

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Corso di Laurea Magistrale

In Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio



Tesi di Laurea Magistrale

Ottimizzazione della gestione delle melme di verniciatura

Relatori

Mariachiara Zanetti

Barbara Ruffino

Candidato

Michela Bruatto

Marzo 2018

Ringraziamenti

Prima di entrare nel vivo della trattazione vorrei ringraziare chi mi ha sostenuto e aiutato nello sviluppare e redigere questa tesi. Un particolare ringraziamento va al Dott. Germano Gaido, EH&S (Environmental, Health and Safety) Manager dello stabilimento FCA di Mirafiori per avermi permesso di collaborare con loro e avermi fornito le informazioni necessarie per la stesura di questo elaborato.

Ringrazio, inoltre, l'Ing. Alessandro Fiorio, EH&S Manager del gruppo FCA, per la sua disponibilità ad organizzare una visita all'interno degli stabilimenti FCA di Torino. Questa esperienza è stata un'opportunità arricchente per le mie conoscenze personali e mi ha aiutata a capire il mondo aziendale.

Infine, un pensiero va all'Ing. Daniele Bruschi della ditta Flottweg e alla Dott.ssa Anna Moruzzi dell'azienda Idee & Prodotti, per il tempo dedicatomi e le pazienti spiegazioni.

Indice

Introduzione.....	7
Capitolo 1 – Generazione delle melme di verniciatura	9
1.1 Processo di verniciatura	9
1.1.1 Fasi di verniciatura.....	9
1.1.2 Cabina di verniciatura.....	11
1.1.3 Vernici	11
1.2 Melme di verniciatura	12
1.2.1 Trattamento delle melme di verniciatura.....	12
1.2.2 Smaltimento delle melme di verniciatura.....	13
1.2.3 L'importanza della disidratazione.....	14
Capitolo 2– Tecniche di disidratazione	15
2.1 Ricerca di nuove tecnologie per la disidratazione delle melme.....	15
2.1.1 Trattamento termico	15
2.1.2 Trattamento meccanico e chimico	16
Decantazione.....	19
Centrifugazione	20
StrizBox e DryBox	22
2.1.3 Trattamento meccanico e termico	24
Capitolo 3 – Soluzioni di recupero delle melme di verniciatura	26
3.1 Descrizione del brevetto <i>BIT 18446</i>	26
3.2 Previsione dell'estensione di una pavimentazione stradale con il bitume modificato	28
3.3 Valutazione economica per il recupero delle melme in uno stabilimento teorico	29
Calcolo costo unitario di trattamento delle melme di verniciatura – Scenario 1.....	29
Calcolo costo unitario di trattamento delle melme di verniciatura – Scenario 2.....	31

3.4 Vincoli normativi esistenti	32
Capitolo 4 – Produzione e trattamento delle melme di verniciatura negli stabilimenti FCA	35
4.1 Sopralluogo negli stabilimenti FCA	35
4.2 Gestione attuale delle melme	36
4.2.1 Processo di verniciatura	36
AGAP	36
Mirafiori	40
4.2.2 Impianto di trattamento delle melme	41
AGAP	41
Mirafiori	43
4.2.3 Smaltimento delle melme	44
4.3 Caratterizzazione chimica della melma	44
Capitolo 5 – Valutazione della tecnologia migliore per la disidratazione delle melme di verniciatura	48
5.1 Considerazioni sull’utilizzo di nuove tecnologie di disidratazione in un contesto industriale	48
5.2 Problematiche legate alla disidratazione delle melme e vantaggi delle tecnologie StrizBox, DryBox e Flottweg	51
5.3 Approfondimenti sulle tecnologie selezionate	53
5.3.1 StrizBox.....	53
Descrizione tecnologia	53
Valutazione dimensionale	56
Valutazione economica	58
5.3.2 DryBox	62
Descrizione tecnologia	62
Valutazione dimensionale	63
Valutazione economica	65

5.3.3 Decanter Flottweg	67
Descrizione tecnologia	67
Valutazione dimensionale	71
Valutazione economica	72
5.4 Riassunto dei risultati e commenti	75
Conclusioni.....	78
Bibliografia	82
Patents	82
Research papers	83
Sitografia	85

Introduzione

Nell'industria automobilistica gli scarti che vengono generati durante le operazioni di verniciatura rappresentano una consistente quantità tra i rifiuti prodotti in questo settore¹. Questi scarti vengono indicati con il nome di melme di verniciatura.

Le melme di verniciatura consistono in una miscela formata dalla vernice che non si è depositata sul corpo da verniciare (overspray), che viene catturata da un flusso d'aria presente all'interno della cabina di verniciatura e infine raccolta con l'acqua. L'overspray è costituito da una frazione volatile, composta principalmente da solventi, e da una frazione solida formata da pigmenti e resine di tipologie diverse.

La composizione delle melme di verniciatura è molto complessa ed è fortemente influenzata dal tipo di vernice che viene utilizzato all'interno della cabina di verniciatura e dal tipo di additivo che viene impiegato per catturare le particelle di vernice, acqua o eventualmente emulsioni. Le melme di verniciatura possono, quindi, contenere acqua, solventi organici, resine polimeriche, pigmenti e additivi vari.

In questi ultimi anni il consumo di vernice all'interno dell'industria automobilistica è aumentato notevolmente, a causa dello sviluppo e dell'ampliamento sul mercato di questo settore. Per questo, il volume delle melme di verniciatura da smaltire è diventato molto consistente; il consumo specifico di vernice nell'industria automobilistica è di circa 23 litri² per ogni scocca verniciata. Si considera che circa il 40% della vernice impiegata per la verniciatura di una scocca diventa rifiuto².

Dal momento che l'overspray viene raccolto da un flusso d'acqua, questo comporta la presenza di una notevole quantità di acqua nelle melme di verniciatura, che si presentano come un fango piuttosto liquido. Tale stato fisico rende difficile la movimentazione del rifiuto e dunque la sua gestione è più complessa. Le melme di verniciatura sono destinate a due tipi di smaltimento: la messa in discarica e l'incenerimento. Entrambe le soluzioni sono poco sostenibili, sia dal punto di vista economico che ambientale. L'alternativa allo smaltimento è il recupero delle melme di verniciatura. In particolare, in Italia è presente una norma che si pone come obiettivo quello di prevenire e ridurre la produzione di rifiuti, di ridurre la pericolosità dei rifiuti prodotti e di favorire infine il loro recupero rispetto allo smaltimento (Decreto Legislativo del 3 aprile 2006, n. 152, Parte IV, articolo 178-180). Gli strumenti

¹ Guray Salihoglu, Nezh Kamil Salihoglu, *A review on paint sludge from automotive industries: Generation, characteristics and management*, "Journal of Environmental Management", volume 169, 15 marzo 2016, pagine 223-235.

² M. Zanetti, E. Santagata, B. Ruffino, D. Dalmazzo, "Ipotesi di smaltimento delle melme di verniciatura degli stabilimenti Fiat Group Automobiles - Relazione finale", DIATI, Marzo 2011.

che possono essere impiegati per raggiungere tali obiettivi possono riguardare l'uso di tecnologie nuove e pulite, progettare e produrre prodotti sostenibili o sviluppare tecniche di recupero.

Dunque, già a partire dagli anni Novanta sono stati effettuati diversi studi sul recupero delle melme di verniciatura, con lo scopo di trovare una soluzione adeguata per ridurre i volumi delle melme e offrire alle industrie produttrici delle melme di verniciatura un'alternativa allo smaltimento. Per esempio, è stato studiato il loro riutilizzo all'interno dei materiali da costruzione, per generare nuove vernici (primers) oppure per la produzione di sigillanti impermeabilizzanti e per la produzione di bitume. Per tutte queste tipologie di recupero, si possono ottenere maggiori vantaggi se le melme vengono prima ben disidratate. Infatti, l'eliminazione dell'acqua in eccesso dalle melme di verniciatura permette sia una riduzione del volume di rifiuto da smaltire, dunque una diminuzione del costo di smaltimento, che la generazione di un rifiuto con un tenore di secco più elevato e dunque un possibile riutilizzo delle melme di verniciatura.

In nessuno dei casi studio precedentemente citati viene illustrato, però, un modo efficiente e adattabile ad uno specifico impiego per il riutilizzo delle melme. Nel 2015 il Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI) ha condotto degli studi sulle modalità per trattare le melme di verniciatura e ha provato ad utilizzare tali melme come additivo nella miscela bituminosa utilizzata per le pavimentazioni stradali. Tale progetto è stato sviluppato con la collaborazione di FCA con lo scopo di migliorare la gestione delle melme di verniciatura negli stabilimenti di Fiat Group Automobiles. In particolare, Mariachiara Zanetti, Ezio Santagata, Barbara Ruffino, Davide Dalmazzo, docenti del Politecnico di Torino, e Germano Gaido, EHS Manager di FCA, hanno formulato un brevetto per la produzione di bitume modificato mediante l'uso di melme di verniciatura, originate dalla verniciatura di scocche di autoveicoli (*Brevetto BIT 18446*). Le melme in questo caso vengono addizionate al bitume sotto forma di polveri, ecco perché anche in questo caso diventa fondamentale migliorare la disidratazione delle melme.

Per tale ragione, in questo elaborato si definiscono le tecnologie che possono migliorare la disidratazione delle melme originate dalla verniciatura di scocche di autoveicoli, aumentando il tenore di secco di tali melme di verniciatura ed eliminando l'acqua in eccesso. In particolare, la scelta della tecnologia dovrà tener conto di una possibile applicazione all'interno di uno stabilimento reale che genere melme di verniciatura e dunque dovrà risultare economicamente conveniente e adattabile all'installazione in stabilimento.

Capitolo 1 – Generazione delle melme di verniciatura

1.1 Processo di verniciatura

Un prodotto viene verniciato per scopi estetici e protettivi. L'applicazione della vernice è una operazione che si svolge in più fasi, per permettere al meglio il corretto trasferimento del prodotto al substrato da verniciare.

1.1.1 Fasi di verniciatura

Il primo passaggio consiste in un pretrattamento attraverso un lavaggio e una pulizia del corpo che deve essere verniciato per eliminare le impurità presenti (zone oleose e sporche) e migliorare l'adesione della vernice degli strati successivi. Inoltre, crea una barriera che impedisce la corrosione sotto lo strato di vernice. La fase di pretrattamento si suddivide in queste ulteriori sottofasi: sgrassaggio, attivazione, fosfatazione e passivazione. Lo sgrassaggio permette l'eliminazione dalla superficie metallica di contaminanti, come per esempio particelle di sporco, oli, grassi e residui di levigatura, attraverso l'uso di soluzioni acquose alcaline. L'attivazione, generalmente, utilizza attivatori a base di titanio e zinco per preparare la superficie alla fase successiva e accelerarne il processo. Mentre, la fosfatazione è necessaria per conferire alle scocche la resistenza alla corrosione e favorire l'adesione della vernice. In questa operazione, la superficie metallica viene ricoperta da uno strato di cristalli di fosfato e altri composti come zinco, nichel, etc. Infine, viene effettuata la passivazione per aumentare ulteriormente la resistenza alla corrosione della superficie metallica attraverso la formazione di un sottile film che aderisce perfettamente alla superficie.

Successivamente, con la tecnica di elettrodeposizione viene applicato un primo rivestimento che ha la funzione di proteggere ulteriormente la scocca dalla corrosione e dalle scheggiature. L'elettrodeposizione viene effettuata per immersione della scocca in una soluzione dove per attrazione elettrostatica viene applicato un film di 18-25 μm . Spesso, nel settore dell'automobile è di tipo catodico, dove la soluzione in genere è a base di fosfato di zinco e resine epossidiche rese solubili attraverso acidi organici.

Dopo questo, vi è l'applicazione del primer che permette di riempire le piccole irregolarità della superficie da verniciare per ottenere lo spessore richiesto e una superficie più omogenea. Inoltre, esso consente di favorire l'adesione dello strato successivo, oltre ad incrementare la resistenza della superficie metallica all'umidità, ai raggi UV e alle scheggiature. Il primer ha uno spessore che varia tra i 15-30 μm .

In seguito, vi è una fase di lucidatura per eliminare tutti i residui creatisi nelle fasi precedenti e successivamente, viene vaporizzato uno strato definito topcoat. Usualmente il topcoat è composto da due livelli, il basecoat e il clearcoat. Il basecoat è uno strato sottile (12-15 μm) che dona colore al corpo in quanto è costituito da pigmenti colorati; il clearcoat, invece, ha uno spessore maggiore (35-45 μm) e ha una funzione sia estetica che protettiva dagli agenti esterni, per esempio dagli agenti chimici e atmosferici.³ Quest'ultimo è trasparente e lucido.

Questi strati possono essere applicati con differenti tecnologie, come con sistemi spruzzanti senza aria (pistole a spruzzo o pistole ad effetto corona con la creazione di un campo elettrico tra la pistola e il pezzo), sistemi pneumatici, centrifughe automatizzate con elevata rotazione elettrostatica.

Infine, l'operazione di verniciatura termina con la fase di essiccazione della vernice. Durante questa fase man mano che il solvente evapora, le micelle di polimero si avvicinano sempre di più, fino a quando, raggiunta una certa distanza di separazione tra le micelle e si verifica il fenomeno di coalescenza. Questo fenomeno rappresenta il superamento delle tensioni superficiali del materiale ad opera di forze attrattive che comportano la compenetrazione delle micelle fino a formare un film continuo.

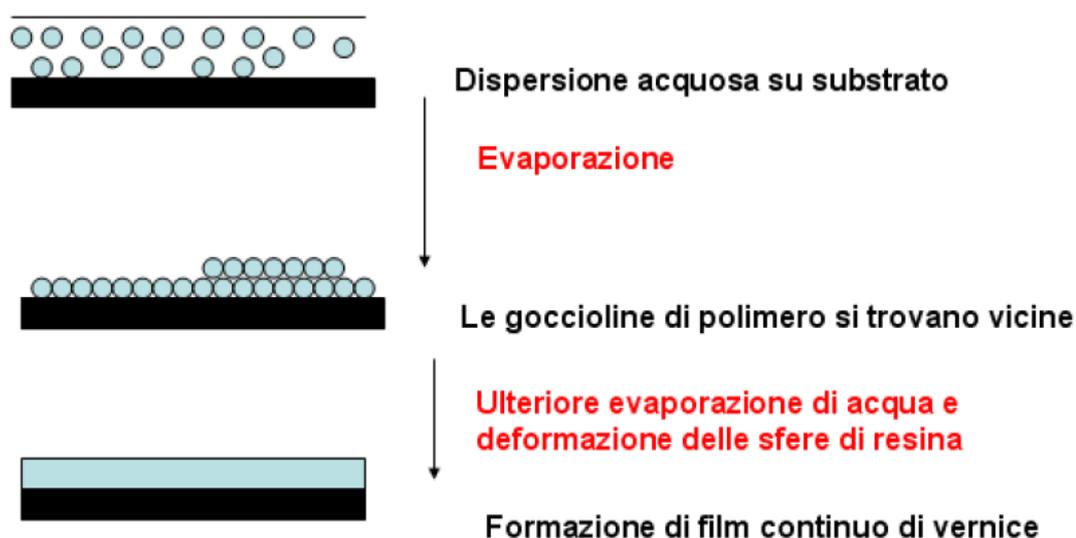


Figura 1. Schematizzazione della formazione del film solido di un prodotto verniciante

(Da: "Modifica del ciclo produttivo di un impianto di verniciatura: FCA Maserati", N. Bartolini, E. Sarvia, L. Torresi, F. Trunfio, S. Simone, A. Vergnano)

³ Moris Fantoni, "Green Factory for Composites", Piattaforma Fabbrica Intelligente Regione Piemonte, Novembre 2017.

1.1.2 Cabina di verniciatura

I processi di verniciatura appena descritte si svolgono all'interno delle cabine di verniciatura. Esse devono essere costruite in modo da garantire la migliore qualità possibile della superficie da verniciare e mantenere salubre l'ambiente di lavoro. Questo è possibile ottenerlo grazie all'impiego di un sistema di ventilazione, che permette di diluire la concentrazione dei solventi e di catturare l'overspray prodotto. L'overspray prodotto e catturato grazie al flusso d'aria si deposita su un velo d'acqua, che scorre sul fondo della pavimentazione della cabina di verniciatura. Esistono diverse tipologie di cabine di verniciatura, principalmente esse si differenziano in cabine di verniciatura a secco e cabine di verniciatura a velo d'acqua. Nelle cabine di verniciatura a secco, l'aria contenente l'overspray viene filtrata utilizzando filtri in fibra di vetro capaci di trattenere l'inquinante; mentre nelle cabine di verniciatura ad umido viene sfruttata l'azione di un velo d'acqua, che scorre sulle pareti verticali della cabina, per catturare le particelle di vernice dell'overspray. In questo ultimo caso anche l'aria viene successivamente filtrata utilizzando filtri in fibra di cocco gommizzata o a carboni attivi.⁴

1.1.3 Vernici

Generalmente le vernici sono composte da un legante polimerico, costituito da resine (acriliche o epossidiche) solubili in solventi organici o in acqua, da pigmenti di origine organica o inorganica, da additivi vari e infine da una matrice liquida. Il legante polimerico ha la funzione di creare un film continuo ed è responsabile della viscosità e dell'elasticità. Mentre i pigmenti possono essere presenti sia nel primer che nel basecoat: nel primer spesso si tratta di ossidi di titanio per dare resistenza e lucentezza; nel basecoat i pigmenti sono quelli che donano colore alla carrozzeria. Gli additivi, invece, possono essere di varia natura e vengono impiegati per migliorare o modificare le caratteristiche della vernice. Per esempio si possono usare additivi per aumentare la resistenza agli agenti atmosferici e non, per accelerare il processo di essiccazione, rendere più lucida e omogenea la superficie trattate, etc. Per rendere la vernice liquida e quindi utilizzabile, vengono utilizzate delle matrici liquide a base di solventi o a base d'acqua. In alcuni casi, vengono impiegate delle vernici in polvere. Solitamente vernici a base d'acqua sono quelle impiegate per il primer e per il basecoat. Invece si utilizzano vernici a base di solventi sia per il primer che per il basecoat, ma soprattutto per il clearcoat.

Le vernici ad acqua e quelle a solventi presentano delle caratteristiche differenti. Le vernici ad acqua sono di più recente impiego e presentano un minor impatto sull'ambiente, ma le loro caratteristiche

⁴ N. Bartolini, E. Sarvia, L. Torresi, F. Trunfio, S. Simone, A. Vergnano, "Modifica del ciclo produttivo di un impianto di verniciatura: FCA Maserati", Lavoro di gruppo del Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Prof. Mariachiara Zanetti.

mostrano alcuni limiti se confrontate con quelle delle vernici a solvente. Infatti, il range di temperatura e umidità all'interno del quale può essere utilizzata una vernice ad acqua è meno ampio rispetto a quello di una vernice a solvente. Il tempo necessario per la fase di essiccazione è maggiore, anche il costo è più alto, ma è necessario un minore consumo di vernice ad acqua per m². Nelle vernici ad acqua è comunque presente una piccola quantità di solvente organico con una concentrazione inferiore al 10%, quindi non vi sono rischi di infiammabilità, minori emissioni gassose e assenza di odori. D'altra parte, essendo presente una certa quantità di acqua, questo tipo di vernice ha un elevato rischio di folgorazione, dovuto all'alta conduttività dell'acqua.

1.2 Melme di verniciatura

Le particelle di vernice che non si depositano sulla superficie metallica da verniciare, vengono raccolte da un flusso di aria discensionale presente all'interno della cabina di verniciatura. Il flusso d'aria attraversa la pavimentazione a griglia della cabina di verniciatura e raggiunge un velo d'acqua, che scorre sotto questa griglia. In questo modo, le particelle di vernice, essendo molto leggere, si depositano sul velo d'acqua. L'acqua con le particelle di vernice, infine, viene raccolta all'interno di vasche per poi essere inviata all'impianto di trattamento. Lo scopo principale del trattamento dell'acqua contenente l'overspray è quello di eliminare l'acqua e separare le particelle di vernice da essa. I processi impiegati fino ad oggi però non permettono di separare completamente l'acqua dalle particelle di vernice, si ottiene così un rifiuto fangoso. Tali fanghi spesso vengono catalogati come rifiuti pericolosi e sono destinati allo smaltimento, ma prima è necessario che vengano sottoposti ad appositi trattamenti per la riduzione del volume e delle concentrazioni delle componenti tossiche presenti al loro interno.

1.2.1 Trattamento delle melme di verniciatura

Il primo trattamento a cui sono sottoposte le melme di verniciatura è la denaturazione chimica. Tale processo si svolge all'interno delle vasche di accumulo e avviene mediante la miscelazione di agenti chimici capaci di modificare alcune caratteristiche tipiche del fango. Per esempio, in questo processo vengono alterate le proprietà collanti, la viscosità e la solubilità del fango, rendendolo più semplice da trasportare e trattare nelle fasi successive. Inoltre, gli agenti chimici che vengono aggiunti al fango possiedono anche delle proprietà flocculanti, consentendo la separazione tra il fango, ovvero degli agglomerati di particelle di vernice, e l'acqua di trasporto. Gli agenti chimici che vengono utilizzati dipendono dalla tipologia del fango, che a sua volta dipende dal tipo di vernice che viene impiegato. Generalmente si tratta di miscele liquide contenenti tensioattivi catodici, antischiuma e disperdenti chimici.

Successivamente, il fango condizionato con l'aggiunta degli agenti chimici viene inviata verso un flottatore assieme all'acqua di trasporto. In questa seconda fase del processo avviene la flottazione, ovvero la separazione definitiva del fango dall'acqua di trasporto. In alcuni casi, il processo di flottazione viene incentivato con l'introduzione di agenti flottanti. Tali agenti sono costituiti da una miscela liquida con agenti schiumogeni e alcalinizzanti. Grazie al processo di flottazione, i fiocchi formati tra le particelle di vernice galleggiano sulla superficie del flottatore e vengono allontanati dall'acqua attraverso l'uso di una pala raschiante e inviati a smaltimento. Invece, l'acqua di trasporto viene poi riemessa in circolo all'interno dell'impianto di trattamento delle melme di verniciatura.

Gli agenti chimici impiegati nel trattamento delle melme di verniciatura permettono di migliorare la separazione tra il fango e l'acqua di trasporto, in questo stadio sarebbe comunque improbabile ottenere già un fango secco. Inoltre, la pala raschiante che viene impiegata sulla superficie del flottatore separa un fango a basso tenore di secco. Per tale ragione, il passaggio finale a cui sono sottoposte le melme di verniciatura è quello di disidratazione, per cercare di eliminare l'acqua in eccesso e ridurre i volumi. Il processo di disidratazione più comune è costituito da una fase intermedia di disidratazione a gravità, seguita da una disidratazione di tipo meccanico, utilizzando per esempio una filtropressa o centrifughe; esistono però anche soluzioni con trattamenti termici.

1.2.2 Smaltimento delle melme di verniciatura

Le melme di verniciatura in uscita dal processo di disidratazione e quindi private in parte dell'acqua di trasporto, costituiscono il vero e proprio rifiuto. Per questo, vengono depositate nell'isola ecologica in attesa dello smaltimento finale. Generalmente la destinazione finale per questo tipo di rifiuto è la discarica con il codice CER 080113. Tuttavia, in alcuni casi, lo smaltimento in discarica non è sempre possibile, dal momento che vengono superati alcuni limiti di concentrazione di alcune sostanze, come ad esempio il carbonio organico disciolto. In alternativa alla discarica, il volume delle melme disidratato può essere inviato ad un impianto di incenerimento specifico, permettendo di ricavarne un recupero energetico. In particolare, per il gruppo FCA le melme di verniciatura, che vengono prodotte all'interno dei suoi stabilimenti, sono inviate ad un inceneritore. È stato calcolato un costo di circa 250-350 €/t per lo smaltimento con incenerimento e per la messa in discarica.⁵

Le melme di verniciatura oltre allo smaltimento in discarica o per mezzo di un inceneritore, possono essere recuperate e riutilizzate in altri impieghi. Infatti, per quanto riguarda le melme prodotte

⁵ Ruffino B. and Zanetti M., "Reuse and Recycling of Automotive Paint Sludge: a Brief Overview", Atti del convegno CRETE 2010, Second International Conference on Hazardous and Waste Management, Chania, Crete Island, 5-8/10/20102010.

all'interno delle cabine di verniciatura, fin dai primi anni Novanta sono stati svolti numerosi studi e ricerche per cercare una soluzione alternativa allo smaltimento delle melme di verniciatura, privilegiandone il loro recupero e riutilizzo. Per esempio, è stato ipotizzato di riutilizzare le stesse melme nella produzione di vernici o per la produzione di sigillanti. Inoltre, è anche stato testato il loro utilizzo per la produzione di materiali da costruzione come cemento, malta, calcestruzzo o asfalto.

