



**UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE**  
**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

---

Corso di Laurea magistrale in **Ingegneria Gestionale**

**PIANO D'AZIONE PER L'ECONOMIA CIRCOLARE**  
**PROGETTAZIONE E PRODUZIONE DI**  
**ACCUMULATORI ELETTRICI AL PIOMBO**

**ACTION PLAN OF CIRCULARITY**  
**DESIGN AND PRODUCTION OF LEAD ACID BATTERIES**

Relatore:

Chiar.mo/a Prof. **Ing. MAURIZIO BEVILACQUA**

Tesi di Laurea di:

**Alice MONTAGANO**

ANNO ACCADEMICO 2019/2020



## Sommario

<b>INTRODUZIONE</b> .....	5
<b>1 GRUPPO FAAM</b> .....	7
1.1 NASCITA E CORE BUSINESS .....	7
1.2 STRUTTURA SOCIETARIA – HOLDING E CONTROLLATE .....	9
1.3 GRUPPO SERI E L’ACQUISIZIONE DI FAAM.....	10
1.4 FAAM – PRIMA REALTÁ ITALIANA DELLA EUROPEAN BATTERY ALLIANCE .....	11
1.5 CENTRALITÁ DEL LITIO NEI PROGETTI DEL GRUPPO SERI.....	11
<b>2 I PRODOTTI DELLA IBF S.P.A.</b> .....	12
2.1 I PRODOTTI FAAM.....	14
2.1.1 BATTERIE DA AVVIAMENTO .....	16
2.1.2 BATTERIE CICLICHE .....	17
2.1.3 BATTERIE DA TRAZIONE .....	19
2.1.4 BATTERIE AL LITIO .....	20
2.1.5 LA CELLA GALVANICA .....	20
2.2 IL PROCESSO DI SOLFATAZIONE .....	21
<b>3 DESCRIZIONE DEL PROCESSO PRODUTTIVO</b> .....	24
3.1 FABBRICAZIONE DELLE PIASTRE.....	28
3.1.1 GRIGLIA POSITIVA .....	30
3.1.2 GRIGLIA NEGATIVA .....	30
3.1.3 PASTING .....	31
3.1.4 STAGIONATURA.....	32
3.2 PRODUZIONE DELL’OSSIDO DI PIOMBO .....	33
3.3 ASSEMBLAGGIO E FORMAZIONE DEGLI ELEMENTI .....	35

3.4	ASSEMBLAGGIO BATTERIE .....	39
<b>4</b>	<b>ECONOMIA CIRCOLARE</b> .....	<b>40</b>
4.1.1	L'IMPORTANZA DELLO SMALTIMENTO NELL'ECONOMICA CIRCOLARE .....	42
	RECUPERO BATTERIE AL PIOMBO .....	43
4.1.2	PERICOLOSITÀ BATTERIE ESAUSTE .....	43
	GLI IMPIANTI DI RICICLAGGIO .....	44
4.1.3	L'IMPORTANZA DELLO SMALTIMENTO FANGHI.....	46
4.2	VALORI LIMITE PER L'UTILIZZO DEI FANGHI.....	47
4.3	LA ROSA DELLE ANOMALIE .....	55
<b>5</b>	<b>RACCOLTA E ANALISI DEI DATI PER IL RECUPERO DEI FANGHI..</b>	<b>57</b>
<b>6</b>	<b>ELABORAZIONE DATI</b> .....	<b>64</b>
6.1	IL PROGETTO DI MIGLIORAMENTO .....	64
6.2	VALUTAZIONE DELLE ALTERNATIVE.....	68
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONI FINALI</b> .....	<b>72</b>
8	BIBLIOGRAFIA .....	75
9	SITOGRAFIA .....	76

## INTRODUZIONE

Questa trattazione mira a dare spunti per la gestione dei fanghi industriali, in special modo del gruppo FAAM, nato come azienda individuale e oggi multinazionale con una tra le più grandi storie imprenditoriali italiane nel settore energetico, nella quale la laureanda ha svolto il tirocinio, in modo da poter mettere in luce i vantaggi derivanti dal riutilizzare i fanghi prodotti, durante il processo di fabbricazione delle piastre, continuando a dare una nuova vita a risorse che, altrimenti, sarebbero risultate inutilizzabili e dunque eliminate.

I fanghi a cui si fa riferimento contengono oltre a piombo, anche acido solforico, antimonio e altre sostanze tossiche e altamente inquinanti. Pertanto, la natura delle ragioni che ha spinto la scrivente a trattare questo tema, sono sia di carattere ambientale che di carattere economico. Un'azienda, infatti, è interessata al ritorno economico e pertanto ogni azione dev'essere giustificata in tali termini. La trattazione è mossa proprio dall'intento mettere in piedi un sistema produttivo che si basa sull'economia circolare dimostrando che è possibile garantire un costante riuso e questo è vantaggioso per qualunque punto di vista.

I componenti usati nel ciclo produttivo, vengono riportati al livello qualitativo originale e, di conseguenza, possono ritornare come pezzi nuovi con doppio beneficio, ambientale ed economico. L'economia circolare produce, tra i vari benefici, una maggiore sicurezza sulla disponibilità delle materie prime, un aumento della competitività, un impulso all'innovazione e alla crescita economica, ma soprattutto un incremento dell'occupazione, tutte tematiche che verranno messe in luce in questa trattazione.

La trattazione, dunque, si focalizzerà sul recupero dei fanghi in un sistema di economia circolare, poiché è ancora materia di analisi per l'azienda. Quest'ultima, infatti, ricicla i vasi di polietilene degli elementi presso un terzista interno alla filiera; ricicla internamente il piombo derivante dagli scarti delle griglie, rifondendolo e rigenera i cassoni metallici delle batterie di una particolare lega metallica al cui interno è effettivamente contenuto l'accumulatore, da un terzista esterno.

Il primo e secondo capitolo del presente lavoro introducono il gruppo FAAM e, in particolare, la IBF S.p.a. che è uno dei principali insediamenti produttivi in Italia;

successivamente si passa alla descrizione dei principali prodotti, descrivendo la principale problematica che li accomuna.

Il terzo capitolo descrive dettagliatamente ogni fase del processo produttivo attuale (analisi AS IS), focalizzandosi con particolare attenzione sul processo di fabbricazione delle piastre.

Il quarto capitolo offre un quadro generale delle tematiche connesse alla gestione dei fanghi, analizzando le problematiche principali collegate al non riciclo a fine vita

Il quinto capitolo procedere alla vera e propria analisi tecnica descrivendo dettagliatamente come l'azienda opera attualmente.

Il sesto capitolo dà inizio al progetto di miglioramento, come descritto nel capitolo quinto, con l'elaborazione di un sistema di raccolta dei fanghi.

