, a) e Maserati Ghibli (prima modello, b)

1.2. SITUAZIONE ATTUALE

Ad oggi l'intero stabilimento conta circa 1.700 dipendenti ed una produzione giornaliera di circa 140 vetture al giorno, su due turni di otto ore, con una capacità teorica massima di 50.000 vetture/anno, con un numero di fornitori esterni pari a 230. (*www.fcagroup.com, 2017*)

Tutti i dati, riportati di seguito nell'elaborato, sono stati gentilmente concessi dal personale AGAP.

Il plant si estende su una superficie di 176.400 m^2 (*Figura 3*):

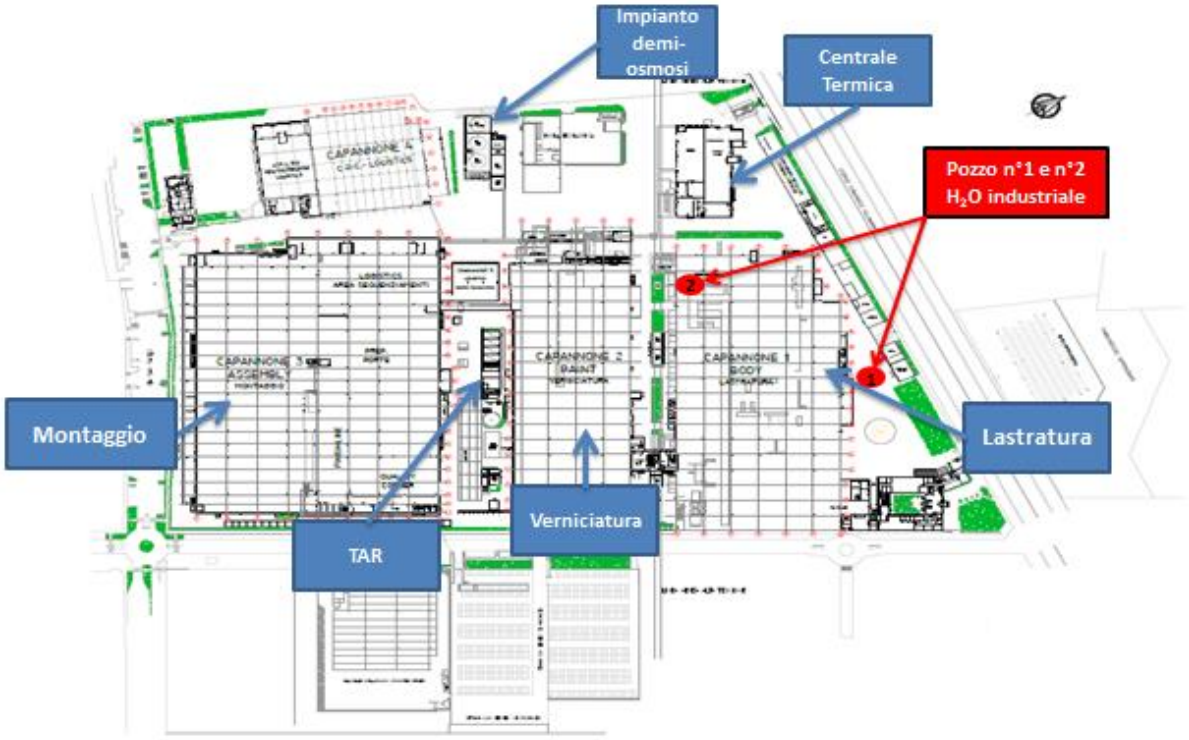

Figura 3. Planimetria generale dello stabilimento (AGAP)

Sono presenti due diverse ingressi principali: il primo, in Via Alfieri Maserati, 65; il secondo situato dalla parte opposta, su Corso Allamano.

Le principali strutture presenti all'interno del perimetro dello stabilimento sono:

- Capannone Lastratura: superfice di 23.600 m^2, situato nella parte nord-est;
- Capannone Verniciatura: superfice di 16.200 m^2, situato nella parte est;
- Capannone Montaggio: superfice di 36.000 m^2, situato nella parte sud-est;
- Capannone Logistica Centro di Consolidamento: superfice di 5.500 m^2, situato nella parte sud-ovest ;

- Capannone ex-Palazzina Sigot: superfice di 2.600 m^2, situato nella parte nord-est, adiacente alla lastratura;
- Capannone Logistica nuovo magazzino: superfice di 930 m^2, adiacente al capannone verniciatura;
- Capannone General Services: superfice di 1.300 m^2, situato nella parte nord;
- Centrale Termica + Atelier: superfice di 2.600 m^2, situato nella parte nord, accanto al capannone di General Service;

Oltre i capannoni principali, all'interno dello stabilimento, sono presenti ulteriori locali che, anche se non per estensione, rivestono un ruolo importante per la corretta conduzione di tutto il processo produttivo dello stabilimento:

- l'impianto chimico-fisico di Trattamento delle Acque Reflue (T.A.R), situato accanto al reparto di verniciatura;
- l'impianto di osmosi-demineralizzazione, situato nella parte ovest del plant, perfettamente in linea con il TAR;
- l'isola ecologica, situata accanto all'impianto di osmosi-demineralizzazione;

All'esterno del perimetro dello stabilimento è presente un'area di deposito delle vetture, ormai pronte per poter essere spedite e consegnate ai rispettivi acquirenti. Le automobili, una volta superati gli ultimi controlli di verifica della qualità, sia estetica che funzionale, vengono coperte tramite dei veli per motivi di conservazione del prodotto, e trasportate, attraverso un ponte sopraelevato, il quale collega il capannone del montaggio con l'area di stoccaggio, "piazzale Out-Bound".

2. CICLO DI PRODUZIONE DI UN'AUTOMOBILE

Il ciclo di produzione di una vettura, all'interno di AGAP, si compone di quattro differenti fasi consecutive: **Lastratura, Verniciatura, Montaggio e Finizione.** La causa dei principali impatti dello stabilimento sull'ambiente esterno è da ricercare proprio in tali lavorazioni:

1°Fase di Lastratura: partendo da elementi in lamiera stampata, con opportuni assemblaggi e saldature, viene realizzata la carrozzeria dell'autoveicolo, definita scocca.

2°Fase di Verniciatura: viene applicato alla scocca il colore scelto dal cliente. Inoltre vengono anche effettuati trattamenti per renderla il più possibile resistente alla corrosione e duratura nel tempo, dando così origine ad una pellicola aderente, colorata e resistente agli agenti esterni.

3°Fase di Montaggio: vengono assemblate tutte le parti interne della vettura e tutti i piccoli dettagli. In tale fase avviene anche il primo riempimento di liquidi (olio, carburante etc.).

4° Fase di Finizione: si effettua la rifinitura delle vetture, in modo tale da prepararle per la spedizione.

Le richieste energetiche e di acqua, da parte di tutte le Unità Operative, vengono soddisfatte tramite apposite reti di distribuzione dedicate, tali da garantire il corretto svolgimento del processo produttivo.

Di seguito, verrà analizzata, nel dettaglio, ogni fase di lavorazione, condotta all'interno dello stabilimento preso in esame, e che distingue il brand Maserati da quelli di gamma ordinaria. Tutti i dati riportati in tale trattazione sono stati concessi dal personale AGAP.

2.1. LASTRATURA

L'unità di Lastratura è la più automatizzata in AGAP, con la presenza di 86 robot e numerose stazioni automatiche di saldatura e spalmatura di ultima generazione, condotte da personale autorizzato ed adeguatamente preparato, presente in numero di circa 300.

Il capannone nel quale vengono condotte le attività di lastratura, è situato nella parte nord dello stabilimento, accanto all'entrata di Corso Allamano, e copre una superfice pari a 23.600 m^2.

L'obiettivo principale, di tale comparto, consiste nel realizzare la carrozzeria dell'autoveicolo definita **scocca.**

Partendo da elementi in lamiera stampata, con opportuni assemblaggi e saldature, ha inizio il processo di produzione della scocca, attraverso le seguenti attività:

- Preparazione di elementi e sottogruppi;
- Preparazione dei gruppi (padiglione, fiancate, autotelaio);
- Unione dei gruppi per formare la scocca (imbastitura);
- Compimento dell'unione: montaggio delle parti mobili (porte, cofani, sportelli).

I componenti principali di una scocca, in generale, sono (*Figura 4*):

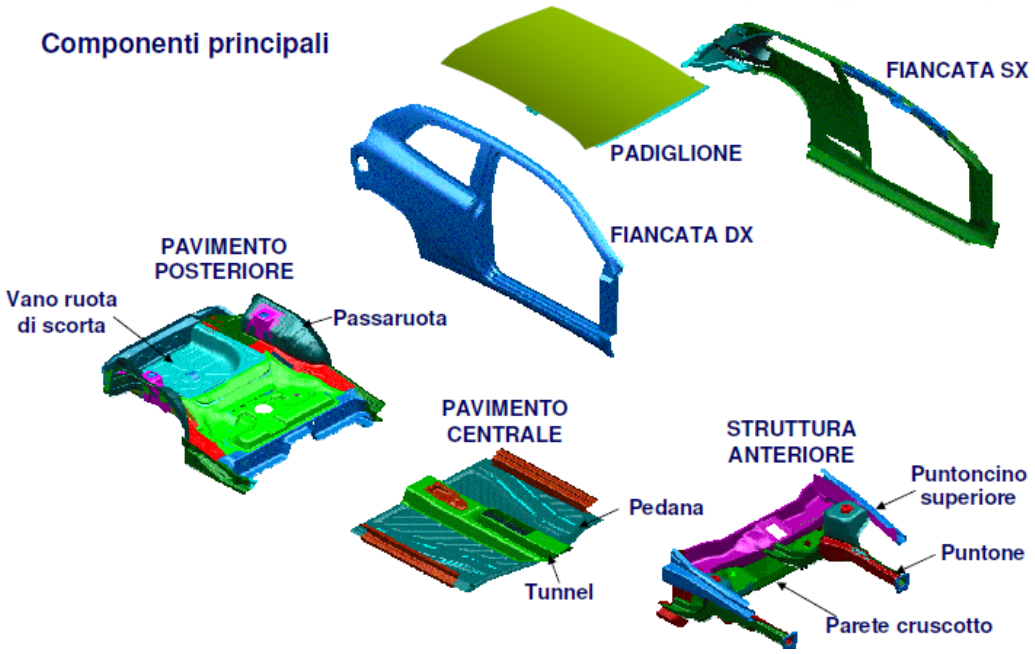

Figura 4. Elementi principali di base della scocca (*Valentini, R., 2010*)

Il comparto di lastratura è suddiviso in tre aree, denominate UTE, Unità Tecnologica Elementare (*Figura 5*):

Figura 5. Planimetria: Capannone Lastratura

Il processo produttivo di lastratura inizia nella UTE 1, con la composizione dell'ossatura anteriore, la quale è soggetta ad opera di saldatura, da parte di due operai, in una prima fase, e di due robot, in una seconda. Contemporaneamente, lungo la stessa direzione ma in verso opposto, viene composto il pavimento posteriore, ottenuto con la stessa opera di saldatura, precedentemente descritta.

Le due linee, essendo lungo la stessa direzione ma in senso opposto, finiscono per incontrarsi, permettendo, in questo modo, l'unione dei due componenti, grazie all'opera dei robot presenti, alcuni dei quali, inoltre, effettuano anche un lavoro di sigillatura, con l'applicazione di un materiale sigillante.

Una volta unita l'ossatura anteriore con il pavimento posteriore, il prodotto viene sollevato e trasportato nella zona di composizione del pavimento centrale, il quale poi verrà assemblato alle restanti parti.

Nella parte finale della UTE 1, quindi, si avrà la composizione del cosiddetto "autotelaio", parte bassa della carrozzeria, destinata a sostenere la maggior parte degli organi meccanici.

Successivamente nella UTE 2, all'autotelaio prodotto precedentemente, viene aggiunta la fiancata destra e quella sinistra, sfruttando, come nelle fasi precedenti, tecniche di saldatura tramite pinze, usualmente, associate al braccio robotico, ed in qualche caso, utilizzate, anche da addetti specializzati.

Nella UTE 3, infine, si ha la fase di ferratura, che consiste nell'aggiunta delle cosiddette **parti mobili**, componenti in lamiera, che sono fissate alla scocca mediante sistemi a "cerniera", ovvero porte, cofano e baule.

I differenti componenti singoli, sui quali vengono effettuate le lavorazioni di lastratura, non sono prodotti all'interno dello stabilimento (ad esempio particolari stampati), ma provengono da fornitori esterni.

Le scocche di Ghibli e Quattroporte presentano la peculiarità di essere in doppio materiale: telaio in **acciaio** e parti mobili in **alluminio**.

L'assemblaggio delle parti in lamiera, costituenti la scocca, come detto in precedenza, avviene mediante saldatura elettrica a punti, attività che può essere svolta dagli addetti e/o mediante l'utilizzo di linee automatizzate.

La saldatura elettrica a punti è un procedimento di saldatura autogena, "per pressione", nel quale il calore necessario alla fusione viene fornito, per resistenza, dal passaggio della corrente elettrica. La saldatura a punti rappresenta uno dei processi che viene applicato ai giunti di sovrapposizione della lamiera.

Durante questo processo, per garantire un miglior risultato funzionale ed estetico, vengono utilizzati alcuni preparati chimici, come sigillanti elettrosaldabili, adesivi strutturali e mastici.

Nel caso di lamiere in alluminio, si possono riscontrare delle difficoltà nell'adozione del tradizionale metodo di saldatura a punti, facendo così ricorso alla cosiddetta "**rivettatura"**, tecnica di derivazione aeronautica, che consiste nell'unire fra loro lamiere e/o lamine plastiche di modesto spessore e, parzialmente sovrapposte, con l'utilizzo di rivetti.

È una giunzione usata, comunemente, nelle lavorazioni meccaniche, e che rende la lastratura AGAP del tutto eccezionale all'interno del panorama *automotive*.

Al termine della UTE 3, una volta unite anche le parti mobili, la scocca è soggetta a controlli di qualità, per poter verificare che non sia presente alcun difetto, dovuto alle lavorazioni precedenti, e soprattutto, che rispetti gli standard richiesti dal brand Maserati.

In seguito ad un parere positivo, derivato da tale controllo, la scocca ha il "permesso" di entrare nel comparto di verniciatura.

Il tempo impiegato per comporre una scocca completa è pari a 6 ore circa.

Con un takt time, tempo medio tra l'inizio della produzione di un'unità e l'inizio della produzione dell'unità successiva, di circa 5 minuti, la lastratura è in grado di comporre le grandi e complesse

scocche a partire dalle lamiere stampate, impiegando più di 3.000 punti di saldatura, 190 self-piercing rivet e circa 80 metri di speciali adesivi, il tutto, passando, per numerosi controlli geometrici automatizzati. (*www.fcagroup.com, 2017*)

2.2. VERNICIATURA

L'unità di verniciatura rappresenta la parte centrale del processo produttivo di un'automobile.

È uno dei comparti nel quale si registra la maggior produzione di reflui industriali dell'intero stabilimento. Difatti, durante l'intera fase di verniciatura, vi è un ingente utilizzo di acqua, sia industriale, cioè direttamente prelevata dalla falda sotterranea tramite pozzi, sia osmotizzata, quindi precedentemente trattata, ed in uscita dal relativo impianto presente all'interno dello stabilimento (*v. paragrafo 4.5*).

Oltre ad essere il maggiore responsabile di produzione di reflui industriali, dal reparto di verniciatura derivano anche una certa quantità di emissioni in atmosfera, contenenti anche COV e un'altrettanta produzione di rifiuti, anche pericolosi, destinati allo smaltimento al di fuori dello stabilimento (come ad esempio **solventi esausti**).

La scocca giunge in tale reparto, tramite un complesso sistema di trasportatori aerei, presente all'interno delle varie unità operative dello stabilimento, caratterizzato da una catena, alla quale è collegata una struttura di bracci meccanici, in grado di sollevare la vettura e portarla a varie destinazioni.

Finora sempre uguale a sé stessa, la scocca viene sottoposta ad un processo di "**pretrattamento**" al fine di poter ricevere uno dei 13 colori della gamma, tramite l'operato dei robot di verniciatura, circa 10, condotti da personale adeguatamente preparato, circa 300 addetti. La capacità di produzione, di tale reparto, risulta pari a 9 vetture/ora, con un takt time, di 6 minuti.

Il capannone, nel quale vengono condotte le attività di verniciatura, è situato parallelamente alla struttura, nella quale avvengono le lavorazioni di lastratura, coprendo una superfice pari a 16.200 m^2.

La verniciatura, in generale, prevede (*www.uniroma2.it, 2017):*

- *"un supporto idoneo a ricevere il prodotto verniciante;*
- *un prodotto verniciante idoneo per il supporto;*
- *un ciclo di applicazione idoneo a trasferire correttamente il prodotto al substrato.*

La combinazione di queste tre condizioni consente di ottenere risultati validi in termini di:

- *prestazioni decorative;*
- *prestazioni anticorrosionistiche."*

L'unità consta di quattro aree denominate UTE, Unità Tecnologica Elementare: in generale, oltre ai processi di applicazione della vernice vera e propria, vengono effettuati anche trattamenti anticorrosivi ed opere di sigillatura, affinché la scocca possa resistere il più possibile al trascorrere del tempo.

Viene applicato anche un ulteriore primer protettivo, di **fondo**, prima dell'opera di spruzzatura del **colore** e, infine, quella della **resina trasparente**, che ne conferisce l'effetto brillante.

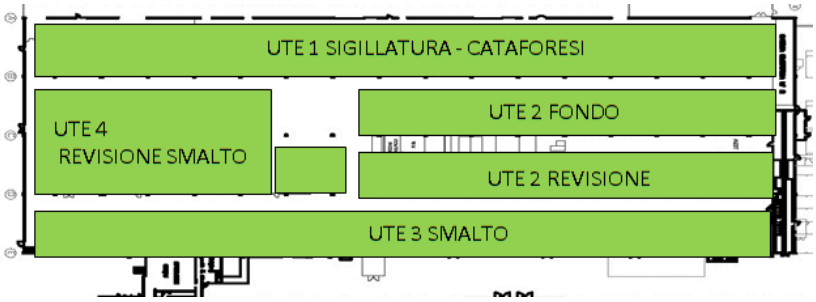

Figura 6. Planimetria: Capannone Verniciatura

Ogni area è provvista di zone di delibera (quality gate), appositamente dedicate all'individuazione ed eliminazione di tutti i difetti generabili in linea, così da riuscire a mantenere, in qualsiasi evenienza, un determinato standard del prodotto finito.

Ulteriore verifica, proviene dagli occhi e dalle mani di addetti revisionisti, i quali terminano il processo di verniciatura, al fine di garantire un prodotto d'eccellenza, scevro della più piccola imperfezione.

Uno schema delle lavorazioni, che subisce la scocca durante tutto il processo di verniciatura, è riportato di seguito (*Figura 7*):

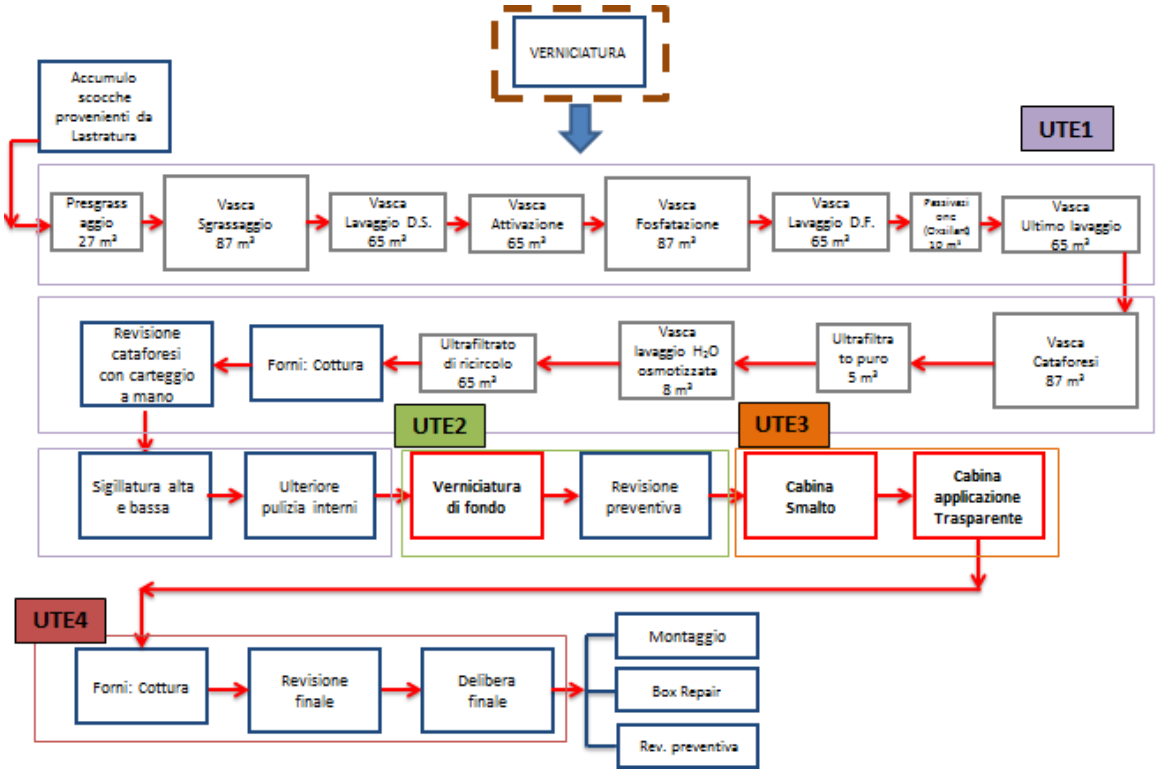

Figura 7. Schema delle fasi durante il processo di Verniciatura

Il processo di verniciatura ha inizio con l'arrivo della scocca dal reparto di lastratura, dopo aver subito tutte le lavorazioni ed i controlli di qualità necessari.

La scocca, a causa delle precedenti lavorazioni di saldatura e spalmatura, presenta delle tracce di olii, grassi ed altre sostanze che devono essere eliminate, prima di poter procedere alla verniciatura vera e propria del corpo dell'auto.

Per questo motivo, la prima fase che caratterizza il reparto di verniciatura prende il nome di "**pretrattamento**". Tale fase avviene nella UTE 1 e prevede, innanzitutto, il passaggio della scocca in una prima cabina, nella quale avviene il cosiddetto "**pre-sgrassaggio**": consiste nel lavaggio della scocca tramite ugelli ad alta pressione, con una soluzione composta da: acqua industriale, tensioattivo anionico (circa 180/270 kg), sali inorganici di potassio (circa 1800/2700 kg) e acido ortofosforico (circa 100 kg), che permette, quindi, una parziale eliminazione delle sostanze estranee presenti.

Successivamente, si ha un secondo trattamento, definito "**sgrassaggio**", in cui avviene l'immersione della scocca in una vasca, di capacità pari ad 87 m^3, colma di una soluzione, composta rispettivamente da acqua industriale, tensioattivi, sali inorganici di potassio e acido ortofosforico, nelle stesse quantità della sostanza utilizzata nel "**pre-sgrassaggio**", per poter effettuare, quindi, un'ulteriore pulizia ed essere certi dell'eliminazione di tutto lo sporco presente sulla scocca, derivante dal processo di lastratura.

Infine, viene completato il lavaggio della scocca tramite un'ulteriore immersione in una seconda vasca, di capacità pari a 65 m^3, in cui è presente una soluzione composta, nuovamente, da acqua industriale e tensioattivi.

Una volta conclusi i processi di lavaggio della scocca, per l'eliminazione delle sostanze estranee, la fase di "**pretrattamento**" procede con l'effettuazione di trattamenti chimici, volti a rendere lo scheletro dell'auto adatto alle successive fasi di verniciatura. La peculiarità di tali trattamenti è rappresentata dall'utilizzo, non più di acqua industriale, bensì di acqua osmotizzata.

Il primo di questi è la cosiddetta "**Attivazione**" che consiste nell'attivare la superficie della scocca, per prepararla a ricevere un uniforme rivestimento fosfatico. Questo trattamento viene effettuato con l'immersione della scocca in una vasca, di capacità pari a 65 m^3, nella quale è presente una soluzione composta da sali organici ed inorganici di zinco (circa 65/130 Kg); allo stesso tempo all'entrata ed all'uscita dalla vasca sono presenti anche ugelli ad alta pressione, con la medesima soluzione presente in essa.

Il successivo trattamento chimico è rappresentato dalla "**Fosfatazione**": consiste nell'immersione della scocca in una vasca, di capacità pari a 87 m^3, nella quale è presente una soluzione composta da additivi per la **fosfatazione** (miscela di sali inorganici, acido fluoridrico, acido esafluorosilicico ed altri), uniti ad acqua osmotizzata. Gli additivi, presenti in soluzione, alterano la superficie del materiale metallico, di cui è composta la scocca, con conseguente creazione di uno strato cristallino protettivo (di spessore 5-10 μm), uniforme, compatto e composto da cristalli fosfatici di piccole dimensioni, legati chimicamente al substrato. L'utilizzo di tale soluzione, permette di migliorare la resistenza alla **corrosione** e favorire **l'adesione** della vernice, nelle fasi successive, grazie all'aumento della micro rugosità superficiale. Anche in questo caso, viene effettuato un lavaggio ad alta pressione tramite ugelli all'entrata ed all'uscita dalla vasca, con la medesima soluzione presente in essa.

Prima di passare all'ultimo trattamento chimico previsto, la scocca subisce un ulteriore lavaggio, per poter eliminare tutte le sostanze in eccesso, che possono essersi depositate a seguito della "**Fosfatazione**".

L'ultimo trattamento chimico previsto nella fase di "pretrattamento" è la cosiddetta "**Passivazione**".

*"La **passivazione** è un fenomeno di natura elettrochimica, che può rallentare o impedire completamente la reazione di corrosione dei materiali metallici che, altrimenti, subirebbero. Il fenomeno consiste, sostanzialmente, nella formazione di un sottile film (costituito da prodotti della corrosione, sostanze presenti nell'ambiente aggressivo o ossigeno adsorbito sulla superficie del metallo) che aderisce perfettamente alla superficie del pezzo a contatto con l'ambiente aggressivo (in questo caso **H_2O osmotizzata**). Affinché il fenomeno della passivazione possa avvenire, il film deve ostacolare la diffusione dell'agente ossidante (generalmente ossigeno), per cui deve essere "compatto", ovvero denso e poco poroso".*(*Pedeferri, P., 2007*)

Una conseguenza, che deriva spesso dal processo della passivazione, consiste nella cosiddetta condizione di **passività** del materiale metallico, che porta all'inibizione del fenomeno della corrosione, ed all'azzeramento della velocità di accrescimento del film passivante, che resta "sottile".

Il processo di passivazione può, in alcuni casi, non comportare la condizione di passività quando il film passivante, formatosi, non risulti abbastanza compatto, causando la diminuzione della velocità di corrosione, senza, però, raggiungere un valore nullo.

Per poter raggiungere condizioni di passività, è necessario che il film passivante possieda le seguenti caratteristiche:

- ***"compattezza** (cioè bassa porosità): in modo da bloccare la diffusione dell'ossigeno nel bulk del materiale metallico;*
- ***stabilità**: nelle condizioni ambientali prese in esame;*
- ***spessore molto sottile**: i film più spessi sono infatti meno compatti;*
- ***uniformità**: deve ricoprire in maniera uniforme tutta la superficie del materiale metallico; se invece tale strato non ricopre in maniera adeguata la superficie del materiale, l'ossigeno ha la possibilità di reagire con il metallo e il fenomeno della corrosione non viene bloccato."*

"Più nello specifico, i principali fattori che influenzano il processo di passivazione, concorrendo a determinare la diminuzione o l'annullamento della velocità di corrosione, sono la natura del materiale metallico e le condizioni ambientali (tra cui pH, umidità atmosferica e temperatura)."(*Pedeferri P., 2007*)

Il lavaggio della scocca viene effettuato tramite ugelli ad alta pressione con una soluzione composta da acqua osmotizzata e additivi per il trattamento superficiale dei metalli (composti da acido nitrico ed idrossido di sodio).

La fase di "**pretrattamento**" prosegue con un ultimo lavaggio del corpo dell'auto, con acqua rigorosamente osmotizzata unita a tensioattivi, così da avere una scocca ben pulita, che possa essere soggetta alle successive fasi di verniciatura.

Nella UTE 1, sempre durante la fase di "**pretrattamento**", si ha uno dei procedimenti preliminari più complessi della verniciatura, definito "**Cataforesi**".

La verniciatura per **Cataforesi** avviene in una vasca con una temperatura pari a 28-32°C. Consiste in un trattamento di verniciatura, per immersione, in grado di donare ad elementi in ferro, acciaio e altre leghe (quindi elementi conduttori di corrente), una notevole resistenza alla corrosione.

È caratterizzato da un deposito uniforme di una resina (sia essa epossidica o acrilica) sulla superficie dell'elemento, così da assicurare, per lunghi periodi, un'elevata protezione dei metalli all'ossidazione ed agli agenti atmosferici e ai altri tipi di attacchi (chimici, smog), e permettendo, inoltre, un miglioramento della capacità adesiva delle vernici di finitura.

Il procedimento consiste nell'immersione della scocca, collegata al polo negativo di un generatore elettrico, in una vasca, nella quale si trovano, immersi, altri elettrodi, collegati, invece, al polo positivo. Il campo elettrico ed i fenomeni elettrochimici, che nascono, comportano per effetto di elettro-deposizione sulle lamiere della vernice protettiva, che viene, in seguito, polimerizzata in forno. Il prodotto, presente in vasca, risulta composto da: resina, pigmenti, cariche e solventi e, per la maggior parte, acqua osmotizzata.

Le resine presentano delle caratteristiche di composizione tali da risultare solubili in acqua, in ambiente debolmente acido, nel quale portano alla formazione di particelle microscopiche (micelle) sospese, ed abbastanza stabili.

I solventi, invece, possono essere di due tipi: polari, solubili in acqua, e non solubili, che vengono inglobati nelle micelle di resina, influendo sullo spessore del film applicato.

Infine, i pigmenti e le cariche, generalmente inorganiche, definiscono il colore, l'aspetto e la resistenza alla corrosione del prodotto totale, impiegato nella vasca. Durante la preparazione della vernice, entrambi vengono inglobati nelle micelle di resina.

Le fasi di verniciatura per cataforesi possono essere riassunte come di seguito:

- Le particelle di vernice, con carica positiva, migrano verso il catodo (polo negativo) (*Figura 8*):

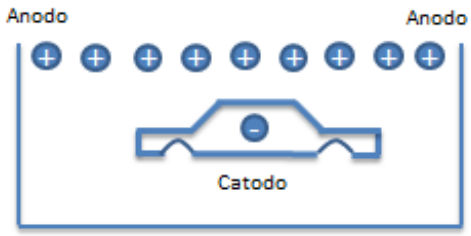

Figura 8. Processo di Verniciatura per cataforesi

- Le molecole d'acqua (H_2O) si scindono in ioni H^+ e OH^-, come conseguenza dell'effetto del campo elettrico; in prossimità del catodo, gli ioni H^+ si riducono, acquistando elettroni in eccesso, e si liberano sotto forma di idrogeno gassoso: ciò porta alla formazione locale di un ambiente fortemente alcalino (basico).
- In tale ambiente, la vernice coagula, e viene a depositarsi sul pezzo da verniciare, che rappresenta il catodo. In questa fase si ottiene uno strato già semisolido e, relativamente, difficile da asportare;
- Durante la coagulazione della resina, vengono liberati ioni di acidi organici (acetato o formiato, a seconda della composizione della resina), con cariche negative;
- Tali ioni vengono trasportati verso gli anodi (poli positivi) attraverso l'azione del campo elettrico; gli anodi consistono in piastre, immerse in vaschette, nel quale vi è contenuta acqua osmotizzata, separate da una membrana semipermeabile, che può essere attraversata solo dall'acqua e dagli ioni idrogeno;
- In prossimità di tali anodi, gli atomi di ossigeno, derivati dalla separazione delle molecole d'acqua, cedono il loro elettrone, liberandosi sotto forma di gas; viene a crearsi, quindi, un ambiente con eccesso di ioni idrogeno.
- Tali ioni reagiscono con quelli acidi, formando acido (acetico o formico), e portando, quindi, ad una soluzione sempre più concentrata in acido, e che viene, periodicamente, in parte scaricata e sostituita con acqua osmotizzata.

Una volta che le superfici esterne della scocca sono state rivestite, diventano isolanti, così da permettere la verniciatura anche delle altre; in questo modo, si può ottenere, anche se con tempi sufficientemente lunghi, la completa verniciatura della scocca. Per quanto riguarda le parti non visibili, per esempio superfici comprese tra l'ossatura ed il rivestimento della scocca, queste sono

raggiunte attraverso appositi fori tecnici, atti all'eliminazione dell'aria e al riempimento con la soluzione di cataforesi.