1.2.3 L'importanza della disidratazione

Per tutte e tre le destinazioni a cui possono essere sottoposte le melme, ovvero messa in discarica, incenerimento e recupero, è fondamentale che le melme siano state ben disidratate al termine del processo di trattamento. Infatti, la disidratazione permette una diminuzione del volume delle melme di verniciatura. Un volume minore di rifiuto da smaltire corrisponde a un costo minore per lo smaltimento e di conseguenza un possibile risparmio economico. Per quanto riguarda l'opzione di recupero delle melme di verniciatura, invece, l'eliminazione dell'acqua permette di facilitare i trattamenti successivi a cui devono essere sottoposte le melme e ottenere un materiale allo stato solido, sotto forma di polveri per esempio.

In particolare, se si tiene in considerazione l'idea di recuperare le melme di verniciatura nel materiale di copertura del manto stradale, elaborata all'interno del brevetto *BIT 18446*, è fondamentale ridurre le melme di verniciatura in un materiale il più possibile secco e solido, che può essere successivamente polverizzato. Per questa ragione, il Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI) ha focalizzato l'attenzione sulla ricerca di un modo pratico e vantaggioso per la disidratazione delle melme di verniciatura. Infatti, le melme vengono aggiunte al bitume di base sotto forma di polvere, ottenuta dall'essiccazione e comminazione delle melme di verniciatura. L'obiettivo di questo elaborato è, dunque, quello di individuare una tecnologia che possa migliorare e rendere più efficace il processo di disidratazione delle melme di verniciatura.

Capitolo 2– Tecniche di disidratazione

2.1 Ricerca di nuove tecnologie per la disidratazione delle melme

Il punto di partenza di questo elaborato è stato quello di cercare quali tecnologie sono state usate o vengono usate per disidratare le melme di verniciatura, tenendo in particolare considerazione quelle che dimostrano un'elevata efficienza di disidratazione. Sono state effettuate alcune ricerche su internet e su una serie di riviste scientifiche, a cui il Politecnico è abbonato, per cercare le tecnologie che sono state impiegate per la disidratazione delle melme di verniciatura. La maggior parte dei testi ritrovati sono brevetti che riguardano le modalità per trattare e recuperare le melme di verniciatura, trasformandole in altri prodotti utilizzabili. Dunque, questi testi non trattano specificatamente la disidratazione delle melme, ma in ognuno di essi viene descritta una tecnica di disidratazione, poiché è il passaggio iniziale per il trattamento di questa tipologia di rifiuto. Infatti, è necessario avere un fango il più possibile disidratato per poterlo comminuire e successivamente riutilizzare in impieghi diversi; perciò sono stati descritti con più o meno dettaglio le tecnologie utilizzate per l'essiccazione delle melme di verniciatura. Inoltre, una parte della ricerca è stata condotta cercando su internet alcuni sistemi presenti sul mercato di oggi per la disidratazione delle melme di verniciatura, cercando anche i processi che sono stati ritrovati all'interno dei brevetti e degli articoli scientifici analizzati.

2.1.1 Trattamento termico

La tecnologia che presenta il maggior grado di efficienza di disidratazione per le melme di verniciatura è il trattamento termico. Infatti, l'essiccazione delle melme permette di allontanare la maggior parte dell'acqua in eccesso. Questa tecnologia richiede, però, una importante quantità di energia. Generalmente le melme vengono riscaldate all'interno di un forno alla temperatura di 120-180°C per circa mezz'ora, questo permette di risanare le resine polimeriche presenti all'interno della melma e far volatilizzare l'acqua, i VOC e gli idrocarburi liquidi. Possono essere usati forno a letto fluido, forno rotanti (*rotary kilns*), riscaldatori ad infrarossi e scambiatori di calore indiretti. In questo caso, spesso viene aggiunto al fango un additivo per evitare che le particelle solide si attacchino alle pareti del forno.⁶ Tra i più recenti studi riguardanti il trattamento delle melme di verniciatura vi è "*Microwave Assisted Pyrolysis (MAP) of Automotive Paint Sludge (APS)*" degli autori Januri, Rahman, Idris, Matali e

⁶ Jeffrey C. Johnson, Andrew Slater, *Method for treating waste paint sludge*. Brevetto US 4980030 A.

Manaf del 09 Giugno 2015, pubblicato sulla rivista Jurnal Teknologi. Questo studio prevede di trattare le melme di verniciatura mediante pirolisi assistita da microonde. L'acqua presente all'interno delle melme gioca un ruolo fondamentale perché funge da tramite nel distribuire le microonde all'interno del fango trattato nella reazione di pirolisi. Dal momento che il trattamento termico delle melme di verniciatura richiede una elevata quantità di energia, sono stati effettuati degli studi per poter ricavare questa energia dal fango stesso sfruttando la digestione anaerobica e utilizzando il biogas generato come fonte di energia.

2.1.2 Trattamento meccanico e chimico

Una possibile soluzione alternativa al trattamento termico delle melme di verniciatura sono il processo meccanico e chimico. Per esempio, nel brevetto *US 20080216392 A1 "Processing paint sludge to produce a combustible fuel product"* elaborato da Joe P. McCarty e Daniel M. St. Louis nel 2008, la melma viene sottoposta a un processo di decantazione e successivamente viene aggiunto alla melma ossido di calcio. La disidratazione in questo caso avviene per effetto di un processo di tipo chimico. Inoltre, essendo una reazione esotermica, il calore generato da essa contribuisce alla evaporazione dell'acqua in eccesso presente all'interno della melma di verniciatura. Nella Figura 1 è rappresentato in modo schematico il processo appena descritto.

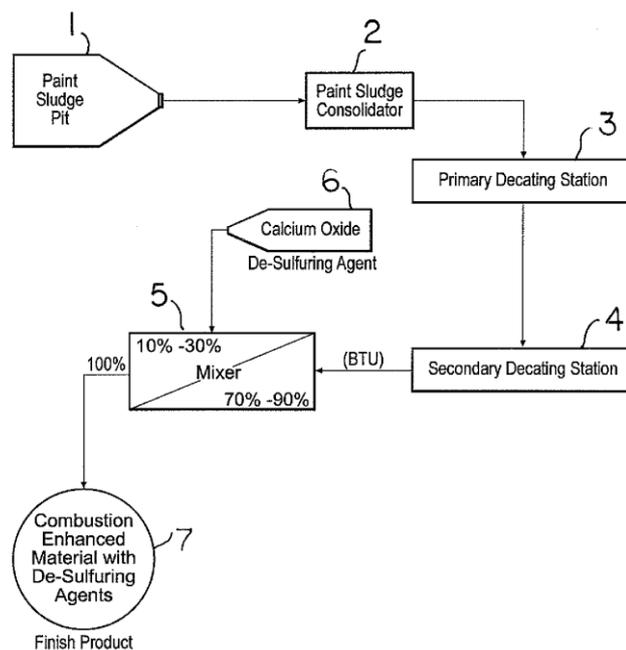


Figura 1. Schema del processo di disidratazione delle melme utilizzato all'interno del brevetto US 20080216392

Come si può osservare al punto (5) della Figura 1, la percentuale di ossido di calcio che viene aggiunto al fango è pari al 10-30%. Questa sostanza permette la disidratazione della melma, ma comporta l'aumento di volume del rifiuto finale.

Uno studio simile al precedente è quello descritto nel brevetto *US 8168688 B2 "Process of recycling paint sludge and component made thereof"*, degli inventori Dan Chrzanowski e Brandon Chrzanowski, pubblicato nel 2012, in cui le melme di verniciatura vengono mescolate con un secondo materiale e successivamente trattate con un processo di granulazione (effettuato con un granulatore) o di densificazione. Il secondo materiale può essere un polimero, una fibra naturale o carta e possono essere materiali vergini o riciclati. Secondo questo studio, grazie a questo secondo materiale, la densità può aumentare fino all'85% rispetto alla sua tipica densità iniziale. Nel testo del brevetto viene riportato che prima o dopo l'aggiunta del secondo materiale è possibile disidratare usando una tecnologia meccanica.

Il metodo meccanico più classico per disidratare le melme di verniciatura è la filtrazione. Per disidratare la melma di verniciatura nel brevetto *US 5160628 "Method of making a filler from automotive paint sludge, filler, and sealant containing a filler"* elaborato da Michael J. Gerace e Janet M. Gerace nel 1992, si preferisce utilizzare una filtrazione a vuoto, con la quale si riesce a passare dal 50% di acqua residua al 33%. Esistono, in questo caso, altre soluzioni possibili, come una filtrazione a gravità, un filtro a maniche, una nastropressa o una filtropressa. Spesso, queste tecniche vengono precedute da un processo di chiariflocculazione. Questa combinazione di processi è utilizzata da numerose aziende del settore per la disidratazione delle melme di verniciatura, come *Hydroflo Technologies, INC.* e *S.C. Costruzioni Meccaniche*. La prima fase corrisponde all'introduzione nel fango di un agente flocculante. Esistono moltissime tipologie di agenti flocculanti, ogni azienda propone una soluzione differente. Successivamente le melme vengono introdotte in un chiariflocculatore, dove il fango viene continuamente rimosso e accumulato prima della disidratazione finale con una filtropressa.

Nel brevetto *US 4607592 A* pubblicato nel 1986 e intitolato *"Process for the recycling of paint material from the overspray occurring during spray painting and a device to carry out the process"* di Wolfgang Richter, la filtrazione delle melme di verniciatura viene effettuata attraverso una serie di membrane fatte con materiale organico e disposte all'interno di una camera di filtrazione. La costante circolazione della melma nella camera di filtrazione è mantenuta attiva da una pompa ad alta pressione. Le cavità presenti all'interno delle melme possono avere qualsiasi tipo di forma, principalmente hanno un diametro compreso tra 0.001 e 0.05 micrometri. In Italia vi è una azienda, la *T.A. s.r.l.*, che produce macchine di ultrafiltrazione e osmosi inversa per trattare i reflui provenienti dalle cabine di verniciatura, che sono composti da vernici a base acquosa, pigmenti colorati, additivi vari, tensioattivi,

sporczia e tracce di idrocarburi (solventi). Lo scopo del trattamento di queste macchine è quello di concentrare il refluo per la riduzione dei volumi e recuperare acqua di qualità alla fine del processo.

Un'ulteriore alternativa usata per la disidratazione delle melme prodotte nelle cabine di verniciatura di uno stabilimento automobilistico è quella di utilizzare i setacci molecolari. I setacci molecolari sono dei materiali che possono separare le molecole in funzione della loro dimensione. Infatti, all'interno del materiale sono presenti minuscoli pori di dimensione uniforme, che sono capaci di trattenere le particelle abbastanza piccole che riescono a penetrare nei pori; contrariamente le molecole con dimensione maggiore dei pori non possono entrare nel materiale. In genere, le molecole polari vengono adsorbite sulla superficie interna dei pori. I materiali più utilizzati per i setacci molecolari sono alluminosilicati e, più comunemente, la zeolite. Questi setacci molecolari possono essere utilizzati come essiccanti per rimuovere l'acqua dai solventi. L'acqua infatti, essendo una molecola polare, entra facilmente all'interno dei pori di un setaccio e per poi rimanervi intrappolata. Esistono diverse tipologie di setacci molecolari in funzione della dimensione dei pori. Per adsorbire l'acqua è necessario un setaccio molecolare di tipo 3A, ovvero con un diametro dei pori pari a 3 Å. Una volta esauriti, i setacci molecolari possono essere rigenerati rimuovendo l'acqua adsorbita per riscaldamento sotto vuoto (130-250°C) oppure applicando una pressione. Questo particolare materiale assorbente è stato utilizzato per disidratare le melme di verniciatura in un esperimento descritto all'interno del testo *"Hazardous and Industrial Solid Waste Minimization Practices"* di Richard A. Conway (pagine 111-112). L'ideazione di questo esperimento è stata quella di provare ad utilizzare i setacci molecolari costituiti da palline con un diametro di 1.6 mm, il nome del prodotto utilizzato in questo caso è *Union Carbide Molecular Sieve Type 3A*, per quei solventi che richiedono una concentrazione di acqua molto bassa per poter essere riutilizzati. Questo materiale assorbente si presenta sotto forma di palline, disposte in un letto fisso. I risultati preliminari di questo esperimento hanno dimostrato che essenzialmente tutta l'acqua presente nel solvente è stata assorbita. Gli esiti ottenuti sono stati incoraggianti e hanno dimostrato un ottimo modo per ottenere un solvente molto disidratato (si parla di una riduzione della melma del 90%).

Nei paragrafi successivi, vengono descritti con maggiore dettaglio alcuni processi meccanici sopra citati. In particolar modo, vengono trattate delle possibili tecnologie impiegabili per la disidratazione delle melme di verniciatura. I dati riportati per queste tecnologie sono stati reperiti contattando l'azienda di costruzione oppure sul suo sito internet.

Decantazione

Il trattamento meccanico viene utilizzato per disidratare le melme in molti dei brevetti analizzati per lo svolgimento di questo elaborato, in particolare all'interno del brevetto identificato con il codice *US 8057556 B2* e denominato *"Processing paint sludge to produce a combustible fuel product"* di Joe McCarty, Christopher Hubb e Kenneth O. Peebles pubblicato nel 2011, viene adottato un processo di decantazione per la disidratazione, ottenendo una buona riduzione del tenore di umidità delle melme. Un altro processo di tipo meccanico per aumentare il tenore di solidi all'interno delle melme usato all'interno dei brevetti è la centrifugazione. Esistono sul mercato alcune tecnologie che sfruttano entrambi i processi appena elencati (decantazione – centrifugazione). Questi sistemi sono dei particolari decantatori orizzontali rotanti. Per esempio, una tecnologia di questo tipo è prodotta dall'azienda Flottweg, che ha una sede anche in Italia. Il prodotto che essi propongono è Flottweg Decanter Centrifuge, rappresentata in Figura 2.

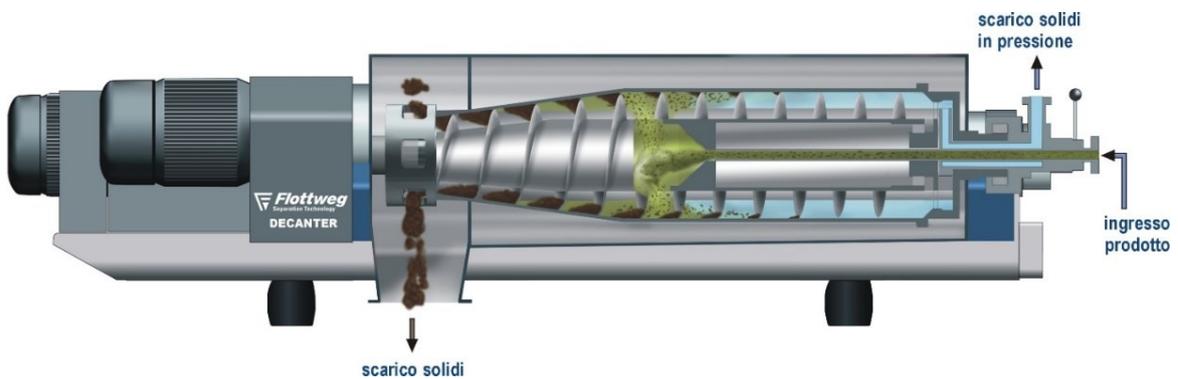


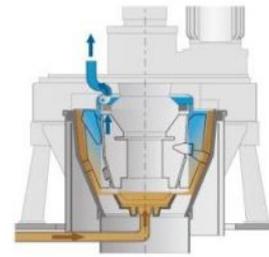
Figura 2. Flottweg Decanter Centrifuge

Tramite il tubo di alimentazione disposto al centro, il prodotto viene convogliato nella zona di distribuzione della coclea. Da lì avviene un'accelerazione preliminare e il prodotto tramite le feritoie di distribuzione entra nel tamburo. Il tamburo del decanter ha una forma cilindrica-conica e ruota con un numero di giri tarato per la relativa mansione da svolgere. Nel tamburo il prodotto raggiunge la massima velocità periferica e aderisce alla parete del tamburo sotto forma di anello cilindrico. Le sostanze solide contenute nel prodotto si depositano sulla superficie interna del tamburo sotto l'effetto della forza centrifuga. La lunghezza della parte conica del tamburo può essere definita in di test per identificare le condizioni di lavoro migliore della centrifuga. La coclea ruota con una velocità differenziale inferiore rispetto al tamburo e movimenta le sostanze solide depositate in direzione dell'estremità rastremata conica del tamburo. Il numero di giri differenziale definisce il tempo di sedimentazione della sostanza secca nel tamburo. Il tempo di sedimentazione fra l'altro è importante per il tenore di sostanza secca ottenibile e può essere adattato in modo ottimale alla mansione di separazione da svolgere tramite una modifica del numero di giri differenziale della coclea. Con una

semplice sostituzione o riallestimento della coclea è possibile adattare il decanter Flottweg alle diverse tipologie di prodotto. In tal modo c'è la possibilità di scegliere fra le coclee con passi diversi, a passo singolo oppure a passo variabile. I solidi vengono convogliati dalla coclea alle portelle di scarico poste sull'estremità conica del tamburo e poi espulsi verso il basso nel vano dei solidi. Il liquido chiarificato scorre verso l'estremità cilindrica del tamburo e da lì fuoriesce tramite le aperture nel coperchio del tamburo. In queste aperture si trovano delle piastre di trascinamento regolabili in maniera esatta, con le quali è possibile impostare lo spessore dell'anello liquido nel tamburo. Il liquido viene raccolto nel vano di scarico e scaricato a gravità. In alternativa, il liquido chiarificato può anche essere scaricato dal tamburo con una pompa centripeta tramite un sistema chiuso sotto pressione. Una variante aggiornata è la presenza di una pompa centripeta regolabile, che consente una regolazione continua dello spessore dell'anello liquido durante il funzionamento, quindi un adattamento rapido e preciso alle mutate condizioni di lavoro, senza dover mettere fuori servizio la centrifuga Flottweg.

Centrifugazione

In alternativa, per la separazione del materiale solido dall'acqua possono essere impiegati sistemi a sola centrifugazione. Le centrifughe permettono di ridurre il peso complessivo notevolmente e si dimostrano particolarmente efficaci in quanto non è richiesto alcun filtro, quindi non sono presenti problemi di intasamento dei filtri e costi ricorrenti dei supporti filtranti. Questi sistemi sono costituiti essenzialmente da un rotore che gira a una velocità molto elevata, sviluppando così la forza centrifuga necessaria per separare i fanghi dall'acqua. Per esempio, la *Centrifuge Sludge Separator* commercializzata da *Aquarius Engineers PVT. LTD.* può essere impiegata per la disidratazione dei fanghi di verniciatura, riuscendo a ridurre il peso complessivo del fango di quasi il 50%.



A - 25 Cross Section

A-25	
Power	11/15 kW
Rotor volume	40 l
Sludge Capacity	40 kg/h
Volume flow	150/250 l/min 9/15 m ³ /h
Acceleration	1960 g

Figura 3. Centrifuge Sludge Separator commercializzata da Aquarius Engineers PVT. LTD. Le immagini sono state prelevate dalla brochure della tecnologia presente online.

Il modello di centrifuga proposto è il A-25 Cross Section, rappresentato in Figura 3. Questo modello presenta una buona efficienza di separazione solido-liquido per le particelle con dimensione maggiore di 5 micrometri. Il separatore a centrifuga è completamente automatico ed è costituito sostanzialmente da un sistema a rotore. Il rotore gira a una velocità molto elevata, sviluppando così la forza centrifuga necessaria per separare i fanghi dall'acqua. Durante il funzionamento, il fango con l'acqua viene introdotto nel separatore dal fondo. La sospensione del fango viene accelerata con la velocità del rotore e spinta verso il diametro esterno. Le particelle solide vengono pressate contro il lato interno del rotore. A causa dell'elevata velocità di rotazione l'acqua pulita separata viene sottoposta a circa 0,5 bar di pressione e viene indirizzata nella parte posteriore del rotore. Dopo che il ciclo di separazione è finito, il rotore decelera e l'acqua residua viene drenata. Quando il separatore si arresta, viene attivata l'unità di espulsione del fango automaticamente e il fango cade in un carrello posto sotto il separatore. Il separatore viene automaticamente lavato con acqua e il ciclo si ripete. Il sistema di controllo PLC avanzato gestisce le funzioni di temporizzazione e di sicurezza del separatore.

A disposizione sul mercato vi è un'altra tecnologia a centrifuga distribuita da *Cybernetik Technologies*. Questa azienda propone il *Paint Sludge Dewatering System* in Figura 4, costituito da una centrifuga verticale, capace di ruotare con una velocità pari a 3000 rpm, e da quattro bracci ad aratro per rimuovere il materiale separato.



Figura 4. Paint Sludge Dewatering System prodotta da Cybernetik Technologies.

Questo sistema tipicamente ha un tempo di ciclo di circa 10 minuti e consiste in una prima fase di alimentazione della centrifuga con il fango nella parte superiore in posizione aperta. Successivamente la centrifuga viene chiusa e inizia la rotazione e, dunque, la separazione del contenuto solido dall'acqua in eccesso. Infine, il contenuto solido separato viene rimosso con i bracci ad aratro del sistema. Questa centrifuga ha delle portate molto elevate, approssimativamente l'alimentazione può essere pari a 4000 litri/ora. La casa produttrice ipotizza una resa del 50% in peso nel caso in cui venga utilizzata per disidratare la melma di verniciatura.

StrizBox e DryBox

Grazie alla ricerca su Internet, è stato scoperto sul sito della rivista Hi-Tech Ambiente un'ulteriore innovazione tecnologica utilizzabile per la disidratazione dei reflui industriali. Si tratta del sistema *StrizBox*, brevettato dall'azienda *Idee & Prodotti*, costituito da un sistema che lavora a pressione dinamica. *StrizBox* è un sistema di disidratazione fluidodinamica, cioè una macchina che strizza, diversa da una filtropressa, da una nastropressa o da un decanter. Il lavoro che svolge StrizBox è quello di unire la pressione al movimento, come si farebbe per strizzare una spugna gocciolante acqua tra le mani.⁷ I moduli sono composti da una serie di colonne indipendenti e autoportanti. Il riempimento avviene nella parte superiore della colonna, attraverso una pompa a bassa pressione (3-4 bar). Il fango,

⁷ Hi-Tech Ambiente versione online, *Semplicemente STRIZBbox!*, 14/09/2017. <http://www.hitechambiente.com/semplicemente-strizbbox-N1077.html>

all'interno del filtro fatto di stoffa, viene pressato da un movimento continuo delle membrane e dilatato con aria a 6 bar. In questo modo si ottiene una carota ben disidratata all'interno, che viene rilasciata dalla parte inferiore della colonna per caduta in un catino in completa autonomia, senza l'intervento di un operatore. Il ciclo è automatico e può essere controllato in remoto. L'azienda che ha brevettato *StrizBox* ha già fatto dei test usando questo sistema per disidratare le melme prodotte nelle cabine di verniciatura, ottenendo un resa finale fino al 50%.



Figura 5. Fotografia di un modulo StrizBox installato in uno stabilimento industriale (<http://pumps-dewatering.com/tarua-pump/striz-box-membrane-filter-press/>)

La azienda *Idee & Prodotti*, oltre a StrizBox, commercializza un'altra tecnologia utilizzabile per la disidratazione delle melme di verniciatura. Tale tecnologia è denominata DryBox e si tratta di un sistema di filtrazione a gravità razionalizzato. Ovvero, esso è costituito da un contenitore rigido che include al suo interno un sacco di materiale filtrante nel quale vengono raccolte le melme di verniciatura. All'interno del contenitore rigido, il sacco con le melme viene movimentato attraverso l'espansione di membrane ad ampia dilatazione, che sono poste nella parte inferiore della tela filtro. Queste membrane si espandono verso le melme di verniciatura con un movimento on-off, provocando delle spaccature nel pannello di melme e favorendo il drenaggio dell'acqua. Al termine di questo processo, il contenitore rigido esterno si apre e viene prelevato facilmente il sacco con le melme disidratate, che è posto al suo interno.