Il capitolo conclusivo, il settimo, riporta e rielabora i dati relativi alle analisi precedentemente svolte, commentando i risultati significativi emersi dal confronto dei dati, dando un giudizio economico sulla valutazione dei processi produttivi comparati.

# 1 GRUPPO FAAM

## 1.1 NASCITA E CORE BUSINESS

La FAAM (Fabbrica Accumulatori e Automobili Monterubbiano) nasce come impresa individuale nel 1947 a Monterubbiano, un comune di circa 3000 abitanti in provincia di Fermo, e rappresenta oggi una delle realtà internazionali tra le più affermate e dinamiche nel settore della produzione di accumulatori al piombo.

L'azienda si è sempre distinta per l'alta qualità tecnologica nella realizzazione delle batterie di avviamento. Dalla fine degli anni '80, inoltre, la FAAM ha iniziato la produzione delle batterie industriali (per trazione e stazionarie).



Dal 2004 la società ha cambiato regione sociale, divenendo FIB acronimo di “*FAAM INDUSTRIAL BATTERY*”, operante nella produzione di accumulatori al piombo per avviamento, accumulatori al piombo per trazione e stazionario, batterie per trazione elettrica (carrelli elevatori e mezzi elettrici) e per uso stazionario (batterie per accumulo di energia).

La produzione di FIB è altamente direzionata alla customizzazione. Questo perché, mentre la produzione di batterie avviamento per le automobili è da considerarsi un prodotto standard, la produzione di accumulatori trazione e storage si basa sull'idea del tailor made con lo scopo di rispondere alle esigenze del cliente finale che sceglie il marchio FAAM. Difatti, queste tipologie di accumulatori sono definite dal numero di elementi.

Nel marzo 2017, FIB ha sottoscritto un contratto di sviluppo con il Ministero per lo Sviluppo Economico (MISE) e la Whirlpool Corporation per il complesso ex Indesit di Teverola, Il progetto per la costruzione di un importante complesso industriale è finalizzato alla produzione di celle al litio, di rilevanza europea, per i settori in cui opera FIB e di nicchia rispetto al mercato complessivo, rendendosi autonoma rispetto agli attuali fornitori asiatici di celle al litio. Tutto ciò sarà possibile sfruttando il riconoscimento mondiale di qualità del marchio FAAM che

sarà dunque presente nel mercato finale delle batterie, a completamento delle value chain per entrambe le tecnologie al piombo acido ed al litio.

L'idea di specialty e di customizzazione però si ritrova anche negli ultimi progetti su cui FIB sta lavorando per offrire soluzioni che aumentino performance e durata della batteria, abbattendo i tempi di ricarica, quali tra i più rilevanti, in collaborazione con la Marina Militare Italiana, con il Ministero della Difesa, con Revamping bus trasporto pubblico, come già avvenuto nella città di Torino sugli autobus GTT ed altri.

La FIB si è adoperata nella consulenza al Progetto Litio per l'attività di ricerca e di ingegnerizzazione relativa alla realizzazione dell'impianto sperimentale per la produzione di litio ferro fosfato. Inoltre, gli altri progetti finalizzati da FIB sono stati quello di formazione celle a carica pulsata e il completamento del progetto per le celle serie TTS.



*Figura 1: Prima sede del Gruppo FAAM – Monterubbiano*

Sin dalla fine degli anni '80 il gruppo FAAM ha avuto l'opportunità di competere anche oltre i confini marchigiani; nel 1996 è stato effettuato un investimento diretto all'apertura dello stabilimento IBF S.p.a. di Monte Sant'Angelo in provincia di Foggia, in cui si effettua la fabbricazione di batterie industriali stazionarie e di trazione. Oltre agli stabilimenti produttivi, il gruppo dispone di



una serie di Research Center, a supporto dei clienti, che ha esteso in diverse regioni italiane, tra cui Lombardia, Veneto, Lazio, Emilia-Romagna, Campania e Puglia.

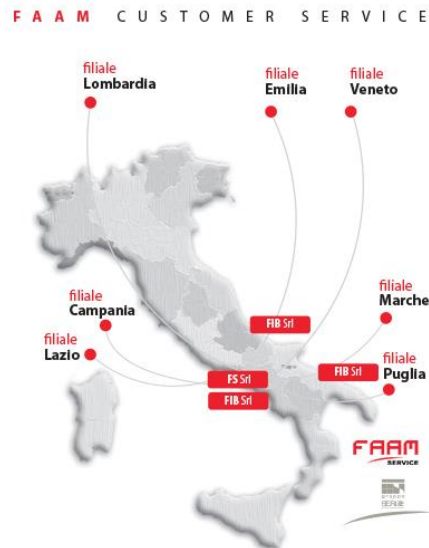


Figura 2: FAAM Research Center

## 1.2 STRUTTURA SOCIETARIA – HOLDING E CONTROLLATE

Il Gruppo FAAM comprende quattro società autonome e specializzate che svolgono l'attività core del Gruppo:

- **FAAM SpA**, situata a Monterubbiano, per la produzione di accumulatori al piombo per uso avviamento ed industriale stazionario;
- la **I.B.F. SpA** (Industrial Batteries FAAM), situata a Monte Sant'Angelo (FG), per la produzione di accumulatori al piombo per uso industriale trazione e stazionario;
- la **E.V.F. SpA** (Ecological Vehicle FAAM), situata sempre a Monterubbiano per lo sviluppo e produzione di veicoli ecologici per uso civile ed industriale con alimentazione a metano, gas, elettrica ed idrogeno;

- la **YIBF Co Ltd** (Yixing Industrial Batteries FAAM) situata a Yixing, nella provincia dello Jiangsu in Cina. Il primo incontro di FAAM con la Cina risale al 1992, attiva nella produzione batterie ad uso industriale trazione e stazionario.

Il Gruppo FAAM si compone anche di altre società attive nella commercializzazione dei prodotti FAAM sui mercati esteri ritenuti strategici dalla proprietà in Francia, Uruguay, Repubblica Ceca.

### 1.3 GRUPPO SERI E L'ACQUISIZIONE DI FAAM

Il gruppo SERI INDUSTRIAL ha origine nel 1999 come società di ingegneria, con la costituzione della società SE.R.I. S.p.a. specializzandosi nella realizzazione di impianti per il recupero e il riciclo di batterie esauste e successivamente nella produzione di granuli plastici rigenerati dagli scarti plastici dei riciclatori di batterie esauste – tramite la società Seri Plast s.r.l., che venivano vendute principalmente, agli stampatori di cassette e coperchi per accumulatori elettrici.

Nel 2013, dopo le acquisizioni di importanti clienti che utilizzavano il granulo plastico rigenerato di Seri Plast che hanno portato una significativa crescita del gruppo SERI, il gruppo ha acquisito FAAM con la società FIB. Sinergicamente, l'anno successivo continuando le acquisizioni con la multinazionale americana leader mondiale nella realizzazione di accumulatori al piombo, la Exite.