All'uscita della vasca, la scocca viene lavata inizialmente con la parte liquida del bagno di "Cataforesi" (chiamato "**ultrafiltrato**"), estratto con un'apposita apparecchiatura (simile a quelle per osmosi inversa), che ricade poi nella vasca per minimizzare le perdite di vernice. Tale ultrafiltrato, viene impiegato per eliminare i residui di schiuma ed altre impurità, possibilmente, presenti sulla scocca, derivanti dall'immersione in vasca di cataforesi.

Successivamente, la scocca subisce il lavaggio finale, per poter eliminare tutte le impurità presenti, tramite l'utilizzo di acqua osmotizzata. Poiché il film è già solido, si possono effettuare lavaggi molto efficaci, eliminando colature e depositi che altererebbero l'aspetto del pezzo.

La scocca, una volta uscita dalla cabina del lavaggio finale, entra all'interno dei forni di cottura. In essi l'essiccazione avviene ad alta temperatura, tra 150 °C e 180 °C a seconda del tipo di vernice, al fine di ottenere un film ad elevata durezza, impermeabile all'acqua e ben aderente alla superfice della lamiera.

A questo punto sono previste:

- **Fase di revisione**, durante la quale, viene controllato il risultato del processo di cataforesi, con eventuale eliminazione dei difetti, tramite opera di carteggio a mano;

- **Fase di sigillatura alta e bassa**, con applicazione di una sostanza sigillante, a protezione delle giunzioni delle lamiere e dei punti di saldatura, eseguita manualmente, mediante pistole ad estrusione, a cui segue, una spalmatura con pennello per uniformare lo strato applicato, ed infine una pulizia con maglia tubolare di cotone per asportare le eccedenze di sigillante.
  Nella stessa linea di sigillatura, vengono svolte anche operazioni di applicazione di laminati fonoassorbenti, con lo scopo di ridurre la rumorosità all'interno dell'abitacolo della vettura (Keller).

- **Fase di pulizia degli interni**, per rimuovere le eventuali polveri derivanti dall'opera di carteggiatura.

Grazie a tutti i trattamenti appena descritti, la scocca è pronta a ricevere il primo strato di vernice, la cosiddetta vernice di **fondo**.

Tale vernice, oltre a presentare caratteristiche anti-pietra e anti-corrosione, consente il livellamento della superficie della scocca, dando origine, ad una superfice omogenea e liscia, per permettere un ottimo ancoraggio del successivo film di smalto.

Lo spessore, dello strato di fondo, deve essere pari a 35 µm. La cabina nella quale avviene il procedimento di verniciatura di fondo presenta una temperatura tra i 20-28°C ed un'umidità relativa compresa tra 40-80%.

Le principali classi di prodotti vernicianti sono:

- **Solvente;**
- **Ad acqua;**
- **Bi-componente;**

All'interno delle cabine dello stabilimento, il procedimento di applicazione della vernice è rappresentato dalla cosiddetta **verniciatura elettrostatica**. La tipologia di vernice utilizzata, in questa fase, è a base **solvente**.

Tramite tale tecnica, si possono verniciare i metalli ed altri materiali, purché siano sufficientemente conduttori, in quanto, si sfrutta il principio dell'attrazione tra corpi, caricati elettricamente, con segno opposto.

Le particelle di vernice percorrono, tra l'ugello e il substrato da ricoprire, una traiettoria ben definita da una combinazione tra forze elettriche e meccaniche: le prime, derivano da un'interazione, che si genera tra le particelle cariche ed il manufatto, collegato a terra, mentre le altre vengono generate dal fenomeno di trasporto delle particelle da parte dell'aria.

Essendo costituite da materiale isolante, le particelle conservano la loro carica e aderiscono alla superficie da ricoprire, riuscendo, di seguito, a restare "attaccate" ad essa, grazie all'azione del campo elettrico presente. In questo modo, formano sul manufatto un rivestimento molto regolare e resistente.

Nello stabilimento in esame, vengono utilizzati robot con pistole ad effetto corona (*Figura 9*), che rappresentano la tecnologia ormai più diffusa, soprattutto per i diversi vantaggi, in termini di efficienza, rispetto al sistema triboelettrico.

Figura 9. Esempio di robot di verniciatura con pistola ad effetto corona.

Rispetto a quelle meccaniche, le forze elettrostatiche generate risultano essere di gran lunga più forti, così da garantire una facile distribuzione della vernice. Esse, inoltre, presentano sempre lo stesso comportamento, pur considerando differenti tipi di vernici, e sono in grado di mantenere invariata la capacità di copertura di quelle parti del manufatto non esposte in maniera diretta al getto aerodinamico della pistola.

Tale sistema di verniciatura elettrostatica, è caratterizzato dalla creazione di un campo elettrico tra la pistola e il pezzo. Tramite un tubo flessibile, collegato al serbatoio principale di vernice, le particelle vengono convogliate alla pistola.

Sulla punta della pistola è presente un elettrodo, mantenuto ad un alto potenziale elettrico negativo e costante, con conseguente generazione di un campo elettrico fra sé ed il manufatto, collegato elettricamente a terra. Il campo elettrico presenta la sua massima intensità in prossimità delle punte dell'elettrodo (da qui l'origine del nome corona), provocando la ionizzazione dell'aria nelle vicinanze. Sotto l'influenza del campo elettrico, viene generata un'accelerazione degli elettroni liberi, che, di conseguenza, vanno a colpire le molecole di aria circostanti. Se il campo assume una potenza adeguata, e, contemporaneamente, l'elettrone, durante il percorso lungo le linee di campo, ha accumulato sufficiente energia cinetica, l'impatto con la molecola comporterà una sua scissione in due elettroni secondari ed uno ione positivo, rappresentando, quindi, il residuo della molecola. Il processo si sviluppa a catena, con la creazione di una zona, con elevata densità di elettroni e ioni liberi. La particella dielettrica scarica, a questo punto, influirà in modo significativo sull'entità del campo elettrico esterno, tanto da condurre le linee a tendere verso la sua superficie. Ciò comporta un bombardamento ionico, che provoca, di conseguenza, il caricamento negativo della superficie della particella. Questo processo continua, fino a quando non è possibile la creazione di un campo elettrico proprio da parte della particella, una volta accumulata una certa carica. Nel momento in cui, le linee del campo elettrico esterno, saranno respinte dalla particella, essa avrà raggiunto il valore massimo della carica. (*Rinaldi, F., 2012*).

Da qui, una volta caricate elettrostaticamente, le particelle, a causa della presenza di un forte campo elettrico generato, tendono ad aderire al manufatto che, posto a potenziale a terra, assume carica positiva. Tra l'ugello e il manufatto, è applicata una differenza di potenziale; le particelle, assunta una certa carica, seguono una traiettoria data dalla risultante delle forze meccaniche ed elettriche, che agiscono su di esse.

Le forze meccaniche dipendono dal sistema di atomizzazione, mentre, quelle elettriche, invece, seguono le linee di forza del campo, che partono dall'atomizzatore fino a chiudersi sull'oggetto da verniciare. Applicando questo principio, la traiettoria delle particelle di vernice viene modificata, in modo tale da richiamare, sull'oggetto, la maggior parte di quelle gocce, che, altrimenti, andrebbero disperse nell'ambiente circostante, a causa delle sole forze meccaniche. Le traiettorie curvilinee

generano un effetto avvolgente, che comporta un risparmio di prodotto ed un'alta velocità di lavorazione. (*www.chimicaindustriale.campusnet.unito.it, 2017*)

E' interessante osservare che la forza elettrica è la sola ed unica entità in grado di convogliare le particelle di vernice verso lo strato collegato a terra, e che, può essere calcolata come la carica della particella moltiplicata per la potenza del campo elettrico. Una volta che il flusso d'aria libera una particella in direzione del manufatto collegato a terra, se questo non risulta abbastanza carico, oppure le forze del campo non assumono intensità sufficienti, essa può subire un fenomeno di allontanamento, iniziando a "rimbalzare" al di fuori dello strato metallico, fino al momento in cui non viene allontanata definitivamente dal flusso d'aria, oppure subisce l'effetto della forza di gravità. Le forze elettriche, quindi, possono aiutare la particella a vincere le forze aerodinamiche o di gravità e ad aderire alla superficie della scocca. Questa nuova forza di adesione, consiste in un'attrazione tra la particella caricata e la superficie del manufatto collegata a terra.(*www.uniroma2.it, 2017)*

Tale fenomeno comporta una riduzione dei consumi di materia prima, con notevoli ricadute sulla riduzione degli inquinanti volatili.

Tutto ciò è possibile, solo grazie all'utilizzo dei robot di verniciatura. Tale macchina, a controllo elettronico, è stata concepita per eseguire, in modo automatico, operazioni di verniciatura e spruzzatura, ed è particolarmente adatta per l'utilizzo di sistemi elettrostatici.

Per l'esecuzione dei cicli di lavoro da parte del robot, viste le geometrie della scocca e le traiettorie da seguire in un determinato tempo, si realizzano specifici programmi per ogni singola tipologia di scocca. Il programma, una volta provato virtualmente, viene caricato sul computer di controllo e verificato in campo da parte dell'operatore addetto, per eventuali correzioni. Il tempo con cui viene svolta una traiettoria determina la quantità di prodotto depositato sulla superficie.

Grazie all'utilizzo di tale tecnica, quindi, tramite misure effettuate dall'azienda, si è potuto osservare il raggiungimento di una percentuale di particelle di vernice adese alla superfice pari a circa il 70%, quindi con solo il 30% di dispersione, che costituisce il cosiddetto "overspray".

Resta quindi, seppur minima, una componente di vernice che non aderisce alla scocca, con conseguente dispersione nella cabina di verniciatura, ma che viene subito catturata, attraverso sistemi di aereazione e, soprattutto, per mezzo del velo d'acqua presente sul fondo grigliato della cabina.

Nella fase di verniciatura di fondo, sono presenti due robot, capaci di effettuare movimenti lungo sette assi.

Successivamente alla fase di verniciatura di fondo, si ha:

- **Fase di Cottura:** passaggio della scocca nei forni, ad una temperatura di 150-180 °C al fine di ottenere un film ad elevata durezza, impermeabile all'acqua e ben aderente alla superfice della lamiera;
- **Fase di revisione preventiva:** fase di controllo, per individuare le eventuali imperfezioni, che possono derivare dai passaggi precedenti, cercando, ove possibile, di eliminarle tramite carteggio a mano. Nel caso in cui non sia possibile, le scocche possono essere anche ricircolate e sottoposte nuovamente ai trattamenti precedenti.
- **Pulizia:** rimozione di eventuale polvere derivata dal carteggio a mano e di eventuali particelle possibilmente presenti sulla scocca, tramite l'utilizzo di:
    - Filtri di aspirazione;
    - Penne di emù;
    - Ugelli ad aria compressa.
- **Barra deionizzante:** fase di scarico della scocca, eliminando eventuali ioni e/o particelle elettrostatiche, che possono essersi create durante lo strofinamento.

Le fasi precedenti di pulizia, sono necessarie affinché la scocca possa subire le successive applicazioni dei restanti strati di verniciatura. Infatti, a seguito dell'applicazione della vernice di fondo, la scocca presenta ancora un colore neutro, molto simile al grigio. Ed è proprio nella fase successiva a quelle citate finora, che viene applicato un primo strato di vernice, che conferisce un colore ben definito.

Nella fase in questione, si ha l'applicazione della cosiddetta vernice di **base (colore)**, sia sulle parti interne che esterne della scocca.

A differenza della verniciatura di fondo, in questa fase la vernice utilizzata è ad **acqua**, applicata allo stesso modo, tramite verniciatura elettrostatica, con l'obiettivo di ottenere uno spessore di 10-15 µm. L'applicazione avviene secondo i seguenti passaggi:

1. **Applicazione base interni;**
2. **Applicazione base esterni;**
3. **Applicazione seconda mano di base;**

Nei primi due passaggi l'applicazione è caratterizzata da robot con pistole ad effetto corona, che seguono lo stesso principio di quelli utilizzati nella fase di verniciatura di fondo, precedentemente descritta.

Per alcune finiture di particolare pregio, è previsto il terzo passaggio, in cui è effettuata, invece, l'applicazione, tramite l'utilizzo di una pistola a spruzzo, che, a differenza delle pistole ad effetto corona, presentano un'efficienza di adesione delle particelle pari circa alla metà, intorno al 30-40%, con conseguente aumento della componente di "overspray".

Prima di passare all'ultima fase del processo di verniciatura, con l'applicazione dello strato di **"trasparente"**, la scocca attraversa la fase di **Flash off**, ossia, la fase di asciugatura, nella quale si ha il passaggio della scocca in diverse zone, a temperature differenti, che oscillano tra i 40-90 °C, in maniera graduale, per far avvenire evaporazione delle parti volatili (acqua, solvente) ed ottenere un aspetto opaco della scocca.

Aderito perfettamente lo strato di verniciatura di base, si passa all'applicazione dello strato di **"trasparente"**, atto a conferire alla scocca lucidità e brillantezza. Lo spessore dello strato di trasparente sarà pari a circa 50-60 μm.

L' applicazione avviene secondo i seguenti passaggi:

1. **Applicazione trasparente interni;**
2. **Applicazione trasparente esterni;**

In entrambi i passaggi, la vernice viene applicata, tramite l'utilizzo di robot a sette assi con pistole ad effetto corona, che seguono lo stesso principio di quelli utilizzati nelle fasi di verniciatura, precedentemente descritte.

La differenza è rappresentata dalla vernice utilizzata, non più ad acqua, bensì **bi-componente**, con una miscela di resina, catalizzatore e solvente.

La parte finale, del processo di verniciatura, è caratterizzata dalle seguenti fasi:

- **Cottura:** passaggio della scocca nei forni ad una temperatura di 150-180 °C al fine di ottenere un film ad elevata durezza, impermeabile all'acqua e ben aderente alla superfice della lamiera;
- **Zona di appassimento:** fase di raffreddamento della scocca, tramite flussi d'ara fredda condizionata e procedimento di raffreddamento naturale;
- **Fase di revisione finale:** fase di controllo, per individuare le eventuali imperfezioni che possono derivare dai passaggi precedenti. Nel caso in cui non sia possibile, le scocche possono essere anche ricircolate e sottoposte nuovamente ai trattamenti precedenti.
- **Fase di delibera finale:** Ulteriore controlli effettuati da personale addetto per poter definire il destino di ogni scocca, che a seconda dell'esito delle revisioni precedenti, possono essere inviate a:
    - **Unità di montaggio:** fase conclusiva della costruzione dell'autoveicolo;
    - **Box repair:** zona in cui si effettuano piccole revisioni;
    - **Revisione preventiva:** fase precedente, alla quale vengono rinviate le scocche con difetti non eliminabili nel box repair.

Terminati i controlli qualitativi, la scocca viene inviata all'ultima fase del ciclo di produzione della vettura: il Montaggio.

2.3. MONTAGGIO

Le scocche verniciate, confluiscono sulle linee di montaggio, dove vengono completate di tutti gli organi meccanici, elettrici, componentistica e di selleria. Il reparto di montaggio si presenta suddiviso in 5 UTE, Unità Tecnologica Elementare (*Figura 10*):

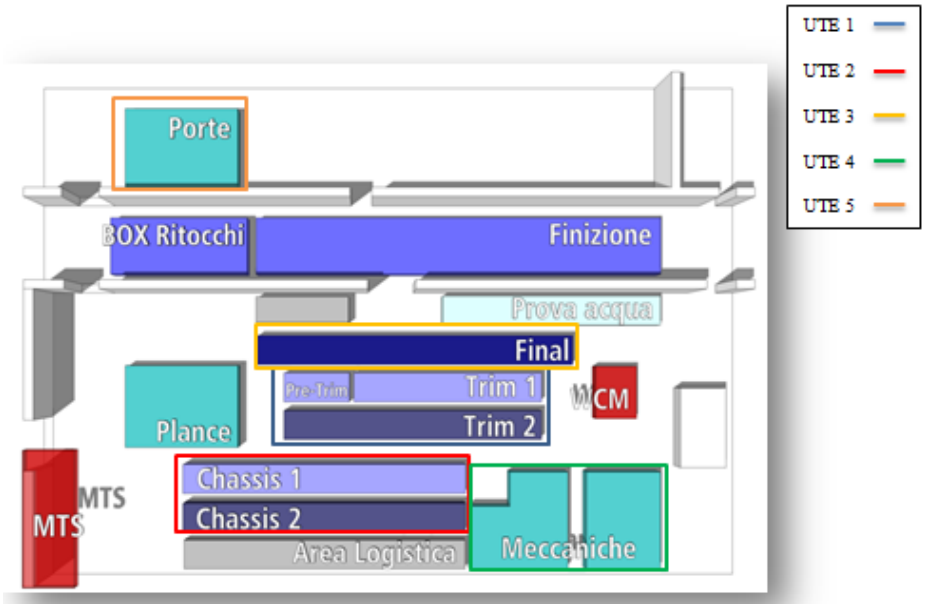

Figura 10. Planimetria: Capannone Montaggio

La fase di Montaggio ha inizio a partire dalla UTE1, suddivisa in due differenti linee TRIM 1 e TRIM 2, nella quale giunge la vettura dal reparto di verniciatura, tramite il sistema di trasportatori aerei.

Durante questa fase, sono preparati e montati gli accessori che trasformeranno la scocca verniciata in un'autovettura, come: motore, cambio, sospensioni, sedili, cristalli, plance, impianto elettrico.

Il processo di Montaggio è caratterizzato da due fasi principali: la prima consiste nell'allestimento dell'abitacolo; la seconda, invece riguarda la preparazione degli organi meccanici, che consentono la movimentazione della vettura (motore, cambio, sospensioni, trasmissione). Le risultanti delle due fasi convergono nell'UTE 2, "Chassis".

Nello specifico, la prima, rappresentata dalla "TRIM 1 e 2", prevede la stesura dei cavi anteriori e posteriori (cablaggi), la composizione dell'impianto elettrico, e dei cristalli.

La seconda, invece, si sviluppa all'interno della UTE 5, "Meccaniche", nella quale vengono assemblati il motore, il cambio (forniti da stabilimenti del gruppo FCA e completati nello stabilimento preso in esame), le sospensioni e le trasmissioni.

La UTE 2, "Chassis", rappresenta il punto di convergenza tra le due fasi, in cui quindi abbiamo l'unione delle parti provenienti dalle "Meccaniche", con le parti assemblate lungo le linee TRIM 1 e 2, tramite la cosiddetta tecnica del "mariage".

Il tutto avviene secondo un programma elaborato da un centro elettronico, che permette l'allestimento delle vetture, secondo le caratteristiche richieste dal cliente.

Le porte e le plance sono trattate separatamente e poi, successivamente, unite alla vettura lungo la linea di montaggio.

Al termine della linea di "Chassis" si ha l'assemblaggio del paraurti posteriore ed anteriore, fanali e pneumatici: la vettura, quasi completa, passa lungo la linea della UTE 3, "Final".

In questa fase del processo è effettuato il rifornimento di tutti i fluidi di prima dotazione delle vetture quali: carburante, liquido antigelo, olii, necessari per il successivo collaudo funzionale completo, atto alla messa a punto finale, prima della consegna.

Il collaudo ha inizio sul tratto terminale di ogni linea, e si conclude con una prova di marcia simulata in apposite cabine, dove le ruote motrici poggiano su una coppia di rulli cilindrici.

Una volta verificata in questo modo la tenuta dell'automobile, viene effettuato un ulteriore collaudo della vettura su strada, percorrendo una distanza di circa 40-45 Km, chiamata "TDF", test dinamico funzionale.

A seguito della prova su strada, si attua un'ultima verifica tramite la prova idrica, in cui viene controllata l'eventuale presenza di infiltrazioni nella vettura.

Concluse tali verifiche con esito positivo, la vettura passa ad un'ultima fase di controllo, la Finizione.

2.4. FINIZIONE

La revisione di eventuali difetti viene eseguita manualmente, mediante lucidatrici rotorbitali e funzionanti ad aria compressa oppure elettriche, con l'ausilio di prodotti abrasivi e lucidanti.

Le eventuali operazioni di revisione finale, sono eseguite all'interno di box e in zone confinate su linee specifiche, munite di impianto di mandata ed aspirazione dell'aria, con espulsione in atmosfera tramite camini verticali.

Oltre alle eventuali operazioni di revisione, in officina finizione, si effettua anche la "toelettatura" della vettura, l'applicazione delle pellicole protettive e del telo di protezione, per garantire l'integrità della vernice durante le operazioni di spedizione (via mare, treno, etc.) sino al raggiungimento della concessionaria di destinazione.

All'interno di ognuna di queste fasi, vengono effettuate diverse lavorazioni, per poter giungere al prodotto finito, che soddisfi gli standard di qualità.

3. PROBLEMA APPROVVIGIONAMENTO IDRICO: APPROCCIO E SOLUZIONE

Una volta descritto il ciclo di produzione di un'automobile all'interno dello stabilimento preso in esame, l'attenzione è stata posta esclusivamente sull'obiettivo di tale elaborato, cioè sul riutilizzo di acqua reflua trattata, al fine di ottimizzare il sistema di gestione del plant.

L'acqua è uno degli elementi indispensabili affinché ad ognuno sia assicurato il diritto umano universale "*a un tenore di vita sufficiente a garantire la salute e il benessere proprio e della sua famiglia*" *("art. 25", Dichiarazione universale dei diritti dell'uomo, 2017).* Eppure, secondo i dati del "*Rapporto sullo Sviluppo Umano 2006*" dell'UNDP (Programma per lo Sviluppo delle Nazioni Unite), "*nel mondo, 1,1 miliardi di persone non hanno accesso all'acqua. Tutti dovrebbero avere almeno 20 litri di acqua pulita al giorno e i poveri dovrebbero riceverla gratuitamente*", dice il Rapporto, "*ma mentre una persona che vive nel Regno Unito o negli USA utilizza 50 litri di acqua ogni giorno solo per scaricare il gabinetto, molti poveri sopravvivono con meno di cinque litri di acqua contaminata al giorno e la pagano di più*". (*www.onuitalia.it, 2017*)

L'acqua rappresenta un elemento rinnovabile ma allo stesso tempo limitato, dal momento che, la sua capacità di rinnovamento viene influenzata dal prelievo d'ingenti quantità, presenti nelle falde sotterranee, le quali si rigenerano soltanto dopo un tempo abbastanza lungo.(*Nisoli, E., 2007*)

Tale risorsa è stata considerata per anni inesauribile e di nessun costo notevole, quasi, quindi, come un qualsiasi altro bene di scarso valore. Ad oggi, però, si sta finalmente assistendo ad un cambio di rotta a favore di una nuova visione di rivalutazione, in cui l'acqua sia vista come un patrimonio che va universalmente condiviso ed utilizzato in maniera adeguata, senza alcuno spreco.(*Sigillito, V. et al., 2006*)

A causa dell'inquinamento, dovuto ad un continuo sviluppo ed utilizzo di nuove tecnologie, e dei numerosi interventi d'ingegneria, effettuati al giorno d'oggi, si sta assistendo ad una modifica sostanziale del ciclo idrologico naturale che comporta, di conseguenza, anche un deterioramento della qualità dell'acqua. Per quanto riguarda, però, le cause della carenza idrica nel mondo ad oggi, esse sono da imputare anche ad altri fattori rilevanti, quali: mutamenti climatici, come effetto serra e desertificazione; utilizzo, della risorsa, intensivo e caratterizzato da una cattiva gestione, con conseguenti sprechi, soprattutto nel campo dell'agricoltura e dell'industria, in particolare nei paesi

più ricchi. Inoltre, bisogna tenere bene a mente che sulla Terra, se alcuni paesi dispongono di grandi quantità di acqua, altrettanti devono far fronte ad una situazione critica, in termini di risorse idriche limitate.

Aggiungendo a tali considerazioni anche il fatto che, ogni giorno è caratterizzato da una continua e costante crescita della popolazione mondiale, ci si rende sempre più consapevoli che il mondo si trova sull'orlo di una crisi idrica. Secondo i dati dell'UNDP "*nel 2025 più di tre miliardi di persone potrebbero trovarsi a vivere in paesi sottoposti a stress idrico*".
Difatti, la domanda di risorse idriche è destinata a raddoppiare entro il 2025 nei paesi in via di sviluppo e del 18% in quelli avanzati. Secondo l'Onu, infatti, oltre il 60% delle città europee, consuma più acqua rispetto ai suoi tempi di rifornimento. Questa aliquota d'acqua, a livello globale, si consuma al 70% per l'irrigazione, al 22% per gli scopi industriali e all'8% per fini domestici.(*Nisoli, E., 2007*)
Il problema della scarsità d'acqua, può avere conseguenze sia sul piano economico che su quello politico. Le cause della crisi, come appena accennato, consistono sia in un utilizzo poco sostenibile, in particolare nel settore agricolo ed industriale, sia nello spreco che si effettua nelle società occidentali, con molte e serie conseguenze che ciò può comportare per le popolazioni interessate.
Esistono, infatti, due diversi "schieramenti", che presentano due modi divergenti di concepire l'acqua come risorsa: il primo, come una merce vendibile sul mercato; ed il secondo che, invece, la ritiene un bene comune vitale, ed essendo tale, deve restare pubblico.

L'approccio economico ad un bene fondamentale come l'acqua, però, non sempre rappresenta la migliore soluzione alle esigenze di milioni di persone, che tutti i giorni, devono far fronte alla mancanza di tale risorsa, indispensabile per la vita.
Negli ultimi anni, soprattutto a livello internazionale, sono stati introdotti nuovi ed importanti progetti e programmi volti alla conservazione ed al risparmio della risorsa idrica, tramite l'utilizzo di innovazioni tecnologiche e gestionali. L'introduzione di tali innovazioni derivano sia da un aumento delle pressioni sul tema della salvaguardia delle risorse idriche, sia dall'affermarsi del concetto del cosiddetto "sviluppo sostenibile".

Nello specifico, ad esempio di ciò che è stato detto, tenendo conto della sempre minore possibilità di disporre di acque di buona qualità, generalmente destinate all'uso potabile, civile e industriale, un tema di grande attualità, oggetto di molta attenzione sia dal punto di vista scientifico che legislativo, consiste nella possibilità di riutilizzo delle acque reflue, a seguito di uno specifico trattamento.

Per quanto riguarda il sistema di gestione del ciclo dell'acqua, il riutilizzo delle acque reflue depurate, comporta un uso più razionale ed evoluto della risorsa idrica. Il vantaggio che ne deriva, dal punto di vista economico, consiste proprio nel fornire una fonte di approvvigionamento idrico

alternativa, valida perlomeno per ottemperare quegli usi, per i quali non è richiesta necessariamente acqua di elevata qualità.

3.1. ACQUE REFLUE

Le acque reflue consistono in tutte quelle acque la cui qualità è stata pregiudicata dall'azione antropica, dopo il loro utilizzo in attività domestiche, industriali e agricole, diventando, quindi, non idonee ad un loro uso diretto, in quanto contaminate da diverse tipologie di sostanze organiche e inorganiche pericolose per la salute e per l'ambiente. Per tale motivo non possono essere reimmesse nell'ambiente direttamente, perché i recettori finali, come il terreno, il mare, i fiumi e i laghi, non possono ricevere un'elevata quantità di sostanze inquinanti, e che risulti superiore alla propria capacità auto-depurativa, senza che vengano compromessi i normali equilibri dell'ecosistema.

Secondo il *D.lgs n. 152/06 e s.m.i. (art. 74)*, le acque reflue sono così suddivise:

a) ***"Acque reflue domestiche**: acque reflue provenienti da insediamenti di tipo residenziale e da servizi e derivanti prevalentemente dal metabolismo umano e da attività domestiche (quali alberghi, scuole, caserme, uffici pubblici e privati, impianti sportivi e ricreativi, negozi al dettaglio ed all'ingrosso e bar); le sostanze provenienti dalle deiezioni umane contengono essenzialmente cellulosa, lipidi, sostanze proteiche, urea, acido urico e glucidi.*

b) ***Acque reflue industriali**: qualsiasi tipo di acque reflue provenienti da edifici od installazioni in cui si svolgono attività commerciali o di produzione di beni (anche sottoposte a preventivo trattamento di depurazione), differenti qualitativamente dalle acque reflue domestiche e da quelle meteoriche di dilavamento, intendendosi per tali anche quelle venute in contatto con sostanze o materiali, anche inquinanti, non connessi con le attività esercitate nello stabilimento; le caratteristiche di tali reflui sono variabili in base al tipo di attività industriale. In base a quanto stabilito dall'all. 5 parte III del D.lgs n. 152/06, le acque industriali si distinguono in pericolose o non pericolose per l'ambiente.*

c) ***Acque reflue urbane**: il miscuglio di acque reflue domestiche, di acque reflue industriali, e/o di quelle cosiddette di ruscellamento (meteoriche di dilavamento, acque di lavaggio delle strade, ecc.) convogliate in reti fognarie, anche separate, e provenienti da agglomerato.; le acque di ruscellamento contengono varie sostanze microinquinanti, quali idrocarburi, pesticidi, detergenti, detriti di gomma.*

- ***Acque reflue industriali assimilabili alle domestiche**: acque reflue provenienti da installazioni commerciali o produttive che per legge oppure per particolari requisiti*

qualitativi e quantitativi, possono essere considerate come acque reflue domestiche (art. 101 co. 7 d.lgs 152/06).”

Uno dei principi più importanti all’interno delle politiche di salvaguardia dell’ambiente e della qualità complessiva della vita, nei territori urbanizzati, consiste nel programmare una corretta gestione delle acque reflue, seguendo l’intero percorso effettuato, dalla loro produzione, fino ad arrivare all’interno di un impianto di depurazione, e, successivamente, allo scarico in un corpo idrico recettore, a seguito delle precipitazioni e degli scarichi civili e produttivi. Soprattutto, può costituire un’importante soluzione alla limitata disponibilità futura delle risorse idriche.

In particolare, le motivazioni che spingono a provare un tale interesse nei confronti delle acque reflue, nell’ottica di combattere il problema della scarsità dell’acqua, possono essere ricondotte ai seguenti punti (*Sigmund, C.,2008*):

- *“Futura intensificazione delle aree urbanizzate, con conseguenti incrementi delle portate e dei volumi delle acque reflue, il più delle volte, decisamente non compatibili con le potenzialità degli impianti di depurazione, nonché dei corsi d’acqua ricettori;*
- *la crescente necessità di far fronte e limitare gli incrementi delle portate da convogliare, per poter limitare e controllare la qualità degli scarichi inquinanti nell’ambiente;*
- *la maggiore sensibilità nei confronti della salute dell’ambiente e quindi l’esigenza di limitare il più possibile l’impatto sui corpi idrici recettori, anche in accordo con la parallela evoluzione delle normative locali e nazionali.”*

Uno dei principi, su cui si basa l’adozione di tecnologie pulite, prevede che la minimizzazione dell’utilizzo delle risorse idriche sia da preferire al riuso, questo a sua volta, sia da preferire al riciclo, e ancora quest’ultimo sia da privilegiare alla messa in discarica (o al trattamento finale in un impianto per acque reflue).

Uno dei settori, nel quale sta prendendo sempre più piede la tematica riguardo una corretta gestione della risorsa idrica, delle acque reflue e il loro conseguente riutilizzo, è rappresentato da quello industriale.

La **riduzione dello scarico delle acque reflue industriali** e la **conservazione delle acque primarie** nell’industria di processo, non devono essere viste come soluzioni adottate soltanto per soddisfare le nuove leggi ambientali, che nel tempo sono diventate sempre più severe e restrittive al fine di ridurre al minimo il potenziale impatto ambientale e salvaguardare al massimo la salute degli esseri umani e l’ambiente naturale. Tali misure, infatti, rappresentano delle tecniche di ottimizzazione del sistema di gestione delle risorse idriche, che possono portare, innanzitutto, benefici diretti, dal punto di vista economico, all’azienda che decide di intraprendere tale strada,

con conseguenti diminuzioni delle spese, che possono derivare da: costi energetici di trasporto dell'acqua e dei reflui; costi di trattamento e smaltimento dei reflui industriali in ambiente. (*Vaccari, M.et al., 2009*)

Ulteriori vantaggi, che derivano dall'applicazione di tali misure, sono da ricercare, da un punto di vista generale, in un minore spreco dell'acqua e, quindi, in un incremento della disponibilità futura delle risorse idriche, che si prevede diventi molto limitata con il passare degli anni.

Quando si pensa al riutilizzo delle acque reflue, i primi esempi sono rappresentati dal riuso delle acque per l'irrigazione dei campi, pratica che risulta molto diffusa ed ancora oggi utilizzata in molti paesi. In agricoltura, infatti, è presente una tradizione di riutilizzo delle risorse idriche, già durante la storia greca e romana.