Figura 6. A sinistra: fotografia della tecnologia DryBox. A destra: fotografia dell'apertura dello DryBox terminato il processo di disidratazione (<https://www.ideeeprodotti.it/ci-occupiamoci/disidratazione/disidratazione-a-gravita-drybox/drybox1000.aspx#>)

2.1.3 Trattamento meccanico e termico

Nella maggior parte dei casi, con il processo meccanico si può ottenere un aumento del tenore di secco nelle melme di verniciatura del 50% al massimo, di più, ad oggi, non è ancora possibile. Se è necessario aumentare la resa di disidratazione occorre associare al processo meccanico un sistema di essiccazione dei fanghi, ovvero un processo termico capace di far evaporare l'acqua residua. All'interno della tecnologia dei decantatori è avvenuta un'importante innovazione con la combinazione di una disidratazione a centrifuga e una essiccazione termica all'interno di una stessa macchina.⁸ Questi nuovi sistemi sono nominati *Centridry®* e vengono prodotti da *Euroby*. *Centridry®* favorisce il processo di disidratazione offrendo un unico e singolo passaggio, combinando la disidratazione meccanica e l'essiccazione termica in un'unica macchina compatta. Il sistema *Centridry®* lavora con fanghi industriali con un contenuto di solido di 2-7% e produce un fango con il 60-90% di contenuto solido. Per questo motivo, *Centridry®* non è la soluzione migliore per la disidratazione delle melme di verniciatura, poiché esse hanno un tenore di secco dell'ordine del 20-30%. La Figura 7 successiva mostra i principali componenti di questo sistema. Tra i componenti del sistema *Centridry®* è presente una stazione convenzionale per la preparazione del polimero che verrà alimentato al fango nella fase di disidratazione meccanica. Il fango con il polimero viene pompato all'interno di una centrifuga modificata dove avviene la disidratazione meccanica. Successivamente il fango disidratato, che ha raggiunto un contenuto di solido di circa il 25%, viene avviato alla fase termica, ovvero nell'involucro

⁸ Richard J. Wakeman, *Separation technologies for sludge dewatering*, "Journal of Hazardous Materials", volume 144, issue 3, 18 giugno 2007, pagine 614-619.

esterno della tecnologia per la disidratazione meccanica, che è costituito da una camicia di ciclone isolata e alimentata con un gas caldo ad alta velocità. Le particelle di fango entrando nella camera del ciclone vengono asciugate immediatamente in modo tale che quando si effettua il contatto iniziale con le pareti esterne il fango non si attacchi alle pareti. Successivamente, le particelle vengono immediatamente trascinate e trasportate nel gas di trasporto e usciranno dalla camicia in pochi secondi durante i quali i granuli di fanghi vengono ulteriormente essiccati e la temperatura del gas di trasporto viene drasticamente ridotta. Il processo di asciugatura pneumatico continua durante il tempo di spostamento del gas di trasporto al ciclone, che è relativamente breve. A questo punto il materiale in uscita dal ciclone, viene movimentato con una coclea verso il contenitore di stoccaggio.

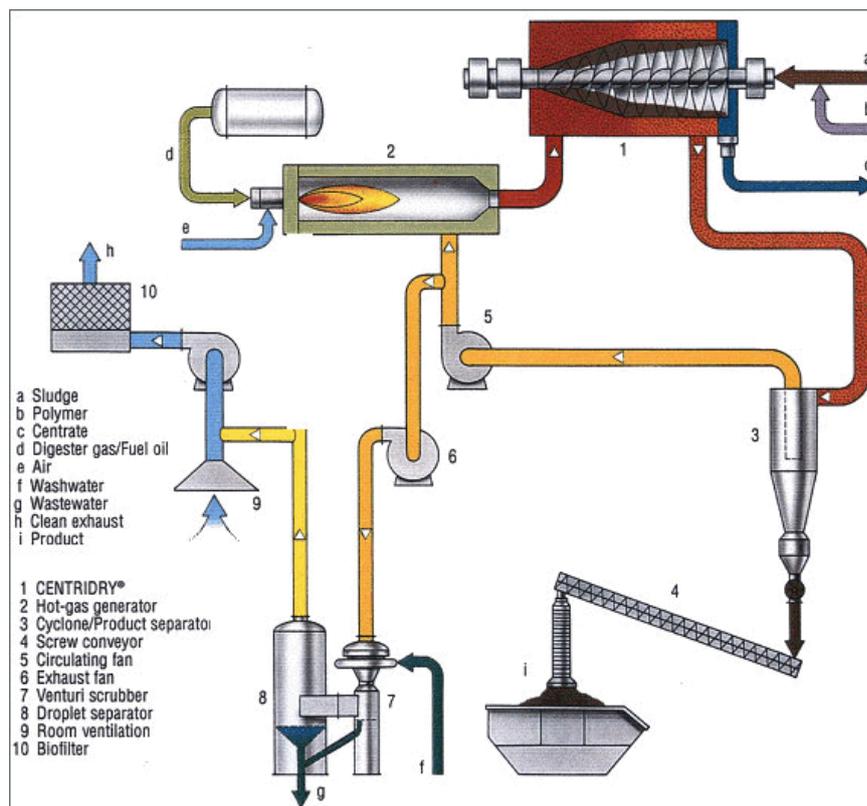


Figura 7. Componenti principali del sistema Centridry® commercializzato da Euroby

Capitolo 3 – Soluzioni di recupero delle melme di verniciatura

A partire dagli anni Novanta, sono stati condotti numerosi studi per valutare e sperimentare il recupero delle melme di verniciatura. Il recupero delle melme di verniciatura permette di limitare gli ingenti costi di smaltimento degli scarti di verniciatura delle scocche di autoveicoli e ridurre l'impatto ambientale. Prima di tutto è necessario pretrattare le melme di verniciatura per eliminare o immobilizzare le sostanze tossiche, se presenti in tale rifiuto. Inoltre, il recupero delle melme di verniciatura prevede che esse vengano prima adeguatamente essiccate e poi convertite in un materiale solido. Infatti, in questo stato fisico le melme di verniciatura sono più semplice da lavorare e il loro rimpiego diventa più vantaggioso.

Esistono numerosi brevetti che illustrano differenti possibili soluzioni di recupero delle melme di verniciatura. Per esempio, fra quelli analizzati vi è la possibilità di riutilizzare le melme nella produzione di primer oppure di impiegarle come rinforzo per i materiali da costruzione. In altri casi, è stato proposto di utilizzare le melme di verniciatura come riempimento del calcestruzzo per contrastare il suo ritiro. Ancora un altro utilizzo è quello di miscelare le melme di verniciatura con la soda caustica e la calce per poter generare materiale cementizio oppure di impiegarle per la produzione di sigillanti e impermeabilizzanti. Infine, è noto un procedimento di miscelazione del bitume di base con un materiale ottenuto a partire dalle melme di verniciatura essiccate.

3.1 Descrizione del brevetto *BIT 18446*

Nonostante tutti documenti sopra citati mostrino un possibile riutilizzo delle melme di verniciatura, nessuno illustra un modo efficiente e adattabile ad una specifica esigenza di impiego per il recupero delle melme di verniciatura.

Nel 2015, il Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI) in collaborazione con FCA ha condotto una sperimentazione per valutare l'utilizzo delle melme di verniciatura all'interno del conglomerato bituminoso. Tale studio è terminato con l'ottenimento del brevetto BIT 18446, che riguarda il procedimento per la produzione di bitume modificato mediante l'uso di melme di verniciatura, in particolare originata dalla verniciatura delle scocche di autoveicoli. Il procedimento che viene illustrato permette di produrre in modo efficiente un bitume modificato con una struttura sostanzialmente omogenea e dotato di caratteristiche adattabili in modo controllato ad ogni esigenza di impegno. Inoltre, tale procedimento risulta economicamente vantaggioso e consente di produrre il bitume modificato in modo ripetibile, in linea con le esigenze di sicurezza ambientali.

Uno degli scopi di questa invenzione è stato quello di realizzare un procedimento che consenta di eliminare gli ingenti costi di smaltimento delle melme di verniciatura e dall'altro di produrre un bitume modificato, che contenga una minore quantità di bitume di base.⁹ Secondo il brevetto, le melme di verniciatura possono essere aggiunte al bitume solo se precedentemente essiccate e rese polvere.

Il bitume è un materiale utilizzato da millenni in una grande varietà di applicazioni, grazie alle sue ottime caratteristiche di adesione e impermeabilità. Il bitume ha una consistenza solida alla temperatura ambiente e colore scuro. Esso viene generato a partire da residui della distillazione o raffinazione del petrolio greggio. L'analisi delle composizioni elementari indica che la stragrande maggioranza dei bitumi contiene dal 79% al 88 % di carbonio, dal 7% al 13 % di idrogeno, dal 2% all'8 % di ossigeno, mentre zolfo e azoto sono contenuti in quantità generalmente inferiori all'8% e al 3%, rispettivamente. Sono poi presenti in tracce anche alcuni metalli come il Vanadio, il Nichel e il Ferro.¹⁰

Il procedimento secondo l'invenzione descritta all'interno del brevetto BIT 18446 prevede le seguenti fasi principali:

1. Fase di essiccazione delle melme di verniciatura;
2. Fase di frantumazione e comminazione delle melme di verniciatura essiccate;
3. Fase di miscelazione con un bitume di base della polvere derivante dall'essiccazione e comminazione delle melme di verniciatura.¹¹

Inoltre, nella attuazione pratica del procedimento sono previste ulteriori attività come la caratterizzazione chimica e fisica delle melme di verniciatura e del bitume di base e uno studio preliminare del dosaggio delle polveri di melma da impiegare nel bitume modificato. Infine, viene effettuata una caratterizzazione reologica finale per determinare le prestazioni del bitume modificato.

Si legge all'interno del documento del Ministero dello Sviluppo Economico per la presentazione di tale invenzione che il dosaggio di polveri di melme di verniciatura è compreso fra il 10% e il 20% in peso rispetto al bitume di base.

⁹ Ministero dello Sviluppo Economico, Ricevuta di presentazione per Brevetto per invenzione industriale, 07/07/2015

¹⁰ Riccardo Panichella, *Studio del trattamento delle melme di verniciatura per il loro riutilizzo nelle pavimentazioni stradali*, elaborato di Tesi in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, 2015.

¹¹ Ministero dello Sviluppo Economico, Ricevuta di presentazione per Brevetto per invenzione industriale, 07/07/2015

Le polveri che vengono utilizzate in questo caso derivano esclusivamente da melme di verniciatura originate da smalto (basecoat) o da resina trasparente (clearcoat). Non viene utilizzata la vernice di Fondo perché il campione che è stato utilizzato per la sperimentazione era molto eterogeneo, contenente composti differenti con comportamenti non omogenei. Inoltre, il volume di melme di verniciatura originate dalla vernice del Fondo è molto limitato, dunque non è meritevole impiegarlo nella produzione di un bitume modificato.

3.2 Previsione dell'estensione di una pavimentazione stradale con il bitume modificato

Anteriormente alla stesura di questo elaborato, è stata effettuata una valutazione per calcolare l'ammontare in chilometri di una pavimentazione stradale che potrebbe essere realizzata impiegando un bitume modificato con l'aggiunta di melme, secondo il procedimento descritto nel brevetto BIT 18446. I calcoli e i risultati che vengono riportati di seguito appartengono a uno studio sviluppato nell'ambito di un contratto di collaborazione tra FCA e il DIATI.

Innanzitutto, occorre fare alcune ipotesi: la prima ipotesi, innanzitutto, è quella di fissare la quantità di melme prodotte da uno stabilimento teorico di un'azienda automobilistica a un valore pari a circa 3000 t/a. Inoltre, viene ipotizzato un tenore di melme nel bitume pari al 10%, mentre quello di bitume nel conglomerato è del 5.5 %. La densità ipotizzata del conglomerato è di 2.3 kg/dm³. Infine, si ipotizzano che il manto stradale che si vuole asfaltare con il bitume modificato abbia uno spessore di 3 cm e una larghezza di 6 m.

Ipotizzando di essiccare le melme con un impianto termico in grado di ridurre il tenore di umidità delle melme dal 60% al 15%, il volume di melme da incorporare nel bitume si riduce da 3000 t/a a circa 1400 t/a.

La produzione complessiva di bitume sarà dell'ordine di 14 000 t/a, dal momento che il bitume contiene il 10% di melma. Questa quantità di bitume verrà successivamente impiegata per la produzione di un conglomerato bituminoso. Poiché il tenore di bitume nel conglomerato è pari al 5.5%, la massa di conglomerato bituminoso prodotto è circa 225 000 tonnellate. Infine, utilizzando la densità ipotizzata, si calcola il volume di conglomerato bituminoso prodotto, che è dell'ordine di 110 000 m³.

Date le dimensioni del manto stradale che si vuole asfaltare con il conglomerato prodotto, si può realizzare una superficie di circa $3.7 \cdot 10^6$ m².

3.3 Valutazione economica per il recupero delle melme in uno stabilimento teorico

Dopo aver valutato la superficie di un manto stradale che può essere asfaltata con il conglomerato bituminoso modificato con le melme di verniciatura generate in uno stabilimento teorico, è stata sviluppata una valutazione economica dei processi di essiccamento della melma e la successiva miscelazione della medesima con il bitume.

Si considerano due diversi scenari:

Scenario 1 – La preparazione della melma per la miscelazione con il bitume viene effettuata dallo stabilimento, mentre la miscelazione avrà luogo in un impianto terzo.

Scenario 2 – lo stabilimento produce direttamente il bitume modificato con le melme di verniciatura.

In entrambi i casi, si calcola prima il costo annuo previsto per il trattamento della melma di verniciatura, il valore così ottenuto verrà poi rapportato con il volume di melma prodotto per calcolare infine il costo unitario di trattamento.

Calcolo costo unitario di trattamento delle melme di verniciatura – Scenario 1

In questo scenario, lo stabilimento in cui vengono generate le melme di verniciatura si occuperà di svolgere le operazioni necessarie per il trattamento di esse così da renderle idonea a una successiva miscelazione con il bitume. Quest'ultima operazione di miscelazione, però, si svolgerà presso un impianto terzo, estraneo allo stabilimento.

In questo caso, le operazioni di disidratazione della melme per favorire la successiva miscelazione con il bitume sono condotte da un impianto di essiccamento termico fornito dalla VOMM. Nella Figura 1 viene schematizzata l'apparecchiatura per il trattamento delle melme.

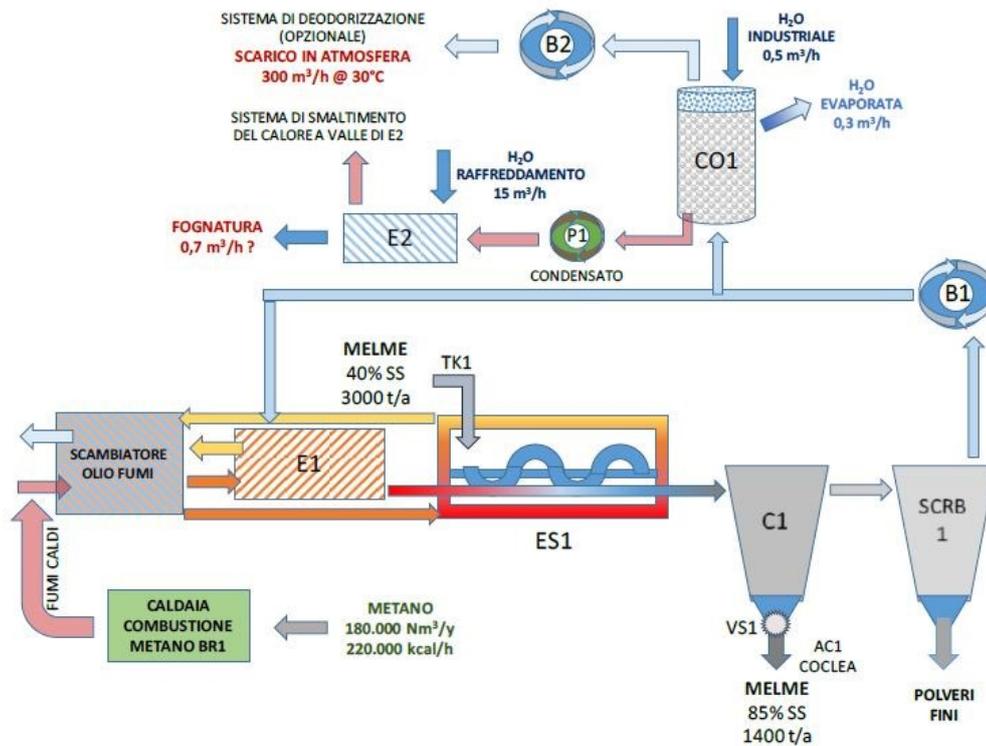


Figura 1. Schema dell'impianto di essiccamento termico fornito dalla VOMM

(Da: "Valutazione economica dell'utilizzo delle melme di verniciatura per la produzione di conglomerato bituminoso (Brevetto BIT 18446)", M. Zanetti, B. Ruffino)

Le condizioni di essiccamento sono ottenute mediante circolazione di un olio diatermico nella camicia riscaldante e per il continuo attraversamento della camera da parte di un flusso di vapore.

Nella Tabella 1 successiva, vengono raccolti tutti i dati relativi al costo annuo di conduzione dell'impianto. Sono stati tenuti in considerazione il costo per l'installazione e quello per la preparazione del sito ad ospitare l'apparecchiatura per calcolare la rata annua di ammortamento. Imponendo un tasso fisso pari al 6% e un tempo di ritorno di 10 anni, è stato calcolato una rata annua di ammortamento di 164,4 k€. A questa somma sono stati aggiunti i costi dovuti alla manutenzione, alla manodopera, all'energia elettrica necessaria e al combustibile.

Tabella 1. Voci di costo che concorrono alla formazione del costo annuo di conduzione dell'impianto

Voce di costo	N° unità necessarie/a	Costo unitario [k€/unità]	Costo totale [k€]
Rata di ammortamento	-	-	164.4
Manutenzione	0.02	1100	22.0
Manodopera	0.25 addetti	36	9.0
Energia elettrica	360000 kWh	0.1	36.0
Metano	180000 Sm ³	0.3	54.0
Totale			285.4

Il costo annuo diviso per la produzione di melme (ipotizzata a 3000 t/a di melme umide) permette di ottenere il costo unitario di trattamento delle melme, ovvero circa 95 €/t.

Calcolo costo unitario di trattamento delle melme di verniciatura – Scenario 2

In questo secondo scenario, invece, si prevede che lo stabilimento si occupi non solo dell'essiccamento della melma, ma anche della miscelazione di quest'ultima con il bitume attraverso l'uso di un mixer (fornito dalla ditta Brillada).

Il volume di acqua presente nelle melme di verniciatura viene ridotto al 15 % grazie al trattamento di essiccazione. Quindi il volume di melme che deve essere trattato per effettuare successivamente la miscelazione si riduce da 3000 t/a a circa 1400 t/a.

Deve essere premesso che il bitume modificato attraverso le melme di verniciatura ha una limitata stabilità di stoccaggio, pertanto il bitume deve essere prodotto immediatamente prima dell'utilizzo per la produzione di conglomerato bituminoso.

La valutazione dei costi è stata eseguita ipotizzando che il bitume prodotto contenga il 10% in peso di melma essiccata.

Con le stesse modalità precedentemente esposte, è stata calcolata la rata annua di ammortamento alla quale sono stati sommati i costi legati alla manutenzione dell'apparecchiatura, alla manodopera, all'energia elettrica necessaria per il funzionamento e al combustibile. Si riportano i dati dovuti a questi costi nella Tabella 2.

Tabella 2. Voci di costo che concorrono alla formazione del costo annuo di conduzione del miscelatore

Voce di costo	N° unità necessarie/a	Costo unitario [k€/unità]	Costo totale [k€]
Rata di ammortamento	-	-	8.07
Manutenzione	50	1.5	75.0
Manodopera	1.0	36	36.0
Energia elettrica	14.0 kWh	1	14
Metano	14.0 Sm ³	1	14
Totale			147.1

Il costo annuo diviso per il volume delle melme destinate alla miscelazione (ridotto a 1400 t/a di melma secca) permette di ottenere un costo unitario di trattamento pari a 104 €/t.

La melma essiccata utilizzata per la parziale sostituzione di bitume ha un valore economico potenziale pari a circa 450 €/t, cioè l'attuale prezzo del bitume. Quindi, in questo caso, l'utilizzo attuale delle melme per la produzione di bitume modificato consentirebbe allo stabilimento di commercializzare il bitume con un prezzo competitivo.

3.4 Vincoli normativi esistenti

Ai sensi del D.lgs. 3 aprile 2006, n. 152 il trattamento delle melme finalizzato alla produzione di bitume modificato si presenta come un'operazione di recupero finalizzata alla cessazione della qualifica di rifiuto.

In particolare, secondo l'articolo 182-ter (introdotto dall'art. 12 del D.lgs. n. 205 del 2010), un rifiuto cessa di essere tale quando è stato sottoposto a un'operazione di recupero (R) e soddisfa determinati criteri nel rispetto delle seguenti condizioni:

- a) la sostanza o l'oggetto è comunemente utilizzato per scopi specifici;
- b) esiste un mercato o una domanda per tale sostanza od oggetto;
- c) la sostanza o l'oggetto soddisfa i requisiti tecnici per gli scopi specifici e rispetta la normativa e gli standard esistenti applicabili ai prodotti;
- d) l'utilizzo della sostanza o dell'oggetto non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o sulla salute umana.

La melma trattata attraverso l'essiccazione, pur subendo una variazione della composizione perdendo parte del contenuto d'acqua ed una riduzione del volume, non perde la sua qualifica di rifiuto perché non rispetta le condizioni di cui all'art. 184-ter punti a e b. Infatti, secondo il punto a la melma dovrebbe essere comunemente utilizzata per la produzione di conglomerato bituminoso e per essa dovrebbe esistere una domanda ed un mercato, come enunciato nel punto b. Tuttavia, la melma allo stato solido secco in base alle analisi eseguite dal Politecnico di Torino ed al test pilota di stesa effettuato, soddisfa i requisiti tecnici per la produzione di conglomerato bituminoso (punto c).

Il soggetto che intende svolgere un'operazione di recupero finalizzata alla cessazione della qualifica di rifiuto deve richiedere un'autorizzazione per effettuare suddetta operazione. A seconda dei casi, tale autorizzazione potrebbe configurarsi come un'autorizzazione in procedura semplificata (ex art. 214,216), un'autorizzazione ordinaria (ex art. 208) oppure un'Autorizzazione Integrata Ambientale.

Nel caso dello *scenario 1*, la cessazione della qualifica di rifiuto avviene al termine della filiera di trattamento, ovvero presso l'impianto di produzione del bitume modificato esterno allo stabilimento. In questo caso, dunque, lo stabilimento che produce ed essicca le melme dovrà richiedere un'autorizzazione per la gestione di un impianto di recupero di un rifiuto che esegue un'operazione R12 ("Scambio di rifiuti per sottoporli ad una delle operazioni indicate da R1 a R11"), essenzialmente finalizzata a una riduzione volumetrica del rifiuto. Nel caso in cui lo stabilimento ricada all'interno dell'Autorizzazione Integrata Ambientale, è sufficiente richiedere una modifica dell'AIA esistente per essere autorizzato all'operazione di recupero (art. 6, comma 14 del D.lgs. 152/06). Lo stabilimento ricade in Autorizzazione Integrata Ambientale se in esso vengono eseguite attività di trattamento di superficie di materie, oggetti o prodotti utilizzando solventi organici, in particolare per apprettare,

stampare, spalmare, sgrassare, impermeabilizzare, incollare, verniciare, pulire o impregnare, con una capacità di consumo di solventi organici superiore a 150 kg all'ora o a 200 Mg all'anno. Dal momento che le melme di verniciatura sono generate all'interno di uno stabilimento che fabbrica autoveicoli, sicuramente lo stabilimento sarà soggetto ad AIA.

D'altra parte, l'impianto esterno che si occuperà della miscelazione delle melme essiccate con il bitume conduce un'operazione di recupero R3 ("Riciclo/Recupero delle sostanze organiche non utilizzate come solventi (comprese le operazioni di compostaggio e altre trasformazioni biologiche)") finalizzata alla cessazione della qualifica di rifiuto. Esso dovrà quindi richiedere un'autorizzazione in procedura semplificata.

Nel caso dello *scenario 2*, la cessazione della qualifica di rifiuto avviene nello stesso stabilimento di generazione delle melme. Quindi, lo stabilimento stesso dovrà richiedere un'autorizzazione per la gestione di un impianto di recupero di rifiuti che esegue un'operazione R3. Come nello scenario precedente, ai sensi dell'art. 6, comma 14 del D.lgs. 152/06, l'attività di recupero dovrà essere autorizzata attraverso una modifica dell'AIA esistente.

In questo ultimo caso, il prodotto che esce dal processo di recupero, ovvero il bitume modificato con melma di verniciatura essiccata, rispetta le condizioni di cui all'articolo 184-ter per la cessazione della qualifica di rifiuto. Infatti il bitume è comunemente utilizzato per la produzione di conglomerato bituminoso (punto a), per esso esistono una domanda ed un mercato (punto b) e, mediante prove di laboratorio e test pilota, è stato dimostrato che il bitume addizionato da melma soddisfa i requisiti tecnici per la produzione di conglomerato bituminoso (punto c) e l'utilizzo di tale bitume non porta a impatti complessivi negativi sull'ambiente o sulla salute umana (punto d).