Grazie a queste operazioni il Gruppo SERI fornisce più del 75% del fabbisogno europeo di componenti di plastica per batterie della Exite e opera sul territorio nazionale ed internazionale, tramite stabilimenti produttivi situati in Italia, Francia e Cina

Così il Gruppo con 14 stabilimenti nel mondo ha raggiunto una forte e completa integrazione verticale della *supply chain* dell'intera filiera degli accumulatori elettrici al piombo, iniziando dal piombo secondario ricavato dalle batterie esauste, passando per il compound plastico (polipropilene copolimero eterofasico

rigenerato) per la produzione di componenti e arrivando fino agli accumulatori elettrici al piombo e al litio per applicazioni industriali, storage e automotive a marchio FAAM.

#### 1.4 FAAM – PRIMA REALTÀ ITALIANA DELLA EUROPEAN BATTERY ALLIANCE

Entro la fine dell'anno la Faam inizierà a realizzare celle al litio nell'ex fabbrica Indesit di Teverola, utilizzando 75 ex operai Whirlpool in cassa integrazione. Sarà uno dei primi impianti industriali al mondo di celle litio-zolfo e rientra negli accordi di reindustrializzazione dell'area. Sarà il primo impianto italiano della piattaforma di cooperazione “European Battery Alliance”.

L'*European Battery Alliance* è un piano ambizioso: un mercato continentale di 250 miliardi di euro all'anno, servita da almeno 10-20 gigafactory (impianti di produzione di massa di celle di batterie) e da un sistema d'approvvigionamento e riciclo a fine vita (economia circolare). Uno sforzo industriale colossale, in pochi anni, che deve essere capace di far fronte ad un fattore limitante fondamentale: nessuno dei metalli costituenti le attuali batterie a ioni di litio (litio, nichel, manganese e cobalto) si trova in abbondanza in Europa. Il litio che entra nel continente dovrà essere riutilizzato all'infinito. Il “piccolo” impianto di Teverola è quindi solo un bel punto di partenza che, auspicabilmente,

Gli impianti di produzione delle batterie al litio sono ad oggi in Giappone, Corea del Sud e Cina. Le prime importanti produzioni europee si stanno realizzando solo ora.

#### 1.5 CENTRALITÀ DEL LITIO NEI PROGETTI DEL GRUPPO SERI

Il Gruppo Seri ha firmato nel dicembre 2017 una joint venture con **la società di stato argentina Jemse** per la fornitura di carbonato di litio e produzione di materiale attivo. In America Latina si trovano più della metà delle riserve di litio mondiale e **in Argentina e in Bolivia** vantano i giacimenti più ricchi. Scelta strategica del Gruppo è evitare il ricorso al cobalto. Il cobalto è la terra rara che attualmente pone oggi pesanti problemi di

sostenibilità ambientale e sociale. Più della metà della produzione mondiale proviene dalla **Repubblica Democratica del Congo (RDC)**, un paese politicamente instabile, dove il lavoro minorile e le condizioni di lavoro sono disumane (la stampa internazionale ha parlato di schiavismo).



In un mondo che ormai si avvia all'elettrico e alla salvaguardia ambientale con sempre maggior ardore, le batterie agli IONI di LITIO (Li-Ion) sono, ormai, la tecnologia più utilizzata nel mondo delle biciclette elettriche perché, grazie al loro rapporto peso potenza, possono percorrere lunghe distanze con una sola ricarica riducendo del 60% il peso delle classiche batterie al piombo. Dispongono di una bassissima auto scarica e non hanno il cosiddetto "effetto memoria" per le ricariche frequenti.

## 2 I PRODOTTI DELLA IBF S.P.A.

Gli accumulatori al piombo acido sono stati il primo tipo di batterie secondarie, inventate dal fisico francese Gaston Plantè nel 1859. In 150 anni hanno subito un incredibile sviluppo ed oggi sono utilizzate in numerose applicazioni tra cui come batterie per telecomunicazioni, da trazione, da avviamento e di stoccaggio di energia.

Gli accumulatori al piombo rappresentano una delle principali tipologie di batterie industriali più impiegate al momento poiché offrono buone performance ad alte e basse

temperature, hanno discrete densità energetiche e presentano correnti di scarica elevati; sono caratterizzate da un ridotto fattore di scarica rispetto agli altri tipi di accumulatori.

Inoltre, essendo la materia prima (Pb) completamente riciclabile, la sua disponibilità è illimitata: questa peculiarità abbatta notevolmente i costi, rendendole le più economiche tra tutti i sistemi di accumulo presenti in commercio.

Nonostante questi vantaggi, le batterie al piombo risentono di una limitazione intrinseca, legata all'alto peso molecolare del piombo, che non le rende competitive in quelle applicazioni in cui il peso è un parametro di fondamentale importanza: basti pensare al mercato dei droni o delle auto elettriche long-range. Oltre al peso, la geometria stessa degli elettrodi, costituiti da paste compattate su una griglia portacorrente che funge da supporto meccanico ed elettrico, non consente la completa utilizzazione della materia attiva, per cui occorre usare un quantitativo di massa in eccesso rispetto a quello strettamente necessario per le reazioni di carica/scarica.

Inoltre, la recente e rapida introduzione nel mercato delle batterie agli ioni di litio sta facendo entrare nelle industrie relative alle batterie al piombo acido un ulteriore sviluppo tecnologico e un miglior processo di fabbricazione.

Durante la scarica si ha un consumo dell'elettrolita, questo può portare ad una riduzione della sua densità. Gli elettrodi rischiano quindi di essere attaccati da uno strato di solfato di piombo di piccole dimensioni, se però il periodo di scarica si prolunga troppo le dimensioni aumentano le particelle di  $\text{PbSO}_4$  non reagiscono più diminuendo le prestazioni dell'accumulatore: solfatazione.

Una classica batteria per uso nautico o automobilistico da 12 V in realtà è costituita da una serie di "accumulatori al piombo" comunemente chiamati elementi (nel caso specifico sono sei) che forniscono ciascuno una tensione nominale di 2,16 V. per convenzione però ci si andrà a riferire al voltaggio solo con gli interi.

Presentano però anche degli svantaggi, in primis il peso elevato dovuto alle piastre di piombo in esse contenute.

Tali batterie hanno tempi di carica molto lunghi ed una durata della vita limitata al numero di cicli di scarica; presentano problemi in termini di tossicità poiché oltre al piombo utilizzano come elettrolita l'acido solforico.

Una prima problematica relativa alle batterie al piombo acido riguarda proprio il piombo, infatti, questo è un materiale tossico. Questo ha portato tutto il mondo ad apportare dei regolamenti relativi proprio a questa tecnologia, data la sua diffusione e ad oggi i traguardi raggiunti per il suo smaltimento sono molto buoni.