In Europa, già verso la fine del Medioevo, alcuni privati cominciarono a pensare di farsi costruire delle vasche, nelle quali raccogliere i liquami domestici. Una volta riempite, tali vasche, rappresentanti una sorta di prototipo di quelli che poi saranno i futuri pozzi neri, venivano fatte svuotare ed i liquami venivano riversati su terreni abbandonati, oppure utilizzati per concimare i campi. Nell'epoca moderna, un esempio di applicazione della tecnica del riutilizzo, è riscontrabile nelle "sewage farms" tedesche, risalenti a quasi 500 anni fa, le marcite nel Milanese, rimaste attive fino a pochi anni fa, e le aree agricole situate in Messico ed in Cile, ancora oggi, largamente irrigate con l'utilizzo di acque reflue recuperate. Con l'avanzare degli anni, però, nei paesi più avanzati, è cresciuta sempre di più la consapevolezza riguardo le problematiche che derivano dall'utilizzo di tali acque, soprattutto facendo riferimento alla diffusione di malattie contratte a seguito di un contatto con tale risorsa. Ciò ha costretto tali paesi ad una definizione di regolamentazioni e norme per il riuso. I paesi che vantano una maggiore esperienza nel campo del riutilizzo delle acque reflue depurate, sono gli Stati Uniti e lo Stato di Israele.

Nello Stato di Israele, infatti, durante gli anni '70, circa il 10% della risorsa idrica utilizzata consisteva in acque reflue depurate. Negli Stati Uniti, invece, la pratica del riutilizzo delle acque reflue si è sviluppata, soprattutto, negli Stati desertici del Sud, come la California ed il Texas. In California, infatti, furono approvate per la prima volta delle leggi che stabilissero degli standard di qualità per le acque da riutilizzare, in modo tale da ridurre i rischi connessi ad un loro utilizzo per la salute umana. Invece, in quei paesi dell'area mediterranea molto aridi e con scarsa presenza di risorse idriche, le acque reflue, sia depurate che non, scaricate nei corpi idrici, vengono spesso, nuovamente, impiegate per opere d'irrigazione, trasformando, quello che dovrebbe essere considerato a tutti gli effetti un rifiuto, in una nuova risorsa utile, sostenendo allo stesso tempo l'agricoltura locale.

L'interesse nei riguardi di interventi per il riutilizzo di acque reflue urbane depurate, in molte paesi del mondo, all'inizio degli anni '90, ha subito una sensibile crescita, dovuta anche ad una spinta, da parte di organismi internazionali, verso uno sviluppo sostenibile. La crescita della sensibilità, a cui si sta assistendo, nei confronti dei temi ambientali, e la necessità di aumentare le quantità di acqua da utilizzare nel settore agricolo, in quello industriale e a scopi potabili, in risposta a pressanti esigenze, hanno comportato una diffusione, sempre maggiore, della volontà di riutilizzo dei reflui recuperati, anche in quei paesi con risorse d'acqua primaria maggiormente disponibile.(*Sigillito, V. et al., 2006*)

Gli obiettivi del riutilizzo sono:

- La limitazione del prelievo delle acque superficiali e sotterranee;
- La riduzione dell'impatto degli scarichi sui corpi idrici recettori;
- Il risparmio attraverso l'utilizzo multiplo delle acque reflue.

Per l'applicazione pratica di un intervento di riutilizzo di acque reflue depurate, bisogna attraversare le seguenti fasi:

- Individuazione della corretta tipologia di acqua reflua, con caratteristiche tali da poter essere riutilizzata (acque di lavaggio, di trasporto etc.);
- Individuazione delle aree e/o processi che possono essere capaci di accogliere la componente riutilizzata;
- Individuazione di eventuali trattamenti di depurazione a cui sottoporre l'acqua reflua, dedita al riutilizzo.

Un ingente utilizzo di acqua, provoca una produzione di grandi quantità di scarichi che, per poter essere reimpiegati, nella maggior parte dei casi, devono, necessariamente, essere soggetti a trattamenti depurativi.

L'impiego attuale, sia nel settore industriale che in quello agricolo, sempre maggiore, di prodotti chimici di origine sintetica, ha comportato una crescente difficoltà di chiarificazione delle acque reflue, a causa dell'elevata quantità di sostanze biodegradabili presenti, rispetto al passato.

Considerando le esperienze maturate in quei paesi, in cui sono già state applicate tecniche per il riutilizzo delle acque, si può notare il ruolo rilevante rivestito dalla normativa tecnica, riguardante gli standard, che le acque devono rispettare, per il riuso. Per qualsiasi investimento in materia, bisogna, necessariamente, fare affidamento su elementi certi, e su determinati criteri di trattamento ed utilizzo dell'acqua, che possono indurre gli investitori, e tutti quei soggetti, che potrebbero essere interessati, ad assumere iniziative concrete in tale ottica. La chiarezza normativa è, infatti,

una condizione indispensabile al fine di definire accettabile e dare il via libera al riutilizzo di una determinata componente d'acqua, cosa che non risulta essere sempre scontata. "*Occorre, per tutti i settori, nei quali vi possono essere interessi connessi al riutilizzo delle acque, ragionare in un'ottica di pianificazione integrata di gestione del territorio e delle acque, che tenga conto delle risorse idriche, della raccolta delle acque reflue, della depurazione e del riutilizzo*." (*Sigillito, V. et al., 2006*)

3.2. ACQUE REFLUE INDUSTRIALI

Nella gran parte dei settori industriali si fa uso di acqua, all'interno dei processi produttivi; con il passare del tempo, tale utilizzo risulta essere anche in costante crescita.

In ambito industriale, è necessario distinguere tra "fabbisogno assoluto", che rappresenta il volume d'acqua realmente consumato in un determinato processo, e "fabbisogno tecnico", che rappresenta il volume d'acqua che occorre prelevare, per ragioni tecniche, per soddisfare il bisogno assoluto. All'interno di una realtà industriale si stima che, mediamente, il fabbisogno assoluto rappresenti circa il 5% del fabbisogno tecnico. La differenza è un volume di acqua sul quale, migliorando la tecnologia di trattamento, sarebbe possibile ottenere un risparmio: infatti, anche se il 95% di tale differenza è costituito da acqua che viene restituita all'ambiente, la sua qualità è molto spesso così scadente da richiedere onerosi sistemi di trattamento. (*Vaccari M., 2009*)

L'acqua, utilizzata in tali processi, per poter essere riversata nell'ambiente, in particola in fognatura, deve soddisfare determinati requisiti riportati nella *Tabella 3A dell'Allegato 5 alla Parte Terza del D.Lgs. n. 152/2006* (*Tabella 1*):

Parametri	Unità di misura	Valori limite Scarico in rete fognaria
pH	5,5-9,5	-
Temperatura	°C	-
Colore	-	non percettibile con diluizione 1:40
Odore	-	non deve essere causa di molestie
Materiali grossolani	-	assenti
Solidi Sospesi	mg/L	≤200
BOD5	mg/L O_2	≤250
COD5	mg/L O_2	≤500
Alluminio	mg/L	≤2,0
Arsenico	mg/L	≤0,5
Bario	mg/L	-
Boro	mg/L	≤4
Cadmio	mg/L	≤0,02
Cromo totale	mg/L	≤4
Cromo VI	mg/L	≤0,20
Ferro	mg/L	≤4
Manganese	mg/L	≤4
Mercurio	mg/L	≤0,005
Nichel	mg/L	≤4
Piombo	mg/L	≤0,3
Rame	mg/L	≤0,4
Selenio	mg/L	≤0,03
Stagno	mg/L	-
Zinco	mg/L	≤1,0
Cianuri Totali	mg/L	≤1,0
Cloro attivo	mg/L	≤0,3
Solfuri (come H2S)	mg/L	≤2
Solfiti (come SO3)	mg/L	≤2
Solfati (come SO4)	mg/L	≤1000
Cloruri	mg/L	≤ 5000
Floruri	mg/L	≤12
Fosforo totale (come P)	mg/L	≤10
Azoto ammoniacale (come NH4)	mg/L	≤30
Azoto nitroso (come N)	mg/L	≤0,6
Azoto nitrico (come N)	mg/L	≤30
Grassi e olii animali/vegetali	mg/L	≤40
Idrocarburi totali	mg/L	≤10
Fenoli	mg/L	≤1
Aldeidi	mg/L	≤2
Solventi organici aromatici	mg/L	≤0,4
Solventi organici azotati	mg/L	≤0,2
Tensioattivi totali	mg/L	≤4
Pesticidi fosforati	mg/L	≤0,10
Pesticidi totali (esclusi i fosforati)	mg/L	≤0,05
Aldrin	mg/L	≤0,01
Dieldrin	mg/L	≤0,01
endrin	mg/L	≤0,002
isodrin	mg/L	≤0,002
Solventi clorurati	mg/L	≤2
Escherichia coli	UFC/ 100mL	-
Saggio di tossicità acuta	UFC/ 100mL	il campione non e accettabile quando dopo 24 ore il numero degli organismi immobili è uguale o maggiore: è del 80% del totale

Tabella 1. Limiti normativi per scarico reflui in rete fognaria

I limiti per lo scarico in rete fognaria sono obbligatori in assenza di limiti stabiliti dall'autorità competente o in mancanza di un impianto finale di trattamento in grado di rispettare i limiti di emissione dello scarico finale. Limiti diversi devono essere resi conformi a quanto indicato alla nota 2 della tabella 5 relativa a sostanze pericolose.

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

Le caratteristiche qualitative ed i consumi delle acque industriali dipendono dalla tipologia di utilizzo, mentre, le problematiche sono comuni a più usi industriali, e determinano le caratteristiche qualitative delle acque reflue.

È necessario effettuare trattamenti di depurazione sulle acque reflue industriali, che permettano di soddisfare i valori, forniti dalla normativa tecnica in materia, eliminando le sostanze inquinanti presenti, arrivando, inoltre, a rispettare le legislazioni vigenti per la tutela e la sostenibilità ambientale. Sarebbe, inoltre, necessario aumentare l'efficienza dei processi industriali, così da ottimizzare, riducendo al massimo l'utilizzo di acqua.

Di seguito, l'attenzione verrà rivolta nello specifico al settore industriale automobilistico, prendendo in considerazione un reale stabilimento di produzione di vetture: lo stabilimento Maserati di Grugliasco, AGAP, "Avv. Giovanni Agnelli Plant".

Inizialmente, verranno analizzati i diversi modi in cui la risorsa idrica viene utilizzata nello stabilimento, ed in seguito, i trattamenti a cui è soggetta, cercando di ipotizzare una strategia vincente, che possa portare ad un'ottimizzazione del sistema di gestione della risorsa idrica e dei reflui, in termini di riutilizzo delle acque reflue industriali, effettuando, inoltre, anche un'analisi di fattibilità pratica dell'intervento considerato.

Nello specifico si porrà l'attenzione sui processi in cui vi è l'utilizzo di sola acqua industriale, componente direttamente prelevata da pozzi, poiché, rispetto alle altre componenti utilizzate (demineralizzata e potabile), non presenta eccellenti caratteristiche chimico-fisiche, rappresentando, perciò, l'unica aliquota che, teoricamente, può essere rimpiazzata dalle acque in uscita dall'impianto di Trattamento Acque Reflue dello stabilimento, senza introduzione di ulteriori sistemi di depurazione e trattamento.

4. CICLO DELLE ACQUE INTERNE ALLO STABILIMENTO

Il primo passo per poter giungere ad un'ipotesi concreta d'intervento, riguardo al riutilizzo delle acque reflue industriali in uscita dall'impianto di Trattamento (T.A.R.), consiste nell'analizzare i diversi processi produttivi, nei quali è necessario l'utilizzo della risorsa idrica.

L'analisi è stata effettuata, considerando l'intero percorso dell'acqua all'interno dello stabilimento: a partire dal prelievo, fino a giungere allo scarico in pubblica fognatura (S.MA.T.), passando per i diversi processi industriali in cui è previsto un suo utilizzo.

4.1. ACQUA INDUSTRIALE: APPROVVIGIONAMENTO

Il sistema di approvvigionamento idrico prevede l'ingresso, all'interno dello stabilimento, di due differenti tipologie d'acqua: **potabile** ed **industriale** (*Figura 11*):

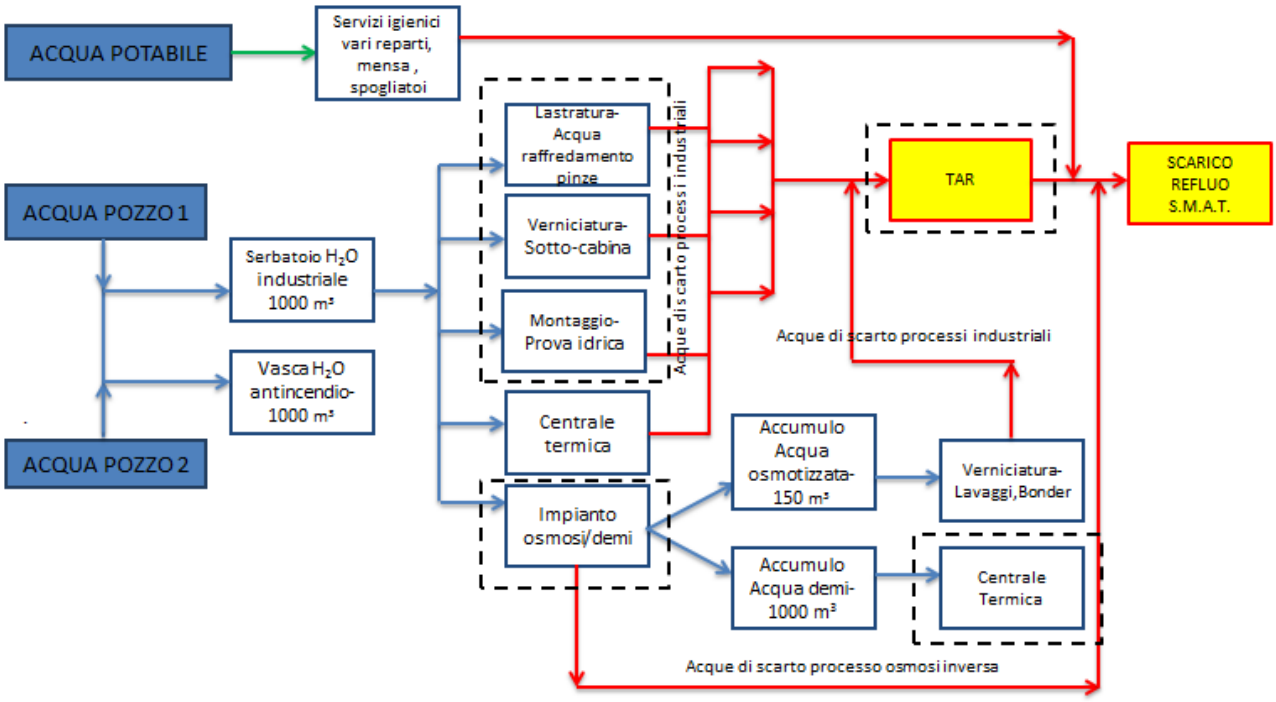

Figura 11. Schema complessivo del ciclo dell'acqua dello stabilimento

L'aliquota di acqua potabile viene acquistata da enti esterni, a differenza di ciò che avviene per quanto riguarda la componente di acqua industriale. Tale aliquota è destinata a soddisfare utenze quali: mense, spogliatoi, servizi igienici.

La componente di acqua industriale, invece, viene prelevata direttamente dalla falda acquifera tramite l'utilizzo di due pozzi: Pozzo 1 e Pozzo 2. Per poter usufruire di tale risorsa idrica è previsto un costo, che consiste, nello specifico, nel pagamento di un canone annuo, calcolato in base alla quantità d'acqua (modulo) che si prevede verrà prelevata durante il corso dell'intero anno di produzione. Ad esempio, nel 2017 il canone è risultato essere pari a circa 2900 €.

Ulteriori costi sono rappresentati dalle spese energetiche, derivanti dall'utilizzo di pompe per poter prelevare l'acqua dai pozzi e convogliarla al serbatoio principale. Le pompe, che dai pozzi vanno a reintegrare il serbatoio dell'acqua industriale, sono tre (due nel Pozzo1 e una nel Pozzo 2), ed il costo unitario elettrico di pompaggio risulta essere pari a 0,24382 €/m^3.

Dallo schema riportato in *Figura 11*, si evince che l'acqua proveniente dai due pozzi può essere accumulata all'interno di due diversi serbatoi, di capacità pari a 1000 m^3: la maggior parte, dell'acqua prelevata, è destinata al serbatoio di acqua industriale, mentre una piccola quota parte viene convogliata all'interno dell'altro serbatoio, rappresentando la cosiddetta riserva idrica antincendio, da utilizzare nei casi d'emergenza.

Da qui, tramite un sistema di pompaggio, l'aliquota accumulata nel serbatoio principale di acqua industriale, viene, in seguito, fatta affluire alle diverse Unità Operative, che richiedono l'utilizzo della risorsa idrica per assolvere diverse funzioni.

Infine, le acque di scarto derivanti dalle varie lavorazioni vengono, poi, convogliate all'impianto di Trattamento Acque Reflue (T.A.R.) che ,tramite un processo chimico-fisico, fa si che l'acqua possa essere scaricata in pubblica fognatura (S.MA.T.), rispettando i limiti dettati dalla normativa vigente *(v. Tabella 1, paragrafo 3.2).* In essa, viene convogliato direttamente anche lo scarto derivante dal processo di osmosi-demineralizzazione (alto contenuto salino).

Il posizionamento dei pozzi e dei relativi serbatoi è riportato nella figura seguente (*Figura 12*):

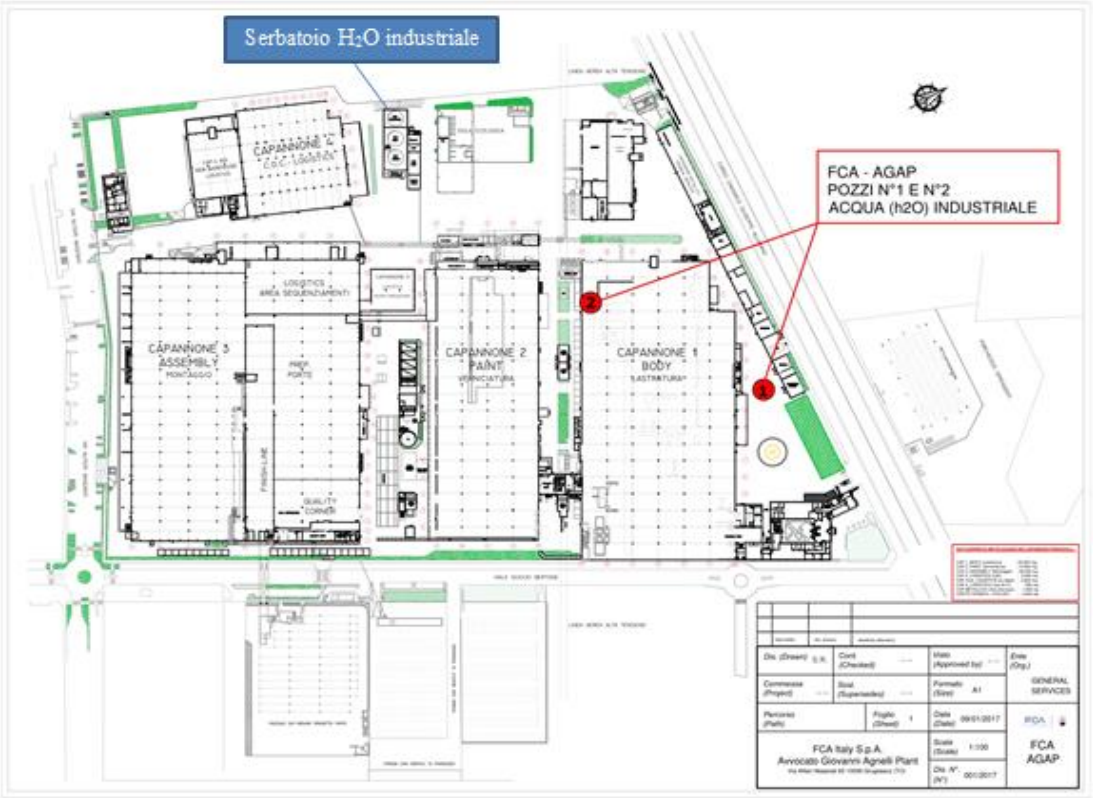

Figura 12. Planimetria: posizionamento pozzi all'interno del plant

L'intero lavoro verterà proprio sulla componente d'acqua industriale, rappresentando l'aliquota che presenta caratteristiche chimico-fisiche non di elevata qualità e, quindi, facilmente riproducibili tramite le acque reflue di scarico.

Ciò è visibile dalle analisi che vengono effettuate periodicamente sull'acqua prelevata (*Tabella 2, Tabella 3*):

		17/05/2017	
Acqua Pozzo 1			
Parametri rilevanti	Unità di misura	Valore rilevato	Valore limite
Alluminio	µg/l	< 20,0	Max 200
Antimonio	µg/l	< 0,500	Max 5
Arsenico	µg/l	< 1,00	Max 10
Cadmio	µg/l	< 0,500	Max 5
Cromo totale	µg/l	< 5,00	Max 50
Cromo VI	µg/l	< 1,00	Max 5
Ferro	µg/l	120	Max 200
Mercurio	µg/l	< 0,100	Max 1
Nichel	µg/l	4,9	Max 20
Piombo	µg/l	< 1,00	Max 10
Rame	µg/l	< 20,0	Max 1.000
Selenio	µg/l	< 1,00	Max 10
Manganese	µg/l	30	Max 50
Zinco	µg/l	110	Max 3.000
Boro	µg/l	< 100	Max 1.000
Fluoruri	µg/l	101	Max 1.500
Nitriti	µg/l	< 25,0	Max 500
Solfati (SO_4)	mg/l	50	Max 250
Idrocarburi totali (Indice di idrocarburi C10-C40)	µg/l	< 25,0	-
pH	pH	7,71	-
Conducibilità	µS/cm a 20°C	551	-
Alcalinità totale	mg/l $CaCO_3$	295	-
Durezza totale	°F	40,6	-
Azoto ammoniacale (come NH_4)	mg/l	< 0,0500	-
Cloruri	mg/l	27,1	-
C.O.D	mg/l O_2	< 5,00	-
BOD_5 (come O_2)	mg/l	< 2,00	-
Sodio	mg/l	12,2	-
Tensioattivi totali	mg/l	0,0619	-

Tabella 2. Analisi delle caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua prelevata dal Pozzo 1

		17/05/2017	
Acqua Pozzo 2			
Parametri rilevanti	Unità di misura	Valore rilevato	Valore limite
Alluminio	µg/l	< 20,0	Max 200
Antimonio	µg/l	< 0,500	Max 5
Arsenico	µg/l	< 1,00	Max 10
Cadmio	µg/l	< 0,500	Max 5
Cromo totale	µg/l	8,8	Max 50
Cromo VI	µg/l	< 1,00	Max 5
Ferro	µg/l	< 20,0	Max 200
Mercurio	µg/l	< 0,100	Max 1
Nichel	µg/l	3,5	Max 20
Piombo	µg/l	< 1,00	Max 10
Rame	µg/l	< 20,0	Max 1.000
Selenio	µg/l	< 1,00	Max 10
Manganese	µg/l	< 5,00	Max 50
Zinco	µg/l	< 20,0	Max 3.000
Boro	µg/l	< 100	Max 1.000
Fluoruri	µg/l	< 100	Max 1.500
Nitriti	µg/l	< 25,0	Max 500
Solfati (SO_4)	mg/l	79	Max 250
Idrocarburi totali (Indice di idrocarburi C10-C40)	µg/l	< 25,0	-
pH	pH	7,27	-
Conducibilità	µS/cm a 20°C	660	-
Alcalinità totale	mg/l $CaCO_3$	310	-
Durezza totale	°F	44,2	-
Azoto ammoniacale (come NH_4)	mg/l	< 0,0500	-
Cloruri	mg/l	34,1	-
C.O.D	mg/l O_2	< 5,00	-
BOD_5 (come O_2)	mg/l	< 2,00	-
Nitrati	mg/l	35,900	-
Tensioattivi totali	mg/l	0,0925	-

Tabella 3. Analisi delle caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua prelevata dal Pozzo 2

Dalle analisi riportate, è possibile notare come, le acque prelevate dai pozzi, 1 e 2, presentino entrambi:

- Valore del pH all'incirca pari a 7,5, quindi molto vicino a condizioni neutre;
- Conducibilità che in media assume un valore intorno ai 600 µS/cm a 20°C;
- Durezza di circa 40-44 °F.

In entrambi i pozzi, l'acqua presenta una concentrazione di metalli pesanti nella norma, ampiamente al di sotto dei valori limite accettati; anche per quanto riguarda la quantità di Cloruri, essa risulta molto simile in entrambi i casi, con valori pari rispettivamente a 27,1 mg/l per il primo pozzo e 34,1 mg/l per il secondo, ed una quantità di Tensioattivi totali che può essere trascurata in quanto assume una concentrazione in entrambi i casi di 0,1 mg/l.

Per quanto riguarda le considerazioni sulla carica batterica, analizzando i risultati relativi al BOD_5 e COD, in entrambi i casi, tali parametri assumono valori < 5,00 mg/l O_2.

Le acque di pozzo, volgare definizione delle acque industriali, vengono inviate dal serbatoio principale ai singoli reparti tramite l'utilizzo di 3 pompe in totale, che alimentano l'intero circuito dell'acqua industriale del plant, per soddisfare qualsiasi richiesta di risorsa idrica da parte delle varie utenze.

Di seguito, verranno analizzati nel dettaglio le diverse funzioni, assolte dall'acqua industriale, nelle Unità Operative.

4.2. ACQUA INDUSTRIALE: LASTRATURA

L'acqua industriale, in ingresso al reparto di lastratura, è utilizzata, esclusivamente, per il raffreddamento dei sistemi di saldatura. Il ciclo dell'acqua industriale all'interno di tale reparto è riportato di seguito (*Figura 13*):

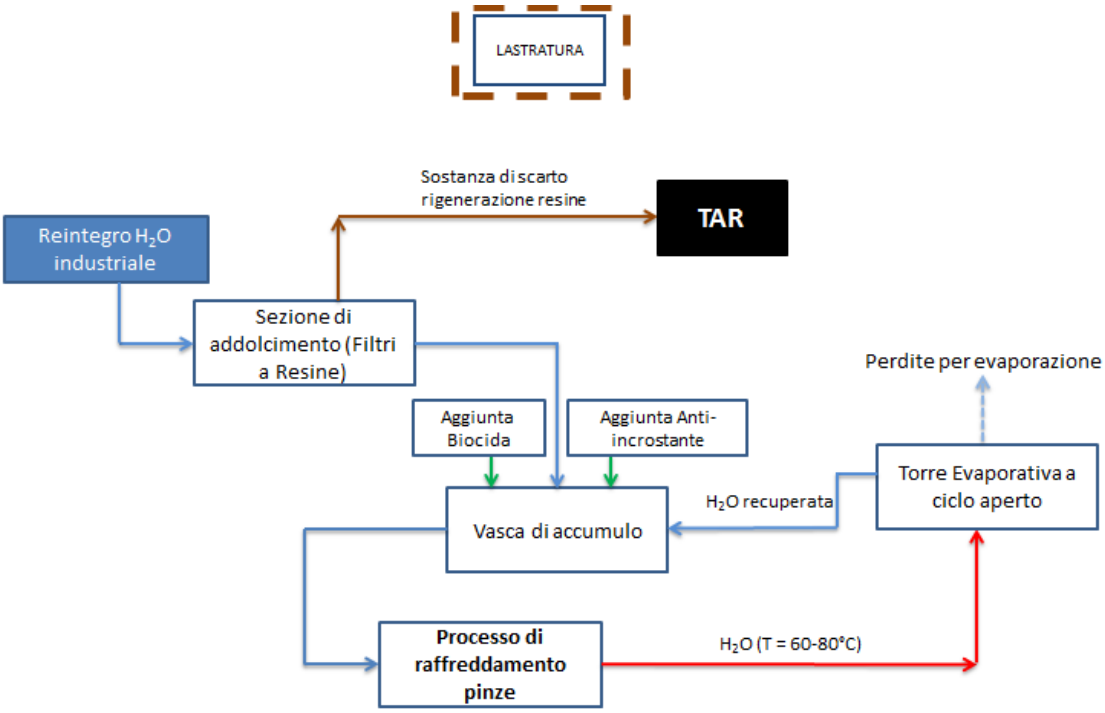

Figura 13. Schema del ciclo dell'acqua industriale: Lastratura

L'acqua, proveniente dal serbatoio di acqua industriale, viene convogliata all'interno di una vasca di accumulo, di dimensione pari a 6 m*2.5 m*2 m, situata all'esterno del capannone lastratura, ed entra all'interno del circuito di raffreddamento delle pinze di saldatura.

Prima di giungere alla vasca, dalla quale poi verrà estratta ed immessa nel circuito, l'acqua subisce un trattamento di addolcimento, per poter abbattere la sua durezza e preservare l'integrità del circuito idraulico.

La durezza dell'acqua è una grandezza chimica, legata alla presenza nel fluido di particolari sali, quali ad esempio calcio e/o magnesio, che per riscaldamento o per evaporazione, possono precipitare, concentrarsi e formare, di conseguenza, depositi di calcare o di altro genere. La presenza di sostanze incrostanti è dannosa per gli impianti industriali, sia per la loro azione corrosiva, sia per le incrostazioni che formano.

Per questo motivo, in tale reparto è presente una sezione d'addolcimento, caratterizzata da un letto, costituito da resine cationiche forti in ciclo sodico (polimeri recanti ioni sodio), in grado di

rimuovere i sali di calcio e magnesio, e sostituirli proprio con ioni sodio, diminuendo la probabilità di corrosione e incrostazione delle condotte idrauliche e di conseguenza l'eventuale manodopera di manutenzione e allungare la loro vita utile.

Figura 14. Sezione d'addolcimento: resine cationiche: Lastratura

Le resine (*Figura 14*) utilizzate sono caratterizzate dalle seguenti proprietà tecniche (*Tabella 4*):

Caratteristiche tecniche		
Proprietà	unità di misura	Valore
Resina scambiatrice "Cullex"	l	424
Capacità ciclica di scambio	m^3**f	1570-2550
Consumo di rigenerante corrispondente	kg NaCl/ciclo	30-85
Portata massima	m^3/h	30
Perdita di carico alla portata massima	bar	1,5
Pressione massima di esercizio	bar	7
Pressione minima per la rigenerazione	bar	2
Durata del ciclo di rigenerazione	minuti	70
Portata richiesta di rigenerazione	m^3/h	4,5
Volume scarichi di rigenerazione	m^3	2,5
Diametro e altezza contenitore resine	mm	750 x 1980
Diametro e altezza contenitore rigenerante	mm	1025 x 1290
Capacità del contenitore rigenerante	kg	560

Tabella 4. Caratteristiche tecniche resine sezione addolcimento: Lastratura

La capacità teorica di scambio viene espressa in m^3°F e definisce la quantità di acqua che può essere addolcita, nell'ipotesi che essa abbia una durezza di 1°F. La capacità reale può essere ottenuta dividendo quella teorica per la durezza realmente presente nell'acqua.

Come accennato in precedenza, l'addolcimento consiste nella sostituzione di ioni calcio e/o magnesio con il sodio, che non ha potere incrostante, mediante speciali resine scambiatrici.

La resina può essere vista come una lunga molecola organica, non solubile in acqua, sulla quale sono innestati innumerevoli ioni sodio. Essa, però, presenta una maggiore affinità con gli ioni calcio e magnesio, ed è per questo motivo che, nel momento in cui, viene a contatto con tali ioni, tende ad attirarli ed a sostituirli con gli ioni sodio.

La reazione che avviene al contatto tra le resine cationiche e gli ioni calcio è la seguente:

$$R^+ Na^+ + \boxed{Ca^+} \Longrightarrow Na^+ + R^+ Ca^+$$

Dopo diversi cicli di addolcimento, la resina esaurisce, lentamente, la sua capacità di scambio, essendo caratterizzata da un'elevata concentrazione di ioni calcio e magnesio: inizia, così, la fase di rigenerazione, durante la quale si ha la percolazione sul letto di resina di una soluzione di cloruro sodico (sale da cucina NaCl).

L'elevata concentrazione di sodio, che si raggiunge con l'inserimento di tale soluzione, per effetto di massa, costringe la resina a rilasciare questa volta gli ioni calcio e magnesio, e a riacquistare gli ioni sodio, raggiungendo nuovamente la forma sodica originale, così da essere di nuovo idonea per riprendere lo scambio.

$$R^+ Ca^+ + \boxed{ClNa_x^+} \Longrightarrow Ca^+ + ClNa_{x-1}^+ + R^+ Na^+$$

Questo procedimento, di rigenerazione, viene effettuato, in maniera automatica, tramite l'addolcitore, essenzialmente, costituito da un contenitore a pressione, in cui è posto il letto di resina, e da un contenitore di sale sodico.