Capitolo 4 – Produzione e trattamento delle melme di verniciatura negli stabilimenti FCA

La collaborazione nata tra il Dipartimento DIATI del Politecnico di Torino e il gruppo FCA prevede l'individuazione di un miglioramento nella gestione delle melme prodotte nella cabina di verniciatura. Per tale ragione, il gruppo di lavoro del Dipartimento DIATI sta studiando il modo migliore per ottimizzare il processo di disidratazione di tale rifiuto prodotto per poter eventualmente impiegare la soluzione di recupero delle melme di verniciatura proposta all'interno del brevetto BIT 18446.

Dunque, il prossimo passo è quello di conoscere e analizzare la gestione delle melme di verniciatura che attualmente viene condotta all'interno degli stabilimenti FCA. Grazie alla collaborazione del personale degli stabilimenti, è stato possibile effettuare un sopralluogo direttamente alla linea di verniciatura e a quello di trattamento delle melme di verniciatura negli stabilimenti di Mirafiori e Grugliasco. Queste visite sono state fondamentali per avere adeguati chiarimenti sui processi a cui sono soggette le melme di verniciatura prodotte.

4.1 Sopralluogo negli stabilimenti FCA

Prima di poter proporre nuove soluzioni, è fondamentale conoscere e comprendere l'attuale gestione delle melme di verniciatura all'interno degli stabilimenti FCA. Per questo, grazie alla cordiale cooperazione dell'Ing. Alessandro Fiorio, EHS (Environmental, Health and Safety) Manager del gruppo FCA, è stato organizzato un sopralluogo per analizzare nel dettaglio la raccolta e il destino dell'overspray (ovvero le particelle di vernice che non si depositano sulla scocca) presente all'interno delle cabine di verniciatura. La visita agli stabilimenti è stata effettuata nella mattina del 21 novembre 2017 e hanno partecipato la Prof.ssa Mariachiara Zanetti, la Prof.ssa Barbara Ruffino, la Prof.ssa Deborah Panepinto, gli Ing. Isabella Bianco e Moris Fantoni.

All'interno dello stabilimento AGAP di Grugliasco siamo stati accompagnati da Giuliano Savino (PM Specialist). In questo stabilimento vengono assemblati due tipi di autoveicolo: la Maserati Ghibli e la Maserati Quattroporte. Nello stabilimento di Mirafiori, invece, siamo stati accompagnati durante la visita dello stabilimento Mirafiori dall'Ing. Luigi Capella. In questo Plant vengono realizzati la Maserati Levante e l'Alfa Romeo MiTo.

Vengono utilizzati in media circa 5/8 kg di vernice per ciclo durante la verniciatura di una scocca Maserati (dato fornito durante la visita allo stabilimento).

In genere, la portata volumetrica oraria di produzione delle melme di verniciatura è pari a circa 13 kg/h (dato dell'anno 2016 nello stabilimento Avv. Giovanni Agnelli Plant di Grugliasco). Ad oggi la produzione di melme è circa uguale per entrambi gli stabilimenti. Gli stabilimenti sono attivi su due turni giornalieri, mentre durante la notte entrambi gli stabilimenti non sono in produzione e quindi tutte le linee sono ferme.

4.2 Gestione attuale delle melme

Alla luce del sopralluogo, nei paragrafi successivi verrà descritto con più dettaglio il processo di verniciatura e il trattamento delle melme di verniciatura all'interno dello stabilimento di Mirafiori e AGAP.

4.2.1 Processo di verniciatura

AGAP

La scocca prima di entrare nella cabina di verniciatura è soggetta ad una serie di trattamenti, che hanno lo scopo di preparare la superficie della scocca per la verniciatura. Questa fase iniziale comprende i seguenti processi:

- Pre-trattamento, suddiviso nelle seguenti fasi:
 - Presgrassaggio: consiste in un lavaggio per eliminare lo sporco (olio e grasso) derivante dal processo di lastratura;
 - Sgrassaggio: immersione della scocca in una vasca con una soluzione capace di eliminare lo sporco (olio e grasso) derivante dal processo di lastratura;
 - Lavaggio dopo sgrassaggio: immersione della scocca in vasca e lavaggio ad alta pressione tramite ugelli all'entrata e all'uscita della vasca per l'eliminazione dello sporco (olio e grasso) derivante dal processo di lastratura;
 - Attivazione: immersione della scocca in una vasca con una soluzione capace di "attivare" la sua superficie per prepararla a ricevere un uniforme rivestimento fosfatico.
 - Fosfatazione: immersione della scocca in una vasca con una soluzione tale da alterare la superficie del materiale metallico con conseguente creazione di uno strato cristallino protettivo di fosfato, uniforme e compatto;
 - Lavaggio dopo fosfatazione: immersione in vasca della scocca e lavaggio ad alta pressione per eliminare le sostanze in eccesso accumulate sulla scocca durante il processo di fosfatazione;

Capitolo 4 – Produzione e trattamento delle melme di verniciatura negli stabilimenti FCA

- Passivazione: lavaggio effettuato con ugelli ad alta pressione con una soluzione che permette la formazione di un film sottile per riempire eventuali zone non ricoperte durante la fosfatazione;
- Lavaggio finale: immersione della scocca in vasca con una soluzione per eliminare eventuali residui presenti sulla scocca derivanti dal processo di passivazione;
- Cataforesi: immersione della scocca nella vasca di cataforesi in cui il processo avviene per elettrodeposizione di tipo catodico (processo che assicura per lungo tempo un'elevata protezione nei confronti della corrosione e migliora l'adesione della vernice di finitura) e successiva cottura;
- Ultrafiltrato puro: immersione della scocca in una vasca contenente una soluzione tale da permettere l'eliminazione dei residui di schiuma e altre impurità presenti sulla scocca, derivanti dall'immersione in vasca di cataforesi;
- Lavaggio finale: eliminazione dei residui derivanti dai processi precedenti;
- Passaggi finali (cottura ad una temperatura di 150-180° C, revisione e verifica del risultato di cataforesi tramite opera di carteggio a mani, sigillatura bassa ed alta per evitare eventuali infiltrazioni da parte di qualsiasi agente esterno, pulizia degli interni per rimuovere eventuali polveri derivanti dall'opera di carteggiatura).

Terminati questi trattamenti, la scocca entra nella linea in cui viene effettuata la verniciatura. Nella prima parte della fase di verniciatura viene applicata la vernice di Fondo (denominata anche Primer), tramite verniciatura elettrostatica e successiva cottura. In questo caso la vernice utilizzata è a solvente e viene spruzzata da due robot a sette assi, su cui sono state montate delle pistole ad effetto corona, capaci di creare un campo elettrico tra la pistola ed il pezzo.

Tutte le fasi di verniciatura oggi vengono svolte in modo automatico grazie all'utilizzo di robot e il procedimento di apertura delle porte, l'ingresso della scocca nell'area di verniciatura e chiusura delle porte è totalmente meccanizzato. La presenza degli operatori in cabina è ridotta al minimo, solo un paio di persone che si occupano di controllare la qualità della verniciatura e cercano di eliminare eventuali imperfezioni con un carteggio a mano. Questa operazione avviene in un ambiente controllato, in cui le concentrazioni di COV sono al di sotto dei limiti di legge previsti. Inoltre, il personale indossa specifici dispositivi di protezione adatti al tipo di operazione (tuta, mascherina, tappi per le orecchie e occhiali di protezione). Nel caso in cui non sia possibile rimuovere le imperfezioni, le scocche possono essere riciclate e sottoposte nuovamente ai trattamenti precedenti.

Capitolo 4 – Produzione e trattamento delle melme di verniciatura negli stabilimenti FCA

Successivamente la scocca entra in un impianto di aspirazione per eliminare eventuali impurità rimaste e passa all'interno di un impianto di pulizia antistatico per rimuovere gli eventuali residui di polvere dalla superficie della scocca. Per rimuovere la polvere vengono utilizzate delle piume di uccello (Emù).

Successivamente, sulla scocca viene applicata in due passaggi la vernice di Base (basecoat) tramite un processo elettrostatico. Il primo passaggio della vernice di Base viene effettuato con due robot con coppe rotanti ad alta velocità per gli interni. Mentre per gli esterni successivamente vengono utilizzati degli ugelli elettrostatici o anche dette pistole ad effetto corona. Terminata questa fase di verniciatura, la scocca viene ulteriormente revisionata

In seguito, la scocca entra in una zona di appassimento, all'interno della quale la temperatura sale dai 70°C ai 90°C e infine raffreddata per riportare la scocca a una temperatura di 30°C, prima della applicazione dell'ultimo strato di vernice Trasparente. Questa zona di appassimento intermedio è molto importante, perché dopo la vernice di Base ad acqua verrà applicata sulla scocca la vernice Trasparente a base solvente. Quando si passa da una vernice a base acqua ad una a base solvente, è fondamentale che sulla scocca non rimangano gocce d'acqua, perché l'acqua "scoppietta" e sale in superficie creando delle bolle. Dunque, si genererebbero sulla scocca dei crateri, rovinandone la superficie.

L'ultima fase di verniciatura è l'applicazione del Trasparente, che conferisce lucidità e brillantezza alla scocca. La vernice anche in questo caso viene applicata utilizzando i robot con le pistole ad effetto corona.

Infine, la scocca verniciata entra nella zona di cottura finale all'interno di un forno di lunghezza totale di 80 m, di cui 30 m consistono in un appassimento intermedio (con una temperatura di 35/38° C) per evitare shock termici e infine nei restanti 50 m la scocca resta ad una temperatura di 140°C per almeno 20 minuti.

La vernice viene miscelata in una centrale apposita, localizzata all'esterno della cabina di verniciatura. La vernice da qui, attraverso una serie di tubazioni, raggiunge i robot disposti sul lato destro e sinistro della cabina di verniciatura. Per evitare sprechi si studiano dei lotti colore, ovvero si verniciano in sequenza tre o quattro vetture con lo stesso colore. Ad ogni cambio colore i robot si lavano autonomamente e ricaricano la nuova vernice. A fianco della cabina di verniciatura sono presenti due piccole centraline denominate "PIG", che preparano i colori speciali che hanno particolari combinazioni richieste dal cliente.

Capitolo 4 – Produzione e trattamento delle melme di verniciatura negli stabilimenti FCA

All'interno della cabina di verniciatura è presente un'atmosfera controllata con una temperatura di 24°C e un'umidità pari al 50%. Per raccogliere l'overspray in cabina è presente costantemente un flusso dall'alto verso il basso. La velocità dell'aria varia tra 0,3 m/s e 0,5 m/s. Il pavimento della cabina è costituito da una griglia, al di sotto della quale passa un velo d'acqua. Infatti, le particelle di vernice essendo molto leggere vengono catturate dall'aria e si depositano facilmente sulla superficie dell'acqua. L'acqua scorre lungo due scivoli verso il centro della cabina in cui è presente un canale, anche esso in pendenza, che raccoglie l'acqua arricchita di vernice e la convoglia alle vasche presenti nel sotto cabina. L'aria così privata delle particelle di vernice viene catturata da un impianto di estrattori, trattata per eliminare i COV presenti ed immessa in atmosfera. Sono presenti due vasche di sotto cabina per raccogliere l'acqua contenete l'overspray, una per la raccolta di acqua e overspray per le vernici a base acqua e l'altra per quelle a base solvente. Inoltre, è presente una terza vasca di raccolta dell'acqua contenete le polveri provenienti dalla seppiatura (operazione effettuata con un carteggio a mano per eliminare la vernice in eccesso dalla scocca). L'attrezzatura presente in cabina è protetta dall'overspray grazie alla copertura con teli di plastica.

L'acqua utilizzata come velo d'acqua per la raccolta dell'overspray e poi raccolta all'interno delle vasche di sotto cabina è acqua di tipo industriale. Infatti, lo stabilimento AGAP possiede due pozzi dai quali viene prelevata l'acqua necessaria per i processi industriali. Una parte di questa acqua viene trattata con un impianto di osmosi e utilizzata per alcune fasi della verniciatura (lavaggi, fosfatazione e cataforesi) e per la centrale termica dello stabilimento, mentre l'acqua utilizzata nel sotto cabina deriva direttamente dal pozzo.

Nel caso in cui si vuole dare all'autoveicolo un effetto cangiante, con una particolare colorazione capace di cambiare in funzione della quantità della luce solare, occorre applicare alla scocca una vernice tri-strato. Dopo lo Smalto, viene applicato il Trasparente e poi la scocca viene verniciata con un altro strato di Smalto di colore diverso e infine viene ulteriormente applicato uno strato di Trasparente.

Nella successiva Figura 1 viene schematizzato il percorso del flusso d'aria all'interno della cabina di verniciatura. Questa sezione non rappresenta direttamente la cabina di verniciatura dello stabilimento AGAP appena descritto, ma vi assomiglia molto e permette di ottenere un'idea più intuitiva di come la vernice viene raccolta dall'aria e poi trasferita all'acqua presente nel sotto cabina.

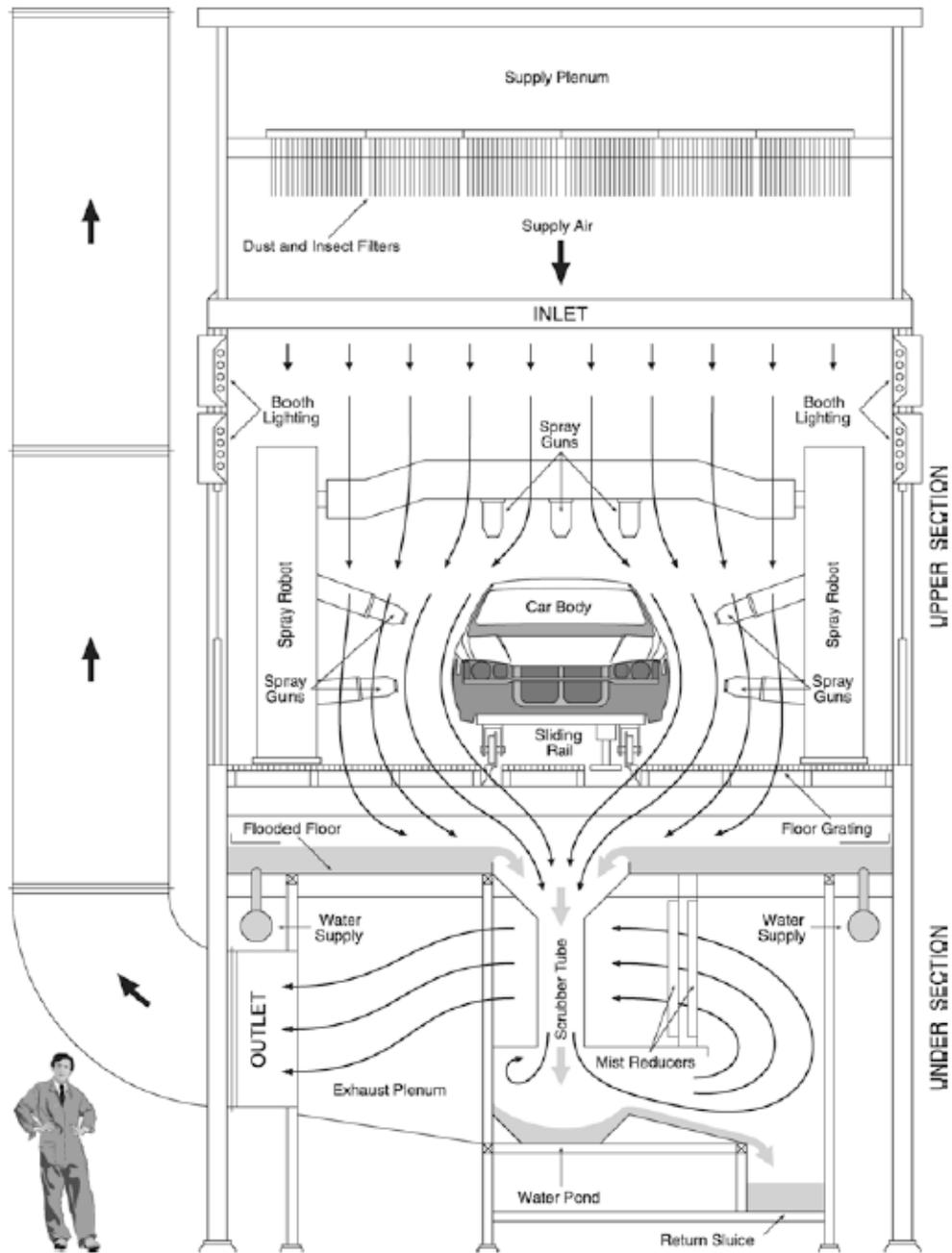


Figura 1. Schema di una sezione verticale di una cabina di verniciatura
(Da: "Chapter 1 Materials: bitumen and paint sludge", Elaborato di Tesi di A. Vercelli)

Mirafiori

Il processo di verniciatura utilizzato in questo impianto è molto simile a quello del Plant AGAP. Anche in questo caso, la verniciatura avviene in più fasi (Fondo, Base e Trasparente). La differenza è che in questo impianto l'unica vernice rimasta a solvente è quella del Trasparente, mentre entrambe le vernici utilizzate per il Fondo e la Base sono ad acqua. Questo perché ad oggi non sono state ancora

trovate soluzioni di vernice ad acqua adeguate e che rispecchino le caratteristiche che deve avere il Trasparente. L'overspray viene sempre raccolto da un flusso d'aria e trasportato al disotto della pavimentazione a griglia della cabina di verniciatura dove è presente un velo d'acqua, che successivamente viene convogliato nelle vasche di sotto cabina.

4.2.2 Impianto di trattamento delle melme

AGAP

Le acque con l'overspray raccolte nelle vasche di sotto cabina vengono inviate successivamente alle vasche dell'impianto di trattamento ESCA (denominazione aziendale del Plant), in cui avviene la separazione dell'acqua e del fango. Le vasche di raccolta dell'acqua proveniente da sotto la cabina di verniciatura sono collocate in un piano inferiore rispetto al piano terra dello stabilimento (in linea d'aria esattamente sotto la linea di verniciatura), mentre le vasche dell'impianto ESCA sono poste a un livello superiore rispetto il piano che ospita la linea di verniciatura. Questa collocazione nasce dalla necessità di ottimizzare i piccoli spazi che dispone questo Plant, molto più limitato rispetto a quello di Mirafiori.

Nelle vasche di sotto cabina è presente molta schiuma, dovuta alla presenza di uno scrubber disposto al di sotto della cabina di verniciatura, nella zona dove viene raccolto il velo d'acqua con l'overspray. Lo scrubber permette di separare meccanicamente l'acqua e l'aria, formando però molta schiuma. Per questo, nelle vasche di sotto cabina vengono aggiunti degli agenti antischiuma che favoriscono la riduzione del volume delle schiume. In particolare, la vasca contenente l'overspray della vernice ad acqua tende ad essere più schiumosa. Come è stato descritto in precedenza, a fianco delle due vasche di sotto cabina per il Fondo, la Base e il Trasparente è presente una terza vasca più piccola di accumulo dell'acqua contaminata dalla presenza di particelle di polvere generate durante l'operazione di seppiatrice della scocca. Poiché tali acque hanno una carica di inquinante molto bassa, esse vengono prelevate direttamente dalla vasca e reintegrate come velo d'acqua in cabina di revisione. Quindi, non subiscono alcun tipo di trattamento. Con periodicità differente per ogni vasca, una volta ogni tot settimane l'acqua di queste vasche viene completamente cambiata con altra acqua pulita proveniente dal pozzo, poiché la carica di inquinante è diventata molto alta. Generalmente, la frequenza di svuotamento delle vasche di sotto cabina è di ogni 8-20 settimane.

Vengono aggiunti all'acqua contenente l'overspray alcuni prodotti chimici di tipo denaturante e de-caratterizzante per favorire il processo di flocculazione. La separazione dell'acqua e del fango avviene all'interno di una vasca dedicata posta successivamente. Questi agenti chimici vengono dosati con delle pompe dosatrici secondo le indicazioni dei fornitori. Alcuni vengono aggiunti direttamente in

Capitolo 4 – Produzione e trattamento delle melme di verniciatura negli stabilimenti FCA

vasca, altri in mandata o nelle tubazioni. Si stanno facendo delle prove per vedere quale sia la soluzione migliore. Le cisterne contenenti gli agenti chimici sono collocate all'interno di un piccolo capannone a piano terra e disposto esternamente rispetto quello contenente la linea di verniciatura. In questo capannone è presente anche un piccolo impianto di aerazione e riscaldamento, che permette di controllare la temperatura al suo interno, dal momento che l'efficienza degli agenti chimici è fortemente influenzata da essa.

L'acqua viene inviata dalla vasca di sotto cabina alle vasche dell'impianto ESCA attraverso una pompa, che è disposta su una zattera galleggiante sostenuta dalla spinta dell'acqua. In questo modo la pompa segue il livello dell'acqua presente nella vasca di sotto cabina, evitando che l'acqua venga prelevata sempre dalla stessa zona.

L'acqua proveniente dalle due vasche di sotto cabina (una per le vernici a base solvente e una per quelle a base acqua) viene inviata a tre vasche differenti. Queste vasche hanno dimensioni minori rispetto a quelle di sotto cabina e in esse avviene l'affioramento dei fiocchi di fango in superficie. L'affioramento dei fiocchi avviene sia naturalmente che grazie all'introduzione in vasca di un flusso d'aria. Installata sui bordi della vasca è presente una pala che rastrema l'intera superficie della vasca e raccoglie i fiocchi di fango spingendoli a un estremo della vasca, dove poi essi cadono in un sacco, simile a un big bag. Dal lato opposto della vasca vi è lo sfioramento dell'acqua privata del fango. Questa acqua viene rinviata alla vasca presente nel sotto cabina e successivamente riutilizzata nel velo d'acqua sotto la pavimentazione grigliata della cabina di verniciatura. Il sacco, invece, una volta che è pieno di fango viene appeso al soffitto con una catena e mantenuto in sospensione per un certo tempo. In questa fase avviene un processo di filtrazione per gravità dell'acqua, che viene anche essa raccolta e recuperata in vasca per ridurre gli sprechi. Quando un big bag è pieno, esso va a sostituire quello appeso, che invece viene spostato e tagliato da un operatore per permettere la caduta del fango filtrato all'interno di un cassone di raccolta, passando attraverso un convogliatore scarica detriti. Vi è un unico cassone per tutte e tre le tipologie di melme. Il momento in cui deve essere effettuato il cambio del sacco pieno di fango è controllato in remoto. Infatti, una volta che il big bag si è riempito, l'impianto si ferma automaticamente e viene inviato un allarme agli operatori presenti nella cabina di verniciatura. Gli operatori vengono quindi avvertiti e raggiungono l'impianto ESCA per rimuovere e cambiare il sacco presente ai piedi della vasca di flocculazione. Il cassone di raccolta delle melme è a cielo aperto ed è protetto dagli agenti atmosferici con una tettoia. Le melme rimangono per un certo tempo all'interno di questo cassone, durante il quale continuano a perdere acqua, che resta intrappolata tra le pareti del cassone, formando una grande pozzanghera.

Capitolo 4 – Produzione e trattamento delle melme di verniciatura negli stabilimenti FCA

È stato testato il recupero dei sacchi usati per la filtrazione dell'acqua dalle melme di verniciatura, ma non sono stati ottenuti risultati soddisfacenti. Infatti, essendo utilizzati con una funzione di filtro, i fori si riempiono irreversibilmente e la loro efficienza viene ridotta. Dunque, una volta tagliato il big bag viene smaltito come rifiuto.

Le vernici a base acqua producono un volume di melme maggiore rispetto a quelle a base solvente, poiché l'efficienza di trasferimento di questo tipo di vernice è più bassa.

Il colore delle melme prodotte dalla vernice di Base è grigio scuro, poiché è generato da una miscelazione di vernici con diversi colori, mentre le melme generate dalla vernice di Fondo e Trasparente presentano un colore più chiaro.

Nella fase di deposito delle melme, lo stabilimento AGAP ha il problema che spesso all'interno delle melme depositate nel cassone si ritrovano sacchetti, guanti di plastica e altri rifiuti non inerenti al procedimento di produzione delle melme. Infatti, può capitare che a un operatore cada qualcosa (per esempio i tappi di protezione per le orecchie) e finisca nel velo d'acqua che scorre sotto la cabina di verniciatura, ma questo avviene molto raramente e inoltre, sono presenti delle griglie filtranti a maglia grossolana per trattenere le cose che cadono per sbaglio ed evitare che esse raggiungano l'impianto.