Gli svantaggi di questo tipo di accumulatore sono invece:

- Vita utile relativamente breve, in genere circa 500 cicli;
- Bassa energia specifica, tipicamente 30-40 Wh/kg;
- Rischio di danneggiamento irreversibile a causa della solfatazione;
- Le batterie contengono oltre al piombo, acido arsenico e antimonio;
- Grosse difficoltà nella produzione di batterie di piccola capacità;

## 2.1 I PRODOTTI FAAM

In questo capitolo si analizza il funzionamento delle principali tipologie di accumulatori prodotti dall'azienda, focalizzandoci sui parametri operativi e le applicazioni che essi presentano.

Sul mercato sono state introdotte diverse tipologie di batterie al piombo, ognuna adibita a delle specifiche applicazioni.

Per poter effettuare la corretta scelta di una batteria in funzione dell'impiego per il quale si intende utilizzarla è necessario comprendere meglio le caratteristiche e i limiti di utilizzo delle varie tipologie di batterie disponibili sul mercato (stazionarie, trazione, avviamento, ecc.).

Per far questo è opportuno esaminarne sommariamente il principio di funzionamento e le varie tecnologie costruttive (a vaso aperto, ermetiche, al gel, SVR, AGM, ecc.) per ciascuna tipologia.

Queste tipologie si dividono in base alla tecnologia costruttiva ed alla quantità di materiale con il quale sono realizzati gli elettrodi e la concentrazione dell'elettrolita.

Il gruppo FAAM si occupa della produzione di batterie al piombo e batterie al litio:

- Batterie da avviamento
- Batterie cicliche
- Batterie da trazione
- Batterie al litio

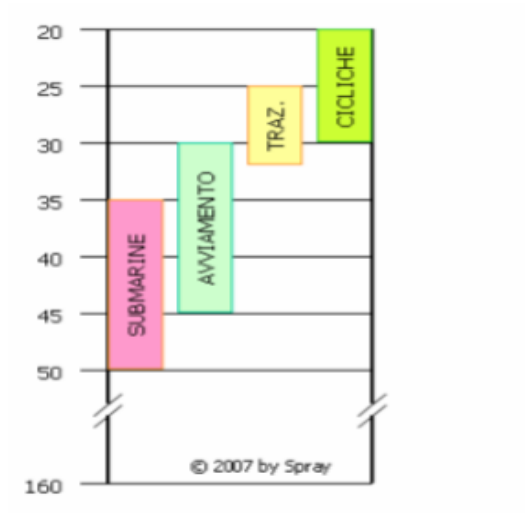


Figura 3: Rapporto Energia/Peso Wh/Kg

Il fattore comune a queste categorie resta la densità energetica che oscilla tra 25 e 50 Wh/Kg [b].

### 2.1.1 BATTERIE DA AVVIAMENTO

Questa tipologia di accumulatori al piombo è progettata per erogare picchi elevati di corrente in periodi di tempo molto brevi dell'ordine di alcuni secondi quelli necessari all'azionamento del motorino di avviamento. Sono le comuni batterie di impiego automobilistico (e motociclistico) che hanno in genere capacità comprese tra 20 Ah e 100 Ah [b].

Queste, per fornire correnti così elevate hanno una resistenza interna molto ridotta, perciò, per estendere questa resistenza vengono aggiunte numerose piastre al piombo all'interno.

La FAAM per quanto concerne tale categoria è fornitrice di prodotto per case automobilistiche di fascia alta (Lamborghini), per produttori di veicoli da lavoro (Landini), per produttori di autocarri e veicoli militari (nel caso della SISU).

La FAAM fornisce prodotti di alta qualità per l'after market italiano ed estero; è presente in tutti i paesi dell'Unione Europea oltre che in altri paesi extraeuropei (Burkina Faso, Cina, Cuba, Colombia, eccetera).

Il *know how* acquisito in 40 anni di attività consente oggi elevatissimi standard di durata e di sicurezza d'uso del prodotto offerto.

Soprattutto i livelli di incidenza elettromagnetica (impedenza) degli accumulatori della FAAM sono tra i più bassi nell'intero mercato europeo, qualità fondamentale per la sicurezza dell'impianto elettrico del veicolo sul quale la batteria è montata.



Figura 4: Batteria FAAM da avviamento



### 2.1.2 BATTERIE CICLICHE

Questa tipologia di accumulatori, chiamati anche *batterie stazionarie*, è utilizzata in sistemi di stoccaggio di energia, come fonte di energia tampone in caso di mancanza dell'alimentazione di rete di impianti industriali, sistemi di emergenza, sale operative, telefoni, computer;

In funzione dell'uso che ne viene fatto possono essere classificate in due diverse famiglie:

- Batterie cicliche stazionarie
- Batterie cicliche portatili

Le batterie cicliche stazionarie sono generalmente destinate ad impieghi statici in grandi sistemi di backup per impianti di telecomunicazione, centri di calcolo, di automazione e controllo e laddove sia necessario disporre di una grossa sorgente di energia “protetta” da possibili interruzioni.

Le batterie cicliche portatili pur avendo una caratteristica di impiego simile in quanto progettate per sopportare un elevato numero di cicli di scarica, anche profonda, hanno generalmente capacità molto minori e trovano il loro principale utilizzo nell'alimentazione di dispositivi portatili (attrezzature, strumenti di misura, elettrotensili, ecc.).

Nella scelta di una batteria ciclica riveste un fattore importante la valutazione corretta del parametro relativo al “ciclo di vita” (numero di cicli di scarica e ricarica che la batteria può sopportare) che deve essere sempre espresso in riferimento alla percentuale relativa alla profondità di scarica.

Nel confrontare due diverse batterie cicliche è importante quindi verificare che il dato relativo al ciclo di vita sia riferito ad una stessa percentuale di scarica in quanto non è affatto detto che una batteria che dichiari un ciclo di vita pari a 2000 cicli al 50% sia migliore di una che ne dichiari 1000 ma riferiti al 80 % anzi in genere è vero il contrario.

Nella maggior parte delle applicazioni industriali queste si presentano chiuse in cabine metalliche o armadi. La densità energetica va da 20 a 30 Wh/Kg

La FAAM per quanto concerne tale categoria è fornitrice di prodotto per Ariston, Barilla, Colgate, Palmolive, Cucine Berloni, Indesit, Merloni ed entrambi gli Aeroporti di Roma.

La gamma di batterie stazionarie comprende le batterie a gel (SVR e AGM)



*Figura 5: Batteria FAAM stazionaria*

### 2.1.3 BATTERIE DA TRAZIONE

Si tratta di batterie utilizzate per alimentare veicoli elettrici dove di norma è necessario disporre di batterie in grado di erogare correnti di intensità mediamente elevata ma anche di tollerare ripetuti e profondi cicli di scarica.