La soluzione, rilasciata a seguito del ciclo di rigenerazione, viene convogliata al T.A.R., per poter essere trattata e sversata in pubblica fognatura (S.M.A.T.).

L'acqua industriale in arrivo al reparto di lastratura deve avere delle caratteristiche ben definite per poter evitare perdite di capacità di scambio, possibilmente dovute a depositi sulla resina o a forme di degradazione chimica.

Dal "*Manuale tecnico Culligan"*, i limiti teorici da rispettare, sono i seguenti:

- **Aspetto: limpido;**
- **Ferro allo stato ionico: < 1 mg/l;**
- **Ferro ossidato: < 0,1 mg/l;**
- **Cloro attivo: < 1 mg/l;**
- **Temperatura: da 2 a 40°C.**

Le fasi di servizio della resina possono essere riassunte come di seguito:

- **A) Servizio:** l'acqua dura attraversa il letto di resina dall'alto verso il basso ed esce addolcita mediante il gruppo valvole per essere convogliata al servizio;
- **B) Lavaggio in controcorrente:** mediante l'immissione di acqua dal basso verso l'alto, il letto di resina viene fluidificato e vengono così espulse allo scarico le eventuali impurità raccolte durante la fase di servizio;
- **C) Rigenerazione con salamoia:** acqua e salamoia attraversano il letto di resina dall'alto verso il basso e fuoriescono allo scarico dopo aver, per scambio, riportato la resina nella forma «sodica»;
- **D') Lavaggio lento:** acqua senza salamoia prosegue nel suo percorso lavando così la resina dall'eccesso di rigenerante;
- **D") Lavaggio rapido:** l'acqua continua a fluire dall'alto verso il basso, ma ad una maggiore portata. Vengono così eliminati gli ultimi residui salini e le resine sono pronte per la nuova fase di servizio;
- **E) Contenitore salamoia:** dopo qualche tempo dal ritorno in servizio, l'acqua dura entra direttamente nel contenitore del sale ad una portata prestabilita. In questo modo automaticamente si forma la quantità di salamoia richiesta per la successiva rigenerazione.

Durante la fase di rigenerazione, si ha un'interruzione del flusso al servizio, per impedire l'arrivo di acqua non ancora trattata, all'interno del circuito di raffreddamento delle pinze.

Una volta che l'acqua ha assolto il suo compito di raffreddamento delle pinze di saldatura, viene convogliata in una **torre di raffreddamento** a circolazione forzata (*Figura 15*) costituita da:

- Una struttura di contenimento di diffusori in materiale plastico, in grado di aumentare la superfice di scambio, con alla base delle aperture per permettere la circolazione dell'aria atmosferica, indotta artificialmente dal ventilatore;
- Un sistema di distribuzione dell'acqua, composto da ugelli di distribuzione e da un riempimento, di solito in materiale plastico;
- Una vasca di raccolta dell'acqua, che ha subito il processo di raffreddamento.

Figura 15. Torre di Raffreddamento: Lastratura

Nella parte superiore della torre, l'acqua dispersa e cadente verso il basso, viene a scontrarsi con l'aria, che, con flusso in controcorrente, viene indotta a salire dall'azione del ventilatore, oppure, in alcuni casi, dalla differenza di densità. Il contatto risulta tanto maggiore quanto più è estesa la superficie di scambio di materia, ovvero la superficie di quelle gocce d'acqua che entrano in contatto con l'aria. Conseguenza di ciò, consiste in un trasferimento di massa dalle gocce d'acqua (*fase dispersa*) verso l'aria (*fase continua*), derivato dall'umidificazione dell'aria stessa, che risulta essere non satura in vapore. Questo trasferimento di massa è di tipo evaporativo. L'energia viene ceduta dall'acqua all'aria in modo, sostanzialmente, isotermico nei confronti dell'aria, ma, allo stesso tempo, con una cessione di calore, e quindi con raffreddamento, da parte dell'acqua.

Una volta che l'acqua è stata raffreddata viene raccolta all'interno della vasca di accumulo, precedentemente citata (*Figura 16*):

Figura 16. Vasca d'accumulo: Lastratura

All'interno di tale vasca, è inoltre presente un sistema automatico, denominato Nalco (3D Trasar), in grado di controllare e verificare la qualità di acqua presente e, conseguentemente, a seconda delle caratteristiche, aggiungere la giusta quantità di prodotti chimici, atti a correggere le proprietà dell'acqua stessa. Tale processo viene effettuato allo scopo di riutilizzare la stessa acqua per diversi cicli, riducendo l'impiego di nuova risorsa.

I prodotti chimici aggiunti sono:

- Sostanza biocida ad una portata media di 1 l/h;
- Sostanza antincrostante ad una portata media di 2 l/h;

Grazie a tale sistema di controllo, è possibile riutilizzare l'acqua, recuperata, in maniera continua senza la necessità di effettuare cicli di svuotamento dell'intera vasca.

Allo stesso tempo, però, vengono effettuati dei reintegri di acqua, anche giornalieri, provenienti dal serbatoio principale di acqua industriale. Essi servono a mantenere inalterato il livello della vasca d'accumulo, che potrebbe variare a causa di perdite d'acqua per evaporazione o altri processi dissipativi, che possono avvenire all'interno delle condotte idrauliche.

4.3. ACQUA INDUSTRIALE: VERNICIATURA

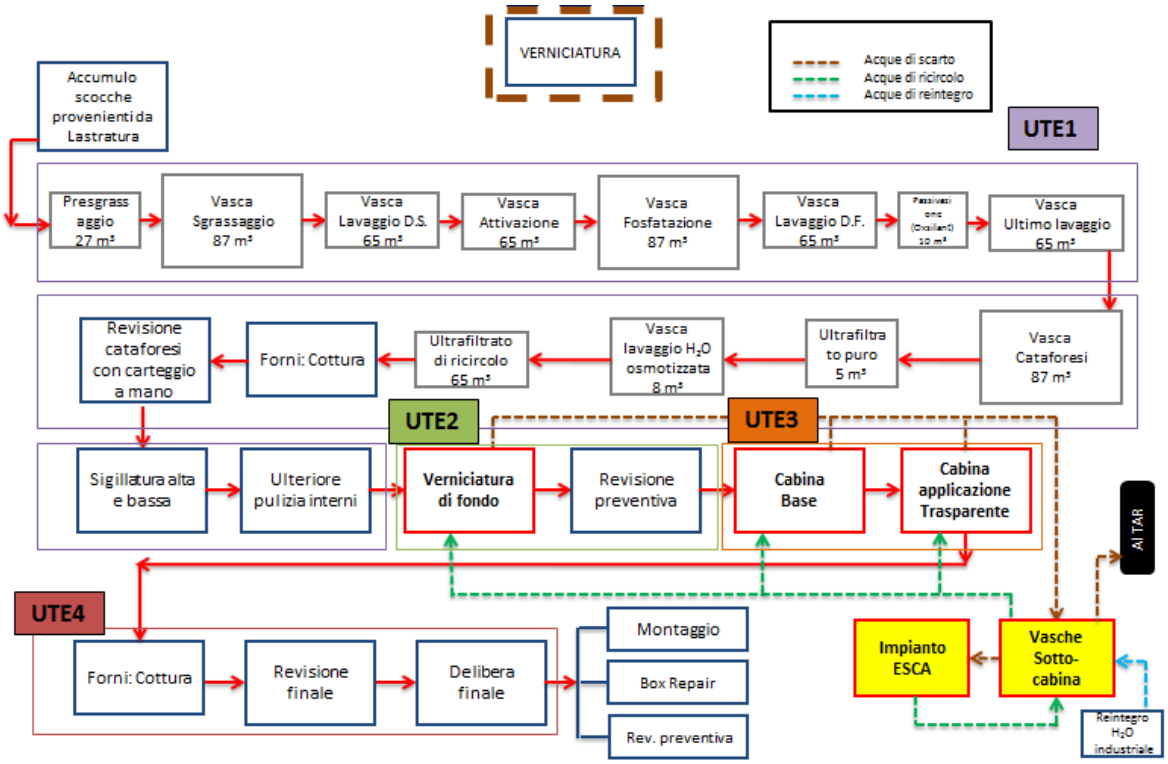

Figura 17. Schema del ciclo dell'acqua industriale: Verniciatura

L'acqua industriale, in ingresso al reparto di verniciatura, è impiegata per assolvere due particolari funzioni (*Figura 17*):

1. Durante la fase di pre-sgrassaggio, sgrassaggio e lavaggio dopo-sgrassaggio, unita a diversi prodotti chimici che favoriscono la pulizia della scocca proveniente dalla lastratura;
2. All'interno delle cabine di verniciatura (fondo, colore, trasparente), sotto forma di velo d'acqua, per la cattura delle particelle di vernice disperse nell'ambiente, definite "overspray", a seguito delle operazioni di verniciatura elettrostatica.

Come già accennato nel *paragrafo 2.2*, le restanti lavorazioni sono, invece, caratterizzate dall'utilizzo di acqua osmotizzata, ottenuta a partire da acqua industriale, grazie ad un impianto presente all'interno dello stabilimento stesso.

La prima, rilevante, quota di acqua industriale viene impiegata nella fase di pretrattamento, che precede quella di verniciatura vera e propria, dove si ha il lavaggio della scocca proveniente dal reparto di lastratura, quindi contaminata da olii, grassi ed altri particelle estranee.

Nella fase di pre-sgrassaggio, il lavaggio della scocca viene effettuato tramite ugelli ad alta pressione con una soluzione composta da acqua industriale, tensioattivi, sali inorganici di potassio

e acido ortofosforico. La soluzione, a seguito della fase di lavaggio, attraversa due membrane, con calamite, utilizzate in modo alternato, subendo, quindi, un trattamento di filtrazione che ne permette il riutilizzo per diversi cicli.

L'acqua di lavaggio viene raccolta all'interno di una vasca di capacità pari a 27 m^3, con una frequenza di svuotamento pari a **2 settimane**, caratterizzata da un reintegro con acqua proveniente dalla vasca di sgrassaggio. Durante la fase di svuotamento totale della vasca, i reflui industriali vengono inviati direttamente all'impianto T.A.R. dello stabilimento.

Nella fase di sgrassaggio, invece, avviene l'immersione della scocca in un'altra vasca, di capacità pari a 87 m^3, nella quale è presente una soluzione composta da acqua industriale, tensioattivi, sali inorganici di potassio e acido ortofosforico;

Anche in questo caso, come nel precedente, la soluzione di lavaggio subisce un trattamento di filtrazione tramite due membrane, utilizzate in modo alternato, per la pulizia e quindi il riutilizzo dell'acqua della vasca.

In questo caso la fase di svuotamento e di reintegro totale della vasca avviene ogni **16 settimane,** con acqua proveniente dal serbatoio di acqua industriale. Durante tale fase, un terzo della soluzione viene utilizzata per reintegrare la vasca di pre-sgrassaggio, poiché presenta le stesse caratteristiche chimiche, ma con una carica batterica inferiore; la restante aliquota viene, invece, convogliata all'impianto T.A.R. dello stabilimento.

Nella fase di lavaggio dopo-sgrassaggio si ha sia un'immersione della scocca in una vasca, di capacità pari a 65 m^3, nella quale è presente una soluzione composta da acqua industriale e tensioattivi, ma anche un lavaggio ad alta pressione tramite ugelli all'entrata ed all'uscita dalla vasca.

La frequenza di svuotamento della vasca è prevista ogni **3 settimane**, con un reintegro di acqua proveniente dal serbatoio di acqua industriale.

La restante aliquota di acqua industriale, versata al reparto di verniciatura, viene utilizzata, sotto forma di velo d'acqua, come mezzo di cattura delle particelle di "overspray", disperse all'interno delle cabine di verniciatura.

Nonostante l'utilizzo della tecnica di verniciatura elettrostatica, infatti, ci sarà sempre una percentuale di vernice che non aderisce alla superficie e che, insieme ai solventi, evaporano oppure si disperdono nel velo d'acqua del sotto-cabina, atto a raccogliere il prodotto non depositato.

Ciò implica una notevole dispersione di inquinanti nei luoghi di lavoro costituita, sommariamente, da :

- Particelle aerodisperse (leganti e pigmenti);
- Solventi (COV).

Teoricamente, la prima soluzione da adottare, per un'efficace salvaguardia degli ambienti di lavoro, consiste nell'utilizzare vernici, che abbiano caratteristiche tali da avere un minimo, o addirittura inesistente, impatto sull'ambiente circostante. Ad oggi, però, non esiste ancora una tale tipologia di prodotti vernicianti.

Di conseguenza, è necessario che gli inquinanti, derivanti da tale processo, vengano opportunamente captati ed allontanati mediante cabine di verniciatura, dotate di impianti a secco o ad umido.

Gli scopi di una cabina di verniciatura sono molteplici (*Middendorf, L., 2002*):

- Minimizzare lo sporco in un'operazione di verniciatura a spruzzo;
- Contenere l' "overspray" ed i vapori di solventi di scarico;
- Mantenere il corretto movimento dell'aria (flusso, velocità);
- Assicurare un ambiente sicuro e pulito per verniciare.

Nello stabilimento preso in esame, sono presenti cabine di verniciatura ad umido.

La differenza principale tra le cabine ad umido e a secco, risiede nel fatto che, le prime, usano proprio l'acqua come materiale filtrante, perfetta per tale funzione, dal momento che non può ostruirsi con la vernice di "overspray".

Inoltre, un ulteriore vantaggio consiste nel non richiedere grossi interventi di manutenzione o sostituzione di pezzi come ad esempio i filtri, che, al contrario, possono subire fenomeni usuali di intasamento, con conseguente riduzione dell'efficienza di cattura.

Il piano di calpestio, della cabina di verniciatura ad umido, è realizzato in grigliato, sotto il quale è presente un velo d'acqua industriale continuo, esteso a tutta la superfice dell'area di lavoro. (*Salihoglu G. et al., 2016*).

L' "overspray" a seconda della tipologia di vernice utilizzata (a solvente, ad acqua o bi-componente) può essere costituito da una parte volatile, i solventi, e da una parte solida, resine e pigmenti.

Per quanto riguarda la parte solida, i sistemi di abbattimento ad umido sfruttano la **bagnabilità** delle particelle aerodisperse, inibendone la diffusione negli ambienti di lavoro ed all'esterno (*v. capitolo 5.2*).

Oltre a garantire un'efficiente cattura delle particelle disperse ed una riduzione della dispersione nei locali di lavoro degli inquinanti, i sistemi ad umido riducono, notevolmente, anche il rischio incendio.

L'abbattimento dei solventi, invece, è complesso e costoso se si utilizzano sistemi di abbattimento. Di conseguenza è preferibile affrontare il problema dal principio, cercando di utilizzare tecniche e prodotti in grado di contenere, a monte, l'emissione di solventi durante le lavorazioni. (*www.verniciatore.it, 2017*)

Una volta eseguita la fase di cattura, il velo d'acqua viene convogliato all'interno di vasche, situate al di sotto delle cabine di verniciatura (*v. Figura 17*).

L'utilizzo di tre diversi tipi di prodotto verniciante (una tipologia per il fondo, una per la base ed una per il trasparente), comporta l'utilizzo di veli d'acqua esclusivamente dedicati ad ogni singola tipologia di "overspray". Per tale motivo le vasche del sotto-cabina sono in numero pari a 3, tante quante sono le cabine di verniciatura presenti nel reparto. In realtà è presente un'ulteriore vasca, di dimensioni minori rispetto alle altre, dedicata alla raccolta di un piccolo velo d'acqua presente all'interno della cabina di revisione preventiva, nella quale è possibile che avvenga la dispersione in ambiente di particelle estranee, a seguito di opera di carteggio a mano.

La vasca del sotto-cabina, destinata alla raccolta del velo d'acqua proveniente dalla cabina di verniciatura di base (colore), presenta dimensioni pari a 90 m^3, con una frequenza di svuotamento di circa **8 settimane**, durante le quali sono previsti reintegri di acqua dal serbatoio industriale, in caso di abbassamento del livello della vasca, causato da evaporazione.

La vasca del sotto-cabina, di accumulo del velo d'acqua contaminato da particelle di vernice di trasparente, ha dimensioni pari a 90 m^3. Ogni **8 settimane** circa la vasca viene completamente svuotata, ma, durante tale periodo, è caratterizzata, come nei casi precedenti, con reintegri provenienti dal serbatoio di acqua industriale.

La vasca del sotto-cabina dedicata al fondo ha dimensioni pari a 70 m^3, in cui viene convogliato il velo d'acqua contaminato da particelle di vernici di fondo, catturate all'interno della cabina di verniciatura. Lo svuotamento della vasca si ha ogni **14 settimane**. Anche in questo caso, avvengono dei reintegri, provenienti dal serbatoio di acqua industriale, per mantenere inalterato il livello d'acqua. Tale vasca, però, a differenza delle due già citate, non si trova fisicamente nel

locale situato al di sotto delle cabine di verniciatura, ma è situata, interrata, all'esterno del reparto di verniciatura.

Infine, l'ultima vasca presente nel sotto-cabina è destinata ad accogliere il velo d'acqua proveniente dalla cabina di revisione preventiva. A differenza delle altre vasche, presenta dimensioni molto più piccole, ma soprattutto dei cicli di svuotamento che avvengono ad intervalli di tempo molto lunghi, circa ogni **20 settimane.** Come si può immaginare, anche per quanto riguarda i reintegri effettuati in tale vasca, si tratta di quantità minime rispetto alle altre.

All'interno di ognuna delle vasche, ad eccezione dell'ultima introdotta, viene aggiunto un prodotto antischiuma, al fine di poter migliorare le caratteristiche dell'acqua e quindi aumentarne la possibilità di riutilizzo.

In ognuna delle vasche appena descritte vi è la presenza di pompe sul fondo, che prelevano l'acqua, contaminata da particelle di vernice, e la inviano ad un impianto di trattamento, chiamato **ESCA**.

A questo punto è previsto un trattamento di coagulazione e flocculazione, tramite l'aggiunta di:

- Flocculante, agente chimico che favorisce l'aggregazione delle particelle "d'inquinante";
- Coagulanti;

Questi prodotti permettono la formazione di "fiocchi" di contaminanti, affioranti in superfice. I "fiocchi" vengono separati dall'acqua tramite l'utilizzo di un raschiatore di superfice, posizionato in cima ad una tramoggia. Esistono tre diverse tramogge, in ognuna delle quali viene convogliata la soluzione presente all'interno delle vasche del sotto-cabina. I cosiddetti "fiocchi" di contaminanti, una volta separati, vanno a costituire le **melme di verniciatura**, raccolte, successivamente, in una "big bag", per separare la rimanente parte liquida per forza di gravità, ed, infine, rilasciate in un cassone. Da qui, in seguito, vengono inviate a smaltimento presso una ditta esterna specializzata.

Allo stesso tempo l'acqua, che è stata separata dalle melme, viene rinviata alle vasche del sotto-cabina, e da qui, grazie all'utilizzo di un'ulteriore pompa, riutilizzata come velo d'acqua all'interno della cabina di provenienza, pronta nuovamente ad assolvere il suo compito di cattura delle particelle disperse.

Da un'attenta ricerca bibliografica, si è visto che, in alcuni studi effettuati, il processo di ricircolo del velo d'acqua all'interno delle cabine di verniciatura ad umido non può essere effettuato all'infinito, semplicemente reintegrando costantemente la quota parte di acqua industriale all'interno delle vasche.

Nello specifico il ricircolo viene interrotto quando l'acqua raggiunge un livello di **COD** di circa **6000 mg O_2/l.** (*Consejo,C. et al., 2005*)

4.4. ACQUA INDUSTRIALE: MONTAGGIO

Anche all'interno del reparto di **montaggio**, che rappresenta l'ultima fase operativa del ciclo di produzione di una vettura, viene impiegata una quota non trascurabile di acqua industriale. Tale quota d'acqua è destinata, esclusivamente, ad essere utilizzata durante la fase della cosiddetta prova idrica (*Figura 18*).

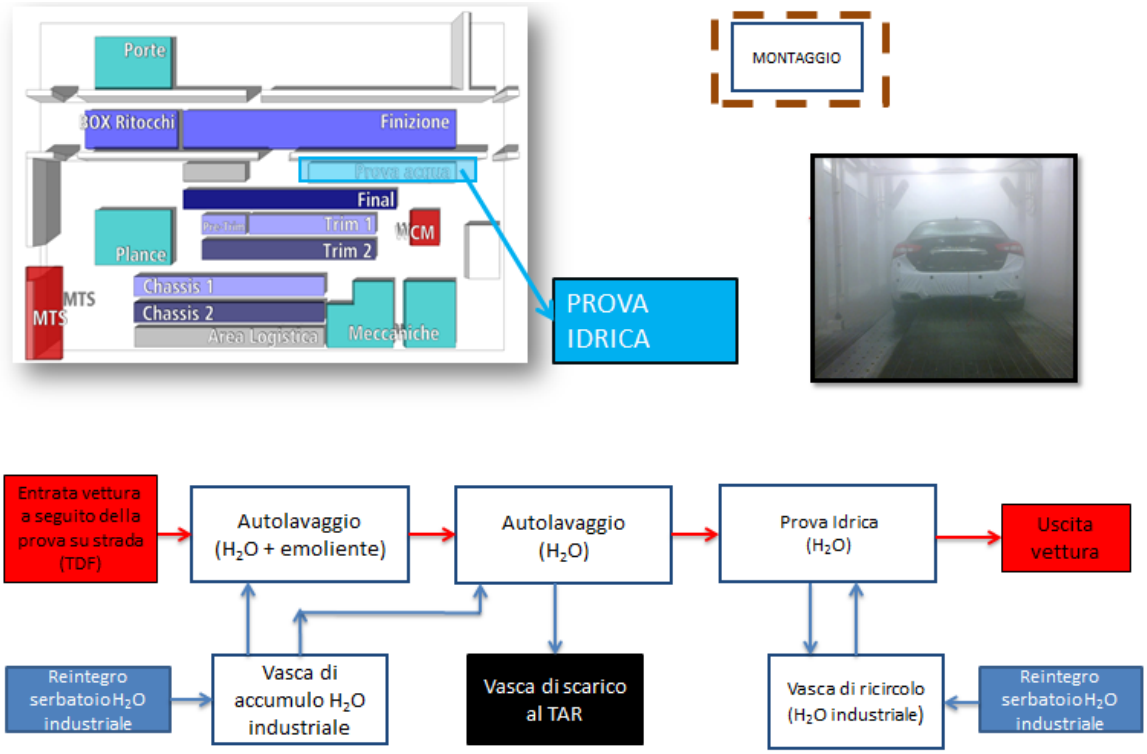

Figura 18. Schema del ciclo dell'acqua industriale: Montaggio

La prova idrica rappresenta una delle ultime fasi a cui è soggetta la vettura, prima di essere dichiarata idonea per la vendita.

Dallo schema precedente, si può notare che ogni vettura, prima di essere sottoposta alla prova idrica, effettua una prova su strada (TDF).

La vettura, ormai completa anche di liquidi (olio, gasolio etc.), aggiunti durante le fasi precedenti, percorre 40 km, così da verificarne, ulteriormente, il corretto funzionamento di tutta la componentistica e dei sistemi integrati di bordo.

A seguito della prova su strada (TDF), l'automobile è pronta ad affrontare la prova idrica: inizialmente, tale prova, prevede una fase di lavaggio automatico tramite un impianto di tipo a getto, nel quale viene utilizzata, come soluzione di lavaggio, una miscela di acqua industriale unita

ad un prodotto emolliente, anch'esso miscela di: basi organiche ed inorganiche, sostanze tensioattive e acqua.

Attraverso tale autolavaggio si ha una prima eliminazione delle possibili sostanze estranee, raccolte dall'automobile durante il giro su strada.

L'acqua industriale, utilizzata in questa fase di autolavaggio, viene prelevata da una vasca di dimensioni pari a circa 1,5 m^3, che viene reintegrata direttamente dal serbatoio principale.

I liquidi di lavaggio delle vetture vengono, poi, accumulati in un'ulteriore vasca, di circa 18 m^3, ed inviati all'impianto di Trattamento Acque Reflue, posto all'interno dello stabilimento, per poter essere smaltiti.

A seguito della fase di autolavaggio, viene effettuata la vera e propria **prova idrica**:

La prova di tenuta idrica avviene all'interno di una cabina di spruzzatura, senza operatore a bordo dell'automobile.

L'automobile transita, in modo automatico, all'interno della cabina per mezzo del trasportatore monotapparella. Tale cabina presenta delle sagome in entrata ed in uscita per raggiungere una minima dispersione in ambiente dell'acqua, che durante il procedimento subisce il fenomeno di nebulizzazione.

Infatti, al suo interno sono presenti 7 pergole, ed ognuna di esse presenta ugelli differenti di spruzzatura che erogano acqua ad una pressione di 3 bar, per una portata complessiva pari a circa 1300 l/minuto.

Nello specifico la prova, effettuta sul 100% delle vetture, consiste nel simulare tre diverse condizioni climatiche avverse, durante le quali i fenomeni atmosferici potrebbero causare danni all'automobile.

Le tre condizioni sono:

- Pioggia leggera e nebbia → effettuata tramite ugelli nebulizzanti;
- Temporale → effettuata tramite ugelli con effetti a scroscio;
- Pioggia fitta continua → effettuata tramite ugelli con scarico.

L'acqua utilizzata è totalmente raccolta, filtrata e riutilizzata per diversi cicli in una vasca di capacità di circa 18 m^3, fino al momento in cui avviene lo svuotamento della suddetta vasca, all'incirca una volta al mese, e l'invio della soluzione presente all'impianto T.A.R.

La filtrazione, nello specifico, avviene tramite un sistema, che sfrutta l'azione disinfettante del biossido di cloro.

La disinfezione tramite l'utilizzo di biossido di cloro, ad oggi, ha ormai sostituito il procedimento che prevedeva l'utilizzo di cloro (acido ipocloroso), nell'ambito del trattamento delle acque, grazie a numerosi vantaggi, che derivano da un potere biocida e antivirale, nettamente, superiore ed indipendente dal valore di pH assunto dall'acqua da trattare.

In generale, il processo di disinfezione consiste nell'inibizione dei processi cellulari, nel momento in cui la sostanza organica viene a contatto con il biossido di cloro. Esso va a bloccare la produzione di proteine, reagendo in maniera diretta con gli amminoacidi e l'RNA nelle cellule.

I vantaggi principali, che derivano dall'utilizzo di ClO_2 nei trattamenti di disinfezione, rispetto ad altri reagenti (cloro, ozono), possono essere sintetizzati come segue:

- Efficienza battericida relativamente invariata a valori di pH tra 4 e 10;
- Elevata solubilità;
- Assenza di fenomeni di corrosione associata ad un'elevata concentrazione, con conseguente riduzione dei costi di mantenimento;
- Nessuna reazione con ammoniaca (NH_3) o ammonio (NH_4^+);
- Elevato potere di coagulazione;
- Distruzione di fenoli;
- Inodore;
- Migliore capacità di rimozione di composti di ferro e magnesio.

Da tali considerazioni si evince, inoltre, che la sua azione non è aggressiva nei confronti degli impianti tecnologici, per cui, di conseguenza, ne risulta una diminuzione dei periodi di manutenzione e, quindi, di impegno economico.

Presenta, inoltre, un effetto più longevo, con azioni che durano fino anche ad alcuni giorni dopo la sua immissione, e che si avverte anche a distanza dal punto di iniezione, rendendo, in questo modo, possibile il trattamento di interi sistemi idraulici, anche impiegando piccole quantità di prodotto.

A differenza di ciò che accade in altre tipologie di disinfezione, dal processo che prevede l'utilizzo di ClO_2, risultano assenti sottoprodotti di disinfezione potenzialmente cancerogeni. (*www.lenntech.it, 2017*)

Una volta conclusa la prova di tenuta idrica, sono presenti 12 ventilatori, per effettuare operazioni di asciugatura e permettere il passaggio della vettura all'ultima fase di controllo: la Finizione.

4.5. ACQUA INDUSTRIALE: CENTRALE TERMICA

Un'altra delle utenze che richiede acqua industriale, proveniente dal serbatoio principale, seppur in minima quantità, è rappresentata dalla **Centrale Termica**, presente all'interno dello stabilimento.

La Centrale Termica, grazie alla presenza di un impianto di Cogenerazione a turbogas, produce:

- Una quantità di energia elettrica, utilizzata, in parte, per alimentare le utenze all'interno dello stabilimento, mentre la restante in avanzo ceduta all'esterno;
- Una quantità di energia termica, che può essere utilizzata per uso industriale, all'interno di processi produttivi, oppure per condizionamento ambientale, riscaldamento e/o raffreddamento di edifici, delle Unità Operative e dei locali, uffici etc., presenti all'interno dello stabilimento.

All'interno della Centrale Termica sono presenti oltre all'impianto di cogenerazione anche due generatori di vapore, che producono a loro volta una determinata quantità di energia termica.

La componente di acqua utilizzata all'interno dei processi di cogenerazione, però, non è industriale, bensì acqua demineralizzata, prodotta dal relativo impianto presente in stabilimento (*v. paragrafo 4.6*). Infatti, l'aliquota di acqua industriale, convogliata alla Centrale Termica, è minima, poiché utilizzata solo in casi di emergenza e per assolvere a varie funzioni secondarie all'interno del processo di produzione energetico, come si può vedere nello schema seguente (*Figura 19*):

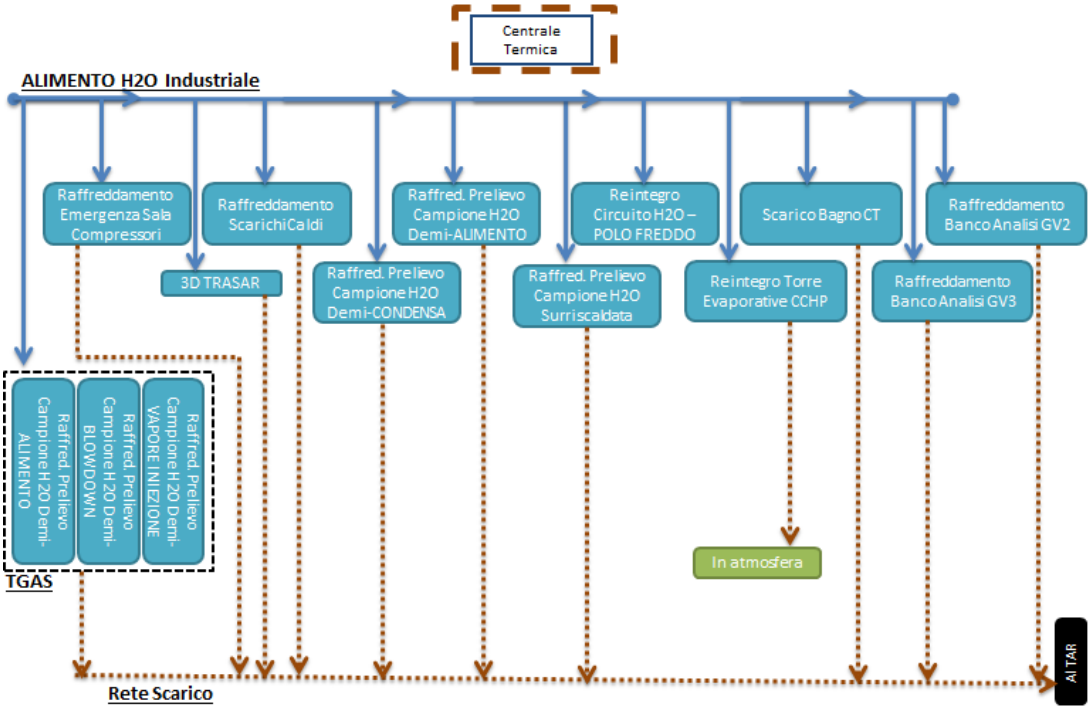

Figura 19. Schema del ciclo dell'acqua industriale: Centrale Termica

Dallo schema precedente, l'acqua industriale è utilizzata per assolvere funzioni di raffreddamento della sala compressori, soltanto però in casi di emergenza caratterizzati da mancanza della componente demineralizzata; oppure, soprattutto, per raffreddare i campioni di acqua che vengono prelevati per essere analizzati in laboratorio e permettere la verifica del corretto funzionamento del processo produttivo di energia. Inoltre, viene utilizzata anche come scarico dei servizi presenti all'interno dei locali della centrale.

Gli spurghi, che vengono inviati all'impianto di Trattamento Acque Reflue, nella maggior parte dei casi, vengono prodotti manualmente tramite apertura degli scarichi, per permettere un ricambio dell'acqua industriale accumulata e che potrebbe ristagnare dopo un determinato periodo di inattività, aumentando così la probabilità di eventuali conseguenze dannose alle tubazioni.