Mirafiori

Nell'impianto di Mirafiori, il processo di trattamento delle acque contenenti l'overspray è circa lo stesso. L'acqua viene raccolta in tre vasche, poste all'interno di un seminterrato dello stabilimento. Poi l'acqua dalle tre vasche di sotto cabina viene prelevata e inviata a tre differenti vasche di dimensioni inferiori, in cui avviene il processo di flocculazione e l'affioramento dei fiocchi in superficie. Le tre vasche di flocculazione sono disposte all'interno dello stesso ambiente in cui sono presenti le vasche di sotto cabina, ma in un piano superiore rispetto le vasche di sotto cabina. Anche in questo caso, la superficie dell'acqua nella vasca viene rastremata da una pala scremante, che raccoglie il fango prodotto e lo trascina verso un sacco filtrante, posto a un estremo della tramoggia. In questo caso, il sacco è disposto all'interno di un cassone rivestito internamente da una griglia. La melma viene lasciata all'interno del sacco nel cassone per un paio di giorni, permettendo all'acqua di depositarsi per gravità sul fondo del cassone, dove viene poi raccolta e scaricata attraverso una piccola tubazione. Questi cassoni vengono disposti al di sopra delle vasche di sotto cabina, che sono coperte da una pavimentazione a griglia. In questo modo, l'acqua scaricata dalle piccole tubazioni dei cassoni viene recuperata direttamente nelle vasche. Le melme di questo impianto sono caratterizzate dalla presenza di molta più acqua (il personale che ci ha accompagnato durante la visita ha ipotizzato un problema con i dosaggi degli agenti chimici in quel momento, poiché di solito il contenuto d'acqua è elevato, ma

Capitolo 4 – Produzione e trattamento delle melme di verniciatura negli stabilimenti FCA

non quanto era presente durante la nostra visita). L'ambiente destinato ad ospitare questo impianto di trattamento, essendo disposto nel seminterrato dello stabilimento, ha delle piccole dimensioni, il soffitto è molto basso ed è un ambiente rumoroso.

In questo impianto di trattamento delle acque provenienti dalle cabine di verniciatura, gli agenti chimici (denaturanti, de-caratterizzanti e antischiuma) vengono aggiunti direttamente nelle vasche di raccolta di sotto cabina. A fianco dello spazio dedicato ad ospitare le vasche dell'impianto di trattamento, vi è un altro ambiente in cui sono presenti le cisterne contenenti gli agenti chimici, che vengono prelevati con delle pompe dosatrici, secondo le indicazioni dei fornitori, e inviati alle vasche.

Si è notato che nelle vasche di sotto cabina di questo impianto vi era un maggiore volume di schiuma rispetto a quello visto in AGAP. Anche in questo caso, è stato ipotizzato che ciò derivasse da un cattivo funzionamento dell'impianto al momento della nostra visita (dosi dell'agente antischiuma errate).

Dopo qualche giorno, le melme vengono rovesciate all'interno di un cassone impiegato per il loro trasporto all'isola ecologica, dove vi rimangono per un ulteriore tempo disposte sotto una tettoia. In seguito, vengono ulteriormente rovesciate in un cassone più grande, contenente tutti e tre i tipi di melme insieme, e destinate allo smaltimento.

In questo impianto è emersa la problematica riguardante il troppo maneggiamento delle melme, che vengono prese e spostate troppe volte dalla loro produzione al loro stoccaggio finale (questo è in parte dovuto anche alle dimensioni più grandi del Plant).

4.2.3 Smaltimento delle melme

In entrambi gli stabilimenti di Mirafiori e AGAP, le melme vengono conservate all'interno dell'isola ecologica in un cassone scarrabile, idoneo a contenere rifiuti industriali e coperto dagli agenti atmosferici con una tettoia. Le melme prodotte negli stabilimenti FCA sono un rifiuto non pericoloso, quindi possono essere conservate a cielo aperto senza rischi di danni per la salute degli operatori o dell'ambiente. Le melme, infine, vengono inviate ad un inceneritore all'estero.

Molto vicino allo stabilimento di Mirafiori è localizzato il TRM della città di Torino, ma ad oggi non possono essere accettati rifiuti industriali per l'incenerimento.

4.3 Caratterizzazione chimica della melma

Nel mese di maggio 2017 un campione di melma di verniciatura, generata all'interno dello stabilimento AGAP, è stato analizzato in un laboratorio accreditato per l'individuazione della caratterizzazione

Capitolo 4 – Produzione e trattamento delle melme di verniciatura negli stabilimenti FCA

chimico fisica di tale rifiuto. Le analisi chimico fisiche effettuate rilevano che il campione di melma di verniciatura non è esplosivo, né comburente e né infiammabile, inoltre, non vi è liberazione dalla melma di gas a tossicità acuta.

Di seguito, nella Figura 2, viene riportata la tabella con i dati relativi alla caratterizzazione chimico-fisica della melma campionata.

Parametri determinati	Unità di misura	Valore rilevato	Valore Limite	Metodo di prova	Incertezza di misura (k=2, p=95%)	Data Inizio-Fine
Sostanze volatili a 105 °C*	%	49,5	-	UNI EN 12880:2002		30/05/2017-30/05/2017
Residuo a 600 °C*	% (P/P)	10,6	-	UNI 9246:1998		30/05/2017-30/05/2017
Residuo a 550 °C*	% (P/P)	10,6	-	CNR IRSA 2 Q 64 Vol 2 1984		30/05/2017-30/05/2017
Potere calorifico*	cal/g	2.640	-	UNI EN ISO 1716:2005		06/06/2017-06/06/2017
Inflammabilità*	Nessuna	non facilmente infiammabile	-	Metodica A 10 regolamento CEE 92/69		30/05/2017-30/05/2017
pH*	U pH	7,8	-	APAT CNR IRSA 2060 Man 29 2003		12/06/2017-12/06/2017
Digestione metalli (digestione acida eseguita con acido nitrico)	Nessuna	-	-	EPA 3051A 2007		31/05/2017-31/05/2017
Cadmio	% (P/P)	< 0,00500	-	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014		15/06/2017-15/06/2017
Cromo VI*	% (P/P)	< 0,00100	-	CNR IRSA 16 Q 64 Vol 3 1986		14/06/2017-14/06/2017
Cromo totale	% (P/P)	0,0127	-	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014		15/06/2017-15/06/2017
Arsenico	% (P/P)	< 0,00100	-	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014		15/06/2017-15/06/2017
Piombo	% (P/P)	< 0,00500	-	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014		15/06/2017-15/06/2017
Ferro*	% (P/P)	0,0435	-	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014		01/06/2017-01/06/2017
Alluminio*	% (P/P)	1,33	-	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014		01/06/2017-01/06/2017
Manganese*	% (P/P)	< 0,0100	-	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014		01/06/2017-01/06/2017
Nichel	% (P/P)	< 0,00500	-	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014		15/06/2017-15/06/2017
Zinco	% (P/P)	0,00413	-	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014		15/06/2017-15/06/2017
Rame	% (P/P)	0,0111	-	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014		15/06/2017-15/06/2017
Mercurio*	% (P/P)	< 0,00100	-	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014		01/06/2017-01/06/2017

Capitolo 4 – Produzione e trattamento delle melme di verniciatura negli stabilimenti FCA

Fosforo*	% (P/P)	0,0127	-	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014		01/06/2017-01/06/2017
Cloro organico*	mg/kg	250	-	EPA 9056A 2000		16/06/2017-16/06/2017
Cloro totale*	mg/kg	538	-	EPA 9056A 2000		16/06/2017-16/06/2017
Idrocarburi leggeri (5<= C >=10)* (R 50/53)	% (P/P)	0,00940	-	EPA 5021A 2014 + EPA 8015D 2003		29/05/2017-29/05/2017
Idrocarburi 10<C<40 (R 45-65-51/53)	% (P/P)	0,52	-	UNI EN 14039:2005	± 0,14	31/05/2017-31/05/2017
Triclorometano* (R 22-38-40-48/20/22)	% (P/P)	< 0,00500	-	EPA 5021A 2014 + EPA 8260C 2006		23/05/2017-23/05/2017
1,1,1-Tricloroetano*	% (P/P)	< 0,00500	-	EPA 5021A 2014 + EPA 8260C 2006		23/05/2017-23/05/2017
Tetraclorometano*	% (P/P)	< 0,00500	-	EPA 5021A 2014 + EPA 8260C 2006		23/05/2017-23/05/2017
Tricloroetilene* (R 45-36/38-52/53-67-68)	% (P/P)	< 0,00500	-	EPA 5021A 2014 + EPA 8260C 2006		23/05/2017-23/05/2017
Tetracloroetilene* (R 40-51/53)	% (P/P)	< 0,00500	-	EPA 5021A 2014 + EPA 8260C 2006		23/05/2017-23/05/2017
1,3-Butadiene*	% (P/P)	< 0,00500	-	EPA 5021A 2014 + EPA 8260C 2006		23/05/2017-23/05/2017
Benzene*	% (P/P)	< 0,00500	-	EPA 5021A 2014 + EPA 8260C 2006		23/05/2017-23/05/2017
Toluene* (R 11-63-48/20-65-38-67)	% (P/P)	< 0,00500	-	EPA 5021A 2014 + EPA 8260C 2006		23/05/2017-23/05/2017
Etilbenzene*	% (P/P)	< 0,00500	-	EPA 5021 1996 + EPA 8260C 2006		23/05/2017-23/05/2017
Xilene (o-m-p)* (R 10-20/21-38)	% (P/P)	-	-	EPA 5021A 2014 + EPA 8260C 2006		23/05/2017-23/05/2017
Stirene* (R 10-20-36/38)	% (P/P)	< 0,00500	-	EPA 5021A 2014 + EPA 8260C 2006		23/05/2017-23/05/2017
Isopropilbenzene* (R 10-37-51/53-65)	% (P/P)	< 0,00500	-	EPA 5021A 2014 + EPA 8260C 2006		23/05/2017-23/05/2017
Idrocarburi Policiclici Aromatici			-	UNI EN 15527:2008		
Benzo(a)antracene	mg/kg	< 0,100	-	UNI EN 15527:2008		06/06/2017-07/06/2017
Crisene	mg/kg	< 0,100	-	UNI EN 15527:2008		06/06/2017-07/06/2017
Benzo(b)fluorantene	mg/kg	< 0,100	-	UNI EN 15527:2008		06/06/2017-07/06/2017
Benzo(j+k)fluorantene	mg/kg	< 0,100	-	UNI EN 15527:2008		06/06/2017-07/06/2017
Benzo(a)pirene	mg/kg	< 0,100	-	UNI EN 15527:2008		06/06/2017-07/06/2017

Capitolo 4 – Produzione e trattamento delle melme di verniciatura negli stabilimenti FCA

Benzo(e)pirene*	mg/kg	< 0,100	-	UNI EN 15527:2008	06/06/2017-07/06/2017
Dibenzo(a,h)antracene	mg/kg	< 0,100	-	UNI EN 15527:2008	06/06/2017-07/06/2017
Solfati (come SO4)*	mg/kg	189	-	EPA 300.0 1993	16/06/2017-16/06/2017
Nitrati*	mg/kg	< 10,0	-	EPA 300.0 1993	16/06/2017-16/06/2017
HP1 - Esplosivo*	-	NO	- (131)	Calcolo	21/05/2017-03/07/2017
HP2 - Comburente*	-	NO	- (131)	Calcolo	21/05/2017-03/07/2017
HP3 - Infiammabile*	-	NO	- (131)	Calcolo	21/05/2017-03/07/2017
HP4 - Irritante - Irritazione cutanea e lesioni oculari - Eye dam.1 (H318)*	-	-	Max 10 (131)	Calcolo	21/05/2017-03/07/2017
HP4 - Irritante - Irritazione cutanea e lesioni oculari - Skin corr. 1A (H314)*	-	-	Max 1 (131)	Calcolo	21/05/2017-03/07/2017

Figura 2. Tabella riassuntiva con la caratterizzazione chimico-fisica delle melme dello stabilimento AGAP.
(Rapporto di prova fornito dal gruppo FCA)

Capitolo 5 – Valutazione della tecnologia migliore per la disidratazione delle melme di verniciatura

Ricordando l'obiettivo di questo elaborato, ovvero quello di individuare una possibile soluzione per migliorare la disidratazione delle melme di verniciatura, occorre a questo punto determinare quali fra le tecnologie precedentemente individuate potrebbero essere impiegate all'interno di un contesto industriale, in particolare negli stabilimenti di FCA, con cui è nata la collaborazione con il DIATI.

5.1 Considerazioni sull'utilizzo di nuove tecnologie di disidratazione in un contesto industriale

Di seguito, viene riportato un riassunto delle diverse tecnologie che sono state individuate per la disidratazione delle melme di verniciatura e descritte nel Capitolo 2. A questo punto, per ognuna di esse verranno analizzati i pro e i contro per valutare quali tecnologie potranno essere utilizzate vantaggiosamente all'interno di una realtà industriale.

Trattamento termico

- Trattamento termico in forni (a letto fluido, rotanti, riscaldatori ad infrarossi e scambiatori di calore indiretti, etc.)
- Pirolisi
- Pirolisi assistita da microonde
- Trattamento termico e meccanico (CentriDry)

Il trattamento termico presenta dei costi molto elevati, poiché è richiesta una grande quantità di energia. Il grado di disidratazione che si può ottenere attraverso questo tipo di trattamento è comunque molto alto. All'interno di un contesto industriale, il trattamento termico delle melme prodotte nelle cabine di verniciatura non sembra essere indicato, dal momento che il rapporto costi-benefici risulta essere troppo sbilanciato. Infatti, i costi di investimento che l'azienda produttrice del rifiuto avrebbe per l'installazione di un trattamento termico non vengono adeguatamente compensati dal risparmio che si avrebbe generando una melma di verniciatura molto disidratata. Inoltre, non è una scelta adeguata quella di sfruttare la digestione anaerobica per ricavare energia utilizzabile dal rifiuto. Infatti, un materiale per poter essere biodegradato anaerobicamente occorre che abbia un elevato contenuto di sostanza organica e un basso contenuto di acqua. Queste caratteristiche non rispettano quelle del rifiuto in esame, dunque, la produzione di biogas viene compromessa e la digestione anaerobica non risulta conveniente per la produzione di energia. Infine, la tecnologia che

promuove la combinazione del trattamento termico e meccanico non risulta conveniente per la disidratazione delle melme di verniciatura. Essa permette di raggiungere un elevato grado di essiccamento della melma, ma è caratterizzata da una complessa gestione. Infatti, l'introduzione di un trattamento termico fa aumentare i costi energetici necessari e occupa uno spazio maggiore. In particolare, *Centridry*[®] essendo una tecnologia molto articolata, richiederebbe allo stabilimento industriale una spesa maggiore rispetto al guadagno economico che si otterrebbe con il recupero delle melme essiccate. Inoltre, *Centridry*[®] è efficiente per fanghi industriali con un tenore di secco molto basso (circa il 2-7%), che non corrisponde a quello presente nelle melme di verniciatura in esame.

Trattamento meccanico e/o chimico

- Decantazione
- Decantazione + aggiunta di ossido di calcio
- Decantazione + aggiunta di un secondo materiale
- Filtrazione (a pressione, a gravità, a vuoto, nastropresse, etc.)
- Chiariflocculazione
- Centrifugazione
- Membrane
- Macchine a osmosi inversa
- Setacci molecolari

Il trattamento meccanico spazia tra più modalità di disidratazione, permettendo di avere una scelta più ampia e più adeguabile al caso in esame. La decantazione è sicuramente il processo più semplice ed immediato nel caso di una disidratazione, ma non sempre si ottengono risultati di disidratazione soddisfacenti. Per migliorare tale procedimento è stato proposto di aggiungere alla melma l'ossido di calcio e sfruttare il suo processo chimico di solidificazione per aumentare il grado di disidratazione della melma di verniciatura. Il problema è che per ottenere una melma ben essiccata deve essere aggiunto il 10-30% in peso di ossido di calcio alla melma, aumentando così il volume di rifiuto finale. Dunque, questo tipo di trattamento è sconsigliato poiché si avrebbe un volume di materiale maggiore da smaltire e di conseguenza un aumento del costo. Anche nel caso in cui alla melma venga aggiunto un secondo materiale, vergine o riciclato, aumenterebbe il volume di rifiuto da trattare. Quest'ultimo caso, quindi, risulta anche esso un tipo di trattamento non conveniente.

Nel caso della filtrazione esistono diverse soluzioni possibili, come per esempio la filtrazione a gravità, il filtro a maniche, la nastropressa o la filtropressa. In questo tipo di processo bisogna tenere in considerazione che occorre sostituire i tessuti di filtrazione che si otturano gradualmente al passaggio

Capitolo 5 – Valutazione della tecnologia migliore per la disidratazione delle melme di verniciatura

della melma; non è detto che questo avvenga con intervalli di tempo regolari, perché dipende molto dalle caratteristiche delle melme di verniciatura, che possono variare molto. La filtrazione è spesso anticipata da una chiariflocculazione. Il costo principale di queste tecnologie, a parte quello di installazione, è relativo all'acquisto del prodotto flocculante. La resa di disidratazione con queste tecnologie non è molto elevata, ma sono di semplice impiego e comunque funzionali. Il processo può essere migliorato scegliendo gli additivi più adatti al tipo di melma di verniciatura da trattare e modificando i tempi di permanenza del refluo nei reattori-sedimentatori.

La centrifugazione è stata spesso utilizzata come tecnica di disidratazione tra i brevetti presi in esame. Esistono in commercio diverse soluzioni di centrifughe, esse sono caratterizzate da un processo ciclico composto da alimentazione del refluo, centrifugazione e infine scarico. In alcuni casi non hanno una gestione molto facile, infatti occorre temporaneamente fermare il processo di disidratazione per pulire la centrifuga prima di alimentarla con nuova melma di verniciatura.

L'uso delle membrane per la disidratazione delle melme di verniciatura non risulta essere un processo molto adatto, poiché le membrane presenti sul mercato di oggi hanno un costo molto elevato. Infatti, spesso vengono riservate per trattare particolari tipologie di acqua, come la dissalazione di acqua marina o per alcuni scopi farmaceutici. Inoltre, questo processo è fortemente influenzato dalla dimensione delle particelle solide che devono essere trattenute, difatti è tale dimensione che determina la sezione delle cavità della membrana. Il contenuto e le dimensioni delle particelle solide influenzano fortemente l'efficacia del processo: se esse non rimangono pressoché costanti durante il tempo di produzione del rifiuto, vi è il rischio di ostruire la membrana prima del dovuto o al contrario di non riuscire a trattenere le particelle, compromettendo la buona riuscita del processo di filtrazione. Questa tecnologia permette di riguadagnare acqua di buona qualità, il che può essere molto conveniente, poiché essa può essere recuperata all'interno del ciclo produttivo e permettere così un risparmio dei consumi idrici. Nel caso di un utilizzo industriale, sia le membrane che le macchine ad ultrafiltrazione e osmosi inversa risultano eccessive, poiché l'obiettivo è la disidratazione del refluo e non quello di recuperare un'acqua di elevata qualità. Anche questi processi risulterebbero troppo costosi e inadeguati per un impiego a livello industriale nella disidratazione delle melme di verniciatura.

Visti i buoni risultati ottenuti nell'esperimento in cui sono stati utilizzati i setacci molecolari per disidratare le melme di verniciatura, è stata contattata un'azienda italiana che si occupa della produzione e del commercio di quest'ultimi. I tecnici hanno riferito che fino ad oggi i setacci molecolari non sono mai stati utilizzati in questa particolare applicazione, proposta ed utilizzata solamente in un esperimento.

Dopo questa panoramica sulle diverse tecnologie che sono state utilizzate per la disidratazione dei fanghi generati nelle cabine di verniciatura, si può affermare che la scelta più adeguata in un complesso industriale è quella di utilizzare un processo meccanico. Infatti, il trattamento delle melme di verniciatura con un processo termico è ciò che permetterebbe di ottenere il grado di disidratazione della melma più elevato, ma non risulta economicamente sostenibile per l'azienda che lo impiegherebbe. D'altra parte, i setacci molecolari, le membrane, la filtrazione per osmosi e ad ultrasuoni, ad oggi, non risultano impiegabili in un contesto industriale, poiché i volumi in gioco delle melme di verniciatura sono molto elevati e viene data priorità alla semplicità di gestione e di utilizzo della tecnologia.

Nello specifico, tenendo in considerazione le opportunità tecnologiche del trattamento di disidratazione meccanico, il sistema StrizBox e DryBox risultano essere le due tecnologie più vantaggiose. Queste due tecnologie presentano una prospettiva di disidratazione elevata, dal momento che sono due tecnologie innovative e compatte. Un'altra tecnologia che risulta essere conveniente fra quelle precedentemente analizzate è il decanter orizzontale della ditta Flottweg. Poiché questa apparecchiatura ha una buona resa teorica e prevede un consumo minimo di agenti chimici all'interno del fango da disidratare. Inoltre, questa apparecchiatura è già stata applicata presso le grandi case tedesche per la disidratazione delle melme di verniciatura. Nei paragrafi successivi verranno analizzati con maggiore dettaglio i vantaggi che si possono ottenere impiegando queste tre tecnologie nel processo di disidratazione delle melme, approfondendo i loro aspetti tecnici e progettuali e fornendo una prima idea sui costi necessari per il loro allestimento e funzionamento in una realtà industriale.

5.2 Problematiche legate alla disidratazione delle melme e vantaggi delle tecnologie StrizBox, DryBox e Flottweg

Grazie alla visita organizzata all'interno degli stabilimenti di FCA, è stato possibile comprendere quali possono essere le principali problematiche della gestione delle melme di verniciatura all'interno di uno stabilimento industriale che le genera.

Il problema fondamentale è legato alla resa di disidratazione, che è molto bassa. Questo comporta la produzione di un rifiuto ricco d'acqua e quindi difficile da movimentare e gestire il suo smaltimento. Inoltre, la movimentazione del rifiuto avviene specialmente per via manuale. Infatti, il rifiuto post disidratazione viene allontanato dal flottatore e trasportato all'isola ecologica attraverso un operatore.

Capitolo 5 – Valutazione della tecnologia migliore per la disidratazione delle melme di verniciatura

Questo comporta la presenza di un'altra problematica, ovvero quella del maneggiamento di un rifiuto da parte di un operatore. Le melme di verniciatura non risultano un rifiuto pericoloso, però sarebbe sempre più sicuro evitare un contatto diretto tra gli operatori e un rifiuto. In particolare, nello stabilimento in cui la disidratazione avviene attraverso una filtrazione per gravità mediante sospensione del sacco contenente le melme, si ha dunque la presenza di un saccone appeso al soffitto che gocciola acqua. Questo è un elemento di potenziale insicurezza, dal momento che vi è il rischio che il saccone possa rompersi e cadere. Oltre a ciò, se il saccone per caso si rompesse, rischierebbe di schizzare il rifiuto sulle pareti dell'ambiente circostante, sporcandolo. Dunque occorre introdurre una maggiore attenzione alla pulizia e alla sicurezza dell'ambiente di lavoro. Infine, gli ambienti che ospitano le tecnologie di trattamento e disidratazione delle melme di verniciatura sono molto piccoli. Quindi, nel caso in cui si voglia pensare di introdurre una nuova tecnologia di disidratazione bisogna tener presente lo spazio limitato che può ospitare la nuova tecnologia.

Le tecnologie selezionate per migliorare la disidratazione delle melme possono non solo aumentare la resa di disidratazione, ma anche ottimizzare alcuni degli aspetti legati alle problematiche della gestione delle melme di verniciatura sopra elencati.

Per esempio, StrizBox, DryBox e Flottweg sono tutte tecnologie moderne, allineate ad Industria 4.0. Esse sono automatiche e controllabili in remoto, quindi non devono essere presidiate da un operatore. Inoltre, sono sicure poiché la disidratazione delle melme avviene all'interno di un ambiente chiuso e protetto, evitando così la fuoriuscita di materiale verso l'esterno e permettendo di mantenere pulito l'ambiente di lavoro. In particolare, per quanto riguarda StrizBox e DryBox, è possibile creare un interconnessione tra la macchina e l'utente per fornire a quest'ultimo alcuni dati utili, come l'ammontare della produzione e lo scarico di melme di verniciatura disidratate. Questa è un'informazione importante che può favorire una programmazione dello smaltimento in itinere. Tutte e tre le tecnologie hanno un design compatto e un ingombro minimo. Infine, lo StrizBox e il decanter Flottweg possono essere installati in una serie di moduli, in modo tale che se uno di essi avesse bisogno di manutenzione, il trattamento del refluo è garantito dagli altri moduli. Oppure nel caso in cui la produzione in alcuni periodi dell'anno diminuisca, uno o più moduli possono essere fermati. Per tutte e tre le soluzioni tecnologiche proposte il fabbisogno energetico è ridotto e non è necessario un ciclo di lavaggio durante l'operazione. Per quanto riguarda il decanter Flottweg, il suo impiego prevede l'utilizzo di un solo polielettrolita il cui fabbisogno è nettamente ridotto. In più, a differenza di StrizBox e DryBox, il decanter Flottweg non necessita di materiali di consumo come filtri e supporto filtri. Inoltre, queste tecnologie sono progettate tali da garantire una protezione antiusura di lunga durata e

i ricambi sono sostituibili in loco. Occorre ancora notare che per tutte e tre le tecnologie, l'acqua che esce dalla sezione di disidratazione può essere riutilizzata nel processo.