La gamma dei prodotti per trazione FAAM, tra i vertici del mercato di settore per qualità e costo, presenta articoli frutto delle più moderne tecnologie, in grado di fornire il miglior apporto di potenza e affidabilità a tutti i veicoli a trazione pesante e leggera, per oltre 1500 cicli di carica e scarica. Le batterie per trazione si suddividono nelle categorie:

- TOP
- TTM
- BSM detta *British*

Le TOP LONG LIFE rappresenta il risultato dell'esperienza maturata nel settore del gruppo FAAM.

La serie TTM si differenzia per l'elevata versatilità, dovuta all'ampiezza di gamma e alla rispondenza degli elevati standard richiesti sul mercato.

La serie British (BSM) garantisce la possibilità di soddisfare speciali richieste del mercato garantendo soluzioni specifiche personalizzate.

Possono essere indifferentemente realizzate con elettrolita liquido (Wet-cell) o al gel anche se recentemente per motivi di praticità di impiego si preferisce utilizzare la seconda tipologia.



Figura 6 Batterie FAAM per trazione

#### 2.1.4 BATTERIE AL LITIO

Durante gli ultimi anni l'attenzione di FAAM è stata rivolta verso lo sviluppo delle batterie ricaricabili al litio; problematica principale di questo dispositivo è la difficoltà di ricarica dell'anodo di litio metallico e una reattività elevata che rende complicato maneggiarlo.

L'impiego del litio per la composizione dell'elettrolita consente di differenziare questa tecnologia dalle altre in termini di energia specifica immagazzinabile, capacità di carica e autoscarica; in rapporto a peso e volume, la densità energetica delle batterie litio-ioni è solitamente superiore di quella delle batterie al piombo acido.

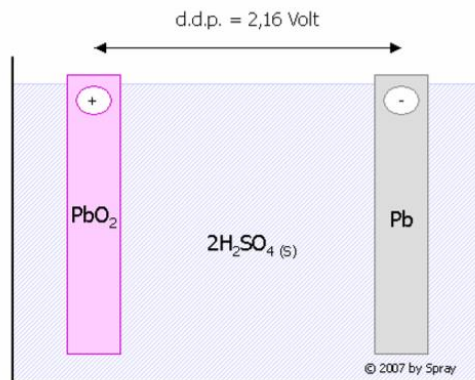
#### 2.1.5 LA CELLA GALVANICA

Ciascun accumulatore (detto anche elemento) della batteria è costituito da una "cella galvanica" in cui avviene una reazione "reversibile" di ossidoriduzione attraverso la quale è possibile, alternativamente "accumulare" e "prelevare" energia elettrica (da cui il termine "accumulatore").

La "cella galvanica" di un accumulatore al piombo è costituita da un recipiente al cui interno si trova un "elettrolita" formato una soluzione acquosa di acido solforico  $H_2SO_4$  (S) (1,32 gr/cm<sup>3</sup>) in cui sono immersi due elettrodi posti parallelamente a breve distanza l'uno dall'altro.

L'elettrodo positivo è costituito da una lastra di diossido di piombo ( $PbO_2$ ) mentre l'elettrodo negativo è costituito da una lastra di piombo metallico (Pb).

Senza addentrarci troppo nella teoria elettrochimica basta ricordare che un elettrolita è una soluzione in grado di trasportare cariche elettriche attraverso lo spostamento di "ioni" che sono presenti nella soluzione stessa. Immergendo in una soluzione elettrolita una lamina metallica, in funzione delle caratteristiche elettrochimiche degli elementi chimici coinvolti (elettrodo e elettrolita), si genera sulla superficie di contatto tra elettrodo e elettrolita una reazione di ossidoriduzione che determina all'equilibrio una differenza di potenziale (d.d.p.) in prossimità della superficie di contatto che provoca un movimento di cariche elettriche.



Cella galvanica di un accumulatore al Piombo

La differenza di potenziale che si stabilisce tra i due elettrodi è la somma dei potenziali delle singole semi-reazioni il cui valore dipende essenzialmente dai potenziali di riduzione delle due reazioni e dalla concentrazione dell'elettrolita nella soluzione, risulta invece indipendente dalla forma e dalle dimensioni degli elettrodi stessi (piastre).

Nel caso di un accumulatore al piombo perfettamente carico la differenza di potenziale vale:

- 2,16 Volt per una concentrazione di  $H_2SO_4(S)$  pari  $1,32 \text{ gr/cm}^3$

Una importante legge dell'elettrochimica (equazione di Nernst) ci dice appunto che la differenza di potenziale che si stabilisce tra gli elettrodi di una cella galvanica dipende, entro certi limiti, dalla concentrazione di ioni presenti nella soluzione elettrolita (oltre che, come vedremo più avanti, dalla temperatura). Questo ci permette già di notare un aspetto importante che caratterizza un accumulatore al piombo, "lo stato di carica di una batteria al piombo può essere verificato attraverso la misura della densità del suo elettrolita".

## 2.2 IL PROCESSO DI SOLFATAZIONE

Per prevenire la solfatazione queste batterie dovrebbero essere mantenute in costante carica. Tale fenomeno avviene nei processi di scarica e successiva ricarica di un accumulatore al piombo le reazioni chimiche che sono coinvolte portano, nella fase di scarica alla produzione di solfato di piombo ( $PbSO_4$ ) e al suo successivo riassorbimento

nella fase di ricarica con il ripristino della iniziale densità della soluzione elettrolita di acido solforico ( $H_2SO_4$ ).

Il solfato di piombo si presenta come il sale, a cristalli, tendendo a compattarsi agli elettrodi in maniera permanente. Depositandosi materiale attivo sull'elettrodo questo perde la sua capacità di accumulare e restituire le cariche, quindi, è considerato inutilizzabile.



*Figura 7: solfatazione*

La condizione di solfatazione avviene lasciando il singolo elemento o l'accumulatore stesso in stato di scarica per molto tempo, oppure quando vi sono impurità presenti nell'additivo unito all'acqua, portando ad una riduzione della durata della vita della batteria.

Il solfato di piombo è chimicamente un "sale" e ha quindi la tendenza a "cristallizzare" ovvero a compattarsi in una struttura solida depositandosi sugli elettrodi in modo pressoché irreversibile

È ovvio che un elettrodo su cui una parte del materiale attivo è stato sostituito da cristalli di solfato di piombo presenterà una limitata capacità di accumulare/restituire cariche questo processo è noto con il nome di "solfatazione".

Purtroppo, i sali di solfato di piombo in forma cristallina presentano una elevata difficoltà ad essere riconvertiti in materiale attivo e quindi una volta che si è determinata la solfatazione estesa degli elettrodi l'accumulatore è da ritenere irreversibilmente danneggiato.