4.6. ACQUA INDUSTRIALE: IMPIANTO DI OSMOSI INVERSA E DEMINERALIZZAZIONE

L'impianto di osmosi inversa e di demineralizzazione è l'utenza che presenta la maggiore richiesta di acqua industriale di tutto lo stabilimento. Questo deriva dal fatto che, come già accennato in precedenza, ci sono utenze, quali centrale termica e verniciatura, che necessitano di un'ingente quantità di acqua demineralizzata e/o osmotizzata per poter garantire il corretto svolgimento dei processi produttivi.

Tale impianto, quindi, sia attraverso un processo di osmosi inversa che attraverso un trattamento di scambio ionico, permette di trasformare una grande quantità di acqua industriale in:

- Acqua OSMOTIZZATA, impiegata nel reparto di verniciatura (con una conducibilità < 3 µS/cm);
- Acqua DEMINERALIZZATA, impiegata, soprattutto, in centrale termica, per l'alimentazione dei generatori di vapore e dell'impianto di Cogenerazione a turbogas (conducibilità < 0,2 µS/cm);

Uno schema dell'impianto è riportato di seguito (*Figura 20*):

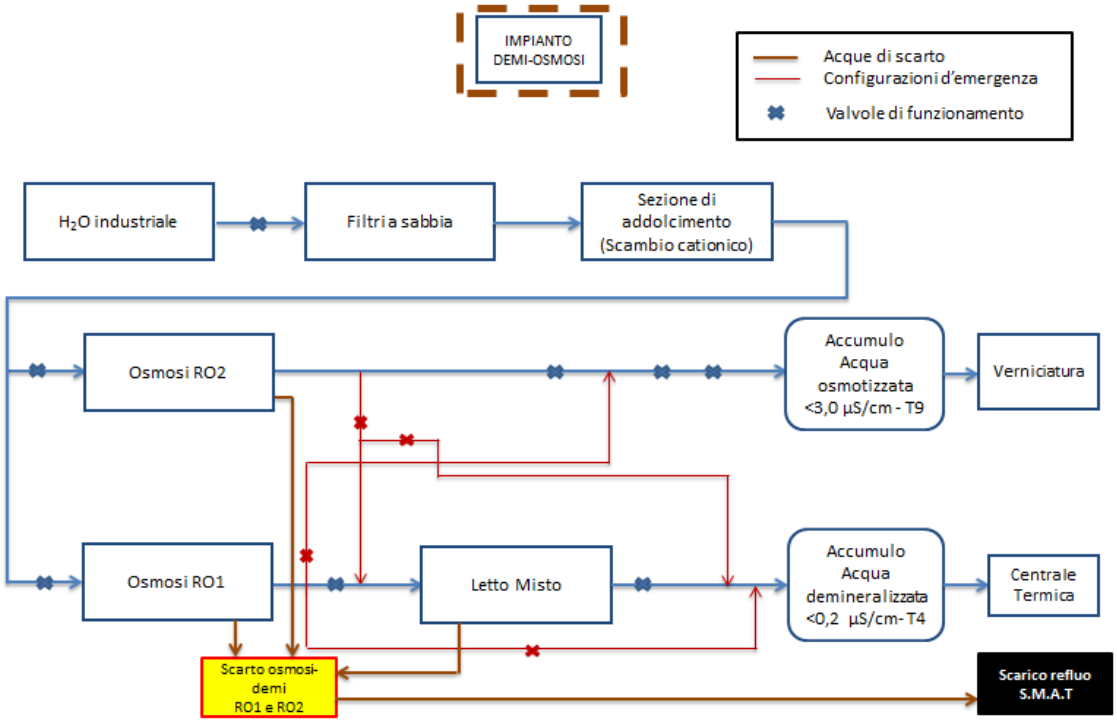

Figura 20. Schema del ciclo dell'acqua industriale: Impianto di osmosi inversa e demineralizzazione

La logica di controllo, per il funzionamento dell'impianto, prevede diverse configurazioni, esplicate attraverso un sistema di valvole e tubazioni secondarie, che permettono di garantire la produzione di entrambe le tipologie di acqua, in qualsiasi situazione, anche in quelle di emergenza (es. mal funzionamento di uno degli impianti di osmosi inversa).

Nella configurazione di servizio regolare, l'impianto di osmosi inversa RO2 è destinato, soprattutto alla produzione di acqua osmotizzata, destinata al reparto di verniciatura, mentre l'impianto RO1 è abbinato al letto misto, al fine di produrre l'acqua demineralizzata, destinata, maggiormente, alla centrale termica.

Nello specifico, l'impianto, prima di ottenere il prodotto finale, presenta diverse fasi di servizio:

1. Pre-trattamento dell'acqua industriale in arrivo all'impianto, mediante filtrazione su sabbia e successiva sezione d'addolcimento;
2. Trattamento di osmosi inversa, con produzione di acqua osmotizzata, in parte accumulata in un serbatoio e rilanciata al reparto verniciatura;
3. Trattamento di scambio ionico, tramite l'utilizzo di un letto misto, composto da resine anioniche e cationiche, sulla restante componente osmotizzata, con produzione di acqua demineralizzata, accumulata e rilanciata, in seguito, alla centrale termica.

Dallo schema dell'impianto, si evince che, l'aliquota di acqua industriale, inviata ad esso, prima di subire i trattamenti principali, è sottoposta a dei pretrattamenti, al fine di permettere l'entrata, all'interno dell'impianto di osmosi inversa, di un'acqua con determinate caratteristiche, in modo tale da ottenere la massima efficienza di trasformazione raggiungibile.

Infatti, la qualità dell'acqua, in entrata, influenza molto l'efficienza dell'intero processo, e quindi, la qualità del prodotto ottenuto.

Nel dettaglio, nella fase di pretrattamento, sono presenti due sezioni di trattamento consecutive:

- Sezione di **filtrazione**: tramite il passaggio del fluido attraverso un filtro, costituito da un letto di sabbia, si ottiene un processo di depurazione dell'acqua industriale, che consiste nella rimozione dei solidi sospesi, i quali vengono così intrappolati entro i pori della superficie del mezzo filtrante.

- Sezione di **addolcimento**: tramite l'impiego di resine cationiche forti, rigenerate in ciclo sodico, vengono rimossi i sali di calcio e magnesio, cedendo ione sodio all'acqua, così da ottenere una notevole riduzione della durezza (*v.paragrafo 4.2.*).

- Sezione di **microfiltrazione:** tramite cartuccia filtrante, costituita da filato di cotone o in fibra sintetica avvolto, oppure da cellulosa o materiale sinterizzato, viene rimosso il particolato fino a dimensioni pari al valore nominale, rimuovendo occasionalmente anche particelle inferiori.

In questo modo, la fase di osmosi inversa viene alimentata con un flusso di acqua, caratterizzata, sia dall'assenza di solidi sospesi, che potrebbero intasare le membrane d'osmosi inversa ed influire negativamente sull'efficienza del processo di trasformazione, sia da un contenuto esclusivo di sali ad elevata solubilità, senza il pericolo di formazioni di composti insolubili, quali carbonato di calcio.

A seguito delle fasi di pre-trattamento, ha inizio la trasformazione, vera e propria, dell'acqua industriale in acqua osmotizzata.

Per spiegare il principio dell'osmosi inversa, si deve prima conoscere il fenomeno dell'osmosi. La definizione da enciclopedia (*Treccani, 2018)* è: "*S'indica col nome di osmosi un complesso di fenomeni che involgono il passaggio di fluidi attraverso setti semipermeabili, ossia attraverso pareti che hanno la proprietà di lasciar passare le molecole di certe sostanze e di essere impermeabili ad altri tipi di molecole. Il caso più conosciuto e tipico di fenomeni osmotici si ha quando due soluzioni di diversa concentrazione, ma di eguali componenti, sono separate da una membrana che è permeabile al solo solvente. In tali condizioni il solvente si diffonde attraverso la membrana e passa dalla soluzione meno concentrata alla più concentrata, tendendo a eguagliarle. Nel caso limite in cui la parete semipermeabile separa una soluzione dal suo solvente; è facile comprendere che le molecole del soluto, che non possono passare attraverso alla parete semipermeabile, esercitano su questa una pressione detta pressione osmotica*".

I sali presentano la tendenza ad assorbire acqua; l'alimentazione degli organismi in natura è caratterizzata proprio dal trasporto di sali minerali e di acidi, sciolti nell'acqua, attraverso la membrana cellulare, grazie all'azione della pressione osmotica, fino a che la pressione cellulare e pressione osmotica si equivalgono.

Il processo di osmosi inversa, quindi, è utilizzato per dissalare l'acqua industriale, producendo acqua di qualità elevata, e concentrando i sali, contenuti originariamente nell'acqua di alimento, nell'aliquota di scarto.

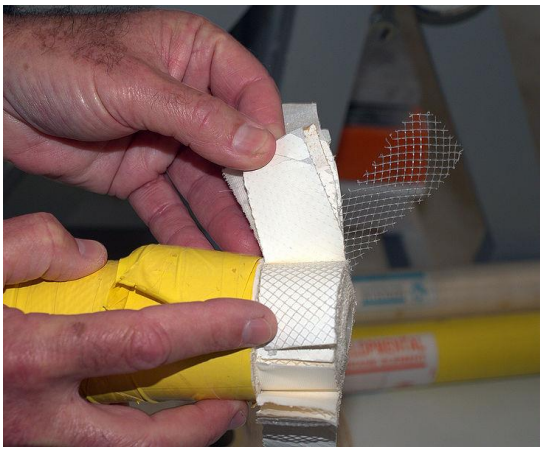

Figura 21. ***Membrana utilizzata per il processo di osmosi inversa***

Durante il processo, viene forzato il passaggio delle molecole di solvente, dalla soluzione più concentrata a quella meno concentrata, applicando alla prima una pressione osmotica. Vengono impiegate membrane semipermeabili (*Figura 21*), attraverso le quali avviene il passaggio dell'acqua priva di sali, definita **permeato**, per opera della pressione applicata in alimento; tale componente viene, in seguito, convogliata in un serbatoio, mentre, la restante parte, caratterizzata da un elevato tenore salino, definita **concentrato**, fuoriesce dal modulo, solo dopo averlo percorso completamente, e viene inviato direttamente in rete fognaria e smaltita verso S.M.A.T. Un flusso minimo e continuo, di concentrato è fondamentale, per garantire il flussaggio di possibili depositi e l'assenza di precipitazione di sali.

Nello specifico, si tratta di un trattamento di "osmosi inversa a doppio passo", che consiste nel sottoporre l'acqua ad un doppio trattamento di desalinizzazione.

Le caratteristiche di progetto del primo passo d'osmosi sono riassunte nella tabella seguente (*Tabella 5*):

DATI DI PROGETTO	OSMOSI INVERSA PRIMO PASSO	
Parametri	U.M.	Valori
Portata acqua addolcita	m^3/h	22,5
Portata recupero scarto secondo passo	m^3/h	3,0
Portata alimento osmosi	m^3/h	25,5
Portata permeato	m^3/h	20,0
Portata scarto (a scarico)	m^3/h	5,5
Fattore di conversione	%	78
Temperatura acqua	°C	17

Tabella 5. Dati di progetto: osmosi inversa primo passo

Per quanto riguarda, invece, il secondo e ultimo passo, si ha (*Tabella 6*):

DATI DI PROGETTO	OSMOSI INVERSA SECONDO PASSO	
Parametri	U.M.	Valori
Portata alimento osmosi (permeato da primo passo)	m^3/h	20,0
Portata permeato	m^3/h	17,0
Portata scarto	m^3/h	3,0
Fattore di conversione	%	85
Temperatura acqua	°C	17

Tabella 6. Dati di progetto: osmosi inversa secondo passo

Da tali dati di progetto, reperiti grazie all'ausilio del personale dello stabilimento e dai manuali tecnici di funzionamento dell'impianto, si nota che il permeato, ottenuto dal primo passo, rappresenta l'alimento del secondo passo, e che il concentrato, cioè la soluzione di scarto, del secondo passo, viene aggiunta alla portata di alimento del primo passo. Si può concludere, quindi, che lo scarto inviato direttamente in fognatura, sarà rappresentato soltanto dalla portata di concentrato, ottenuta a seguito del trattamento di primo passo.

In particolare, sempre grazie ai dati precedenti, è possibile affermare che l'intero trattamento di osmosi inversa, effettuato all'interno dello stabilimento, presenta una resa teorica di trasformazione pari al 75%, mentre il restante 25% rappresenta lo scarto inviato in pubblica fognatura (S.M.A.T.). (*Figura22*).

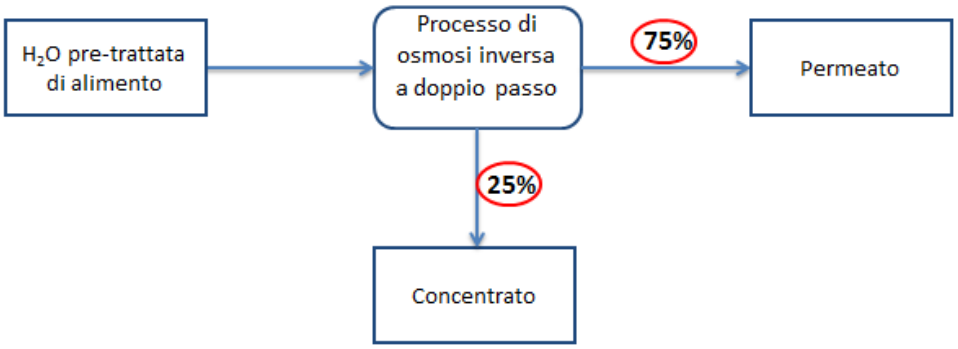

Figura 22. Processo di trasformazione acqua osmotizzata: rendimento in percentuale dell'impianto

La resa teorica e totale del processo, come detto in precedenza, è influenzata dall'acqua in entrata, convogliata all'impianto. Nello specifico, dipende da alcuni parametri di quest'ultima, quali:

- **Portata di alimento**:
  - Se in eccesso, rispetto ai dati teorici, può comportare una minore efficacia nei confronti della reiezione salina, a causa dell'aumento dell'attrito tra fluido e membrana, che, a sua volta, comporta il "consumo" più rapido del polimero che costituisce la membrana stessa;
  - Se minore, rispetto ai dati teorici, può portare, invece, ad una diminuzione dell'effetto autopulente del flusso tangenziale dell'acqua, che implica maggiore probabilità di accadimento di fenomeni, responsabili dell'intasamento della porosità della membrana, come il "*fouling*".
- **pH:**
  - Se in campo acido, la quantità di Sali che attraversa la membrana è maggiore;
  - Se in campo basico, la quantità di Sali che attraversa la membrana è minore.
- **Conducibilità:**
  - Se la portata di alimento presenta un'elevata salinità, la produzione di permeato sarà minore;
  - Se la portata di alimento presenta una salinità minore, la produzione di permeato risulterà maggiore.
- **Pressione:**
  - A pressioni elevate della portata di alimento, la quantità di permeato prodotto sarà maggiore e di qualità migliore;
  - A pressione ridotta della portata di alimento, la quantità di permeato prodotto risulterà minore e di qualità peggiore.
- **Temperatura:**
  - Ad acqua di alimento più calda, corrisponde una produzione di permeato maggiore e di qualità peggiore;
  - Ad acqua di alimento più fredda, corrisponde una produzione di permeato minore e di qualità migliore.

Di conseguenza, da tutto ciò che è stato esposto finora, si può giungere alla conclusione che, i possibili inquinamenti della membrana possono dipendere, principalmente, da tre fattori:

- Qualità dell'acqua in ingresso;
- Inefficacia e/o inadeguatezza dei pretrattamenti;
- Errori di gestione dell'impianto.

Ciò si traduce in precipitazioni ed eventuali sospensioni, che possono intasare fisicamente la membrana, riducendone così la porosità.

Una volta ottenuta la componente d'acqua osmotizzata, caratterizzata da una conducibilità < 3 µS/cm, una quota parte di essa viene inviata al reparto di verniciatura, mentre la restante viene sottoposta ad un ulteriore trattamento, al fine di produrre l'acqua demineralizzata, che, a differenza della precedente, presenta una minore conducibilità, < 0,2 µS/cm.

Il trattamento consiste nel passaggio dell'acqua, ottenuta dal processo di osmosi inversa, all'interno di un letto misto, una colonna unica, composto da resine anioniche e cationiche (*Figura 23*)

La resina cationica forte, in forma Idrogeno (H^+), miscelata con resina anionica, in forma Ossidrile (OH^-), sottrae con infinita accuratezza tutti i cationi e gli anioni dei sali disciolti nell'acqua, in quanto ogni sferetta di resina cationica si lega a una sferetta di resina anionica e forma un sistema autonomo di deionizzazione.

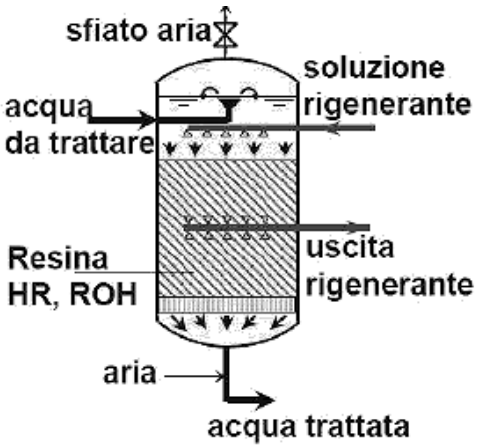

Figura 23.Schema di funzionamento: colonna di scambio ionico a letto misto (*Tonini A., 2017*)

Le caratteristiche tecniche delle resine utilizzate all'interno dello stabilimento, fornite da manuali tecnici, sono riportate nella tabella seguente (*Tabella 7*):

Caratteristiche tecniche		
Diametro colonne	mm	1000
Quantità resina cationica forte	l	500
Quantità resina anionica forte	l	700
Portata di servizio	m^3/h	17

Tabella 7. Caratteristiche tecniche resine a letto misto

La molecola di un sale disciolto nell'acqua, è formata da un legame fra un catione (es. Na^+) e un anione (es. Cl^-). Una sferetta di resina cationica (R^+H^+) e una di resina anionica (R^+OH^-) tendono a trattenere tali ioni, scambiandoli con idrogeno (H^+) ed un gruppo ossidrile (OH^-).

In questo modo, le sferette di resina cationica e anionica, trasformano una molecola di sale in una molecola di acqua pura (*Figura 24*)

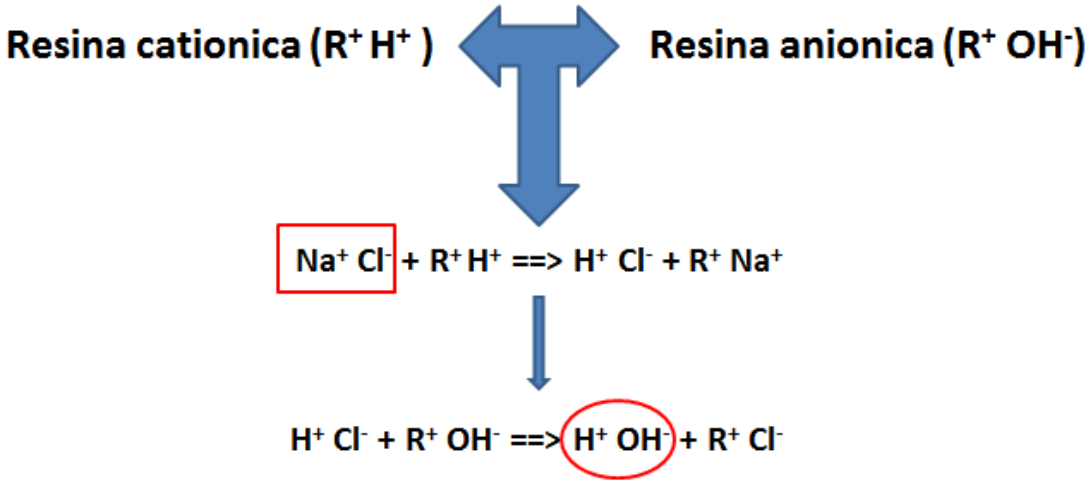

Figura 24. Processo di trasformazione di una molecola di sale in acqua pura in letto misto: reazioni chimiche

Per poter ottenere un'efficienza massima dal trattamento appena descritto, dai manuali tecnici dell'impianto, sono state estratte le caratteristiche fisico-chimiche che l'acqua di alimento deve possedere:

- Salinità ($CaCO_3$): < 600 ppm;
- Cloro libero (Cl_2): < 0,5 ppm;
- Idrogeno: = 0 ppm;
- Ferro (Fe): < 0,05 ppm;
- Manganese (Mn): < 0,05 ppm;
- Torbidità: < 1 NTU;
- Sostanze organiche ($KMnO_4$): < 5 ppm;
- Temperatura: 5÷35°C;
- Pressione: min 3 bar; max 5 bar.

Bisogna sottolineare come, a basse temperature, si possa verificare una riduzione della velocità della reazione di scambio ionico della resina, mentre a temperature molto elevate, possa aumentare la velocità di degradazione della resina.

Inoltre, a valori di pressione, inferiori al limite espresso in precedenza, non si verifica l'aspirazione dei rigeneranti, mentre a pressione maggiore, si possono verificare rotture delle parti idrauliche in PVC e la polverizzazione della resina.

Esaurita la fase di servizio, inizia la fase di rigenerazione, allo scopo di ripristinare la capacità di scambio delle resine. In particolare, la sostanza rigenerante, iniettata tramite pompe dosatrici dedicate, sarà composta da acqua con aggiunta di:

- Acido Cloridrico, NaOH, (33%), per la rigenerazione della resina cationica forte, inviato in controcorrente (dal basso verso l'alto);
- Idrossido di Sodio, HCl, (30%), per la rigenerazione della resina anionica forte, inviato in corrente (dall'alto verso il basso).

I due flussi attraversano il letto delle resine e fuoriescono allo scarico tramite un collettore comune posto tra i due strati di resine, dal quale viene convogliato all'impianto di Trattamento Acque Reflue, e infine, smaltito in pubblica fognatura (S.M.A.T.).

L'acqua osmotizzata e la componente demineralizzata, ottenute dal processo descritto precedentemente, vengono accumulate all'interno di serbatoi separati ed inviate alle varie unità operative.

4.7. ACQUA INDUSTRIALE: TRATTAMENTO ACQUE REFLUE

Dai diversi processi industriali, finora descritti, effettuati nello stabilimento, deriva la produzione di acque reflue industriali, che sono destinate ad essere scaricate in pubblica fognatura (S.M.A.T.), non prima, però, di essere state trattate, in modo tale da ridurre le concentrazioni di sostanze potenzialmente pericolose per l'ambiente e per la salute dell'uomo, che possono essere presenti a causa dei processi di lavorazione.

Infatti, in generale, prima di poter effettuare qualsiasi scarico di refluo industriale verso l'ambiente esterno, è necessario fare in modo che essi rispettino dei limiti, riguardo determinati parametri, forniti dalla normativa vigente, che in Italia è esplicata dal Dlgs 152/2006 e s.m.i (nello specifico *Tabella 3A*, *v.paragrafo 3.2*).

All'interno dello stabilimento, per raggiungere tale obiettivo, è presente un piccolo impianto, denominato con l'acronimo **T.A.R.**, di **Trattamento Acque Reflue**. Si tratta di un processo chimico-fisico, al quale vengono sottoposti i vari scarti, provenienti dalle varie lavorazioni (*Figura 25*).

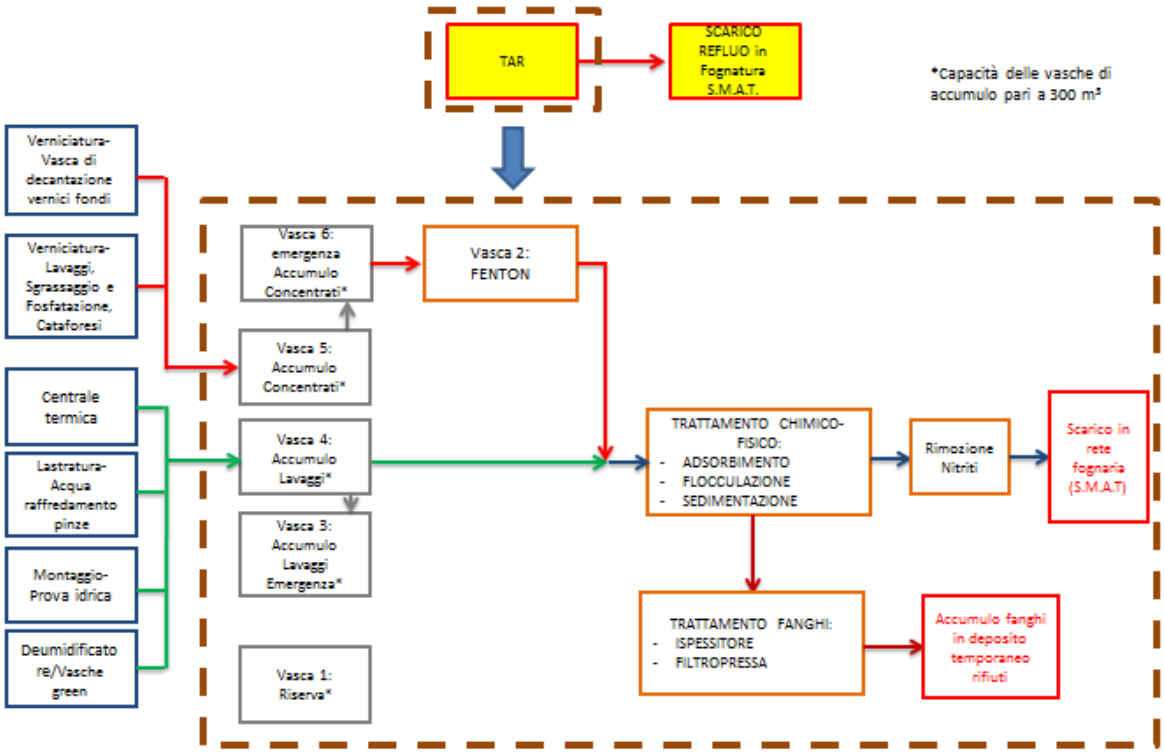

Figura 25. Schema del ciclo di funzionamento del TAR

I reflui industriali, provenienti dalle diverse unità operative (lastratura, verniciatura, montaggio, centrale termica etc.), vengono accumulati all'interno di vasche, di dimensioni pari a circa 300 m^3, aperte e posizionate all'esterno dei locali dell'impianto, da dove, in seguito, vengono prelevati e soggetti alla fase di trattamento vero e proprio.

Le vasche principali sono la vasca numero 4 e la numero 5 (*Figura 25*): di accumulo "lavaggi" e di accumulo "concentrati". Le altre rappresentano vasche utilizzate solo nel caso in cui, le due prima citate, siano piene.

Le acque reflue vengono raccolte, quindi, separatamente, a seconda delle concentrazioni d'inquinanti presenti. Le due diverse tipologie di acque reflue sono:

1. "Concentrati": con elevate concentrazioni di inquinanti;
2. "Lavaggi": con minore carica inquinante;

L'impianto globale di Trattamento delle Acque Reflue assolve, dunque, le seguenti funzioni:

1) Accumulo dei "concentrati";
2) Pretrattamento "concentrati": "*Fenton*" ;
3) Rilancio dei "concentrati" a portata costante;
4) Accumulo dei "lavaggi";
5) Rilancio dei "lavaggi" a portata costante;
6) Invio alla fase di trattamento chimico-fisico di una soluzione composta dall'unione di "lavaggi" e "concentrati" pretrattati;
7) Sedimentazione:
    - Separazione solido-liquido:
        - Solido al trattamento fanghi;
        - Liquido verso scarico.
8) Rimozione dei nitriti mediante correzione pH e ossidazione.

In seguito all'accumulo dei reflui nelle vasche appena descritte, la prima azione, effettuata all'interno dell'impianto, consiste in un trattamento "*Fenton*", esclusivamente dedicato ai reflui denominati "concentrati".

Il processo "*Fenton*" è un trattamento di Ossidazione Chimica Avanzata, basato sull'utilizzo di un reattivo, costituito da perossido di idrogeno (H_2O_2) e sali di ferro ($FeSO_4$) in ambiente acido (H_2SO_4), e che trova applicazione nel trattamento degli scarichi industriali, con un'elevata concentrazione di COD, tensioattivi e contenenti una varietà di componenti tossici, come ad esempio benzene, toluene, PCD, etc.

In generale, quindi, il trattamento "*Fenton*" permette di agire sui seguenti parametri inquinanti (*Mappa, G., 2014*):

- *"COD-BOD: ossidazione di sostanze organiche, sospese e disciolte, con conseguente rottura di molecole complesse ed aumento della biodegradilità;*
- *Colore: degradazione di molecole organiche cromofore;*
- *Tensioattivi: demolizione delle catene aromatiche e alifatiche del tensioattivo;*
- *Fenoli: rottura dell'anello aromatico."*

Il trattamento consiste nel passaggio del refluo in tre diverse vasche (*Figura 26*):

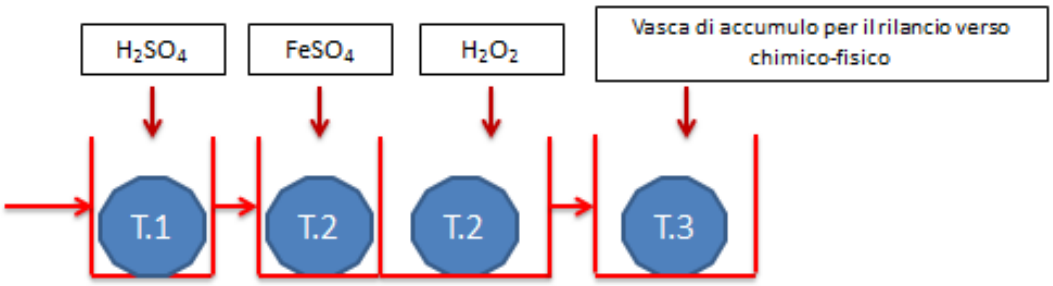

Figura 26. Schema di trattamento: "*Fenton*"

T.1) Vasca di acidificazione, caratterizzata dall'aggiunta di acido solforico (H_2SO_4), per ottenere un ambiente acido, con valori di pH pari a 3÷4, che possa favorire la reazione di ossidazione.

T.2) Vasche di reazione, con dosaggio di acqua ossigenata (H_2O_2), reagente, e solfato ferroso ($FeSO_4$), catalizzatore della reazione, per far si che avvenga la reazione di ossidazione, così da disgregare le molecole di inquinanti e renderle maggiormente solubili. Il tutto con un rapporto di 1:4.

T.3) Vasca di accumulo per rilancio verso trattamento chimico-fisico.

Si può considerare che la miscela di perossido di idrogeno (H_2O_2) e sali di ferro (ioni ferrosi Fe^{2+}) esplichi la sua azione ossidante nei confronti di sostanze organiche, attraverso la produzione dei radicali (OH*), secondo la seguente reazione chimica:

$$\boxed{Fe_2^{+} + H_2O_2 \rightarrow Fe_3^{+} + OH\cdot + OH^{-}}$$

In seguito al pretrattamento subito, i "concentrati" vengono uniti ai "lavaggi" e convogliati alla fase di trattamento chimico-fisico. In particolare la portata in entrata, sarà composta per ¼ da reflui "concentrati" e per i restanti ¾ da reflui "lavaggi". Tale sproporzione viene effettuata per diluire la componente di "concentrati", che, contenendo una maggiore carica contaminante, potrebbe comportare effetti negativi sull'efficienza del trattamento.

Dai dati di progetto forniti dall'azienda, la portata massima teorica che può essere trattata risulta pari a 15 m^3/h, quindi, con un massimo di 3 m^3/h di "concentrati" ed un massimo di 12 m^3/h di "lavaggi".

Il trattamento chimico-fisico successivo, invece, è composto dalle seguenti fasi (*Figura 27*):

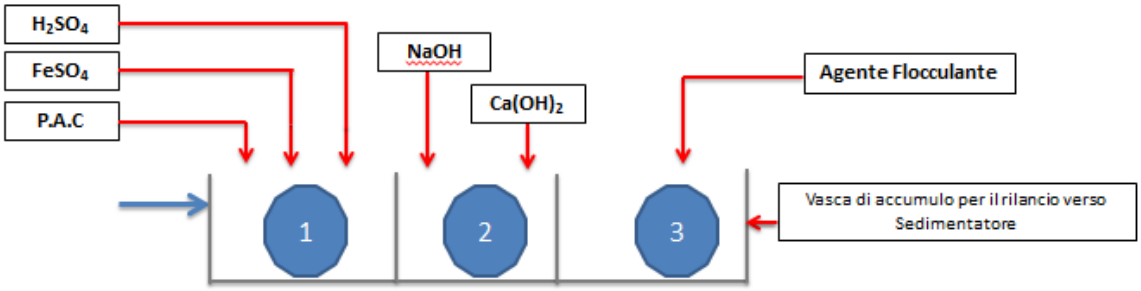

Figura 27. Schema delle fasi iniziali per il trattamento chimico-fisico

1) **Coagulazione,** con aggiunta di :
   - **P.A.C.:** Carbone attivo in polvere, miscelato ad acqua industriale, con funzioni di adsorbimento: simile ad una «spugna», assorbe tutta la parte di sporco, con particolare attenzione ai tensioattivi;
   - **$FeSO_4$:** Solfato ferroso, con funzioni di coagulazione, unendo le diverse molecole di contaminanti, compreso il P.A.C.;
   - **H_2SO_4:** Acido solforico, per poter ricreare un ambiente acido, così da avvantaggiare il fenomeno della coagulazione, con valori di pH circa pari a 3.