5.3 Approfondimenti sulle tecnologie selezionate

Si considera uno stabilimento teorico con la produzione di melme di circa $2 \text{ m}^3/\text{d}$, questo dato è puramente indicativo, poiché è molto difficile valutare con precisione i volumi prodotti di melme. In particolare, questo dato si riferisce alla produzione di melme a valle della vasca del flottatore. Prendendo in considerazione 220 giorni lavorativi all'anno, la produzione annuale di melme è pari a circa $440 \text{ m}^3/\text{a}$, mentre considerando 1 turno al giorno di 8 h, la produzione oraria di melme è circa $0.25 \text{ m}^3/\text{h}$. Le melme di verniciatura in uscita dal flottatore hanno un tenore di sostanza secca pari a circa il 10%.

Considerando che ogni viaggio di smaltimento può contenere al massimo 20 m^3 di melme disidratate (oppure 28 000 kg), il numero di viaggi necessari per trasportare le melme dopo essere state sottoposte al trattamento di flottazione è:

$$n. \text{ viaggi} = \frac{440 \text{ m}^3/\text{a}}{20 \text{ m}^3} = 22 \text{ viaggi}/\text{a}$$

5.3.1 StrizBox

Descrizione tecnologia

StrizBox è un sistema di disidratazione a pressione. Questi sistemi si impiegano quando i volumi di fango da disidratare sono importanti, quindi sono importanti i costi di gestione per l'allontanamento. È un sistema ottimale perché garantisce un tenore di secco più alto con il minore impiego di risorse umane. StrizBox si sviluppa in tubi verticali e il suo principio di funzionamento è la filtrodinamicità, una tecnica innovativa e rivoluzionaria. La filtrazione dinamica permette, a differenza di quella statica, un'autopulizia della tela filtro, poiché la pressione è esercitata dalla tela verso il refluo. Il pannello mentre è pressato subisce una deformazione e si aprono delle spaccature, attraverso le quali il filtrato trova nuovi canali per la fuoriuscita dell'acqua. A maggiore deformazione del pannello corrisponde maggiore efficacia del sistema.



Figura 1. Schema del ciclo di disidratazione di StrizBox

(Da: Di Leo Vincenzo, Moruzzi Anna, "La Gestione dei Fanghi nel Trattamento delle Acque Reflue", Idee & Prodotti)

Il refluo viene alimentato dall'alto attraverso una valvola di non ritorno, mentre il pannello disidratato viene scaricato dal basso del tubo attraverso un portello. Il refluo mediante una pompa di alimentazione a 1-4 Bar è caricato nel filtro. Le membrane sono 6 di cui 3 di pressurizzazione, le quali hanno un diametro maggiore rispetto alle altre 3 di distacco, che vengono dilatate con aria compressa ad una pressione di 7-8 Bar. La dilatazione delle membrane pressa il fango fino a disidrarlo. Quando si è ottenuto un buon pannello, la membrana torna in posizione di riposo ed ha inizio la fase di distacco e svuotamento. Il portello si apre automaticamente e vengono azionate le membrane per la rottura del pannello disidratato al fine di permettere lo svuotamento. A fine ciclo, il portello si chiude automaticamente e la macchina si predispone a un nuovo ciclo. Il filtrato in uscita è limpido, privo di solidi sospesi. Il refluo alimentato può avere differenti concentrazioni e caratteristiche, da meno dell'1% di solidi sospesi fino al 14-15% di s.s. Nella Figura 2 seguente vengono rappresentate le fasi di processo di un ciclo completo.

Capitolo 5 – Valutazione della tecnologia migliore per la disidratazione delle melme di verniciatura



Figura 2. Rappresentazione delle fasi di un ciclo completo di StrizBox

(Da: Di Leo Vincenzo, Moruzzi Anna, "La Gestione dei Fanghi nel Trattamento delle Acque Reflue", Idee & Prodotti)

È un sistema automatico a ciclo continuo, che garantisce lo svuotamento del pannello disidratato in automatico riducendo l'intervento di personale. La manutenzione ordinaria e straordinaria comprende la sostituzione della tela e membrana filtrante e la rete di drenaggio. La manutenzione può essere eseguita direttamente dall'utente, poiché non è richiesto l'intervento di personale specificatamente qualificato. È un sistema pulito, capace di contenere eventuali fuoriuscite. Il sistema è tale da non imporre il lavaggio della tela filtrante, anche a seguito di filtrate non ottimali dove la tela rimane imbrattata.



Figura 3. Esempi di installazione di due moduli StrizBox in un'industria

(Da: Di Leo Vincenzo, Moruzzi Anna, "La Gestione dei Fanghi nel Trattamento delle Acque Reflue", Idee & Prodotti)

Valutazione dimensionale

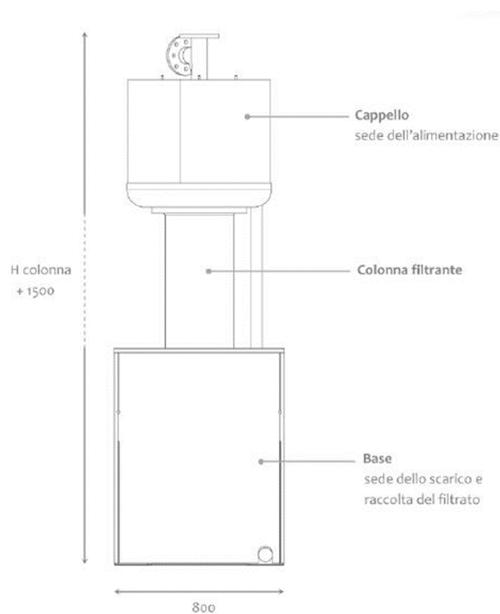


Figura 4. Disegno tecnico del modulo filtrante StrizBox (Immagine presa dalla scheda tecnica di StrizBox, sul sito Idee&Prodotti)

StrizBox è un filtro cilindrico verticale, composto da tre parti: la base, il cilindro filtrante e il collettore di distribuzione. Il cilindro filtrante ha un diametro di 32 centimetri e lunghezza variabile tra i 2 e i 5 metri, è il cuore della tecnologia. La base invece è di forma parallelepipedica e sostiene il cilindro filtrante ed è la sede del portello (apertura-chiusura) per lo scarico del pannello disidratato e la sostituzione del corpo filtrante.

- Colonna con altezza di 2 m.

$$Volume\ StrizBox = 0.16^2 m^2 \cdot \pi \cdot 2m = 0.161\ m^3$$

La ditta Idee e Prodotti ha stimato che ogni ciclo di disidratazione in StrizBox dura circa 2 ore.

$$V_{melme\ trattate/ora} = \frac{0.161\ m^3}{2\ ore} = 0.08\ m^3/h$$

$$n.\ moduli\ StrizBox = \frac{0.25\ m^3/h}{0.08\ m^3/h} = 3.125 \cong 4$$

La produzione di Cake per ogni ciclo è ipotizzata a 0.04 m³ (stima data dall'azienda Idee & Prodotti di StrizBox).

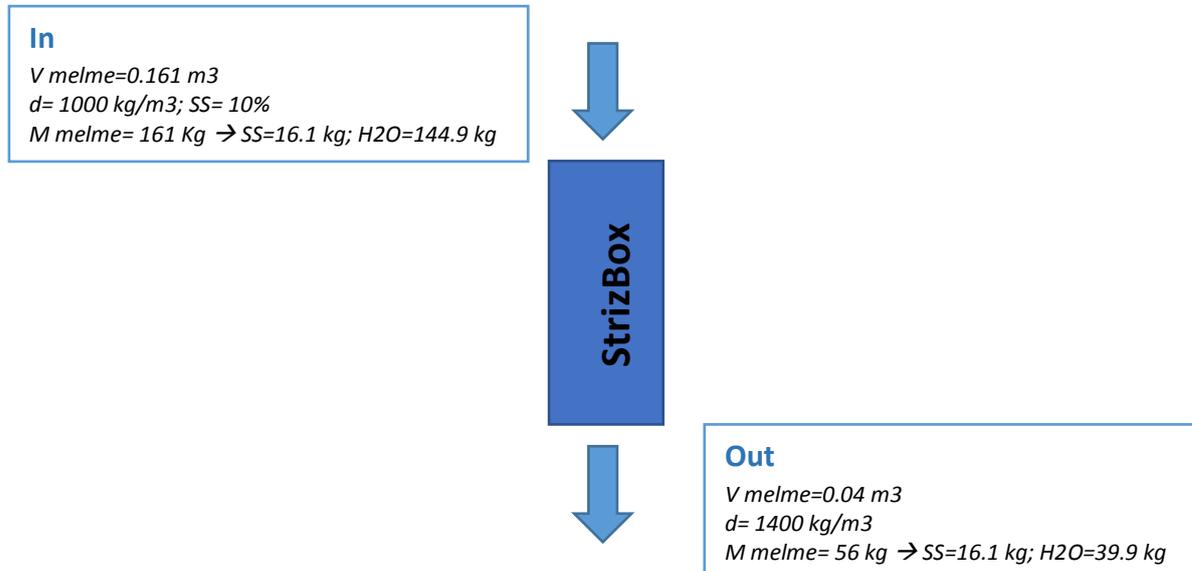
Potendo introdurre 0.161 m³ melme umide in ogni modulo StrizBox, dal momento che ci sono 4 moduli si possono trattare per ogni ciclo 4·0.161 m³=0.644 m³.

$$n.\ \frac{cicli}{d} = \frac{\frac{2m^3}{d}}{0.644\ \frac{m^3}{ciclo}} = 3.1\ \frac{cicli}{d} \rightarrow 4\ cicli/d$$

Capitolo 5 – Valutazione della tecnologia migliore per la disidratazione delle melme di verniciatura

Il numero di cicli che possono essere effettuati in un turno di 4 ore è al massimo di 4, poiché ogni ciclo dura circa 2 h. In questo caso, in un giorno lavorativo si avvieranno 3 cicli con tutti e 4 i moduli StrizBox, mentre durante il quarto ciclo verrà avviato solo 1 modulo StrizBox.

Bilancio di massa:



Possiamo calcolare nel modo seguente il tenore in secco del campione risultante.

$$\text{Tenore in secco} = \frac{16.1 \text{ kg}}{56 \text{ kg}} = 0.3 = 30 \%$$

Mentre calcoliamo la resa di disidratazione con il rapporto della quantità di acqua che è stata rimossa grazie alla disidratazione e la quantità di acqua iniziale presente nelle melme umide.

$$\text{Resa disidratazione} = \frac{(144.9 - 39.9) \text{ kg}}{144.9 \text{ kg}} = 0.72 = 72\%$$

$$\text{Volume cake da smaltire (melme disidratate)} = 0.04 \text{ m}^3 \cdot 4 \text{ moduli} \cdot 3 \text{ cicli/d} = 0.48 \text{ m}^3 / \text{d}$$

- Colonna con altezza di 3 m

$$\text{Volume StrizBox} = 0.16^2 \text{ m}^2 \cdot \pi \cdot 3 \text{ m} = 0.24 \text{ m}^3$$

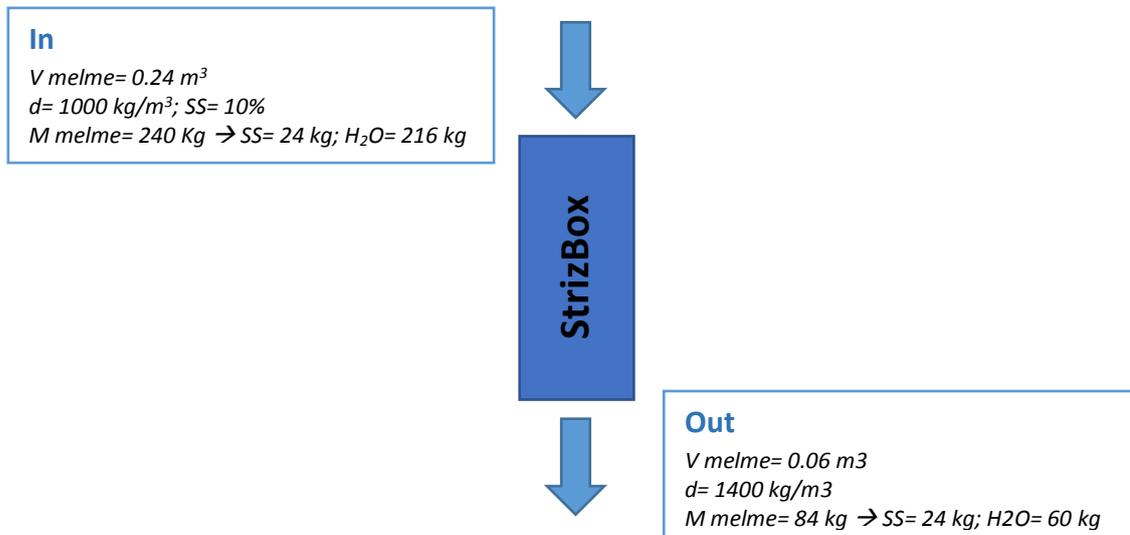
$$\text{V melme trattate/ora} = \frac{0.24 \text{ m}^3}{2 \text{ ore}} = 0.12 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\text{n. moduli StrizBox} = \frac{0.25 \text{ m}^3 / \text{h}}{0.12 \text{ m}^3 / \text{h}} = 2.08 \cong 3$$

La produzione di Cake per ogni ciclo è ipotizzata a 0.06 m^3 (stima data dall'azienda Idee & Prodotti di StrizBox). Potendo introdurre 0.24 m^3 di melme umide in ogni modulo StrizBox, dal momento che ci sono 3 moduli si possono trattare per ogni ciclo $3 \cdot 0.24 \text{ m}^3 = 0.72 \text{ m}^3$ melma.

$$n. \frac{\text{cicli}}{d} = \frac{\frac{2m^3}{d}}{0.72 \frac{m^3}{\text{ciclo}}} = 2.8 \frac{\text{cicli}}{d} \rightarrow 3 \text{ cicli}/d$$

Bilancio di massa:



Possiamo nuovamente calcolare il tenore in secco del campione risultante come segue.

$$\text{Tenore in secco} = \frac{24 \text{ kg}}{84 \text{ kg}} = 0.3 = 30 \%$$

Mentre calcoliamo la resa di disidratazione con il rapporto della quantità di acqua che è stata rimossa grazie alla disidratazione e la quantità di acqua iniziale presente nelle melme umide.

$$\text{Resa di disidratazione} = \frac{(216 - 60) \text{ kg}}{216 \text{ kg}} = 0.72 = 72 \%$$

$$\text{Volume cake da smaltire (melme disidratate)} = 0.06 \text{ m}^3 \cdot 3 \text{ moduli} \cdot 3 \text{ cicli}/d = 0.54 \text{ m}^3 /d$$

Per migliorare la resa di disidratazione, si consiglia di introdurre all'interno del modulo StrizBox il fango che ha già subito una disidratazione intermedia, ovvero una melma con un tenore di secco dell'ordine del 30% raggiunto con una semplice filtrazione a gravità. In questo caso, si proporrebbe però il problema di come alimentare il fango al modulo StrizBox, dal momento che quest'ultimo non è più liquido. Si potrebbe ipotizzare di alimentare il modulo filtrante per mezzo di una coclea.

Valutazione economica

Il costo di un modulo StrizBox previsto è circa 50 k€, compresa l'installazione. La manodopera necessaria in questo caso è minima, poiché StrizBox non deve essere presidiato. L'operatore si deve occupare di avviare la macchina e svuotare il cassone posto al di sotto della tecnologia dalle melme disidratate. Si considera perciò che l'operatore sia impiegato il 25 % del suo turno con la macchina

Capitolo 5 – Valutazione della tecnologia migliore per la disidratazione delle melme di verniciatura

StrizBox. La manutenzione ordinaria consiste nella sostituzione della tela filtrante, della membrana e della rete di drenaggio. Ipotizziamo il costo della manutenzione pari al 2% del costo dell'apparecchiatura (50k€), risulta essere pari a 1 k€ per ogni modulo StrizBox. Gli accessori necessari per il funzionamento sono:

- Compressore con motore 1.5 kW, per gonfiare le membrane della macchina. Costo previsto di 449 €.
- Pompa della ditta Netzsch, modello NM031BY01L06B, 0.8 – 4.5 m³/h, 0.75 kW. Costo previsto di 2 k€.

Per quanto riguarda i costi energetici, Idee & Prodotti ha stimato i volumi di aria compressa ad 8 bar necessari per il gonfiamento della tela filtrante del modulo StrizBox per ogni ciclo. Successivamente, è stato ricercato il costo di 1 m³ di aria compressa a 8 bar che risulta essere pari a circa 0.029 € (Fonte: media dei valori trovati nel documento “La manutenzione per ridurre i costi dell’aria compressa ed incrementare l’efficienza degli impianti”, Guido Belforte, Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale). Quindi sono stati calcolati i seguenti costi.

- Colonna con altezza 2 m

Volume aria compressa= 2.832 m³

$$\text{Costo aria compressa} = 2.832 \text{ m}^3 \cdot \frac{0.029\text{€}}{\text{m}^3} \cdot \frac{3\text{cicli}}{d} \cdot 4 \text{ moduli} = 0.984 \frac{\text{€}}{d} = 216.48 \frac{\text{€}}{a}$$

$$\text{Costo en. pompa} = 0.75 \text{ kW} \cdot \frac{0.12\text{€}}{\text{kWh}} \cdot \frac{8h}{d} \cdot \frac{220 d}{a} = 158.4 \text{ €/a}$$

Rata di ammortamento:

Tasso fisso (i)=6%

Tempo di ritorno (n)=10 anni

$$\begin{aligned} TFC(\text{costo apparecchiatura} + \text{costo preparazione sito}) \\ = 4 \cdot 50 \text{ k€} + 4 \cdot 2 \text{ k€} + 4 \cdot 0.449 \text{ k€} + 10\% \cdot (209.80) \text{ k€} = 230.80 \text{ k€} \end{aligned}$$

$$\text{Rata annua} = TFC \cdot \frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}} = 230.80 \text{ k€} \cdot 0.1359 = 31.36 \text{ k€}$$

Capitolo 5 – Valutazione della tecnologia migliore per la disidratazione delle melme di verniciatura

Tabella 1. Voci di costo che concorrono alla definizione del costo annuo di funzionamento della tecnologia

Voci Costo	N. Unità/A	Costo Unità [€]	Costo Unità/A [K€]
Rata Annuo Di Ammortamento			31.36
Manutenzione	4	1 000	4
Manodopera	0.25	36 000	9
Energia (Aria Compressa, 4 Pompe Di Alimentazione)			0.85
Totale Costo Annuo			45.21

Dividendo il valore del costo annuo previsto dall'impiego della tecnologia StrizBox con una colonna alta 2 m, per la quantità di melme prodotte durante un anno, è possibile calcolare il costo unitario di trattamento delle melme di verniciatura.

$$\text{Costo annuo} = \frac{45\,210 \text{ €/a}}{440 \text{ m}^3/\text{a}} = 102.75 \text{ €/m}^3 = 103 \text{ €/m}^3$$

$$n. \text{ viaggi} = \frac{105.6 \text{ m}^3/\text{a}}{20 \text{ m}^3/\text{viaggio}} = 5.28 \frac{\text{viaggi}}{\text{a}} \rightarrow 6 \text{ viaggi/a}$$

- *Colonna con altezza 3 m*

Volume aria compressa= 4.248 m³

$$\text{Costo aria compressa} = 4.248 \text{ m}^3 \cdot \frac{0.029 \text{ €}}{\text{m}^3} \cdot \frac{3 \text{ cicli}}{d} \cdot 3 \text{ moduli} = 1.109 \frac{\text{€}}{d} = 243.92 \frac{\text{€}}{a}$$

$$\text{Costo en. pompa} = 0.75 \text{ kW} \cdot \frac{0.12 \text{ €}}{\text{kWh}} \cdot \frac{8 \text{ h}}{d} \cdot \frac{220 \text{ d}}{a} = 158.4 \text{ €/a}$$

Con le stesse formule utilizzate nel calcolo precedente, si calcola la rata annua di ammortamento.

$$\begin{aligned} \text{TFC}(\text{costo apparecchiatura} + \text{costo preparazione sito}) \\ = 3 \cdot 50 \text{ k€} + 3 \cdot 2 \text{ k€} + 3 \cdot 0.449 \text{ k€} + 10\% \cdot (157.35) = 173 \text{ k€} \end{aligned}$$

Capitolo 5 – Valutazione della tecnologia migliore per la disidratazione delle melme di verniciatura

$$Rata\ annua = TFC * \frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}} = 173\ k€ \cdot 0.1359 = 23.52\ k€$$

Tabella 2. Voci di costo che concorrono alla definizione del costo annuo di funzionamento della tecnologia

Voci Costo	N. Unità/A	Costo Unità [€]	Costo Unità/A [K€]
Rata Annua Di Ammortamento			23.52
Manutenzione	3	1 000	3
Manodopera	0.25	36 000	9
Energia (Aria Compressa, 4 Pompe Di Alimentazione)			0.72
Totale Costo Annuo			36.24

Dopo aver stimato il costo annuo per la conduzione dell'impianto, si procede a calcolare con le stesse modalità utilizzate in precedenza il costo unitario di trattamento e il numero di viaggi di smaltimento previsti.

$$Costo\ annuo = \frac{36\ 240\ €/a}{440\ m^3/a} = 82.36\ €/m^3 = 83\ €/m^3$$

$$n.\ viaggi = \frac{118.8\ m^3/a}{20m^3/viaggio} = 5.94 \frac{viaggi}{a} \rightarrow 6\ viaggi/a$$

5.3.2 DryBox

Descrizione tecnologia

DryBox è un sistema di disidratazione a gravità. Questi sistemi si impiegano quando i volumi di fango da disidratare non sono molto elevati, perché sono sistemi semplici, privi di parti meccaniche in movimento e hanno costi di investimento contenuti, costi di gestione trascurabili. D'altra parte rispetto ai sistemi a pressione sono meno veloci e hanno un rendimento inferiore in termini di riduzione di volumi.



Figura 5. DryBox 1000

(<https://www.ideeeprodotti.it/ci-occupiamo-di/disidratazione/disidratazione-a-gravita-drybox/drybox1000.aspx>)

L'apparecchiatura DryBox è costituita da un container all'interno del quale è presente un impianto fluidodinamico per disidratare le melme. Questo impianto è costituito da membrane ad ampia espansione, di lunga durata, dilatate con aria compressa a 1.5-2 Bar. Le membrane con la loro azione ON-OFF (gonfio-sgonfio) esercitano un'azione di rottura del pannello di fango, provocando spaccature nel pannello che si sta formando, attraverso le quali il filtrato troverà canali preferenziali per la fuoriuscita dell'acqua attraverso la tela filtro.

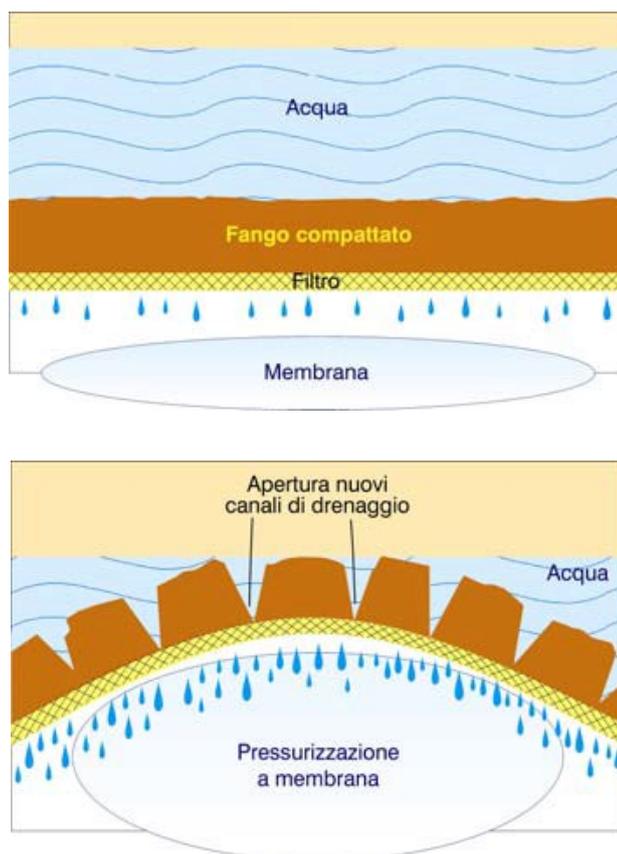


Figura 6. Schematizzazione del funzionamento dell'impianto fluidodinamico di DryBox

(Da: Di Leo Vincenzo, Moruzzi Anna, "La Gestione dei Fanghi nel Trattamento delle Acque Reflue", Idee & Prodotti)

L'impiego dell'impianto fluidodinamico favorisce la filtrazione, in quanto evita l'intasamento della tela e garantisce una maggiore disidratazione in minor tempo.