Le cause che portano alla solfatazione degli elettrodi sono molteplici ma la principale causa di solfatazione è la permanenza dell'accumulatore in condizione di scarica anche parziale, ovviamente il fenomeno sarà tanto più rapido quanto maggiore è il livello di scarica e la permanenza in tale stato.

Per garantire quindi una buona durata di una batteria al piombo è opportuno evitare la permanenza per lungo periodo in condizioni di scarica anche solo parziale.

La temperatura aumenta il rischio di solfatazione specie nei lunghi periodi di inattività della batteria in quanto favorisce il lento processo di auto scarica che è una causa della solfatazione.

Le batterie con elettrolita liquido sono maggiormente affette da questo problema in particolare quelle a vaso aperto specie laddove a seguito della perdita di acqua si avesse parte dell'elettrodo che non risulta immerso nell'elettrolita. Le batterie con elettrolita al gel sono meno affette dal problema della solfatazione, che è comunque presente, in particolare quelle realizzate con tecnologia a "ricombinazione" (AGM – Absorbed Glass Mat).

In ogni caso è buona norma specialmente nei lunghi periodi di inattività mantenere costantemente le batterie al piombo sotto una piccola corrente di carica (carica di mantenimento) con lo scopo di contrastare il processo di auto scarica e con esso il rischio di solfatazione.

### 3 DESCRIZIONE DEL PROCESSO PRODUTTIVO

Il processo di fabbricazione delle batterie di accumulatori per trazione e stazionari avviene attraverso diverse fasi, raggruppabili in tre principali sotto processi:

1. Fabbricazione delle piastre
2. Assemblaggio e formazione accumulatori
3. Assemblaggio batterie

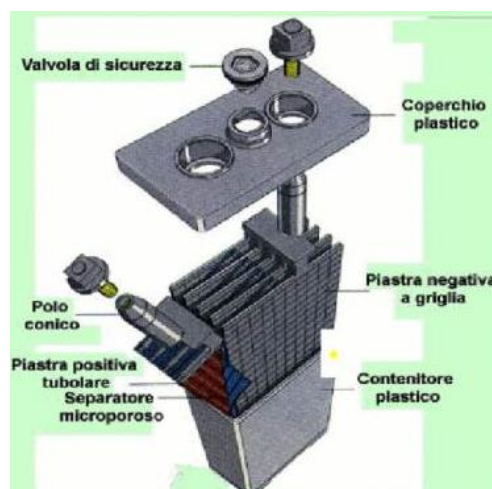
Il primo sotto processo ha un grado di automazione nettamente maggiore rispetto agli altri due che sono invece caratterizzati da un elevato numero di attività compiute manualmente sia nella lavorazione dei componenti che nella loro movimentazione.



*Figura 8: Area produzione Faam*

In questo capitolo saranno descritti il processo di produzione dei vari elementi, a partire dalla griglia fino alla formazione del Pb e del PbO<sub>2</sub>. Saranno inoltre descritte soluzioni adottate per migliorare il recupero dei fanghi derivanti dalla produzione delle batterie al piombo. Vediamo di seguito le delle nozioni base per comprendere meglio i processi.

Ogni batteria è composta da diverse combinazioni di più elementi.



*Figura 9 vista interna dell'elemento*



Ogni elemento costituisce una cella ed ogni cella è costituita da più piastre positive e negative.

Agli estremi della cella vi sono posizionate sempre piastre negative più sottile rispetto alle piastre negative standard, che sono quelle che si alternano tra le piastre positive. Per questa tipologia più sottile di piastre negative “strette” è richiesta maggiore stagionatura per ottenere una maggiore durezza.

Iniziando dall'estremo sinistro se è richiesto un 3P ovvero 3 piastre positive si andranno a posizionare: - + - + - (indicando con – piastra negativa e + piastra positiva).

Tra le piastre vi si pone una lastra di polietilene per evitare il contatto tra le piastre e l'assenza di carica elettrica.

A questo punto ciò che ottengo è un elemento inerte, dunque, piastre positive e negative. Vantaggi di poter lasciare tali elementi inerti è il maggior tempo per il deterioramento, dunque, in tale stato l'elemento può essere fermo in magazzino semilavorato anche 3 mesi senza subire il processo di ossidazione.

Per permettere agli elementi di essere pronti andremo a caricare con raddrizzatori nel processo di formazione.

Infine, il passo finale è la rifinitura ovvero il posizionamento degli elementi nei cassoni, la successiva pulizia, l'eventuale trabocco, l'inserimento di nuovi bocchettoni e l'imballo.

Il Piombo allo stato puro, Pb, è un metallo malleabile che si presenta di colore bianco-azzurro, ma tende a diventare grigio scuro per esposizione all'aria, dunque, per la presenza di ossidazione superficiale.



*Figura 10: Approvvigionamento piombo*

Infatti, in presenza di aria il piombo si ricopre di una patina, ossido di piombo, che è la principale minaccia per l'intero processo produttivo e conseguentemente determina l'obiettivo principale di ogni fase del processo: l'eliminazione o quantomeno la riduzione dell'ossidazione.

Riusciamo a riconoscere le diverse tipologie di Pb che l'azienda tratta attraverso il colore del piombo. In base alla sua composizione assume una colorazione più o meno scura e questo permette di fare, all'arrivo del piombo in azienda, un primo controllo qualità visivo.

Il vero e proprio controllo qualità si svolge successivamente all'accettazione del piombo, prelevando un campione per analizzarlo in laboratorio.