2) **Correzione pH,** con aggiunta di:
   - **NaOH** e **$Ca(OH)_2$**: Soda caustica e Calce, con il compito di rendere insolubili i metalli disciolti (rame, zinco, alluminio), coagulare i colloidi (solidi sospesi), aumentando il pH del flusso, che giunge da un valore precedente di 3, ad un valore all'incirca pari a 10 (ambiente basico);
3) **Flocculazione e rilancio al sedimentatore,** con aggiunta di:
   - **Polielettrolita anionico o flocculante:** permette la flocculazione, cioè creazioni di «fiocchi» di contaminanti, che, in seguito, decantano sul fondo e vengono poi rilanciati verso il sedimentatore.

Il trattamento prosegue con la fase di **Sedimentazione**, caratterizzata dalla raccolta della soluzione in un sedimentatore (*Figura 28*), nel quale avvengono:

- Separazione fisica, per gravità, della componente solida (fanghi) dalla componente acquosa, tramite raschiatore di fondo e di superfice, per il recupero dei fanghi;
- Raccolta e rilancio dei fanghi di supero alla sezione di disidratazione fanghi.

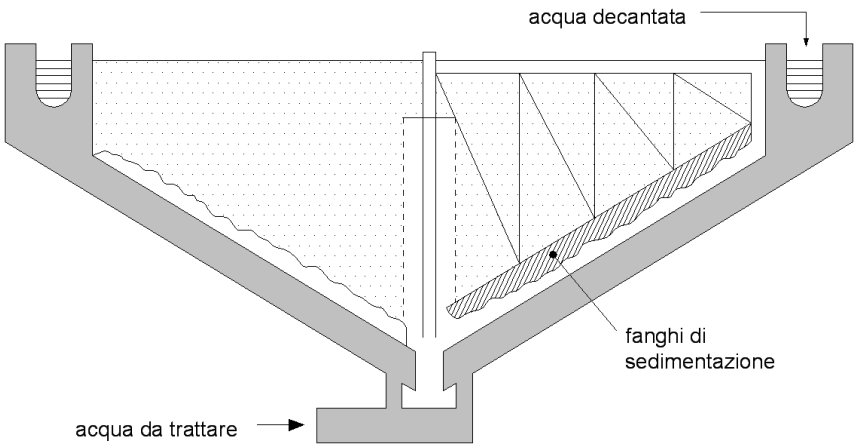

Figura 28. Sezione di un sedimentatore

Nella fase finale del trattamento chimico-fisico, cioè una volta separati i fanghi dalla componente liquida, e poco prima che la seconda venga inviata in pubblica fognatura (S.M.A.T.), è necessario effettuare una rimozione dei nitriti, possibilmente presenti al suo interno, e potenzialmente pericolosi per la salute dell'uomo e dell'ambiente, in modo tale da rispettare, anche, i limiti di normativa per lo scarico in fognatura.

Per conseguire tale obiettivo, si ha un'ultima aggiunta di:

- **NaClO**: Ipoclorito di sodio, con funzione di ossidante per ossidare i nitriti (NO_2^-) in nitrati (NO_3^-), secondo la reazione: $NO_2^- + NaClO \leftrightharpoons NO_3^- + NaCl$
- **H_2SO_4**: Acido solforico per correzione pH, dal momento che l'ossidazione dei nitriti in nitrati avviene in campo acido, cioè a pH ≤ 7,.

I fanghi, al contrario, vengono raccolti all'interno di un ispessitore che, per effetto della gravità, separa la parte liquida, ancora presente, aumentando il contenuto di sostanza solida, con conseguente riduzione del volume del fango estratto e quindi delle apparecchiature necessarie al loro trattamento.

Infine, tali fanghi sono soggetti ad un trattamento tramite l'utilizzo di una filtropressa, con l'obiettivo di diminuire ulteriormente il volume dei fanghi (giungendo ad una percentuale di solido 30-35%), e conseguente diminuzione in volume dei rifiuti speciali, da smaltire all'esterno dello stabilimento.

5. POSSIBILI INTERVENTI DI OTTIMIZZAZIONE

A seguito delle analisi, effettuate nel capitolo precedente, sui diversi processi industriali presenti all'interno dello stabilimento, che richiedono l'utilizzo di acqua industriale, è stato possibile giungere a diverse ipotesi sul riutilizzo delle acque, in uscita dall'impianto T.A.R., all'interno degli stessi processi.

In teoria, le acque reflue industriali, dopo essere state trattate e depurate, potrebbero essere riutilizzate come risorsa per soddisfare le richieste di reintegro, in vari processi industriali, quali:

- Raffreddamento degli strumenti di saldatura, all'interno del reparto di lastratura;
- Pretrattamento (pre-sgrassaggio, sgrassaggio e lavaggio dopo-sgrassaggio), all'interno del reparto di verniciatura;
- Cattura delle particelle di "overspray", sotto forma di velo d'acqua, all'interno delle cabine presenti nel reparto di verniciatura;
- Prova idrica, all'interno del reparto di montaggio;
- Varie funzioni secondarie, all'interno della Centrale Termica;
- Produzione di acqua osmotizzata e demineralizzata, all'interno dell'impianto di osmosi inversa e demineralizzazione, come portata di alimento.

Nella pratica, però, ogni singola ipotesi elencata, presenta diversi gradi di difficoltà d'attuazione, ma soprattutto, per ognuno dei processi citati, come visto nel *capitolo 4*, esistono particolari requisiti che potrebbero non essere soddisfatti dalle acque reflue in uscita dal T.A.R.

Per conseguire l'obiettivo di tale lavoro di tesi, quindi, si è scelto di partire dall'elenco di soluzioni possibili, ma, effettuando, poi, una scrematura, per poter concentrare l'attenzione ed approfondire un'unica soluzione, che fosse in grado di soddisfare ulteriori requisiti prioritari:

- Apportare modifiche migliorative significative ed in breve tempo, rispetto alla situazione attuale di gestione delle acque in entrata ed in uscita dallo stabilimento;
- Essere fattibile, in termini logistici, pratici, ma soprattutto economici e tempistici.

In base, quindi, a tali requisiti e, a quelli tecnici, precedentemente citati, è stato possibile scegliere l'intervento migliorativo da proporre all'azienda.

5.1. CRITERI DI SCELTA DELL'INTERVENTO

Per ognuna delle ipotesi precedenti, si è scelto di effettuare un'analisi quantitativa dei consumi, riferiti ai soli reintegri di acqua industriale, all'interno dei diversi processi produttivi coinvolti, considerando un periodo di riferimento compreso tra i mesi di Ottobre 2016 e Settembre 2017, così da individuare l'intervento migliore da attuare, secondo i requisiti espressi.

Tale analisi ha permesso di attribuire, infatti, un diverso peso specifico alle ipotesi avanzate, in base all'importanza del reparto interessato, in termini di richiesta d'acqua industriale. Maggiore è la richiesta, maggiore è il peso di quel reparto sull'intero sistema di gestione delle acque dello stabilimento.

A valle delle considerazioni fatte, quindi, è stato deciso di scartare alcune ipotesi progettuali poiché riguardanti processi, la cui richiesta d'acqua, risulta assolutamente poco significativa. In questo modo, di conseguenza, è stato possibile porre l'attenzione solo su quegli interventi, che coinvolgono reparti con un elevato peso specifico, all'interno del sistema di gestione dell'acqua, così da poter apportare migliorie significative ed in maniera tempestiva, e poterne apprezzare l'effetto sull' intero sistema.

Dai contatori di acqua industriale, posizionati all'interno delle varie unità operative, sono stati individuati i seguenti dati, riguardanti le portate mensili di reintegro, in ingresso ai vari reparti, nel periodo di riferimento (*Tabella 8, 9, 10, 11, 12*):

- **Lastratura**:

	Consumi Lastratura											
	ott-16	nov-16	dic-16	gen-17	feb-17	mar-17	apr-17	mag-17	giu-17	lug-17	ago-17	set-17
Portate di reintegro H_2O industriale (m^3)	262,3	125,7	71,2	227,6	275,7	220,4	212,3	266,3	268,7	303,5	323,4	238

Tabella 8. Consumi mensili: reintegri acqua industriale, Lastratura

La quota parte di acqua industriale reintegrata nel reparto di lastratura, per il raffreddamento delle pinze di saldatura, ha assunto un valore medio pari a 232,93 (m^3/mese). Sono stati raggiunti valori molto bassi rispetto alla media, come ad esempio i 71 (m^3) nel mese di Dicembre 2016, dovuti ad una minore produzione di autovetture. La massima portata di reintegro è stata raggiunta nel mese di Agosto 2017, pari a 323,4 (m^3).

- **Verniciatura**

	Consumi Verniciatura											
	ott-16	nov-16	dic-16	gen-17	feb-17	mar-17	apr-17	mag-17	giu-17	lug-17	ago-17	set-17
Portate di reintegro H_2O industriale (m^3)	3.601,61	3.899,09	2.073,18	3.345,95	2.832,59	2.436,48	1.531,55	2.072,15	1.644,44	2.737,79	1.534,62	3.730,64

Tabella 9. Consumi mensili: reintegri acqua industriale, Verniciatura

È interessante notare come, nel reparto di verniciatura, i reintegri di acqua industriale, abbiano assunto valori molto elevati rispetto al reparto di lastratura. Nel periodo di riferimento, la portata media di reintegro di acqua industriale, convogliata al reparto di verniciatura, all'interno delle fasi di pretrattamento e delle vasche del sotto-cabina, è risultata essere pari a circa 2.620 (m^3/mese). La portata massima convogliata, è stata registrata nel mese di Novembre 2016, pari a 3.899,09 (m^3), mentre la minima nel mese di Aprile 2017, pari a 1.531,55 (m^3).

- **Montaggio**

	Consumi Montaggio											
	ott-16	nov-16	dic-16	gen-17	feb-17	mar-17	apr-17	mag-17	giu-17	lug-17	ago-17	set-17
Portate di reintegro H_2O industriale (m^3)	4.601,6	1.976,1	1.024,16	1.764,04	1.524,7	1.361,34	692,97	686,19	589,47	1.177,88	569,51	1.138,25

Tabella 10. Consumi mensili: reintegri acqua industriale, Montaggio

Si può notare che in media, nel periodo di riferimento, sono stati inviati circa 1.425 (m^3/mese) di acqua industriale al reparto di montaggio, per poter reintegrare le vasche presenti all'interno della prova idrica. All'inizio del periodo considerato, la portata d'acqua convogliata mensilmente ha assunto valori molto elevati, 4600 (m^3); con il passare del tempo, però è diminuita drasticamente. Il motivo di questa riduzione, va ricercato nel fatto che, sono state apportate migliorie in termini di riutilizzo di acqua, riuscendo in questo modo a diminuire la quantità ed il numero di reintegri da effettuare, provenienti dal serbatoio di acqua industriale.

- **Centrale Termica**

	Consumi C.T.											
	ott-16	nov-16	dic-16	gen-17	feb-17	mar-17	apr-17	mag-17	giu-17	lug-17	ago-17	set-17
Portate di reintegro H_2O industriale (m^3)	603,8	1.026,4	442,6	1.006,2	603,6	526,2	362,1	227,6	478,5	884,3	257,8	1.008,9

Tabella 11. Consumi mensili: reintegri acqua industriale, Centrale Termica

In media, è stata reintegrata una portata pari a circa 619 (m^3/mese), con un massimo nel mese di Novembre 2016, di 1026,40 (m^3), ed un minimo nel mese di Maggio 2017, di 227,6 (m^3).

- **Impianto osmosi inversa e demineralizzazione**

	Consumi Impianto osmosi-demi											
	ott-16	nov-16	dic-16	gen-17	feb-17	mar-17	apr-17	mag-17	giu-17	lug-17	ago-17	set-17
Portate di reintegro H_2O industriale (m^3)	11.735	12.775	9.685	15.252	9.196	7.713	6.385	7.306	6.768	10.667	5.756	11.058

Tabella 12. Consumi mensili: reintegri acqua industriali, Impianto di osmosi inversa e demineralizzazione

La portata di acqua, convogliata all'impianto di osmosi inversa e demineralizzazione, ha assunto valori elevati, nell'intero periodo considerato, rispetto a tutti gli altri reparti .La media, delle portate di acqua industriale convogliate, è risultata pari a 9.525 (m^3/mese); la massima aliquota è stata registrata nel mese di Gennaio 2017,di 15.252 (m^3); la minima , invece, si è avuta nel mese di Agosto 2017, pari a 5.756 (m^3).

Successivamente, è stato scelto di esprimere la media dei consumi mensili, di reintegro ai vari reparti, in termini di percentuali rispetto alla media delle portate totali mensili d'acqua industriale in ingresso allo stabilimento, nel periodo di riferimento. I risultati ottenuti sono riportati nel grafico seguente (*Figura 29*):

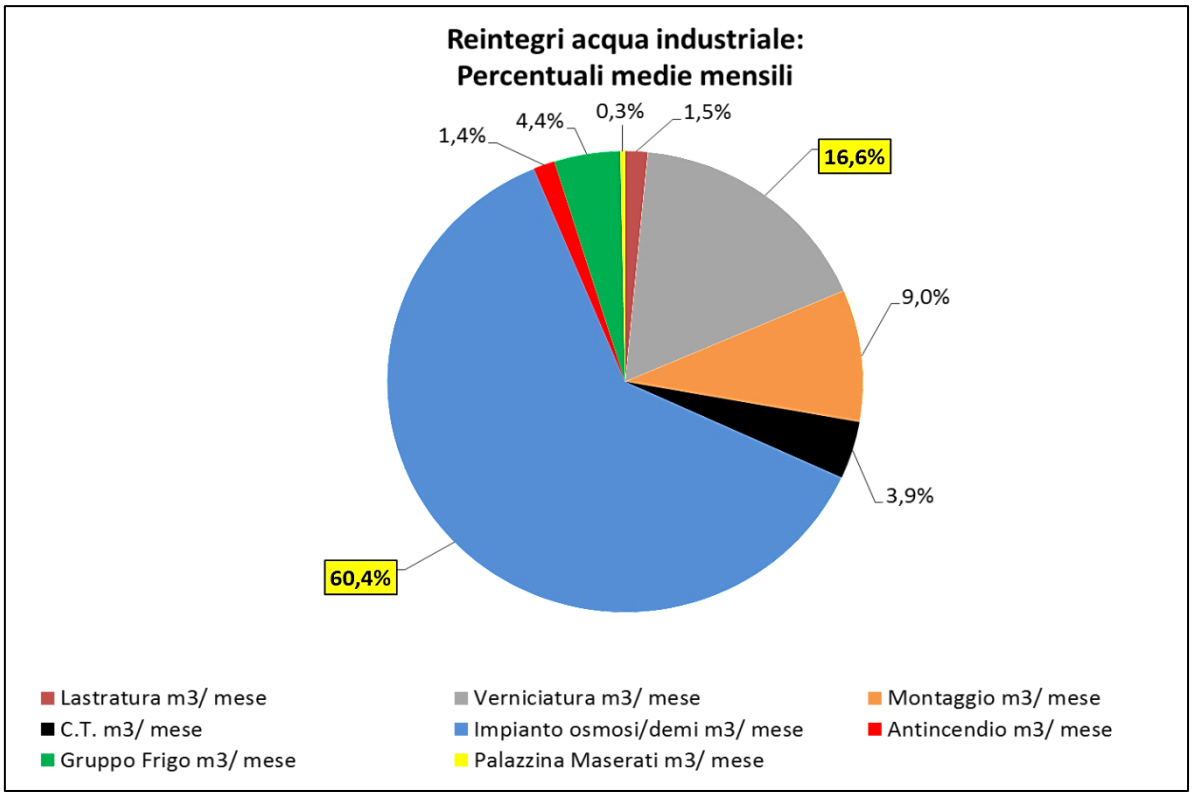

Figura 29. Percentuali medie mensili dei reintegri d'acqua industriale nei vari reparti dello stabilimento

Per completezza di trattazione, nel grafico, sono stati inseriti dati relativi ad altre utenze (gruppo frigo, palazzina sigot maserati), che, però, posseggono un peso minore, sia in termini di importanza che di richiesta d'acqua, sull'intero sistema di gestione dello stabilimento.

Nello specifico, si può notare che in media circa il 60% dell'acqua industriale in ingresso al plant è destinata esclusivamente all'impianto di osmosi inversa e demineralizzazione, mentre circa il 17% al reparto di verniciatura. Il restante 33% in entrata allo stabilimento, ogni mese, è suddiviso per le restanti utenze. Per questo motivo, tutti gli altri reparti mostrano una percentuale di reintegro di acqua industriale, che, al mese, assume valori minori del 10% del totale in ingresso.

In base a tali considerazioni, i processi industriali che prevedono un utilizzo significativo di acqua industriale sono previsti nell'impianto di osmosi inversa e demineralizzazione e nel reparto di verniciatura.

Tali reparti, rappresentano, quindi, anche gli unici per i quali un'ipotesi d'intervento potrebbe portare a migliorie significative e tempestive, soddisfacendo, quindi anche uno dei requisiti precedentemente esposti.

Ciò ha permesso di effettuare una prima scrematura tra le ipotesi d'intervento, facendo si che, le verifiche per il soddisfacimento dei requisiti, proseguissero, ponendo l'attenzione soltanto su quelle che prevedono un riutilizzo delle acque reflue in uscita dal T.A.R. nei processi di:

- Pretrattamento (pre-sgrassaggio, sgrassaggio e lavaggio dopo-sgrassaggio), all'interno del reparto di verniciatura;
- Cattura delle particelle di "overspray", sotto forma di velo d'acqua, all'interno delle cabine presenti nel reparto di verniciatura;
- Produzione di acqua osmotizzata e demineralizzata, all'interno dell'impianto di osmosi inversa e demineralizzazione, come portata di alimento.

Per proseguire con le verifiche dei requisiti e scegliere l'intervento migliore da attuare, sono stati presi in considerazione i risultati delle analisi delle acque in uscita dall'impianto di Trattamento Acque Reflue, al fine di conoscere, nel dettaglio, le proprietà della componente d'acqua da riutilizzare. Le analisi, con i parametri maggiormente influenti, sono riportate di seguito (*Tabella 13*):

	Analisi TAR											
	gen-17	feb-17	mar-17	apr-17	mag-17	giu-17	lug-17	ago-17	set-17	Valore max	Valore min	Valore medio
Temperatura (°C)	22,3	16,0	17,0	20,5	28,4	27,9	28,6	29,0	21,0	29,0	16,0	23,4
pH	8,20	7,30	7,00	9,00	6,70	6,40	6,40	6,60	7,30	9,0	6,4	7,2
Solidi sospesi totali (mg/l)	8,70	2,40	5,00	6,40	6,00	2,30	6,20	6,30	6,40	8,7	2,3	5,5
BOD_5 (mg/l O_2)	27	32	28	9,00	25	18	3	33	14	33,0	3,2	21,0
COD (mg/l O_2)	60,5	96	76	21,4	87	50,7	4,7	80	35,1	96,0	4,7	56,8
Azoto ammoniacale (come NH4 mg/l)	0,79	< LR	2,34	2,35	0,77	11,2	2,29	11,1	2,78	11,2	0,8	4,2
Azoto nitrico (come N mg/l)	5,48	1,99	5,36	3,81	5,63	5,76	4,96	1,67	1,59	5,8	1,6	4,0
Azoto nitroso (come N mg/l)	0,044	< LR	0,117	0,584	< LR	0,298	0,027	0,562	0,048	0,6	0,0	0,2
Cloruri (mg/l)	103	59,6	163	154	163	185	196	111	34	196,0	34,0	129,8
Solfati (SO4) (mg/l)	449	432	923	948	758	868	745	586	109	948,0	109,0	646,4
Fluoruri (µg/l)	< LR	20	7.300	4.800	5.600	4.500	4.200	9.300	190	9300,0	20,0	4488,8
Tensioattivi totali (mg/l)	1,16	0,26	0,22	0,44	2,58	3,41	0,25	2,13	2,09	3,4	0,2	1,4
Alluminio (µg/l)	200	100	260	520	170	220	140	200	140	520,0	100,0	216,7
Boro (µg/l)	451	90	56	69	1580	320	70	109	59	1580,0	56,0	311,6
Cromo totale(µg/l)	19	2	3	8	5	4	< LR	2	3	19,0	2,00	5,8
Ferro (µg/l)	602	396	517	567	266	153	300	386	169	602,0	153,0	372,9
Manganese (µg/l)	82	55	137	26	245	169	750	59	20	750,0	20,00	171,4
Nichel (µg/l)	74	15	70	20	78	16	235	75	274	274,0	15,00	95,2
Rame (µg/l)	5	7	15	10	36	14	18	8	34	36,0	7,00	16,3
Zinco (µg/l)	117	58	175	28	195	203	675	35	91	675,0	28,0	175,2
Solventi clorurati (mg/l)	0,0177	0,224	0,054	0,0272	0,100	0,076	0,052	0,068	0,0332	0,224	0,027	0,1

Tabella 13. Analisi acque in uscita dal TAR: Gennaio 2017/Settembre 2017

Contemporaneamente alla ricerca di tali analisi, è stato necessario individuare i requisiti minimi, in termini di qualità dell'acqua, richiesti per il corretto procedimento delle lavorazioni, coinvolte nelle ipotesi prese in considerazione, al fine di verificare, qualitativamente, che le proprietà chimico-fisiche delle acque in uscita dal TAR, siano compatibili con esse.

Per individuare tali requisiti, ci si è basati su quanto esposto nel *Capitolo 4*.

Per quanto riguarda l'ipotesi progettuale, che prevede il riutilizzo delle acque del T.A.R. per reintegrare l'impianto di osmosi inversa e demineralizzazione, bisogna tenere conto che la portata di alimento all'impianto deve soddisfare alcuni requisiti chimico-fisici specifici (pH, Conducibilità, Pressione, Temperatura), al fine di ottenere una buona efficienza di trasformazione della componente industriale, non facilmente raggiungibile con una componente d'acqua qualsiasi.(*v. paragrafo 4.6*).

Dal confronto tra le analisi ed i requisiti minimi richiesti, è stato possibile scartare tale ipotesi d'intervento tra quelle rimaste, a causa delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque reflue in uscita dal T.A.R. La concentrazione di metalli (Ferro, Manganese, Rame etc.), e di Cloruri, infatti, potrebbero non essere compatibili con le caratteristiche impiantistiche, riducendone l'efficienza di trasformazione o, addirittura, provocando danni irreversibili all'impianto stesso.

Per portare avanti tale proposta progettuale andrebbero effettuati test di laboratorio, più dettagliati, grazie ai quali poter trovare un giusto mix di acque reflue ed acque di pozzo, migliorando, o almeno, lasciando invariato il rendimento dell'impianto.

Tutto ciò, però, richiederebbe un eccessivo investimento di tempo e denaro, risultando così non soddisfacente, in merito ai requisiti definiti in precedenza, per adempiere agli obiettivi di tale lavoro di tesi.

Le ultime due ipotesi d'intervento rimaste, consistono in modifiche da apportare a processi industriali, svolti all'interno del reparto di verniciatura.

La prima di queste, riguarda il riutilizzo dell'acqua reflua del T.A.R., come reintegro, durante la fase di pre-sgrassaggio, sgrassaggio e lavaggio dopo-sgrassaggio. L'acqua industriale utilizzata, consiste in acqua di pozzo, a cui, in seguito, vengono aggiunti prodotti chimici per poter ottenere una soluzione, in grado di permettere un corretto procedimento delle lavorazioni.

In entrata, quindi, l'acqua richiesta non deve possedere caratteristiche chimico-fisico così restrittive, come nel caso precedente. Allo stesso tempo, però, bisogna tener conto del fatto che essa è soggetta all'aggiunta di prodotti chimici (tensioattivi, sali inorganici di potassio e acido ortofosforico), secondo proporzioni ben definite, calcolate in base alla qualità dell'acqua di pozzo prelevata.

Di conseguenza il reintegro delle vasche di pretrattamento, effettuato con l'acqua reflua in uscita dal T.A.R., richiederebbe una ridefinizione delle proporzioni e, quindi delle quantità, delle sostanze chimiche da aggiungere, che a loro volta posseggono un costo non trascurabile.

Anche in questo caso, quindi, si avrebbe un conseguente aumento della spesa di denaro e del tempo da investire, non soddisfacendo i requisiti alla base dei criteri di scelta dell'intervento migliore.

Nel caso, invece, dell'ipotesi di riutilizzo come reintegro del velo d'acqua utilizzato nelle cabine di verniciatura, è necessario considerare che il fenomeno è caratterizzato dall'utilizzo diretto di acqua prelevata dai pozzi, senza alcuna aggiunta di agenti chimici, rappresentando, ugualmente, un'efficace mezzo di cattura delle polveri di verniciatura disperse nell'aria, il cosiddetto "overspray", durante il procedimento. L'unica limitazione presente, riguarda la fase di ricircolo dell'acqua costituente il velo, che, nel dettaglio, secondo gli studi effettuati da *Consejo, C. et al.* (*2005*) (*v.paragrafo 4.3*), consiste nel mantenere un valore di COD minore di 6000 mg/l O_2.

Le acque in uscita dal TAR, però, sono compatibili con tale requisito, richiesto per il ricircolo dell'acqua (*Tabella 14*):

	Analisi TAR Gennaio-Settembre 2017		
Parametro	Valore max	Valore min	Valore medio
COD (mg/l O_2)	96,0	4,7	56,8

Tabella 14. Parametro COD delle acque in uscita dal TAR: valore massimo, minimo e medio.

Si può notare, dai risultati delle analisi, che, il valore di COD, delle acque in uscita dal T.A.R., non risulta elevato, con un valore medio di circa 56,8 mg/l O_2

Dunque, in base alle considerazioni fatte finora, si è scelto di proseguire il lavoro, ponendo attenzione, esclusivamente, al solo intervento di riutilizzo delle acque del T.A.R., come reintegro all'interno delle cabine di verniciatura sotto forma di velo d'acqua, l'unica delle ipotesi che si è dimostrata essere soddisfacente in merito ai requisiti di base individuati.

Una volta individuato l'intervento migliorativo più idoneo a conseguire l'obiettivo del lavoro di tesi, è stato necessario condurre ulteriori verifiche, al fine di confermare l'attaccabilità del processo industriale coinvolto, e l'idoneità, a livello teorico, della soluzione scelta.

Partendo da una descrizione approfondita del processo, che consiste nel fenomeno di cattura delle particelle da parte di un fluido, è stato sviluppato uno studio di fattibilità pratico dell'ipotesi

progettuale scelta, analizzando, in maniera più dettagliata, sia gli aspetti pratici, che quelli economici, legati alla sua realizzazione.

5.2. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Da un punto di vista teorico, il problema principale del fenomeno, che va considerato ed analizzato, è rappresentato dalla **bagnabilità** e dalla **dispersione** delle particelle di vernice di "overspray" nell'acqua, presente nel sotto grigliato della cabina di verniciatura.

I sistemi di abbattimento ad umido, infatti, sfruttano proprio la bagnabilità delle particelle di vernice disperse, inibendone così la diffusione negli ambienti di lavoro ed all'esterno.

La bagnatura o bagnabilità consiste in un fenomeno che definisce la tendenza di un fluido ad essere attratto da una superficie solida, in presenza di un altro fluido non miscibile, legato alle interazioni intermolecolari che sono presenti quando il fluido e la superficie entrano in contatto. Il grado di bagnabilità è determinato da un bilancio tra le forze adesive, che favoriscono il fenomeno, e quelle coesive, che al contrario lo sfavoriscono.

Il parametro fondamentale, che esprime la misura di tale fenomeno, è rappresentato dall'angolo di contatto (*Figura 30*), risultato del bilancio tra i due tipi di forze, adesive e coesive:

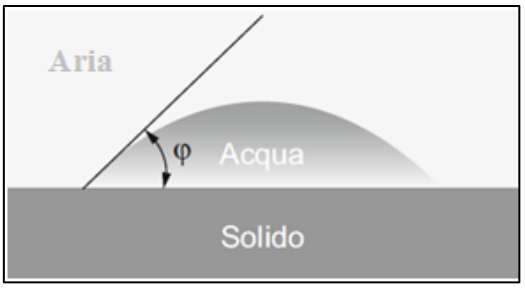

Figura 30. Angolo di contatto tra una particella liquida a contatto con una superfice solida

In generale, l'angolo di contatto viene definito come l'angolo compreso tra la tangente alla superfice di separazione tra i due fluidi e la tangente alla superfice di separazione fluido-superfice solida.

Ad ogni valore assunto da tale parametro, è possibile definire un determinato grado di bagnabilità della superfice solida:

- Per angolo di contatto $\varphi = 0°$ → Superfice solida "perfettamente bagnabile";
- Per angolo di contatto $0° < \varphi < 90°$ → Superfice solida "altamente bagnabile";
- Per angolo di contatto $90° < \varphi < 180°$ → Superfice solida "poco bagnabile";
- Per angolo di contatto $\varphi = 180°$ → Superfice solida "altamente bagnabile";

Nel caso in cui il fluido sia rappresentato da acqua, come nel caso di tale lavoro, una superfice perfettamente bagnabile è detta idrofilica, mentre al contrario, viene indicata come idrofoba.

In uno studio effettuato da *Kia, S., F. et al.* (*1997*), sulla cattura dell' "overspray" all'interno delle cabine di verniciatura ad umido, viene descritto il fenomeno di bagnabilità che si esplica tra le particelle di vernici e il velo d'acqua presente all'interno della cabina. Nel dettaglio, si tratta del fenomeno di bagnatura per "immersione".

La cattura di una particella di vernice, ad esempio di forma cubica, consiste nella bagnatura completa e nella dispersione di tale particella nel velo d'acqua. In generale, la bagnatura e la dispersione di una particella solida da parte di un liquido si sviluppa in quattro diverse fasi (*Figura 31*):

a) **Fase iniziale**;
b) **Adesione iniziale**: si verifica quando la prima faccia della particella viene a contatto con la superficie del liquido;
c) **Immersione**: si verifica quando le quattro facce successive della particella vengono messe in contatto con il liquido, sviluppandosi, completamente, quando la faccia finale della particella viene immersa;
d) **Diffusione**: si verifica quando la particella è completamente dispersa nel velo d'acqua.

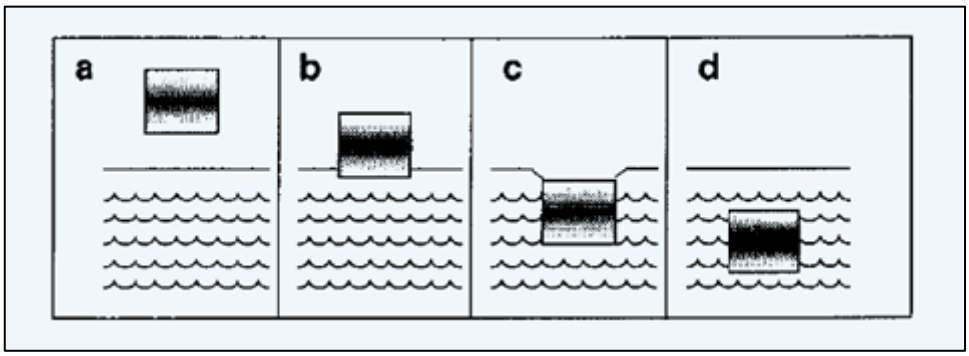

Figura 31. Fasi processo di bagnatura e diffusione particella solida in un liquido: a)fase iniziale; b) adesione iniziale; c) immersione; d) diffusione.

La fase di bagnatura per adesione si verifica quando una delle facce della particella viene a contatto per prima con la superfice del liquido. La fase successiva, di bagnatura per immersione, si ha, invece, quando la particella è penetrata all'interno del liquido, ma non completamente, lasciando una delle facce a contatto con l'aria. Infine, l'ultima fase, di bagnatura per diffusione, avviene quando la particella è completamente immersa all'interno del liquido.

Ognuna delle fasi, può essere descritta, in termini matematici, attraverso il lavoro effettuato durante ciascuna di esse, espresso secondo le seguenti equazioni:

$$W_a = \gamma_{sl} - (\gamma_{lv} + \gamma_{sv}) \tag{1}$$

$$W_i = 4\gamma_{sl} - 4\gamma_{sv} \tag{2}$$

$$W_s = (\gamma_{sl} + \gamma_{lv}) - \gamma_{sv} \tag{3}$$

dove: γ_{sl} rappresenta la tensione che si crea all'interfaccia tra solido e liquido; γ_{lv} rappresenta, invece, la tensione all'interfaccia tra liquido e vapore (aria in questo caso); infine γ_{sv} rappresenta la tensione interfacciale tra la fase solida e la fase vapore (aria) (Figura32).