Le melme vengono introdotte nello DryBox con una pompa a bassa pressione, dove all'interno dell'apparecchiatura è presente un saccone fatto con un particolare materiale filtrante. Lo DryBox, quindi, viene messo in funzione e inizia la disidratazione. Alla fine del turno di lavoro, l'apparecchiatura viene spenta e si lasciano le melme all'interno del saccone ancora per tutta la durata della notte, sfruttando l'evaporazione naturale dell'acqua. Il mattino seguente, il sacco con le melme disidratate viene sollevato dallo DryBox con l'impiego di un semplice muletto e trasportato all'isola ecologica. Viene inserito nello DryBox un nuovo saccone filtrante e l'apparecchiatura è pronta per un nuovo ciclo di disidratazione.

Valutazione dimensionale

La capacità di questo DryBox è di 1000 litri, quindi sono necessari 2 moduli DryBox per trattare 2 m³/d di melme, ovvero 2 000 kg/d (densità= 1000 kg/m³). Si può ipotizzare di riempire il primo modulo e

Capitolo 5 – Valutazione della tecnologia migliore per la disidratazione delle melme di verniciatura

quando esso è pieno, viene disposto un nuovo modulo DryBox, ricominciando a riempirlo. Riempiti entrambi i moduli a fine giornata, essi vengono spenti e si lascia riposare la melma per tutta la notte. In questo modo, si ha ulteriore evaporazione dell'acqua naturalmente. Sono quindi necessari 2 sacconi filtranti/giorno.



Tenendo in considerazione che le melme all'uscita del flottatore possiedono un tenore di secco pari a 10%, si calcola

$$SS = 10\% \cdot 2000 \frac{kg}{d} = 200 \text{ kg/d}$$

Idee & Prodotti di DryBox stima che il peso di melme disidratate in uscita dalla tecnologia sia pari a 4/5 volte la massa dei SS presenti all'ingresso.

$$\text{Melme disidratate} = 200 \text{ kg/d} \cdot 5 = 1000 \text{ kg/d}$$

Si calcola ora il tenore in secco delle melme disidratate con DryBox.

$$\text{Tenore in secco} = \frac{200 \text{ kgSS}}{1000 \text{ kg}} = 0.2 = 20\%$$

$$\text{Resa disidratazione} = \frac{\Delta \text{acqua}}{\text{acqua in}} = \frac{(1800 - 800) \text{ kg}}{1800} = 0.55 = 55\%$$

La presenza dei due moduli non favorisce la disidratazione, perché la movimentazione del fango all'interno di DryBox diminuisce man mano che il modulo si riempie con il fango. In questo caso, i moduli verrebbero riempiti completamente durante la giornata. Inoltre, l'utilizzo di due DryBox ha un'incidenza sulla manodopera perché ogni giorno è necessario che l'operatore tolga i sacchi ad inizio giornata con le melme disidratate durante la notte, sistemi i nuovi sacchi e sposti i moduli DryBox una volta riempiti. In questo caso non vi è alcun sovradimensionamento, se durante una giornata di lavoro la produzione di melme è maggiore di 2 m³ non vi è possibilità di disidrarla efficacemente, sarebbe necessaria la presenza di un terzo modulo a disposizione. Idee & Prodotti consiglia quando il volume di melme supera i 1000 kg/d l'impiego di un DryBox container da 20 m³.

Valutazione economica

Il costo previsto per ogni modulo DryBox 1000 è quello di circa 15-18 k€, si considera dunque il valore medio di 16.5 k€. Il costo del saccone filtrante necessario è pari a circa 30 €. Gli accessori necessari per il funzionamento della tecnologia sono:

- Compressore con motore 1.5 kW, per l'alimentazione di aria compressa alle membrane di espansione. Costo previsto di 449 €.
- Pompa della ditta Netzsch, modello NM031BY01L06B, 0.8 – 4.5 m³/h, 0.75 kW. Costo previsto di 2 k€.

La manodopera necessaria è di 1 operatore/giorno impiegato alla macchina circa 4h/turno. Costo = 0.5 · 36 k€/a = 18 k€/a. La manutenzione ordinaria è molto semplice, dal momento che non sono presenti parti metalliche che si usurano, prevede solo la pulitura di alcune parti metalliche. Si stima che la manutenzione sia circa il 5% del costo di investimento. Il costo dell'energia per questa tecnologia è irrisorio, è necessaria energia solo per alimentare pompa e compressore. Il costo energia è stimato a 0.12 €/kW.

$$\text{Costo en. compressore} = 1.5 \text{ kW} \cdot \frac{0.12\text{€}}{\text{kWh}} \cdot \frac{8\text{h}}{\text{d}} \cdot \frac{220 \text{ d}}{\text{a}} = 316.8 \text{ €/a}$$

$$\text{Costo en. pompa} = 0.75 \text{ kW} \cdot \frac{0.12\text{€}}{\text{kWh}} \cdot \frac{8\text{h}}{\text{d}} \cdot \frac{220 \text{ d}}{\text{a}} = 158.4 \text{ €/a}$$

Rata di ammortamento:

Tasso fisso (i)=6%

Tempo di ritorno (n)=10 anni

$$\begin{aligned} TFC(\text{costo apparecchiatura} + \text{costo preparazione sito}) \\ = 2 \cdot 16.5 \text{ k€} + 1 \cdot 2 \text{ k€} + 2 \cdot 0.449 \text{ k€} + 10\% \cdot (33 + 2 + 0.898) \text{ k€} \\ = (35.90 + 3.59) \text{ k€} = 39.50 \text{ k€} \end{aligned}$$

$$\text{Rata annua} = TFC \cdot \frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}} = 39.50 \text{ k€} \cdot 0.1359 = 5.37 \text{ k€}$$

Capitolo 5 – Valutazione della tecnologia migliore per la disidratazione delle melme di verniciatura

Tabella 3. Voci di costo che concorrono alla definizione del costo annuo di funzionamento della tecnologia

Voci Costo	N. Unità/A	Costo Unità [€]	Costo Unità/A [K€]
Rata Annua Di Ammortamento			5.37
Sacconi	440	30	13.2
Manutenzione	0.05	16 500	0.825
Manodopera	0.5	36 000	18
Energia Elettrica (2 Compressori E 1 Pompa)			0.79
Totale Costo Annuo			38.185

$$\text{Costo annuo} = \frac{38\,185 \text{ €/a}}{440 \text{ m}^3/\text{a}} = 86.78 \text{ €/m}^3 = 87 \text{ €/m}^3$$

Ipotizzando inoltre, che il camion per lo smaltimento sia tale da poter trasportare 28 000 kg di rifiuto, nel caso di DryBox il numero di viaggio per le melme di disidratazione si ridurrebbe a 8 viaggi.

$$n. \text{ viaggi} = \frac{220\,000 \text{ kg/a}}{28\,000 \text{ kg/viaggio}} = 7.85 \frac{\text{viaggi}}{\text{a}} \rightarrow 8 \text{ viaggi/a}$$

5.3.3 Decanter Flottweg

Descrizione tecnologia

Il decanter è un sistema chiuso, che permette di separare il solido sospeso per mezzo della forza centrifuga in continuo. È una tecnologia che può funzionare senza sorveglianza. Il decanter è costruito con l'utilizzo di acciaio inossidabile di elevato livello qualitativo, dove le parti della macchina sono in contatto con il prodotto. Tutte le principali parti strutturali sono, inoltre, dotate di validi sistemi di protezione contro l'usura. Viene indicata una durata in servizio della tecnologia di almeno 20 anni con costi minimi di manutenzione.



Figura 7. Immagine di un decanter Flottweg

(https://www.flottweg.com/fileadmin/user_upload/data/pdf-downloads/Zentrifugen-Technik-EN.pdf)

Nella Brochure 2017, fornita dalla ditta Flottweg, si legge che il decanter può essere paragonato ad un bacino di decantazione che si avvolge intorno ad un asse. Nel bacino di decantazione le particelle solide, che sono più pesanti del liquido, si depositano per effetto della forza di gravità e formano sul fondo uno strato sedimentato. Nel tamburo rotante del decanter le particelle solide si spostano verso la periferia del tamburo per effetto della forza centrifuga e formano uno strato di sedimento sulla parete interna del tamburo. Dato che la forza centrifuga del decanter è circa 3000xg invece di 1xg che si troverebbe nel bacino di decantazione, la separazione delle particelle solide dal liquido diventa molto più efficace.

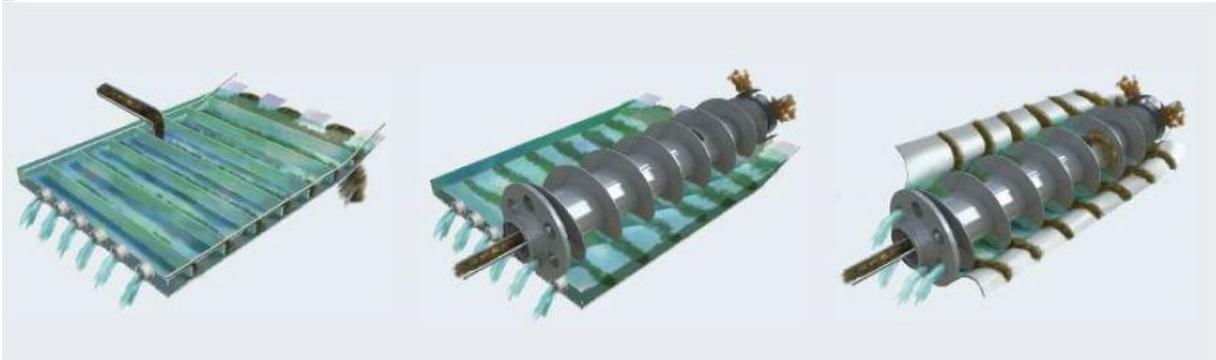


Figura 8. Schematizzazione del concetto di paragonare il decanter a un bacino di decantazione avvolto attorno ad un asse

(Da Brochure Decanter Flottweg 2017)

Il tamburo del decanter è di forma cilindrica-conica e ruota ad alta velocità, generando la forza centrifuga necessaria per la separazione. La coclea ruota a bassa velocità differenziale rispetto al tamburo. Il fango da separare viene immesso nel tamburo attraverso un tubo di alimentazione fisso, per passare poi alla zona di separazione attraverso le aperture di alimentazione sul corpo della coclea. Il sedimento, infine, viene raschiato dalle pareti del tamburo dalla coclea e inviato alla zona di raccolta all'estremità conica della macchina. Il liquido separato invece fluisce verso l'estremità cilindrica del tamburo, dove viene scaricato per gravità attraverso le piastre di trascinamento.

Generalmente, in un sistema in cui viene impiegato un decanter Flottweg i fanghi di verniciatura vengono raccolti in delle vasche agitate, dalle quali viene scaricato dal fondo il fango ed inviato al decanter. Nella Figura 9 è rappresentato uno schema di utilizzo del decanter per la disidratazione delle melme originate dai processi di verniciatura delle scocche di autoveicoli.

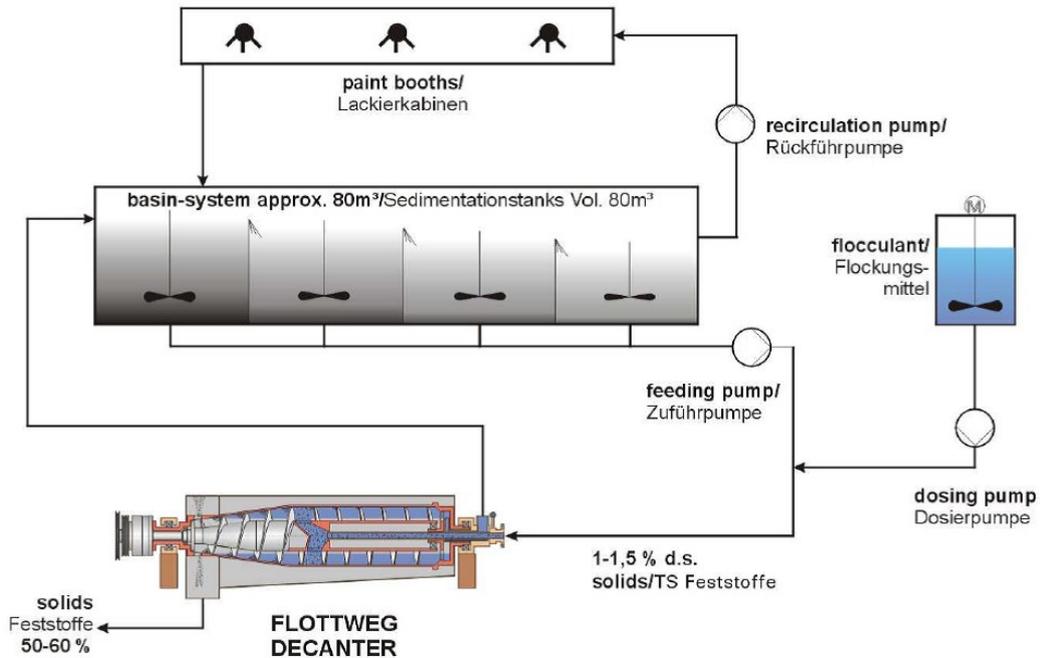


Figura 9. Layout indicativo di un sistema con l'introduzione di un decanter Flottweg per la disidratazione dei fanghi di verniciatura. (Immagine fornita dall'Ing. Daniele Bruschi di Flottweg)

Come si può notare nella Figura 9, è necessario introdurre nel fango un polimero per consentire di creare dei fiocchi, ovvero degli agglomerati di solidi sospesi, aumentando così il loro peso e la loro dimensione. Questo processo è molto importante per la separazione per mezzo della forza centrifuga. Sono state effettuate prove diverse per valutare la condizione ottimale di aggiunta del polimero: nel caso in cui il polimero è stato aggiunto nella vasca di omogeneizzazione sono stati ottenuti risultati di disidratazione inferiori rispetto a quando il polimero è stato aggiunto direttamente in macchina. Aggiungendo il polimero direttamente in macchina sono stati ottenuti campioni disidratati con un tenore in secco superiore al 45%.

Modificando le velocità, i diametri degli stramazzi del liquido, le velocità differenziali e il polimero è stata raggiunta la soluzione ottimale finale che ha permesso il raggiungimento del 49% in peso di sostanza disidratata. Con un'altra prova effettuata con dei fanghi simili a quelli impiegati nella prova precedente si è arrivati vicino al 70% in peso di sostanza disidratata. Queste prove dimostrano la versatilità e l'adattabilità dei sistemi Flottweg, infatti uno studio adeguato al caso sui parametri in gioco nel decanter permette di raggiungere elevati risultati di disidratazione. Nella Figura 10 e successive sono presenti delle fotografie del decanter Flottweg. Nella è fotografato il prodotto (melme) prima e durante lo svolgimento delle prove. Nella Figura 11 invece è presente una unità per fare le prove e i test pilota. In questo caso i motori idraulici sono posti su una piattaforma parallela, si vede inoltre

Capitolo 5 – Valutazione della tecnologia migliore per la disidratazione delle melme di verniciatura

l'unità di preparazione del polielettrolita e la centralina di comando. Nel carrello in primo piano ci sono le pompe di alimentazione, sia quella del prodotto (melma) che quella del polimero.



Figura 10. Fotografia del prodotto prima e durante una prova con decanter Flottweg. (Immagine fornita dall'Ing. Daniele Bruschi di Flottweg)



Figura 11. Unità di prova di un decanter Flottweg, modello Z23. ((Immagine fornita dall'Ing. Daniele Bruschi di Flottweg)

Valutazione dimensionale

Tenendo in considerazione la portata ipotizzata di $2 \text{ m}^3/\text{d}$, ovvero di $0.25 \text{ m}^3/\text{h}$, il modello di decanter consigliato dalla ditta Flottweg è Z23-4/401. Questo modello ha l'uscita del liquido chiarificato in pressione a circa 2 bar.



Figura 12. Decanter Flottweg installato con tutti i componenti ausiliari necessari (Immagine fornita dall'Ing. Daniele Bruschi di Flottweg)

Dati tecnici del modello Z23-4/401:

- Diametro tamburo: 228 mm
- Rapporto Diametro/Lunghezza: 1: 4
- Angolo cono 8°
- Dimensioni (lungh./largh./alt.): circa 2.500/820/710 mm
- Peso: circa 1.200 kg
- Max. accelerazione: 4.590 g
- Velocità tamburo: 6000 giri/min (variabile)
- Velocità differenziale: 1 – 30 giri/min (variabile)
- Max. momento torcente: 1.250 Nm
- Rumorosità: $\leq 80 \text{ dB(A)}$

Questa macchina ha una portata massima di $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$, valutando le portate la macchina è sovradimensionata, ma bisogna tenere in considerazione che la portata è un dato impreciso e soltanto di riferimento. La resa di disidratazione dipende esclusivamente dalle caratteristiche del fango. È possibile dare una stima solo dopo aver fatto un'analisi con un campione di melma di verniciatura. La disidratazione delle melme con il decanter permette di ottenere in uscita dalla macchina un fango con un tenore di secco che varia normalmente tra il 30% e 50%; questo valore dipende principalmente dal tipo di fango, dalle condizioni di lavoro della tecnologia e dal tipo di polielettrolita impiegato. Tutte queste condizioni possono variare in funzione del caso, si fanno dei test iniziali per individuare la

Capitolo 5 – Valutazione della tecnologia migliore per la disidratazione delle melme di verniciatura

condizione ottimale. Si ipotizza una disidratazione pari al 40%, un valore medio delle disidratazioni ottenute con i test effettuati in precedenza con altri tipi di melme. Inoltre, si ipotizza che il fango in entrata nel decanter abbia un tenore di secco dell'ordine del 10%. L'Ing. Daniele Bruschi, della ditta Flottweg, mi ha fornito un foglio di calcolo con il bilancio di massa previsto per una apparecchiatura di separazione a due fasi.

Nel decanter è previsto l'utilizzo di un polielettrolita. La sostanza polielettrolita viene miscelata con acqua ed aggiunta con queste quantità: circa 60 l/h per ogni m³/h di melma da trattare.

$$\text{Soluzione di polielettrolita} = 0.25 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 60 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 15 \text{ kg/h}$$

Si considera che ci sarà del solido che rimarrà nell'acqua chiarificata in uscita, che dovrà essere inferiore all' 1%.

Product	feed	[kg/h]	250.0
	water content	[wt.%]	90.00
	solids content	[wt.%]	10.00
100.00			
feed (total)	water content	[wt.%]	90.57
	solids content	[wt.%]	9.43
100.00			
solids discharge	water content	[wt.%]	60.00
	solids content	[wt.%]	40.00
100.00			
outlet	water content	[wt.%]	99.00
	solids content	[wt.%]	1.00
100.00			
feed (water)		[kg/h]	15.0
feed (total)		[kg/h]	265.0
amount of water		[kg/h]	240.0
amount of solids		[kg/h]	25.0
solids discharge		[kg/h]	57.3
amount of water		[kg/h]	34.4
amount of solids		[kg/h]	22.9
outlet		[kg/h]	207.7
amount of water		[kg/h]	205.6
amount of solids		[kg/h]	2.1
solids recovery		[%]	92.3

Figura 13. Bilancio di massa effettuato con il foglio di calcolo fornito dall'azienda Flottweg

Utilizzando questo bilancio di massa, la quantità di sostanza secca in uscita dal decanter Flottweg è pari a circa 57.3 kg/h, come si legge dalla Figura 13.

$$\text{Melme disidratate} = 57.3 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 8 \frac{\text{h}}{\text{d}} \cdot \frac{220 \text{ d}}{\text{a}} = 100\,848 \text{ kg/a}$$

Valutazione economica

Il costo previsto per il Decanter Flottweg (modello Z2E – 4/401) è di 102.5 k€, considerando anche il trasporto e l'avviamento. Per calcolare il costo della manodopera si ipotizza un costo del personale

Capitolo 5 – Valutazione della tecnologia migliore per la disidratazione delle melme di verniciatura

pari a 27 €/h e il personale è impiegato sulla macchina per 2h/turno; si calcola così il costo di manodopera annuo come

$$\text{Costo manodopera} = 27 \frac{\text{€}}{\text{h}} \cdot 2 \frac{\text{h}}{\text{turno}} \cdot 1 \frac{\text{turno}}{\text{d}} \cdot 220 \frac{\text{d}}{\text{a}} = 11.88 \text{ k€}$$

Mentre la manutenzione ordinaria è stimata dalla azienda a 7 k€/a. L'installazione completa dell'apparecchiatura prevede:

- Il decanter è costituito da tamburo e coclea, che hanno due motori elettrici differenti: primo ha un motore di 11 kW, mentre il secondo di 4 kW;
- Pompa per l'alimentazione del fango, modello Netzsch NM031BY01L06B, 0,8 - 4,5 m³/h, 0,75 kW. Costo 2 k€;
- Pompa alimentazione polimero, modello NM011BY02S12B, 17 – 135 l/h, 0,37 kW. Costo 1.6 k€;
- Vasca polipreparato Volume Vasca 500 L, costo 9 k€.

Il costo previsto per l'installazione è pari a 30.000 €, comprensivo di manodopera e di tubazioni.

Rata di ammortamento:

Tasso fisso (i)=6%

Tempo di ritorno (n)=10 anni

$$\begin{aligned} TFC(\text{costo apparecchiatura} + \text{costo preparazione sito}) \\ = 102.5 \text{ k€} + 2 \text{ k€} + 1.6 \text{ k€} + 9 \text{ k€} + 30 \text{ k€} + 10\% \cdot (115.1) \text{ k€} = 156.61 \text{ k€} \end{aligned}$$

$$\text{Rata annua} = TFC \cdot \frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}} = 156.61 \text{ k€} \cdot 0.1359 = 21.28 \text{ k€}$$

Ipotizzando un costo del polielettrolita di 3 €/kg (il costo dipende dal tipo di polielettrolita, può variare da 2.6 a 3.50 €/kg), un consumo di polielettrolita pari a 12 kg/t di solidi disciolti e la percentuale di solidi presenti nelle melme da disidratare pari al 20%, il consumo medio di polielettrolita è

$$\text{Quantità solidi nelle melme} = 250 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 0.2 \cdot 8 \frac{\text{h}}{\text{d}} \cdot 220 \frac{\text{d}}{\text{a}} = 88\,000 \frac{\text{kg}}{\text{a}} = 88 \frac{\text{ton}}{\text{a}}$$

$$\text{Costo polielettrolita} = 88 \frac{\text{ton}}{\text{a}} \cdot 12 \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \cdot \frac{3\text{€}}{\text{kg}} = 3.168 \text{ k€}$$

Si ipotizza, inoltre, un costo dell'acqua tecnica pari a 0.30 €/m³, una quantità di acqua usata per la soluzione polielettrolita pari a 2 m³/h, un consumo di acqua usata per il lavaggio della macchina a fine ciclo pari a 0.19 m³/d.

Capitolo 5 – Valutazione della tecnologia migliore per la disidratazione delle melme di verniciatura

$$\text{Costi medio dell'acqua} = \left(0.19 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} + 2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{8 \text{ h}}{\text{d}} \right) \cdot \frac{220 \text{ d}}{\text{a}} \cdot 0.3 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 1.068 \text{ k€}$$

Per quanto riguarda i costi dell'energia elettrica, occorre tenere in conto che la macchina impiegata ha una portata superiore rispetto a quella della produzione di melme (0.5 m³/h a fronte di 0.25 m³/h di melme generate). Per questo, nel calcolo energetico per il tamburo e la coclea si ipotizza un consumo elettrico effettivo pari al 60%.

$$\text{Costo en. tamburo} = 11 \text{ kW} \cdot \frac{0.12\text{€}}{\text{kWh}} \cdot \frac{8 \text{ h}}{\text{d}} \cdot \frac{220 \text{ d}}{\text{a}} \cdot 0.6 = 1.394 \text{ k€/a}$$

$$\text{Costo en. coclea} = 4 \text{ kW} \cdot \frac{0.12\text{€}}{\text{kWh}} \cdot \frac{8 \text{ h}}{\text{d}} \cdot \frac{220 \text{ d}}{\text{a}} \cdot 0.6 = 0.507 \text{ k€/a}$$

$$\text{Costo en. pompa_fango} = 0.75 \text{ kW} \cdot \frac{0.12\text{€}}{\text{kWh}} \cdot \frac{8 \text{ h}}{\text{d}} \cdot \frac{220 \text{ d}}{\text{a}} = 0.158 \text{ €/a}$$

$$\text{Costo en. pompa_polimero} = 0.37 \text{ kW} \cdot \frac{0.12\text{€}}{\text{kWh}} \cdot \frac{8 \text{ h}}{\text{d}} \cdot \frac{220 \text{ d}}{\text{a}} = 0.078 \text{ €/a}$$

Tabella 4. Voci di costo che concorrono alla definizione del costo annuo di funzionamento della tecnologia

Voci costo	N. Unità/A	Costo Unità [€]	Costo Unità/A [K€]
Rata Annua di Ammortamento			21.28
Manutenzione	1	7 000	7
Manodopera	0.25	47 520	11.88
Acqua			1.068
Polielettrolita			3.168
Energia (Aria Compressa, 4 Pompe di Alimentazione)			2.137
Totale Costo Annuo			46.533

$$\text{Costo annuo} = \frac{46\,533 \text{ €/a}}{440 \text{ m}^3/\text{a}} = 105.76 \text{ €/m}^3 = 106 \text{ €/m}^3$$

$$n. \text{ viaggi} = \frac{100\,848 \text{ kg/a}}{28\,000 \text{ kg/viaggio}} = 3.6 \frac{\text{viaggi}}{\text{a}} \rightarrow 4 \text{ viaggi/a}$$

5.4 Riassunto dei risultati e commenti

Nella Tabella 5 che segue sono riportati i valori ottenuti nella elaborazione precedente per le tecnologie prese in considerazione. Per ogni tecnologia è stata stimata la resa di disidratazione, il costo previsto per il trattamento di un m³ di melma umida e infine il numero di viaggi che sarebbero necessari per smaltire le melme in uscita dalla tecnologia.