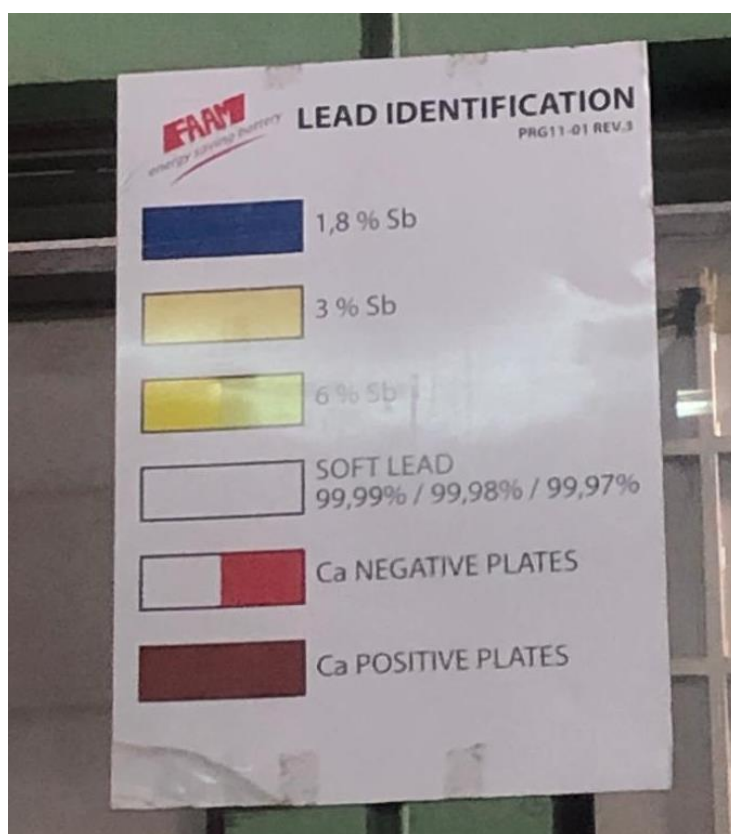


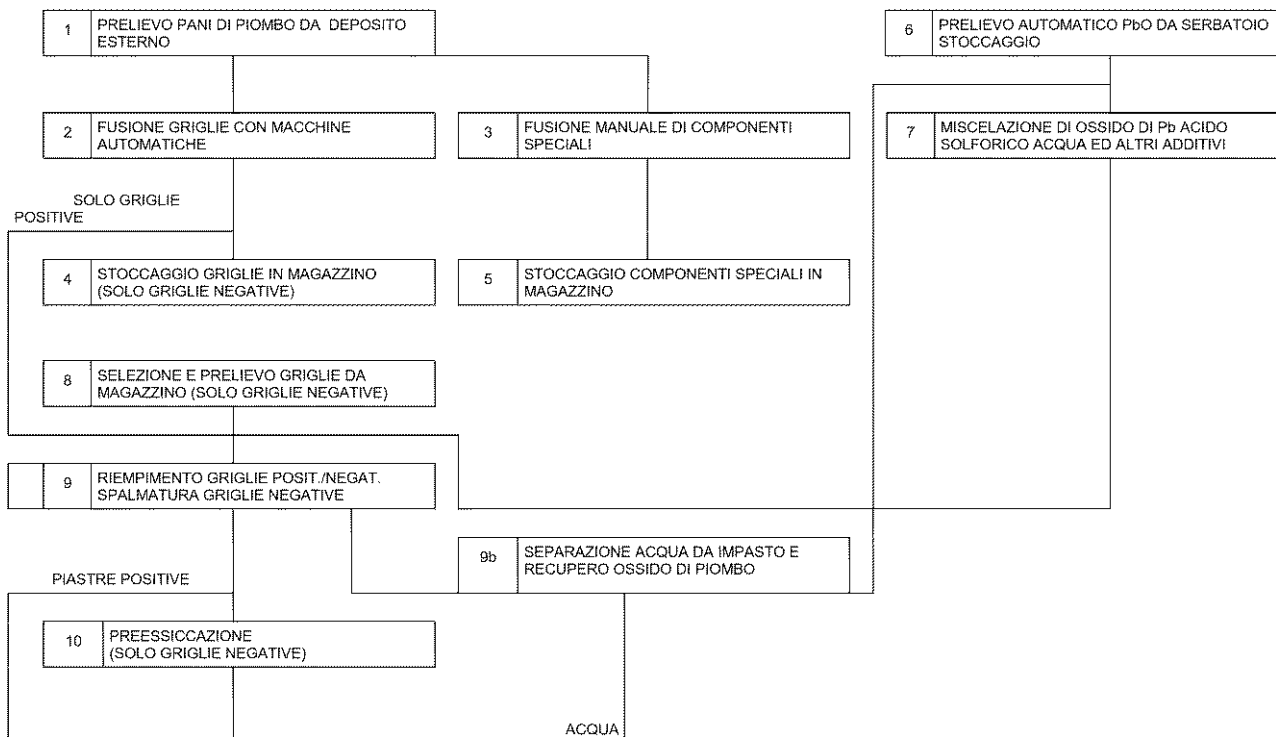
Figura 11 Identificazione del piombo

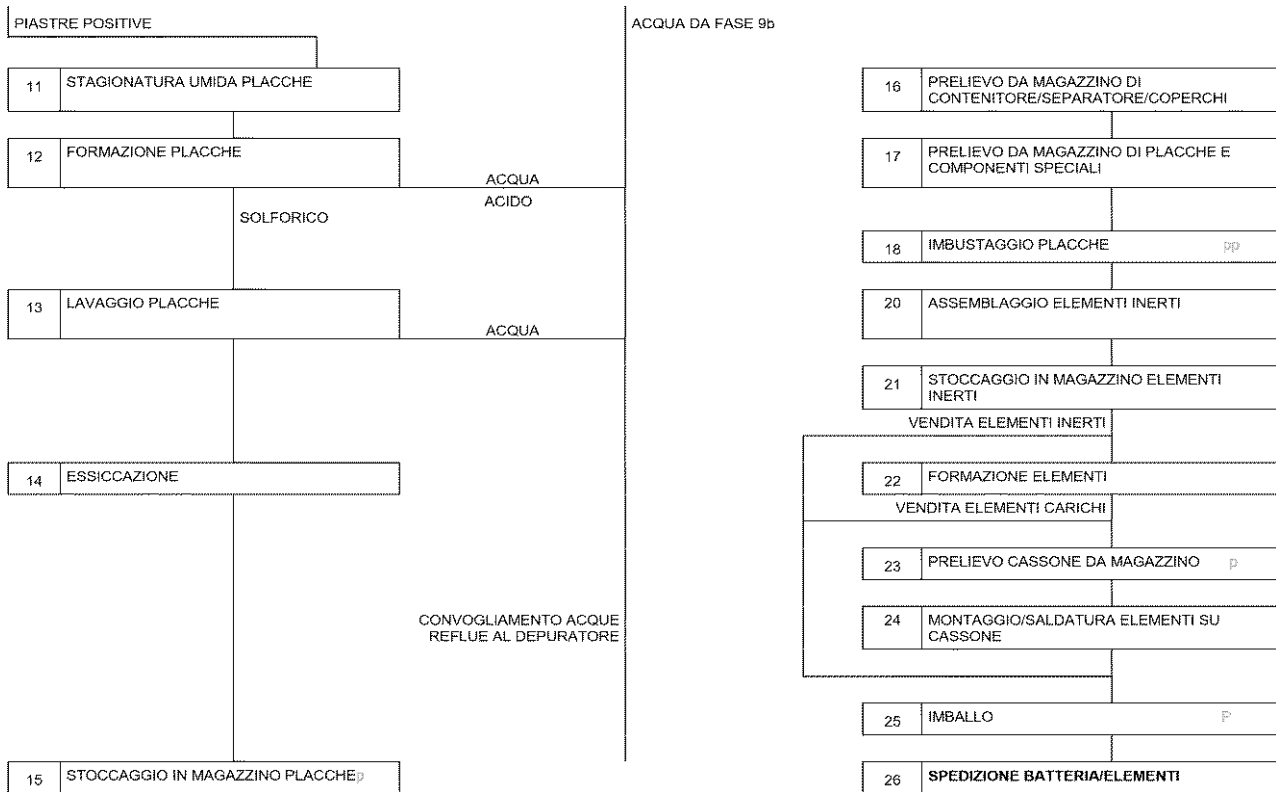
Il piombo a cui ci riferiremo di seguito, è piombo con 99.99% di purezza che appare più scuro rispetto all'1.8% e al 3%, che si differenziano per la presenza di una percentuale relativa ad altre sostanze (antimonio) e la restante parte è costituita dal Pb (non puro), discorso differente è per ulteriori particolari miscele di calcio Ca che sono utilizzate per

lo più per la realizzazione di batterie destinate all'industria alimentare in cui, nel caso di guasti ai macchinari nei quali è montato l'accumulatore non è ammessa alcuna contaminazione con un materiale altamente tossico, quale è il Pb.