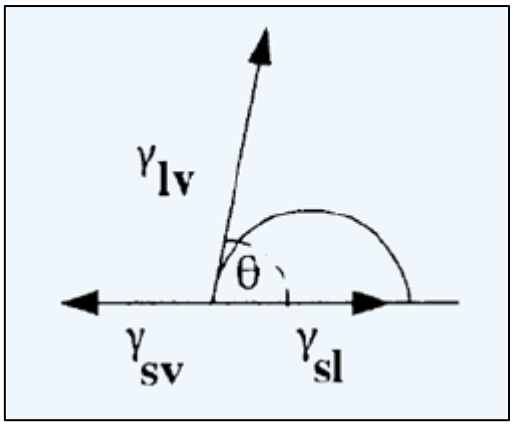

Figura 32. Tensioni all'interfaccia: solido-liquido, liquido-vapore, solido-vapore.

Nel dettaglio, però, i valori di γ_{sl} e γ_{sv} non sono facilmente ottenibili tramite esperimenti di laboratorio.

È possibile, però, nel caso in cui si ipotizzi che le tensioni superficiali sono costanti su tutta l'interfaccia, mettere in relazione tali valori con l'angolo di contatto, tramite l'equazione di Young:

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos\varphi \tag{4}$$

Sostituendo tale equazione (4), all'interno della (1), (2) e (3), si ottengono delle relazioni che permettono di determinare l'entità del lavoro da effettuare, conoscendo l'angolo di contatto, parametro principale del fenomeno, e la tensione all'interfaccia tra liquido e vapore (γ_{lv}):

$$W_a = -\gamma_{lv}(\cos\varphi + 1) \tag{5}$$

$$W_i = -4\gamma_{lv} \cos\varphi \tag{6}$$

$$W_s = -\gamma_{lv}(\cos\varphi - 1) \tag{7}$$

Affinché il fenomeno avvenga spontaneamente, è necessario che, il lavoro totale necessario al conseguimento di tale fenomeno, dato dalla somma dei tre termini W_a, W_i, W_s, risulti negativo. Nel caso in cui la somma sia positiva, esso rappresenterà il lavoro che dovrà essere speso sul sistema per poter fare in modo che possa avvenire il fenomeno di bagnatura e diffusione.

Tramite le equazioni (5), (6) e (7) è possibile individuare i tre intervalli, relativi all'angolo di contatto, che determinano la spontaneità delle rispettive fasi di bagnatura:

- La fase di adesione iniziale è sempre spontanea quando $\boldsymbol{\varphi} < 180°$;
- La fase di immersione è sempre spontanea quando $\boldsymbol{\varphi} < 90°$;
- La fase di diffusione è sempre spontanea solo quando $\boldsymbol{\varphi} = 0°$.

Il lavoro deve essere effettuato per garantire la fase di diffusione anche ad angoli di contatto più elevati, come spesso accade nei casi pratici.

Possono esserci casi d'eccezione, dove per poter avvantaggiare il fenomeno di cattura delle particelle di vernice, possono essere adottate due differenti misure: aggiunta di sostanze bagnanti, che agiscono direttamente sulle tensioni superficiali tra il mezzo disperdente e la superfice della particella; modifica della superficie delle particelle per rendere la particella più facilmente bagnata e dispersa.

La seguente trattazione teorica ha portato ad affermare, quindi, che l'efficienza di cattura delle particelle di "overspray", non dipende in maniera significativa dalle proprietà chimiche dell'acqua impiegata, bensì dalle caratteristiche della vernice utilizzata, ed in particolare, dalla sua tendenza ad essere "bagnata".

Allo stesso tempo, anche l'efficienza dei trattamenti successivi al processo di cattura, caratterizzati dalla scelta e dall'aggiunta di prodotti chimici, quali antischiuma, coagulanti e flocculanti, dipende in maniera sostanziale dal prodotto verniciante utilizzato.

Grazie alle conoscenze acquisite attraverso tale studio, è stato possibile confermare l'attaccabilità del processo di cattura delle particelle tramite velo d'acqua, e quindi la fattibilità dell'intervento proposto, con il riutilizzo delle acque reflue, in uscita dall'impianto di Trattamento Acque Reflue, come reintegro all'interno delle vasche del sotto-cabina, e, conseguentemente, come velo d'acqua.

A seguito dell'esito positivo, riguardo la fattibilità teorica dell'ipotesi d'intervento proposta, il lavoro è proseguito con una verifica, questa volta, della concreta realizzazione pratica dell'intervento, partendo da una descrizione specifica di questo.

Come già affermato nei paragrafi precedenti (*v. paragrafo 4.3*), la situazione attuale, per quanto riguarda l'utilizzo di acqua industriale all'interno delle cabine di verniciatura, può essere rappresentato attraverso il seguente schema (*Figura 33*):

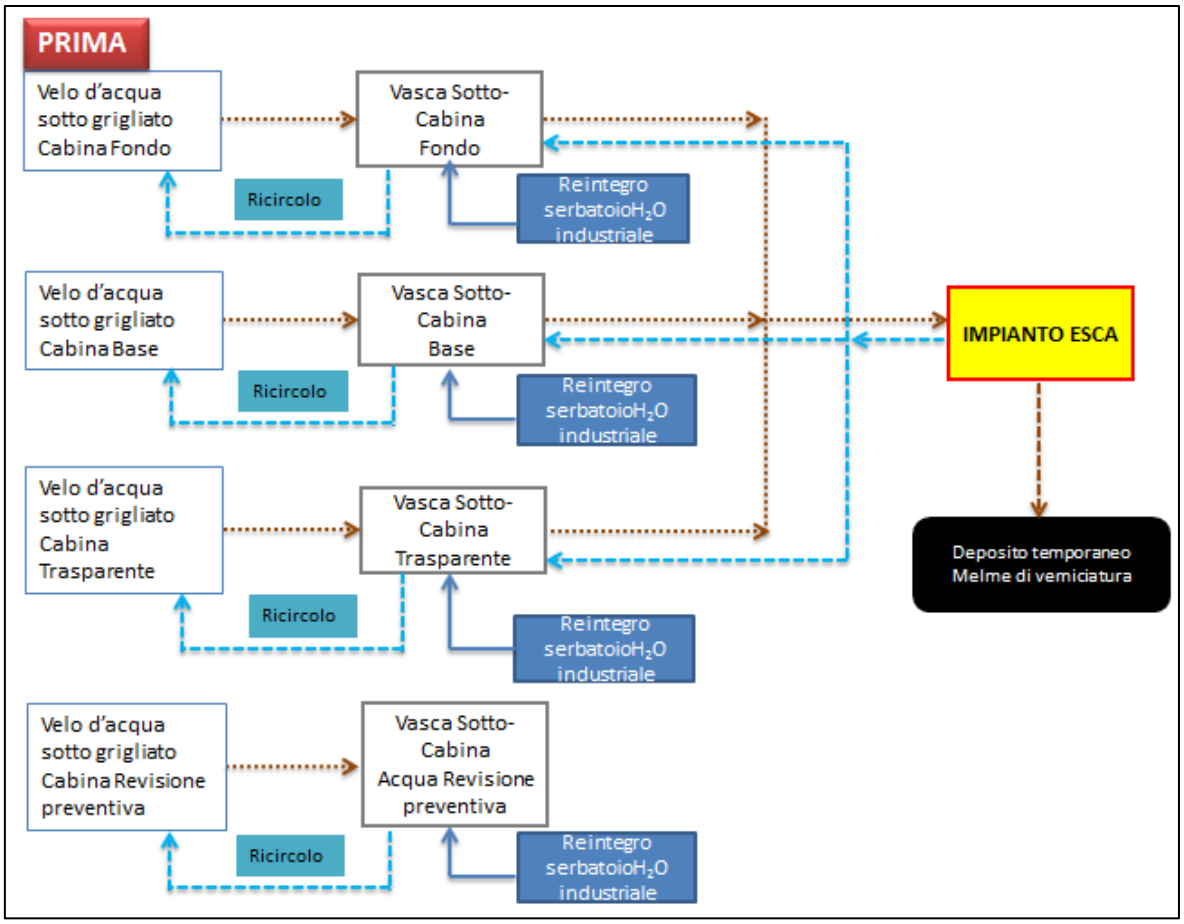

Figura 33. Schema del ciclo dell'acqua all'interno delle vasche del sotto-cabina: Situazione attuale

Esistono due diversi circuiti di percorso dell'acqua: il primo di collegamento tra le cabine di verniciatura e le vasche del sotto-cabina, con l'accumulo del velo d'acqua "inquinato" e successivo ricircolo dello stesso, a seguito di un trattamento di flocculazione; il secondo, invece, di collegamento tra le vasche del sotto-cabina e l'impianto ESCA, con l'invio dell'acqua "contaminata" dalle melme di verniciatura, ed il successivo ritorno di acqua "pulita" all'interno delle vasche, pronta per essere ricircolata.

Il comune denominatore tra i due percorsi, è rappresentato dalle vasche del sotto-cabina.

Il reintegro dal serbatoio di acqua industriale principale, rappresenta anch'esso un circuito a parte.

In seguito all'attuazione dell'intervento scelto, la situazione verrebbe modificata in questo modo (*Figura 34*):

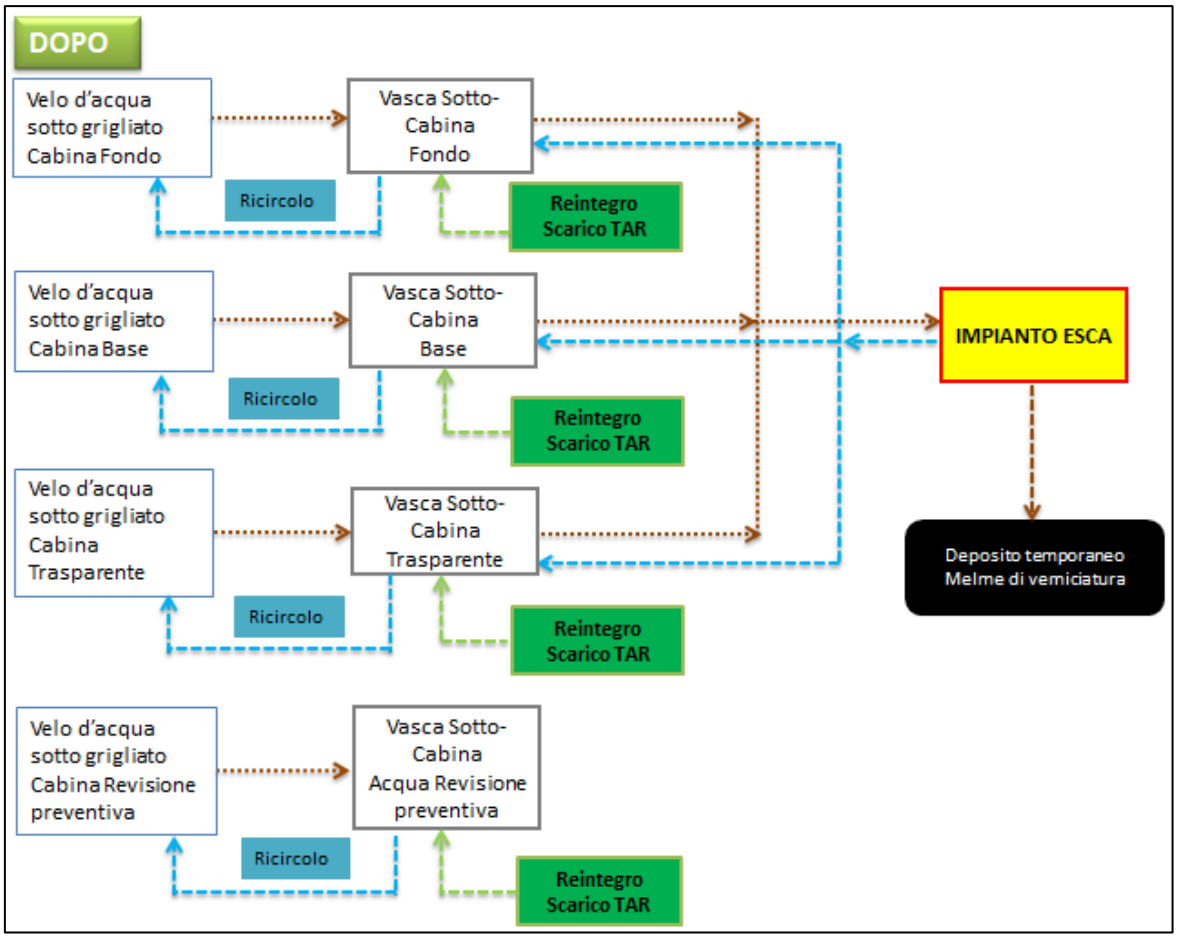

Figura 34. Schema del ciclo d'acqua all'interno delle vasche del sotto-cabina: Situazione successiva all'attuazione dell'intervento

Le acque in uscita dallo scarico del T.A.R. andrebbero a soddisfare le richieste d'acqua da parte delle vasche del sotto-cabina, mantenendo così inalterato il livello del pelo libero. I reintegri, in questo modo, non avverrebbero più a partire dal serbatoio principale.

Dopo aver descritto l'aspetto pratico dell'intervento proposto, è stata effettuata una fase di dimensionamento attraverso l'analisi dei consumi d'acqua relativi, sia alle quantità reintegrate all'interno delle vasche del sotto-cabina, sia a quelle in uscita dal T.A.R., facendo riferimento ad un periodo annuale, che si estende da inizio Ottobre 2016 fino alla fine Settembre 2017, considerato anche nei paragrafi precedenti.

Una volta presa coscienza delle quantità di acqua in gioco, è stato possibile effettuare l'ultima, anche se non per importanza, analisi sul rapporto tra i benefici ed i costi, necessaria alla valutazione, sia economica che di impatto ambientale, definitiva dell'attuazione pratica dell'intervento.

5.3. DIMENSIONAMENTO DELL'INTERVENTO: ANALISI CONSUMI

Il passo successivo, alla descrizione teorica e pratica dell'intervento, consiste nell'analizzare, dettagliatamente, sia i valori delle portate di reintegro, per quanto riguarda, le richieste da parte delle vasche del sotto-cabina, sia la quantità di acqua versata, dall'impianto di Trattamento Acque Reflue, in pubblica fognatura (S.M.A.T.).

Il reperimento dei dati, a tale scopo, è stato effettuato tramite l'utilizzo dei registri presenti in azienda, e facendo riferimento ad un arco temporale annuale, già individuato nei paragrafi precedenti, che si estende da Ottobre 2016 a Settembre 2017. In questo modo, è stato possibile condurre un'analisi quantitativa, relativa ad un periodo abbastanza esteso, tale da permettere il raggiungimento di una conoscenza delle portate che, in media, vengono coinvolte nei processi considerati, all'interno dello stabilimento.

I dati mensili, relativi ai reintegri di acqua industriale, all'interno delle vasche del sotto-cabina presenti nel reparto di verniciatura, a causa dell'assenza di un contatore dedicato, sono stati ottenuti, partendo dai dati di reintegro di acqua industriale richiesti dall'intero reparto, a cui sono stati, in seguito, eliminati i consumi derivanti dalle lavorazioni del pretrattamento, che richiedono anch'essi acqua industriale (pre-sgrassaggio, sgrassaggio e lavaggio dopo-sgrassaggio), registrati grazie alla presenza, in questo caso, di un contatore.

I risultati ottenuti, sono riportati di seguito (*Tabella 15*):

	Verniciatura		Pretrattamento		Vasche sotto-cabina	
	-	(m^3/mese)	-	(m^3/mese)	-	(m^3/mese)
ott-16	15,9%	3.601,61	11,8%	2.666	4,1%	935,61
nov-16	18,6%	3.899,09	11,7%	2.449	6,9%	1.450,09
dic-16	14,3%	2.073,18	9,2%	1.334	5,1%	739,18
gen-17	14,6%	3.345,95	10,3%	2.351	4,4%	994,95
feb-17	18,1%	2.832,59	12,0%	1.876	6,1%	956,59
mar-17	17,8%	2.436,48	10,5%	1.437	7,3%	999,48
apr-17	15,1%	1.531,55	8,7%	883	6,4%	648,55
mag-17	17,4%	2.072,15	10,2%	1.220	7,1%	852,15
giu-17	14,0%	1.644,44	8,5%	993	5,6%	651,44
lug-17	15,6%	2.737,79	10,1%	1.764	5,6%	973,79
ago-17	15,8%	1.534,62	10,0%	970	5,8%	564,62
set-17	20,8%	3.730,64	15,2%	2.724	5,6%	1.006,64

Tabella 15. Consumi mensili di reintegro, espressi in percentuale rispetto al totale di acqua in ingresso al plant: reparto di Verniciatura, Pretrattamento, Vasche sotto-cabina

Il valore massimo della portata di reintegro, nelle vasche del sotto-cabina, è stato registrato nel mese di Novembre 2016, in assonanza con un maggiore valore di portata di acqua, convogliata all'intero del reparto di verniciatura. Nel mese di Marzo 2017, invece, è stata registrata una maggiore richiesta di acqua di reintegro nel sotto-cabina, rispetto al totale di acqua industriale, in ingresso allo stabilimento, cioè circa il 7,3% dell'acqua prelevata dai pozzi. Il valore minimo di reintegro, infine, è stato registrato nel mese di Agosto 2017, probabilmente dovuto ad un diminuzione della produzione.

I valori delle portate di reintegro, espressi in percentuale rispetto al totale di acqua in ingresso al plant, riportati nella tabella precedente (*Tabella 15*), sono stati raccolti nel grafico seguente (*Figura 37*), così da individuare un valore medio:

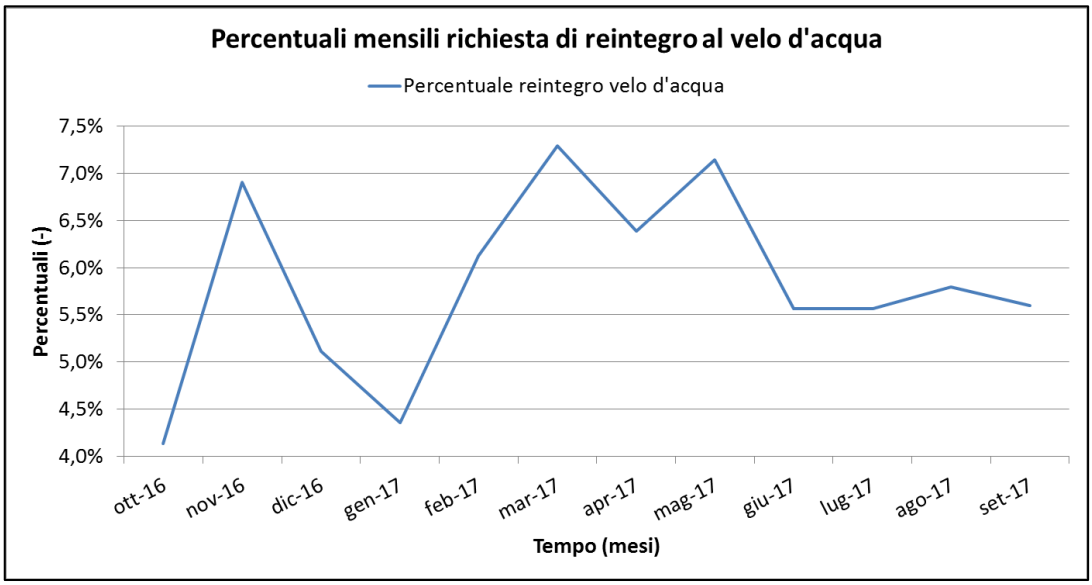

Figura 35. Andamento delle percentuali mensili delle portate di reintegro alle vasche del sotto-cabina

Dal grafico è possibile notare che, per quanto riguarda tali reintegri all'interno delle vasche del sotto-cabina, venga utilizzato, in media, il **6%** dell'acqua proveniente dal serbatoio principale di acqua industriale.

Ciò equivale a dire che, al mese, vengono convogliati, mediamente, circa **917 (m^3)** di acqua.

In totale, quindi, in un arco temporale annuale, circa **11.000 (m^3)**, in media, prelevati direttamente dai pozzi, sono, esclusivamente, utilizzati per reintegrare il sistema del velo d'acqua all'interno delle cabine di verniciatura.

Per quanto riguarda, invece, i dati relativi all'acqua in uscita dallo scarico dell'impianto di Trattamento Acque Reflue, nel periodo di riferimento, sono stati registrati i valori, riportati nella tabella seguente (*Tabella 16*):

	Scarico TAR	
	Valori medi (m^3/giorno)	(m^3/mese)
ott-16	277,32	8.597
nov-16	308,93	9.268
dic-16	206,45	6.400
gen-17	323,87	10.040
feb-17	305,25	8.547
mar-17	185,58	5.753
apr-17	147,93	4.438
mag-17	175,90	5.453
giu-17	147,63	4.429
lug-17	199,84	6.195
ago-17	114,39	3.546
set-17	305,37	9.161

Tabella 16. Valori medi giornalieri e valori mensili delle portate d'acqua reflua in uscita dal T.A.R.

Il valore massimo di acqua in uscita dall'impianto. è stato registrato nel mese di Gennaio 2017, con circa **10.040 (m^3)** versati in fognatura. Il valore minimo, invece, si è avuto nel mese di Agosto 2017, di circa **3.546 (m^3)**, causa una diminuzione della produzione.

I valori delle portate di acqua considerati, si aggirano, in media, a circa **225 (m^3/giorno)**, molto elevati, quindi, rispetto a quelli riferiti ai reintegri nei locali del sotto-cabina.

Una volta conosciuta l'entità delle portate, si è deciso di sviluppare il lavoro, effettuando un confronto tra i valori delle portate d'acqua di possibile riutilizzo (acqua in uscita dal T.A.R.) e quelli attualmente convogliati per il reintegro del sistema (*Tabella 17*):

	Reintegro richiesto al velo d'acqua	Scarico TAR	Percentuale Reintegro/Scarico
	(m^3/mese)	(m^3/mese)	-
ott-16	935,61	8.597	10,9%
nov-16	1.450,09	9.268	15,6%
dic-16	739,18	6.400	11,5%
gen-17	994,95	10.040	9,9%
feb-17	956,59	8.547	11,2%
mar-17	999,48	5.753	17,4%
apr-17	648,55	4.438	14,6%
mag-17	852,15	5.453	15,6%
giu-17	651,44	4.429	14,7%
lug-17	973,79	6.195	15,7%
ago-17	564,62	3.546	15,9%
set-17	1.006,64	9.161	11,0%
TOT (m^3)	**10.773,09**	**81.827**	**13,2%**

Tabella 17. Consumi mensili: reintegro velo d'acqua vs scarico T.A.R. Valori percentuali reintegro/scarico

Dalla tabella, è possibile verificare che le richieste di acqua, per il reintegro delle vasche del sotto-cabina, hanno assunto valori molto minori rispetto ai valori delle portate di acqua in uscita dal T.A.R. Nell'anno di riferimento, infatti, la portata in ingresso, come reintegro del velo d'acqua, è risultata essere pari, mediamente, al 13,2% rispetto alle acque versate fognatura, provenienti dall'impianto.

Ciò è visibile, in maniera dettagliata, nel grafico seguente (*Figura 37*):

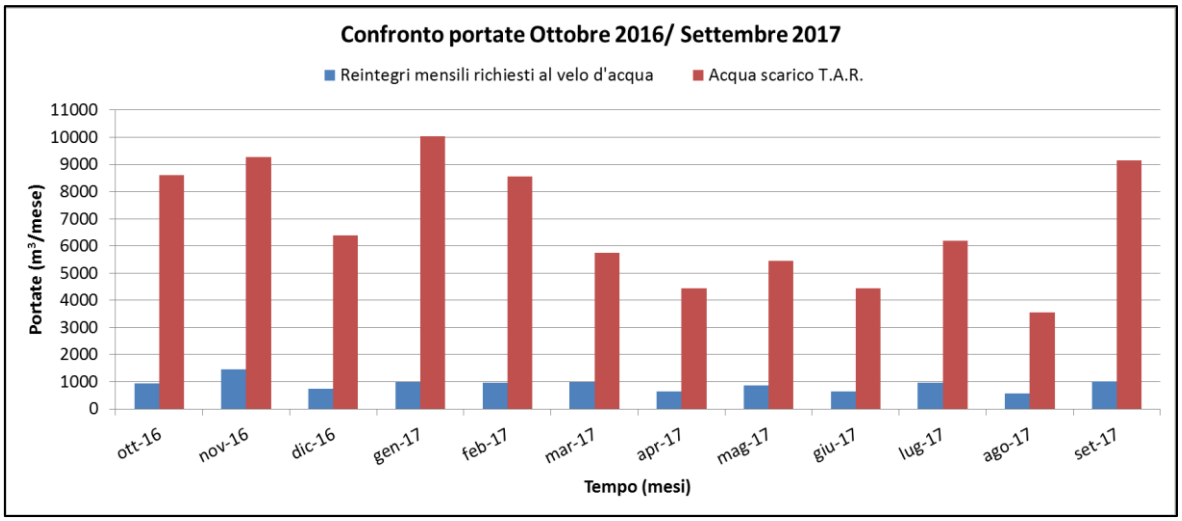

Figura 36. Consumi mensili nel periodo di riferimento: reintegro richiesto al velo d'acqua vs scarico dal T.A.R.

Attraverso tale confronto, è possibile affermare, ulteriormente, che l'intervento di riutilizzo delle acque reflue industriali in uscita dal T.A.R., al fine di ottimizzare il sistema di gestione delle acque dello stabilimento, è attuabile anche da un punto di vista quantitativo, dal momento che le portate d'acqua, destinate ad essere riutilizzate, assumono, in media, valori in grado di soddisfare, anche in ottica futura, tutte le richieste di reintegro, provenienti dalle vasche presenti nel sotto-cabina.

In base a tali considerazioni, è stato deciso di proseguire lo studio di fattibilità, fino alla formulazione di possibili ipotesi d'azione a tale scopo, senza scendere, però, nel dettaglio della progettazione, lasciata ad uno studio successivo e più approfondito.

Una volta compreso l'intervento, si è passati ad analizzare la realizzazione pratica dello stesso, ossia ad avanzare delle ipotesi sulle modalità di trasporto dell'acqua, in uscita dall'impianto di Trattamento Acque Reflue, all'interno delle vasche del sotto-cabina di verniciatura.

Fin da subito è possibile notare che, le due unità operative considerate, sono posizionate una di fianco l'altra, nella parte Sud-Est dello stabilimento. Questo, ha facilitato molto la formulazione di un'idea di collegamento. Inoltre, bisogna anche tenere conto, del fatto che sono già presenti condotte idrauliche sotterranee, in polietilene di diametro nominale pari a 100mm, che collegano il T.A.R. con il locale del sotto-cabina, per permettere lo sversamento delle vasche alla fine del ciclo di ricircolo dell'acqua.

Di seguito, viene riproposto uno stralcio della planimetria del plant, con particolare attenzione alla posizione del T.A.R. e del locale del sotto-cabina nel reparto di verniciatura (*Figura 35*):

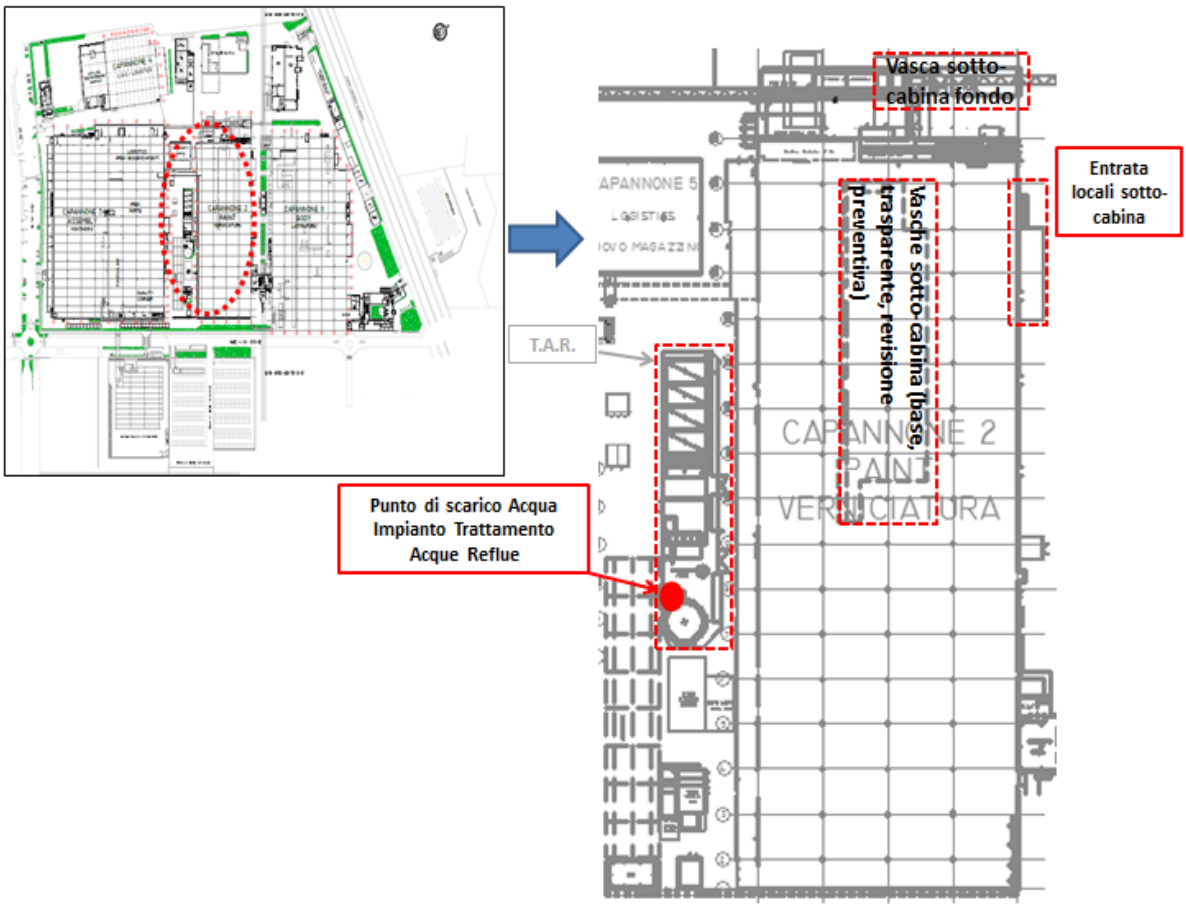

Figura 37.Planimetria: entrata locale sotto-cabina e scarico d'uscita del T.A.R

Misurando la distanza tra il punto di scarico delle acque del TAR e le vasche del sotto-cabina, si ottiene un valore pari a circa 90-100 m.

Un'ipotesi per l'attuazione pratica dell'intervento, consiste nella costruzione di una condotta idraulica sotterranea, sfruttando i percorsi già esistenti, di lunghezza, pari a tale distanza, dotata di una valvola, azionata, ogni qual volta, vi è una richiesta di reintegro da parte delle vasche del sotto-cabina. Osservando, inoltre, le tubazioni già presenti all'interno dello stabilimento, è possibile proporre la realizzazione della stessa in polietilene, sfruttando, quindi, lo stesso materiale delle condotte esistenti; inoltre, sarebbe possibile proporre anche l'utilizzo di tubazioni con le stesse dimensioni di quelle già esistenti, con un valore del diametro nominale che si aggira intorno a 100 mm, e che, allo stesso tempo, risulta coerente ai consumi appena analizzati.

La scelta dell'utilizzo di tubi in polietilene è stata proposta, non solo per instaurare una continuità con le condotte già presenti, ma, anche, perché presenta molti vantaggi rispetto ad altri materiali. Dalle informazioni contenute nel *"Manuale tecnico dei tubi in polietilene" della Ditta CENTRALTUBI,* è possibile elaborare una lista dei maggiori vantaggi presentati dall'utilizzo di tale materiale:

- *"Resistenza agli urti ed alle basse temperature, grazie alla sua elevata tenacità, quindi particolarmente indicato in terreni instabili.*
- *Resistenza alla corrosione, anche in terreni aggressivi ed in presenza di correnti vaganti, per cui può essere interrato senza protezioni.*
- *Ridotte perdite di carico grazie ad una superficie liscia ed alla bassa scabrezza del materiale che impedisce l'insorgere di incrostazioni.*
- *Inattaccabilità da una vastissima gamma di prodotti chimici, solventi ed alla maggior parte degli agenti batteriologici presenti nel terreno.*
- *Resistenza agli agenti atmosferici ed alle alterazioni dovute ai raggi ultravioletti."*

Per quanto riguarda gli aspetti economici, bisogna considerare le seguenti proprietà derivanti dalla scelta di tubazioni in polietilene:

- *"Facilità di posa e manutenzione, dovuta alla leggerezza ed elevata flessibilità, permettendo economia di costi per trasporto e posa in opera.*
- *Realizzazione di linee con meno giunzioni ed in brevissimi tempi.*
- *Possibilità di semplici e veloci interventi di manutenzione nel caso in cui insorgano avarie."*

Si può concludere quindi, che, al fine dell'attuazione di tale intervento, la scelta di utilizzare tubi in polietilene rappresenta la soluzione più economica ed efficiente.