Tabella 5. Risultati della valutazione economica effettuata sulle tecnologie StrizBox, DryBox e Flottweg

Tecnologia	Tenore in secco nella melma disidratata	Costo unitario di trattamento [€/m ³]	Numero viaggi di smaltimento all'anno
DryBox	20%	87	8
StrizBox (colonna 2 m)	30%	103	6
StrizBox (colonna 3 m)	30%	83	6
Decanter Flottweg	40%	106	4

Le rese di disidratazione stimate sono differenti, quella inferiore appartiene alla tecnologia DryBox, mentre si ottiene una resa migliore con il decanter Flottweg. Infatti la gestione di DryBox è molto semplice, perché esso consiste in un semplice contenitore in cui le melme vengono movimentate con aria compressa, ma non sarebbe presente una effettiva ottimizzazione nella gestione delle melme. D'altronde DryBox ha il numero di viaggi di smaltimento maggiore, mentre il decanter prevede solo 4 viaggi all'anno.

Capitolo 5 – Valutazione della tecnologia migliore per la disidratazione delle melme di verniciatura

Tutte le soluzioni che sono state prese in considerazione risultano essere economicamente vantaggiose e confrontabili. La tecnologia che costa ha un costo unitario di trattamento maggiore è il Decanter, ma differenza di soli 23 €/m³ circa dalla tecnologia StrizBox, meno costosa.

È possibile fare un'altra considerazione in merito. Tenendo presente la possibilità di recupero delle melme di verniciatura, si può ipotizzare uno scenario futuro in cui le melme vengano utilizzate come additivo nella miscela bituminosa utilizzata per le pavimentazioni stradali. A differenza dello scenario attuale in cui le melme vengono disidratate con un sistema di filtrazione a gravità a valle del flottatore, nello scenario futuro le melme vengono disidratate con le nuove tecnologie individuate, StrizBox o in alternativa il Decanter Flottweg, poste sempre a valle del flottatore. La scelta di queste due tecnologie è dovuta al fatto che esse permettono di raggiungere un tenore in secco nelle melme disidratate più elevato, facilitando così la loro riduzione in polvere. In questo modo, nello scenario futuro non sono previste modifiche allo stabilimento preesistente, se non l'installazione delle nuove apparecchiature. Le voci di gestione per le melme di verniciatura di questi due scenari differenti quindi cambiano. Infatti, nella successiva Tabella 6 vengono riportate le voci che concorrono alla gestione delle melme di verniciatura nel caso dello scenario attuale e di quello futuro.

Tabella 6. Voci di costo previste per la gestione delle melme

Voce costo previsti per lo scenario attuale	Voci costo previsti per lo scenario futuro
Disidratazione per filtrazione a gravità	Disidratazione con la tecnologia StrizBox o Decanter Flottweg
Trasporto verso il sito di smaltimento	Trasporto verso il sito di produzione del bitume modificato
Smaltimento (inceneritore o discarica)	

Nello scenario futuro si prevede per l'azienda che genera le melme di verniciatura un risparmio, dal momento che non è presente il costo dovuto allo smaltimento delle melme. Inoltre, grazie all'impiego della tecnologia StrizBox o del Decanter Flottweg si ottiene una riduzione più consistente del volume delle melme disidratate, di conseguenza il numero di viaggi previsto viene ridotto. Per esempio, lo smaltimento delle melme di verniciatura per gli stabilimenti di FCA avviene in un inceneritore specifico esterno allo stabilimento, localizzato nella zona Meridionale dell'Italia. Nello scenario futuro, poiché le melme vengono trasportate ad un impianto di produzione di bitume modificato, si ipotizza che il

costo di questo trasporto sia inferiore rispetto al costo di trasporto per lo smaltimento delle melme, poiché il sito di produzione del bitume è localizzato a una minore distanza. L'attuazione dello scenario futuro prevede giustamente la realizzazione di un accordo tra l'azienda generatrice delle melme e un possibile sito di produzione di conglomerato bituminoso, che acconsente di utilizzare le melme come sostituto parziale del bitume. Inoltre nel caso in cui le melme vengano utilizzate come parziale sostituzione del bitume, le melme essiccate ottengono un valore economico pari all'attuale prezzo del bitume (circa 450 €/t)¹². Occorre tenere in considerazione, però, che le melme prima di essere miscelate con il bitume devono essere ridotte in polvere, quindi sono previste alcune operazioni di trattamento sulle melme a carico del sito di produzione del bitume modificato. Quindi il valore commerciale delle melme essiccate deve tenere in considerazione anche del costo delle operazioni di miscelazione delle melme essiccate con il bitume.

¹² Zanetti Mariachiara, Ruffino Barbara, "Valutazione economica dell'utilizzo delle melme di verniciatura per la produzione di conglomerato bituminoso (Brevetto BIT 18446)", DIATI, 2017.

Conclusioni

L'obiettivo di questo elaborato è stato quello di fornire una soluzione ottimale per migliorare la gestione delle melme originate dalla verniciatura di scocche di autoveicoli. Data la loro formazione, le melme hanno un basso tenore di sostanza solida e un'elevata quantità di acqua. Questa caratteristica delle melme di verniciatura è l'elemento che rende più complessa la loro gestione e movimentazione. Dunque, la fase cruciale del loro trattamento è la loro disidratazione. L'allontanamento dell'acqua in eccesso presente nelle melme di verniciatura permette sia una riduzione dei volumi, e quindi una diminuzione dei costi di smaltimento per lo stabilimento, che un aumento del tenore di sostanza secca permettendo così di poter riutilizzare le melme in altri contesti.

Per tale ragione, lo scopo di questo elaborato è stato quello di comprendere come poter migliorare la disidratazione delle melme. Sono state dunque analizzate le tecniche di disidratazione dei fanghi industriali svolgendo ricerche su internet, riviste scientifiche e analizzando i brevetti esistenti sul trattamento delle melme di verniciatura. Per ognuna delle tecniche di disidratazione sono state analizzate le tecnologie presenti sul mercato, in funzione della loro efficienza di disidratazione ed è stato valutato la loro impiegabilità all'interno di un conteso industriale esistente.

Analizzando nello specifico ognuna delle tecniche di disidratazione individuate, è risultato che il processo meccanico per la disidratazione è sicuramente il più conveniente. In questo caso, le apparecchiature con questo tipo di processo di disidratazione hanno un design compatto e sono di facile gestione, ma soprattutto adattabili a un contesto industriale preesistente. In più, con il trattamento meccanico è possibile ottenere una buona resa di disidratazione con costi di installazione e di gestione contenuti. Per esempio, se si prende come modello lo stabilimento FCA di Grugliasco, è stata valutata l'introduzione di una di queste tecnologia dopo il flottatore, senza condurre delle modifiche all'impianto di trattamento delle melme esistente.

In particolare, fra le tecniche di disidratazione meccanica è stata valutata vantaggiosa la disidratazione per filtrazione a gravità, con una tecnica più razionalizzata, e a pressione. Nel primo caso si tratta di una filtrazione continua, mentre nel secondo caso di una disidratazione discontinua. Queste due tecniche di disidratazione sono molto semplici rispetto agli altri sistemi analizzati e hanno costi di gestione limitati, si può ottenere un risparmio del 40%¹³ rispetto all'impegno di una centrifuga o di una filtropressa o di una nastropressa. I costi di investimento di queste apparecchiature sono inferiori rispetto a sistemi come la filtropressa o la nastropressa o le macchine ad osmosi e permettono una

¹³ Vincenzo Di Leo, Anna Moruzzi, "La gestione dei fanghi dal trattamento delle acque reflue", Idee & Prodotti.

adeguata riduzione del volume dell'ordine del 35-70% rispetto al valore iniziale (la disidratazione a pressione permette una riduzione dei volumi maggiori rispetto a quella a gravità). Una buona alternativa a questi due tipi di filtrazione è la centrifuga-decantatore. La ditta Flottweg offre un particolare decanter studiato *ad hoc* per la separazione della componente solida da quella liquida. È un principio differente, ma pur sempre efficiente.

In conclusione, fra questi sistemi di filtrazione sono state tenute in considerazione le seguenti tecnologie:

- Disidratazione a pressione → StrizBox;
- Disidratazione a gravità razionalizzata → DryBox;
- Disidratazione per mezzo della forza centrifuga → Decanter Flottweg.

Queste tre tecnologie infatti, sono quelle che più risolvono alcune delle problematiche presenti nella gestione delle melme di verniciatura in uno stabilimento, che sono emerse in seguito alla visita organizzata nel reparto di verniciatura e trattamento delle melme degli stabilimenti FCA situati in Torino.

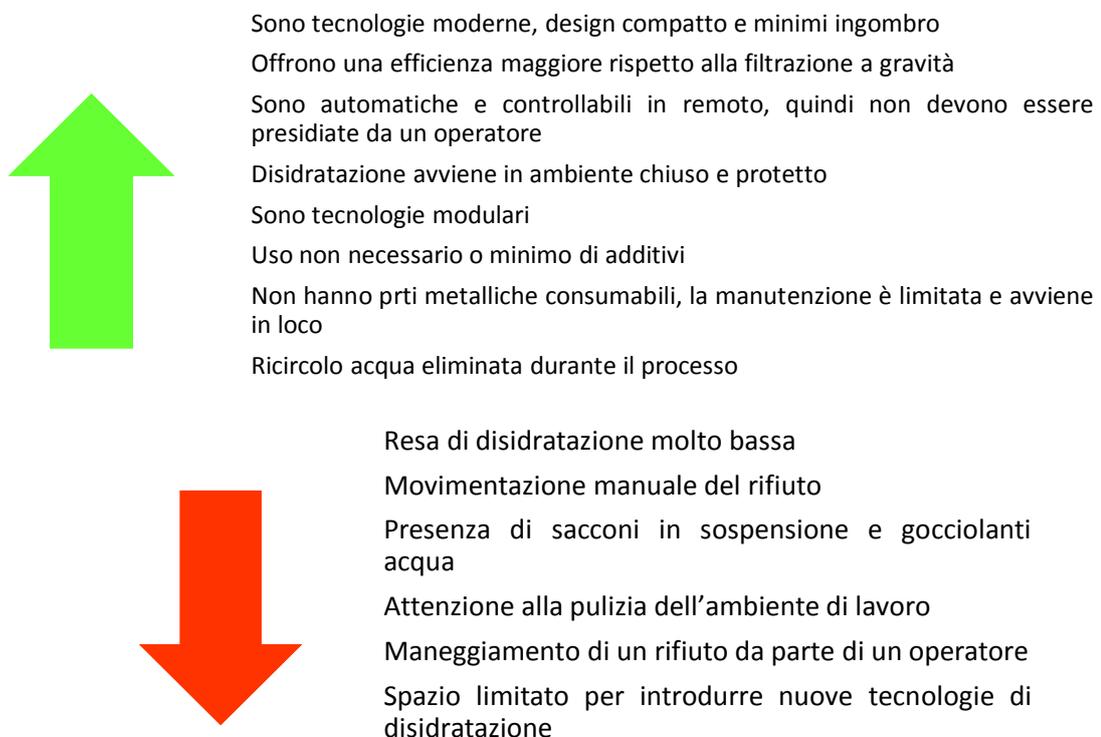


Figura 1. Sintesi delle problematiche presenti nella gestione delle melme e possibili vantaggi delle nuove tecnologie di disidratazione

Il confronto fra queste tre differenti tecnologie è stato successivamente effettuato sulla base dei costi e dei rendimenti teorici.

Tabella 1. Tabella riassuntiva con i costi unitari di trattamento e delle rese teoriche di sostanza secca nelle melme disidratate

Tecnologia	Tenore in secco nella melma disidratata	Costo unitario di trattamento [€/m³]
DryBox	20%	87
StrizBox (colonna 2 m)	30%	103
StrizBox (colonna 3 m)	30%	83
Decanter Flottweg	40%	106

Le tecnologie risultano confrontabili dal punto di vista economico, mentre per quanto riguarda le rese di disidratazione il Decanter Flottweg permette una migliore disidratazione. Occorre ricordare che le rese di disidratazione sono state stimate con il bilancio di massa basato su delle ipotesi. Per valutare l'efficienza reale di disidratazione della tecnologia, occorre fare dei test pilota e delle prove direttamente con le melme di verniciatura. Solo in questo modo è possibile verificare se la filtrabilità del fango e le sue caratteristiche sono adatte alla tecnologia usata per la disidratazione. Se così non fosse, è possibile valutare la possibilità di un intervento sul condizionamento del fango e/o sul processo di depurazione che ha originato il fango per poter migliorare la resa di disidratazione. In particolare, la resa di disidratazione può essere ottimizzata per quanto riguarda il decanter Flottweg modificando le velocità dei suoi componenti (tamburo e coclea) e miscelando con le melme un opportuno polimero, mentre per il modulo di filtrazione StrizBox è possibile modificare il numero di compressioni e dilatazioni della membrana per aumentare il grado di disidratazione. D'altra parte, la resa di disidratazione di DryBox è più difficile da migliorare, dal momento che si tratta di un sistema molto semplice: un container in cui vengono movimentate le melme. Le tecnologie che sono state tenute in considerazione permettono tutte quante di ridurre il numero di viaggi di smaltimento rispetto a quelli previsti se le melme fossero smaltite direttamente dopo l'uscita dal flottatore, comportando un risparmio economico per l'azienda che produce tali melme.

Inoltre, nel caso in cui si pensi di inserire la tecnologia in un contesto industriale preesistente, è opportuno tenere in considerazione qual è lo spazio all'interno dello stabilimento che può ospitare la nuova tecnologia di disidratazione, per poter ottimizzarlo al meglio rispetto i volumi di ingombro della macchina. Inoltre, è importante che la resa di disidratazione sia la più alta ottenibile con la tecnologia, poiché per poter essere recuperate le melme devono essere ridotte in polvere, quindi diventa fondamentale che esse abbiano il maggior tenore di secco possibile dopo la disidratazione.

Infine, si può immaginare uno scenario in cui la disidratazione all'interno dello stabilimento venga effettuata per mezzo della tecnologia StrizBox o il Decanter Flottweg, che permettono di raggiungere un elevato tenore in secco nelle melme disidratate. Per questa ragione, tali melme possono essere successivamente trasportate ad un sito di produzione del bitume modificato. In questo caso si prevede un risparmio per l'azienda generatrice delle melme, dovuto all'eliminazione del costo di smaltimento delle melme e alla riduzione del costo previsto per il trasporto, poiché i volumi delle melme disidratate così ottenute sono inferiori rispetto alla semplice filtrazione per gravità. Quindi, la sostituzione della filtrazione a gravità per la disidratazione delle melme di verniciatura con la tecnologia StrizBox o il Decanter Flottweg comporterebbe un aumento del costo di trattamento delle melme (infatti è previsto un consumo di energia per il loro funzionamento, in più per il Decanter è necessario un polimero), ma allo stesso tempo permetterebbe di avere un risparmio sui passaggi successivi alla disidratazione nella gestione delle melme di verniciatura.

Bibliografia

Patents

Amer Almadidy, Natacha Lavayssierre, *Microbial degradation of water-borne paint containing high levels of organic solvent. United States Patent n° 8202424*, 29 Gennaio 2007.

Bender H, *Method of reclaiming primer paint overspray sludge. United States Patent n° 3736277 A*, 29 Maggio 1973.

Chaitanya K. Narula, Byung R. Kim, Irving T. Salmeen, *Pyrolytic conversion of paint sludge to useful materials. United States Patent n° 5543367 A*, 6 Agosto 1996.

Dan Chrzanowski, Brandon Chrzanowski, *Process of recycling paint sludge and component made thereof. United States Patent n° 8168688 B2*, 1 Maggio 2012.

Michael J. Gerace, Janet M. Gerace, *Method of making a filler from automotive paint sludge, filler, and sealant containing a filler. United States Patent n° 5160628 A*, 3 Novembre 1992.

Ministero dello Sviluppo Economico, *Ricevuta di presentazione per Brevetto per invenzione industriale*, 07/07/2015.

Joe McCarty, Christopher Hubb, Kenneth O. Peebles, *Processing paint sludge to produce a combustible fuel product. United States Patent n° 8057556 B2*, 15 Novembre 2011.

Joe P. McCarty, Daniel M. St. Louis, *Processing paint sludge to produce a combustible fuel product. United States Patent n° 20080216392 A1*, 11 Settembre 2008.

Jeffrey C. Johnson, Andrew Slater, *Method for treating waste paint sludge. United States Patent n° 4980030 A*, 25 Dicembre 1990.

Robert R. Matheson, Dennis M. Dixon, John R. Moore, David A. Fischer, *Process for producing building materials from raw paint sludge. United States Patent n° 7128780 B2*, 31 Ottobre 2006.

Shimpei Tanaka, *Paint sludge separator system. United States Patent n° 0438264 A2*, 24 Luglio 1991.

Wolfgang Richter, *Process for the recycling of paint material from the overspray occurring during spray painting and a device to carry out the process. United States Patent n° 4607592 A*, 26 Agosto 1986.

Research papers

Bartolini N., Sarvia E., Torresi L, Trunfio F., Simone S., Vergnano A., *Modifica del ciclo produttivo di un impianto di verniciatura: FCA Maserati*, Lavoro di gruppo del Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Prof. Mariachiara Zanetti.

Belforte Guido, *La manutenzione per ridurre i costi dell'aria compressa ed incrementare l'efficienza degli impianti*, Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale, Kilometro Rosso, Bergamo, 13 novembre 2013.

Brochure Decanter Flottweg, 2017.

Bulla Giuseppe, Perbellini Luigi, *Le nuove tecniche di verniciatura e rischi per la salute*, G Ital Lav Eng 2011, 33:3, 257-263.

Di Leo Vincenzo, Moruzzi Anna, *La Gestione dei Fanghi nel Trattamento delle Acque Reflue*, Idee & Prodotti.

Fantoni Moris, *Green Factory for Composites*, Piattaforma Industria Intelligente Regione Piemonte, Novembre 2017.

Guray Salihoglu, Nezh Kamil Salihoglu, *A review on paint sludge from automotive industries: Generation, characteristics and management*, "Journal of Environmental Management", 169 (2016) 223-235, 30 Dicembre 2015.

Hiren Sanghvi t and John L. Massingill, Jr. Southwest Texas State University, *Recycling Paint Overspray*, "Journal of Coatings Technology", Volume 74, No. 933, Ottobre 2002, pp. 143-144.

Kim, Byung R.; Podsiadlik, Diane H.; Yeh, Daniel H.; Salmeen, Irving T.; Briggs, Linda M., *Evaluating the conversion of an automotive paint spray-booth scrubber to an activated-sludge system for removing paint volatile organic compounds from air*, "Water Environment Research", Volume 69, Numero 7, Novembre/Dicembre 1997, pp. 1211-1221 (11).

Panichella Riccardo, *Studio del trattamento delle melme di verniciatura per il loro riutilizzo nelle pavimentazioni stradali*, Elaborato di Tesi in Ingegneria per l'Ambiente e il Territori, Politecnico di Torino, 2015.

Processo di verniciatura, Power Point realizzato dal personale dello stabilimento AGAP.

Richard A. Conway, *Hazardous and Industrial Solid Waste Minimization Practices*, pp. 111-112.

Richard J. Wakeman, *Separation technologies for sludge dewatering*, "Journal of hazardous Materials", 144 (2007), 614-619.

Ruffino B., Dalmazzo D., Santagata E., Zanetti M.C., *Preliminary evaluation of the potential use of paint sludge in bituminous binders*. Conference Paper, October 2011.

Ruffino B., Dalmazzo D., Riviera P.P., Santagata E., Zanetti M.C., *Preliminary performance assessment of asphalt concrete with paint sludge from automotive industries*, DIATI, Department of Environmental, Land and Infrastructure Engineering, Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Italy.

TAR, Power Point realizzato dal personale dello stabilimento AGAP.

TechFlash, Technical Newsletter Of The Beer, "Come funziona una cabina di verniciatura e perchè oggi è indispensabile avere una buona cabina?", Edizione numero 3, Luglio 2009, pp. 1-4.

Vercelli Arianna, *Chapter 1 Materials: bitumen and paint sludge*, Elaborato di Tesi in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Politecnico di Torino.

Zanetti M., Ruffino B., *Valutazione economica dell'utilizzo delle melme di verniciatura per la produzione di conglomerato bituminoso (Brevetto BIT 18446)*. Rif. RdA 27936354 e 27936355. Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture, 2017.

Zanetti M., Santagata E., Ruffino B., Dalmazzo D., *Ipotesi di smaltimento delle melme di verniciatura degli stabilimenti Fiat Group Automobiles (Relazione finale)*, Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria per il Territorio, l'Ambiente e le Geotecnologie, Marzo 2011.

Zakiuddin Januri, Norazah Abdul Rahman, Siti Shawalliah Idris, Sharmeela Matali, Shareena Fairuz Abdul Manaf, *Microwave Assisted Pyrolysis (MAP) of Automotive Paint Sludge (APS)*, "Jurnal Teknologi (Sciences e Engineering)", 75:8 (2015) 7-11, Giugno 2015.

Kim, Byung R.; Podsiadlik, Diane H.; Yeh, Daniel H.; Salmeen, Irving T.; Briggs, Linda M., *Evaluating the conversion of an automotive paint spray-booth scrubber to an activated-sludge system for removing paint volatile organic compounds from air*, "Water Environment Research", Volume 69, Number 7, November/December 1997, pp. 1211-1221(11).

Sitografia

<https://www.flottweg.com/it/applicazioni/rifiuti-industriali-oli-minerali/fanghi-di-verniciatura/>

http://www.gea.com/it/binaries/BRO-ET-Image%20Environmental%20Technology-2013-01-EN_tcm39-22979.pdf

<http://www.gea.com/it/products/thickening-decanter-sludge-treatment%20.jsp>

http://www.waterleau.com/files/Sludge_treatment.pdf

<http://www.hitechambiente.com/semplimente-strizbbox-N1077.html>

<http://www.ta-srl.eu/products-macchine-di-ultrafiltrazione-e-osmosi-inversa-per-grafica-inchiostri-e-15.html>

<http://www.aquariusengineers.biz/centrifuge-sludge-separator.html>

<http://automation.cybernetik.com/product/paint-sludge-dewatering-system?AspxAutoDetectCookieSupport=1>

<http://www.hydroflotech.com/paint-spray-booth-wastewater-treatment-and-sludge-dewatering-system-process-description>

http://www.sctech.it/pdf/SpruzzoSed%20Ita_eng.pdf

<https://www.filtertech.com/equipment/applications/show/paint-sludge-dewatering-filtration>

<http://www.hydroitalia.com/defangazione-acque-verniciatura.htm>

<http://www.euroby.com/equipment/sludge-drying/>

<http://www.chemetall.com/Products/Trademarks/Gardostrip/index.jsp>

<http://www.chimicamo.org/chimica-organica/polimerizzazione-cationica-e-anionica.html>

<http://pumps-dewatering.com/tarua-pump/striz-box-membrane-filter-press/>

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

<http://www.euroby.com/equipment/sludge-drying/>

http://www.abacpoint.it/prodotto/?id_articolo=18724&geo=&cat=&key=&riv=&az=8&raggio=&tipo_ricerca=art

<https://pumpen.netzsch.com/it/prodotti-accessori/pompe-monovite-nemo/nemo-by/>

http://timglobalmedia.com/events/wp-content/uploads/2014/07/4-BELFORTE-Bergamo_belforte-fin.pdf