Un'ulteriore proposta di soluzione, per l'esecuzione dell'intervento, consiste nel convogliare le acque, in uscita dal T.A.R., all'interno di un serbatoio di accumulo e rilancio alle vasche del sotto-cabina. In questo caso, però, sarebbe necessario individuare, all'interno del perimetro dello stabilimento, uno spazio abbastanza grande, in cui posizionare tale serbatoio, cosa che, però, attualmente, non è fattibile per le poche superfici libere all'interno del plant.

Lo sviluppo nel dettaglio, delle proposte esposte, si rimanda ad uno studio più approfondito, di progettazione idraulica, che esula dagli obiettivi del seguente lavoro di tesi.

A questo punto, una volta effettuate le analisi di fattibilità sia teoriche che pratiche dell'ipotesi d'intervento in questione, e soprattutto dopo aver riscontrato un esito positivo in entrambi i casi, le ultime, ma non per importanza, considerazioni da fare sono rivolte all'aspetto economico relativo.

Tali considerazioni, nel caso restituiscano risultati soddisfacenti, possono permettere il passaggio dell'attenzione, esclusivamente, sulla fase esecutiva vera e propria del progetto d'intervento.

5.4. ANALISI BENEFICI/COSTI

L'ultimo tassello mancante, per poter completare le considerazioni sull'intervento di ottimizzazione scelto, consiste nell'effettuare un' analisi di benefici/costi. Tale passaggio è fondamentale per poter affermare, definitivamente, la concreta possibilità di esecuzione dello stesso.

L'analisi consiste, genericamente, in una tecnica di valutazione, basata sulla misurazione e sulla comparazione di tutti i costi e di tutti i benefici, che possono derivare, in maniera diretta e indiretta, dal progetto in esame.

Essa viene condotta, analizzando, rispettivamente tutte le singole voci di costo legate alla realizzazione dell'intervento, e tutte quelle voci di costo che, invece, verrebbero eliminate grazie ad esso.

Il passo successivo, consiste nel calcolo del costo totale e del beneficio totale: il primo, come somma di ogni voce di costo da versare, derivante, direttamente e non, dalle singole azioni da effettuare per l'attuazione dell'intervento proposto; il secondo, invece, come risultato della somma di tutte le spese che non verrebbero più effettuate, e quindi risparmiate, a seguito delle modifiche apportate dall'intervento.

Affinché tale analisi possa restituire un esito positivo, sancendo l'inizio della fase di attuazione dell'intervento, è necessario che il rapporto tra il beneficio totale ed il costo totale assuma un valore positivo, quindi che il valore del primo risulti maggiore rispetto al secondo.

Per quanto riguarda l'intervento proposto in tale lavoro di tesi, l'analisi è stata condotta, considerando i valori finora analizzati (*v. paragrafo 5.3*), come base di partenza anche per le previsioni future.

I dati, relativi alle voci di costo unitario da versare e quelle risparmiate considerate di seguito,sono stati reperiti attraverso le informazioni concesse gentilmente dal personale *AGAP*.

Le singole voci di costo, unitario, consistono in:

- Costo di costruzione di una condotta idraulica di collegamento in polietilene, pari a 11,83 (€/m) (dato reperito ad esempio da catalogo della società *PICENUMPLAST S.p.a.)*;
- Costo energetico per il trasporto, tramite pompaggio, dell'acqua dal T.A.R. alle vasche di sotto-cabina, pari a 0,24382 (€/m^3).

L'elenco dei benefici, invece, che si avrebbero a seguito della realizzazione dell'intervento sono:

- Riduzione del canone annuo, versato per l'approvvigionamento dell'acqua dai pozzi, pari attualmente a 2900 (€);
- Riduzione dei costi energetici per il prelievo ed il pompaggio della componente d'acqua dai pozzi al serbatoio principale, pari a 0,24382 (€/m^3);
- Riduzione dei costi energetici per il prelievo ed il pompaggio della componente d'acqua dal serbatoio principale ai locali del sotto-cabina, pari a 0,24382 (€/m^3);
- Riduzione dei costi di smaltimento da versare a SMAT, pari a 0,751 (€/ m^3).

Dalle considerazioni quantitative effettuate nei paragrafi precedenti, nell'arco temporale di riferimento, è possibile affermare che l'attuazione dell'intervento comporterebbe una diminuzione della portata d'acqua prelevata, direttamente dai pozzi, di un valore pari a **10.773,09 (m^3/anno)**. Tale portata sarà costituita, infatti, dall'acqua scaricata dall'impianto di Trattamento Acque Reflue.

A questo punto, è stato possibile calcolare le varie voci di costo, moltiplicando i valori unitari per i metri cubi reali in gioco, 10.773,09 (m^3/anno) (*Tabella 18*):

COSTI	
Voci	(€/anno)
Costi di costruzione e manutenzione per condotta idraulica di lunghezza 90-100 m (costo fisso)	1.183,00
Costi energetici di trasporto tramite pompaggio, dell'acqua dal T.A.R. alle vasche di sotto-cabina (variabile)	2.626,69
Totale costi 1° anno	**3.809,69**

Tabella 18. Voci di costo calcolate nell'anno di riferimento (Ottobre 2016/Settembre2017)

Nell'anno di realizzazione, il costo totale ammonterà a **3.809,69 (€)**, di cui 1.183 (€) rappresentano il costo, previsto soltanto nel primo anno, per la realizzazione delle infrastrutture necessarie all'attuazione dell'intervento.

Per quanto riguarda, invece, il calcolo del beneficio complessivo, anche in questo caso, per ognuna delle singole voci, prima individuate, è stata effettuata la moltiplicazione tra i valori di costo unitari risparmiati ed i reali metri cubi di acqua risparmiata (*Tabella 19*):

BENEFICI	
Voci	(€/anno)
Riduzione del canone annuo, versato per l'approvvigionamento dell'acqua dai pozzi	147,56
Riduzione dei costi energetici per il prelievo ed il pompaggio della componente d'acqua dai pozzi al serbatoio principale	2.626,69
Riduzione dei costi energetici per il prelievo ed il pompaggio della componente d'acqua dal serbatoio principale ai locali del sotto-cabina	2.626,69
Riduzione dei costi di smaltimento da versare a SMAT	8.090,59
Totale benefici 1° anno	**13.491,54**

Tabella 19. Benefici calcolati nell'anno di riferimento (Ottobre 2016/Settembre2017)

Una considerazione, però, è da effettuare per quanto riguarda il risparmio dovuto alla riduzione delle quantità di acqua, inviate a smaltimento presso SMAT. In questo caso, per il calcolo dell'effettivo importo che non verrà versato, grazie all'attuazione dell'intervento, è stato effettuato un confronto tra la quantità totale di acqua reflua, versata attualmente in fognatura e quella prevista in seguito alle modifiche proposte. Nel periodo di riferimento, il totale di acqua in uscita dal T.A.R., diretto in pubblica fognatura (S.M.A.T.), è risultato pari a 81.827 (m^3/anno). In un'ottica futura, successivamente alla realizzazione dell'intervento, la quantità diminuirà di un valore, che come nel caso in esame, potrebbe essere pari a 10.773,09 (m^3/anno), portata d'acqua riutilizzata. Infine, sottraendo al costo totale affrontato nella situazione attuale, quello che verrebbe versato in caso d'intervento, è stata ottenuta la somma di denaro risparmiata.

Una volta calcolati i valori di costo e di benefici totali, per affermare in maniera definitiva la fattibilità dell'intervento, l'ultima verifica da effettuare, consiste nel confrontare le due grandezze ottenute. Tale verifica è soddisfatta solamente nel caso in cui il valore del rapporto risulti essere maggiore dell'unità (*Figura 38*):

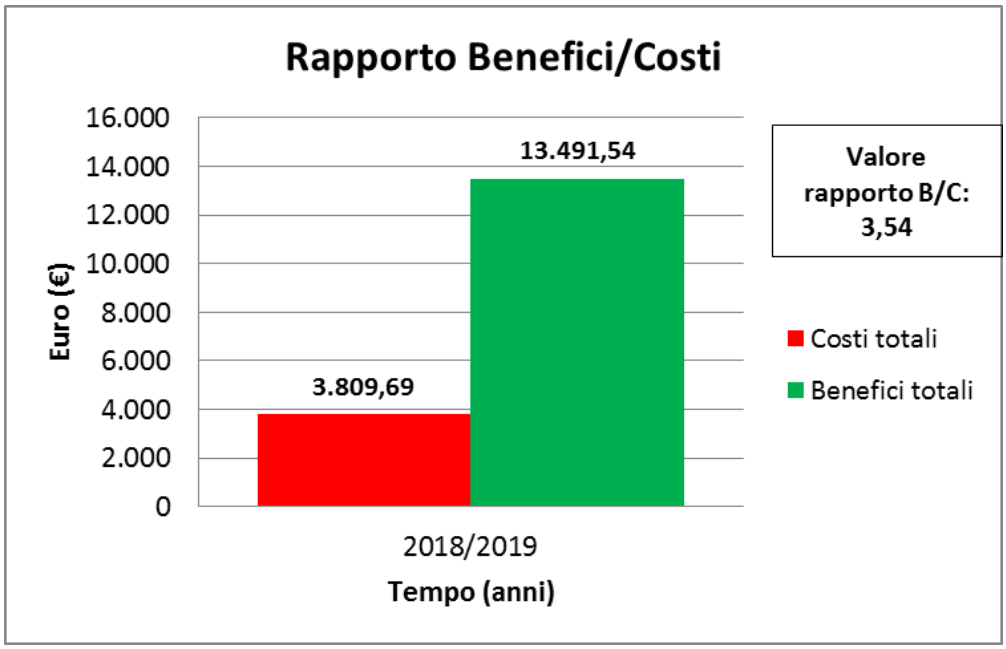

Figura 38. Calcolo del rapporto B/C

Il risultato ottenuto, in effetti, è pari a 3,54, valore che permette, quindi, di affermare la conclusione, con esito positivo, della fase di analisi dell'intervento ed il passaggio alla sua definitiva esecuzione pratica.

A seguito della valutazione positiva, riguardo la fattibilità economica dell'ipotesi proposta, a cui si è giunti grazie alla stima dei costi e dei benefici totali, è risultato necessario effettuare ulteriori considerazioni riguardo, questa volta, ai benefici dal punto di vista ambientale, che potrebbero essere ottenuti a seguito dell'attuazione dell'intervento, e che, rispetto ai primi, posseggono un'importanza maggiore.

Infatti, è possibile notare che la realizzazione di tale intervento, di riutilizzo delle acque reflue depurate, può portare ad un beneficio, con una rilevanza maggiore rispetto a quelli economici appena esposti, ossia dal punto di vista ambientale, attraverso un:

- Ingente riduzione della quantità di acqua scaricata in fognatura, quindi trasportata esternamente allo stabilimento, traducibile in una **diminuzione** dell'impatto ambientale dell'azienda sull'ambiente esterno.

Per confermare e verificare, dal punto di vista quantitativo, l'entità di tale beneficio, si è deciso di condurre un'ulteriore analisi, consistente nel calcolo di coefficienti che descrivono il livello prestazionale dei processi, definiti KPI, Key Performance Indicator.

Tali indicatori sono utilizzati per monitorare l'andamento delle prestazioni di un processo aziendale. In generale, vengono impiegati, per verificare, al termine dell'anno di produzione, se ed

in quale misura è avvenuto il raggiungimento di obiettivi prefissati all'inizio dell'attività produttiva. Nello specifico, esistono KPI, riferiti esclusivamente all'ambiente, che definiscono le prestazioni di un'azienda per quanto riguarda tre aspetti principali: acque, rifiuti ed emissioni in atmosfera.

In sostanza, questo strumento permette di effettuare, in maniera indiretta, una valutazione dell'impatto ambientale di un'azienda, sulla base della quantità di "prodotti" impiegati nel ciclo di produzione e che, successivamente ad un loro utilizzo, possono comportare alla formazioni di "rifiuti", e, quindi, conseguenze significative all'ambiente.

Porre un obiettivo in termini di KPI, significa individuare un valore limite unitario teorico delle quantità di "prodotti" primari da utilizzare (come ad esempio i m^3 di acqua totale in ingresso al plant) per la costruzione di ogni singola vettura.

Un valore basso dell'indice, quindi, sta ad indicare un minore impatto sull'ambiente esterno.

I calcoli riguardanti il valore numerico dell'obiettivo, in termini di KPI, vengono effettuati da un team di esperti, opportunamente scelti, in base alle esperienze produttive degli anni passati.

Nel caso in esame, è stato considerato come obiettivo in termini di KPI, un valore in linea con quello reale assunto dall'azienda, pari ad 8 (m^3/vettura).

Relativamente al consumo di acqua, da parte di uno stabilimento, i Key Performance Indicator vengono calcolati come il rapporto tra il totale di acqua in ingresso al plant (sia potabile che industriale) ed il numero di vetture prodotte.

In questo modo si ottiene un valore che indica la quantità di acqua, espressa in metri cubi, impiegata durante l'intero ciclo di produzione di una singola vettura, giungendo, indirettamente, ad una valutazione dell'impatto ambientale dovuto allo sversamento di acque reflue in ambiente esterno, cioè in pubblica fognatura (S.M.A.T.).

Nel seguente lavoro di tesi, per quantificare i benefici apportati in tale ottica, è stato effettuato un confronto tra i valori del KPI raggiunti senza considerare la realizzazione dell'intervento, e quelli ottenuti a seguito di una sua ipotetica attuazione.

Il valore del KPI, nel caso di realizzazione dell'intervento, è stato ottenuto considerando un'aliquota di acqua in entrata totale, come acqua industriale, minore di un valore annuale pari a 10.773,09 m^3, ottenuto dagli studi effettuati in precedenza.

È stato deciso di effettuare tale confronto, considerando dei valori di KPI, calcolati sulla base dei consumi registrati sia nell'anno 2016 (*Tabella 20*) che nell'anno 2017 (*Tabella 21*):

	ANNO 2016		
	PRIMA	DOPO	
Portata H_2O industriale in ingresso (m^3/anno)	164.710,00	153.936,91	
Portata H_2O potabile in ingresso (m^3/anno)	24.193,00	24.193,00	
Totale H_2O in ingresso (m^3/anno)	188.903,00	178.129,91	
Totale vetture prodotte	23.365	23.365	
Obiettivo KPI (m^3/vettura)	8,00	8,00	Percentuale di riduzione KPI
KPI calcolato (m^3/vettura)	8,08	7,62	6%

Tabella 20.Calcolo KPI: Situazione attuale vs situazione a seguito dell'intervento, anno 2016.

	ANNO 2017		
	PRIMA	DOPO	
Portata H_2O industriale in ingresso (m^3/anno)	114.208,00	103.434,91	
Portata H_2O potabile in ingresso (m^3/anno)	23.331,00	23.331,00	
Totale H_2O in ingresso (m^3/anno)	137.539,00	126.765,91	
Totale vetture prodotte	21.023	21.023	
Obiettivo KPI (m^3/vettura)	8,00	8,00	Percentuale di riduzione KPI
KPI calcolato (m^3/vettura)	6,54	6,03	8%

Tabella 21. Calcolo KPI: Situazione attuale vs situazione a seguito dell'intervento, anno 2017.

Nell'anno 2016, l'indice di performance è risultato essere pari ad un valore di poco superiore all'obiettivo autoimposto dall'azienda. Grazie alla realizzazione dell'intervento, tale indice avrebbe subito una riduzione di circa il 6%, soddisfacendo ampiamente l'obiettivo.

Nel 2017, invece, il KPI ottenuto è risultato molto soddisfacente, rispetto al valore di riferimento, senza il bisogno di effettuare modifiche migliorative, essendo già stati realizzati dall'azienda particolari interventi con conseguente diminuzione della quantità di acqua in ingresso allo stabilimento . Però, attraverso l'attuazione dell'intervento sarebbe stato possibile diminuire, ulteriormente, l'impatto sull'ambiente esterno, utilizzando una quantità d'acqua per la costruzione di ogni singola vettura, ancora più piccola, circa pari a 6 (m^3/vettura).

Dal confronto tra la situazione attuale e la situazione prevista, a seguito delle modifiche dovute all'intervento, il risultato ottenuto, in entrambi gli anni, mostra che la realizzazione dello stesso,

comporterebbe una diminuzione dell'indice di performance, di una quantità media pari al 7%, che, a conseguenza di quanto detto in precedenza, si tradurrebbe in un minor impatto ambientale dello stabilimento, per quanto riguarda lo sversamento dei reflui in fognatura.

L'esito di tale analisi, risultato positivo, ha permesso di sottolineare, nuovamente, come la realizzazione dell'ipotesi d'intervento finora considerata, possa condurre ad una serie di benefici, anche e soprattutto, dal punto di vista ambientale con maggiore rilevanza rispetto a quelli conseguibili da un punto di vista economico.

5.5. PROGETTI FUTURI: PROPOSTE D'INTERVENTO

Come già accennato in precedenza, oltre all'ipotesi d'intervento, approfondita in tale elaborato, è possibile individuare ulteriori proposte d'intervento per il riutilizzo delle acque reflue e non solo, al fine di ottimizzare il sistema di gestione delle acque dello stabilimento.

Alcune di queste sono state già individuate precedentemente ma, dal momento che, non adempivano, completamente, i requisiti imposti alla base del lavoro di tesi condotto, si è deciso di non effettuare ulteriori approfondimenti, relativi ad essi.

Ciò, però, non sta a significare che non sia possibile metterle in pratica, ovviamente, a seguito di uno studio più dettagliato, oppure, che non possano apportare modifiche migliorative e, allo stesso tempo, significative al sistema di gestione delle acque dello stabilimento.

Di seguito, quindi, vengono riportate alcune ipotesi d'intervento al fine di ottimizzare il sistema di gestione delle acque dello stabilimento, proposte direttamente all'azienda e che saranno valutate per una realizzazione futura.

Un ipotesi d'intervento, che rientra in tale categoria, consiste nel riutilizzo delle acque reflue in uscita dal T.A.R., al fine di alimentare l'impianto di osmosi inversa e demineralizzazione. Come visto nel *paragrafo 5.1*, esso rappresenta l'utenza con la maggiore richiesta di acqua industriale, per cui, quindi, un intervento del genere, che coinvolga tale utenza, può apportare migliorie significative sul sistema di gestione. Il problema principale, però, che deriva da tale ipotesi, risiede nell'impossibilità di riutilizzare, in maniera diretta, tali acque reflue trattate, osservazione che risulta evidente dalle analisi, di tale componente d'acqua, riportate sempre nel *paragrafo 5.1*.

Per questo motivo, tale proposta può essere considerata come un intervento, al quale dedicare uno studio futuro più dettagliato, per fare in modo che possa essere messa in atto in breve tempo.

Le caratteristiche chimico-fisiche delle acque reflue trattate, infatti, implicano che, nell'ottica di tale proposta, sia necessario individuare un'ulteriore trattamento di depurazione, che possa permettere il riutilizzo di tale componente d'acqua. Un'altra possibile soluzione consisterebbe in uno studio approfondito alla ricerca di un mix di acqua reflua trattata e acqua proveniente dai pozzi, che possa permettere almeno il riutilizzo di una quota parte delle acque in uscita dal T.A.R.

È possibile, allo stesso tempo, avanzare delle proposte d'intervento future, che prevedano il riutilizzo non più, soltanto, delle acque reflue in uscita dal T.A.R., ma anche di ulteriori

componenti all'interno di determinati processi. Nello specifico, si è giunti alle seguenti proposte di riutilizzo di:

1. Acque reflue, in uscita dall'impianto di osmosi inversa e demineralizzazione, all'interno della rete di acque di scarico (acque grigie);
2. Acque reflue, in uscita dal processo industriale di prova idrica, effettuato nel reparto di montaggio, sotto forma di reintegri in altri processi industriali, come:
    - Raffreddamento strumenti di saldatura, nel reparto di lastratura

Una buona base di partenza, per quanto riguarda la prima proposta avanzata, è rappresentata dai risultati delle analisi chimico-fisiche, effettuate annualmente dallo stabilimento (*Tabella 22*):

		04/12/2017	
Scarico acqua osmotizzata vasca interna			
Parametri rilevanti	**Unità di misura**	**Valore rilevato**	**Valore limite**
pH	pH	8,36	[5,5;9,5]
Solidi Sospesi Totali	mg/l	1,96	Max 200
C.O.D	mg/l O_2	< 15,0	Max 500
Cromo totale	mg/l	< 0,200	Max 4
Ferro	mg/l	< 0,200	Max 4
Manganese	mg/l	< 0,100	Max 4
Rame	mg/l	0,026	Max 0,4
Zinco	mg/l	< 0,0500	Max 1
Solfati (SO_4)	mg/l	130	Max 1000
Cloruri	mg/l	141	Max 5000
Conducibilità	µS/cm a 20°C	1260	-
		17/05/2017	
Alcalinità totale	mg/l $CaCO_3$	427	-
Durezza totale	°F	36,2	-

Tabella 22. Analisi delle acque di scarto: impianto osmosi inversa e demineralizzazione

Dalle seguenti analisi è evidente come il quantitativo di cloruri e di sali (conducibilità) , presenti all'interno delle acque di scarto, si scosti abbastanza dai valori minimi accettabili per il corretto funzionamento dei processi, nelle utenze presenti all'interno dello stabilimento, per cui non sarebbe possibile un riutilizzo diretto di tale componente, in nessuna di esse. Proprio per questo motivo, l'unica soluzione adottabile, per il riutilizzo diretto di tale componente, consisterebbe nella sua immissione all'interno della rete di acque grigie, così da rappresentare una risorsa per il reintegro dei servizi civili (servizi igienici, mensa, spogliatoi). Il motivo per il quale tale proposta non è stata sviluppata nel seguente elaborato, è da ricercare nel fatto che, attualmente, lo stabilimento non presenta una divisione tra la rete di scarico delle acque nere (scarico WC etc.), il cui reintegro potrebbe essere effettuato tramite tale componente, da quella delle acque grigie, che comprende

tutte le altre tipologie di acque di scarico dei servizi (lavandini etc.), per il quale l'utilizzo di acqua di scarto, proveniente dall'impianto d'osmosi inversa e demineralizzazione, potrebbe comportare conseguenze nocive alla salute dell'uomo.

Tale intervento, quindi, è stato proposto ma, per quanto riguarda la sua attuazione pratica, è necessario, dapprima, effettuare una modifica sostanziale dell'intero sistema di reti di acque di scarico, che viene lasciato ad uno studio futuro più approfondito.

Al contrario, tale componente potrebbe essere riutilizzata, molto più facilmente, a seguito di un trattamento di depurazione. Quindi, un'ulteriore proposta consiste nel sottoporre lo scarto, proveniente dall'impianto di osmosi inversa e demineralizzazione, ad un determinato processo di depurazione, in modo tale da riuscire a rendere tale componente idonea ad un possibile riutilizzo sotto forma di velo d'acqua, per la cattura delle particelle di "overspray". In questo caso, si riuscirebbe ad eliminare una componente di scarico nella pubblica fognatura (S.M.A.T.), diminuendo notevolmente i costi di smaltimento.

Tale teoria non è stata sviluppata, poiché non rispettava i requisiti posti alla base del lavoro svolto, ma è stata presa in considerazione per sviluppi futuri a breve-medio termine.

Infine, un'ulteriore ipotesi d'intervento a breve-medio termine, da considerare e proporre in ottica futura, consiste nel riutilizzare le acque di scarto, in uscita dal reparto di montaggio, più precisamente dalla fase di prova idrica. Come già affermato nel *paragrafo 4.4*, l'acqua, impiegata in tale fase, è rappresentata dalla componente industriale, al fine di individuare possibili infiltrazioni presenti nella vettura, ormai completa. L'unico trattamento previsto, a cui l'acqua industriale viene sottoposta, consiste in una disinfezione tramite biossido di cloro.

Da tali considerazioni, teoricamente, una volta concluso la fase di ricircolo di tale componente, di durata pari ad un mese circa, essa potrebbe, piuttosto che essere convogliata al T.A.R., essere, invece, riutilizzata nel processo di raffreddamento degli strumenti di saldatura, in lastratura.

Per poter approfondire e condurre uno studio di fattibilità, riguardante tale ipotesi d'intervento, è necessario reperire, però, analisi specifiche, relative all'acqua in uscita dalla prova idrica. Esse, infatti, risultano necessarie per poter confermare, dal punto di vista chimico-fisico, che la componente considerata soddisfi i requisiti previsti per la componente acqua (*v.capitolo 4*) all'interno del processo prima citato.

Sarebbe interessante analizzare, in maniera più approfondita, tale ipotesi, attraverso studi futuri più dettagliati, e fare in modo che tale intervento possa essere messo in pratica.

Le analisi dettagliate, riguardo le proposte riportate finora, si rimandano a futuri studi su tali problematiche, non concordanti con l'obiettivo di tale elaborato.

6. CONCLUSIONI

Dal presente studio, condotto in collaborazione con lo stabilimento Maserati AGAP, si evince in maniera lampante come la richiesta globale d'acqua ai fini del suo impiego nei processi produttivi industriali, sia considerevolmente ingente. Infatti per una corretta conduzione di ogni singola parte dell'impianto, è necessario utilizzare una gran quantità d'acqua, che diventa praticamente indispensabile. Questa condizione è presente in moltissimi settori industriali, con notevole significatività nel panorama dell'*automotive*: la realizzazione di una vettura prevede un dispendio idrico considerevole .

È stato visto come, questa grande richiesta, derivante dal ciclo di produzione, può portare a due conseguenze negative: aumento degli sprechi ed aumento degli scarichi reflui effettuati verso l'ambiente esterno, con un conseguente, maggiore, impatto ambientale. Per far fronte a tali problematiche, è stato dimostrato, tramite il lavoro svolto, che esiste una soluzione, tempestiva. Questa consiste nel riutilizzo della componente reflua industriale, depurata, all'interno dello stabilimento stesso. In un'ottica più generale, la soluzione proposta può aiutare ad affrontare il problema della scarsità dell'acqua, e diminuire in maniera significativa la quantità di scarichi, così che lo stabilimento possa provocare un minor impatto sull'ambiente circostante.

Nel caso analizzato, si è visto come possono essere ideate differenti proposte d'intervento, che possono prevedere il riutilizzo in determinati processi. Nella pratica, però, ogni singola ipotesi, presenta diversi gradi di difficoltà d'attuazione, ma soprattutto, esistono particolari requisiti che potrebbero non essere soddisfatti dalle acque reflue in uscita dall'impianto di Trattamento Acque Reflue.

La possibilità d'intervento che, a seguito di varie verifiche, teoriche e pratiche, si è dimostrata facilmente attuabile in tempi brevi e con investimenti economici molto esigui, è rappresentata dal riutilizzo delle acque in uscita dal T.A.R., sotto forma di velo d'acqua, per la cattura delle particelle di "overspray", liberate nell'ambiente di lavoro durante le operazioni di verniciatura. Lo studio di fattibilità ha comprovato come le acque trattate nel T.A.R. soddisfino ampiamente i requisiti minimi di accettabilità per l'impiego previsto.

L'efficienza del fenomeno di cattura, infatti, non dipende in maniera significativa dalle proprietà chimiche dell'acqua impiegata, bensì dalle caratteristiche della vernice utilizzata, ed in particolare, dalla **bagnabilità** della particella di vernice, ossia dalla sua tendenza ad essere "bagnata". Allo stesso tempo, anche l'efficienza dei trattamenti successivi al processo di cattura, caratterizzati dalla

scelta e dall'aggiunta di prodotti chimici, quali antischiuma, coagulanti e flocculanti, dipende in maniera sostanziale dal prodotto verniciante utilizzato.

Quindi le acque in uscita dal T.A.R. non comporterebbero nessuna conseguenza negativa relativamente al processo di cattura: l'intervento è applicabile, non solo allo stabilimento preso in esame, ma anche ad altri tipi di aziende nello stesso settore.

Inoltre, i maggiori benefici conseguibili a seguito dell'attuazione dell'intervento, non riguardano soltanto l'aspetto economico, abbastanza esiguo per un'azienda premium come quella presa in considerazione, ma il vantaggio primario si ottiene nel campo della sostenibilità. Dalle analisi effettuate, si è giunto, infatti, alla conclusione che i massimi benefici possibili sono ricercabili in una riduzione dell'impatto ambientale, dovuto ad una minore quantità di acque reflue depurate, scaricate in pubblica fognatura (S.M.A.T.): si parla di una quantità di circa 11.000 (m^3) all'anno. Il suddetto intervento di ottimizzazione del sistema di gestione delle acque, applicato ad uno stabilimento di dimensioni maggiori, dal punto di vista produttivo, dovendo coinvolgere ingenti quantità d'acqua, porterebbe ad una resa ancor più evidente i vantaggi che ne derivano.

Avvalorata dalle motivazioni appena esposte, la proposta d'intervento è stata presentata al reparto *EHS* dello stabilimento AGAP, che ha deciso, dopo un'attenta analisi, di valutarla in termini pratici. Come proposto, la realizzazione dell'intervento potrebbe prevedere: la costruzione di una condotta idraulica di collegamento, per permettere il trasporto dell'acqua dal T.A.R. al reparto di verniciatura, oppure la costruzione di un serbatoio di accumulo e rilancio.

Tra gli sviluppi futuri, sono state inserite ulteriori proposte di ottimizzazione del sistema, che richiedono, però, un'analisi approfondita. Tutto ciò in linea con le politiche ambientali dell'azienda, che si pongono l'obiettivo di abbattere, al massimo, l'impatto del plant sull'ambiente circostante.

BIBLIOGRAFIA

Consejo, C., Ormad, M. P., Sarasa, J., & Ovelleiro, J. L. (2005).Treatment of wastewater coming from painting processes: Application of conventional and advanced oxidation technologies. "*Ozone: Science and Engineering: The Journal of the International Ozone Association*", *27:*4, 279-286.

D. lgs 3 aprile 2006, n. 152, in materia di "*Norme in materia ambientale*", Parte Terza, Sezione II, Titolo III, Capo III, Allegato 5.

Kia, S. F., Rai, D. N., Simmer, J. C., & Wilson, C. (1997). Capture of overspray powder paint in a wet booth system. "*Journal of Coatings Technology"*, *69*(875), 23-31.

Mappa G. (2014). Pre-Trattamento di Liquami Industriali mediante Ossidazione Chimica FENTON per il Miglioramento della Biodegradabilità (BOD/COD), la rimozione del COD e dei Tensioattivi Anionici (MBAS), "*ANOVA Studi e Ricerche Interdisciplinari".*

Middendorf, L. (2002). Paint booth maintenance. "*Metal finishing"*, *100*(10), 47-52.

Nisoli, E. (2007). L'acqua nel panorama economico e politico internazionale.

Pedeferri, P. (2007). *Corrosione e protezione dei materiali metallici*. CittàStudiEdizioni. ISBN 88-251-0130-9.

Rinaldi, F. (2012). Sistema automatico di distribuzione ottimizzata di polvere per verniciatura.

Salihoglu, G., & Salihoglu, N. K. (2016). A review on paint sludge from automotive industries: Generation, characteristics and management. *Journal of environmental management*, *169*, 223-235.

Sigillito V., Bove B., Lamorgese, L. and Di Muro E. (2006) Esame della normativa sul riutilizzo delle acque depurate. *Tavolo Tecnico Interagenziale "Gestione Sostenibile delle Risorse Idriche"*

Sigmund, C. (2008).Teoria e pratica della depurazione delle acque reflue. *Procedure di smaltimento e progettazione (Theory and practice of wastewater treatment. Disposal procedures and design). Dario Flaccovio Ed., Palermo (in Italian).*

Tonini, A. (2017). Trattamento Acque: TRATTAMENTI delle ACQUE -1° PARTE: ACQUE GREZZE: addolcimento e demineralizzazione.

Vaccari, M., & Zanetti, M. (2009). *Riutilizzo delle acque reflue industriali per uso interno*. CIPA Editore

Valentini, R. . (2010). Automobili e Materiali, Engineering & Design – Materials Engineering. *DICCISM Unipi*.

SITOGRAFIA

www.chimicaindustriale.campusnet.unito.it

www.docplayer.it

www.fcagroup.com

www.lenntech.it

www.onuitalia.it

www.tubi.net

www.uniroma2.it

www.verniciatore.it