Piccole aggiunte di ad es. un altro elemento come l' antimonio ne aumenta considerevolmente la durezza.

Di seguito riportiamo il diagramma a blocchi descrivente il ciclo produttivo specifico per lo stabilimento produttivo di Monte Sant'Angelo :





Per avere un quadro generale delle batterie di accumulatori possiamo dire che gli elettrodi delle batterie al piombo sono costruiti a partire da griglie di Pb sulle quali viene posta la materia attiva e fatte stagionare. Il materiale di partenza è ossido di piombo, a cui sono aggiunti specifici additivi per migliorarne le caratteristiche. In tal modo si ottengono le piastre che subiranno a seconda del tipo, un periodo di stagionatura che servirà a conferirgli la giusta durezza. Dopodiché queste vengono assemblate tra loro, formando l'elemento. Questo subirà un processo di formazione che permette di far creare la reazione entro l'elemento. Una volta pronto questi vanno ad essere assemblati fra loro entro una cassa che costituirà la batteria finale. Andando poi ad essere ripristinate, se serve, e pulite. A quel punto si procede all'imballo e alla spedizione.

### 3.1 FABBRICAZIONE DELLE PIASTRE

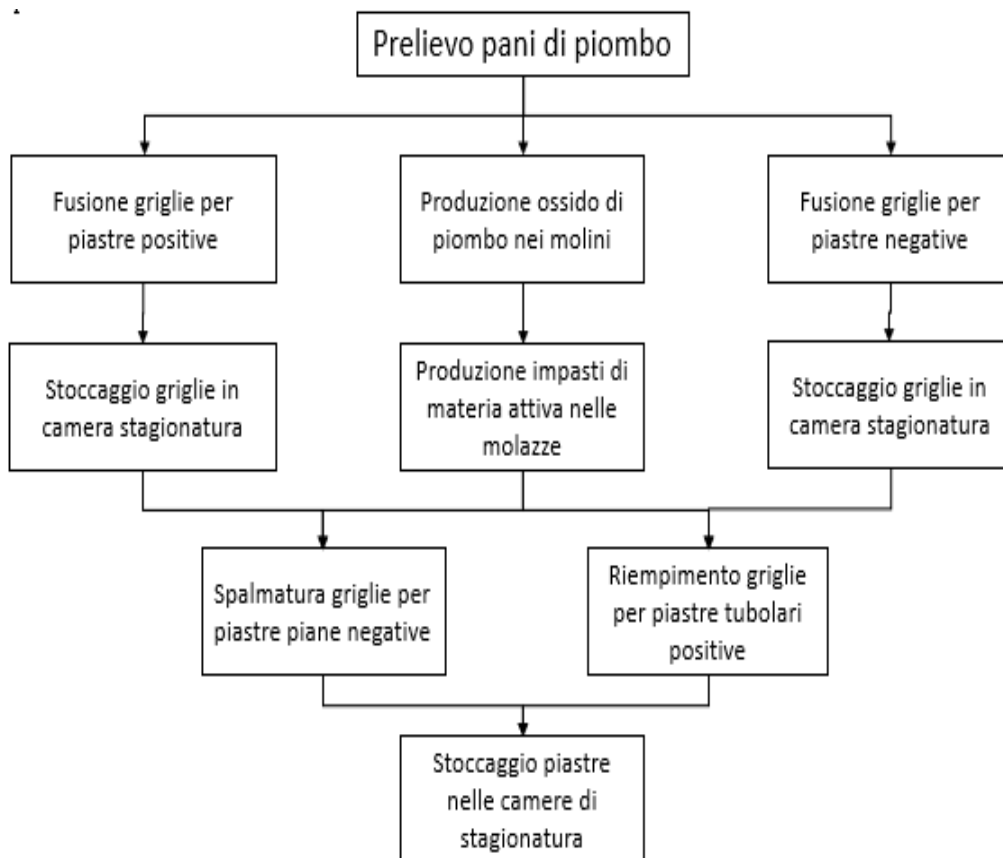
Il processo di fabbricazione delle piastre è caratterizzato principalmente da fasi automatizzate. La fabbricazione inizia con il prelievo dei lingotti di piombo (i pani di

piombo) che vanno ad alimentare sia le fonderie per la produzione delle griglie per piastre tubolari e piane, sia i molini (8t) per la produzione di ossido di piombo (PbO<sub>2</sub>).

La griglia è una rete di leghe a base di piombo che ha la duplice funzione di distribuire la corrente su tutto il materiale attivo e di supportarla meccanicamente, resistendo alle forze di espansione/contrazione generate dalle variazioni volumetriche derivanti dal processo di solfatazione/desolfatazione.

Le griglie vengono ottenute per stampaggio a partire dalla lega fusa. Il design delle griglie Faam è stato ottimizzato al fine di garantire l'uniformità della distribuzione della corrente, maggiore resistenza meccanica e un maggiore capacità di intrappolare di materia attiva.

Le griglie prodotte subiscono un ciclo di stagionatura che va dai 30 ai 50 giorni, in apposite camere di stagionatura; tale ciclo conferisce maggiore resistenza meccanica.



### 3.1.1 GRIGLIA POSITIVA

La Griglia positiva utile per la realizzazione di piastra positiva ha una forma tubolare ricoperta da poliestere predisposta per essere poi riempita dall'impasto di ossido positivo per poi essere posta a stagionare. Le griglie positive sono utilizzate soprattutto nelle batterie stazionarie, poiché sono in grado di sopportare scariche più profonde e di ottenere un alto numero di cicli. Sono costituite da una grossa barra principale dalla quale si estendono delle "spine" cilindriche, avvolte in un separatore di fibre di vetro che serve a contenere la materia attiva.



*Figura 12: Griglia positiva*

### 3.1.2 GRIGLIA NEGATIVA

La griglia negativa utile per la realizzazione di piastra negativa ha una forma totalmente differente da quella positiva, essendo piana. L'azienda ha conferito una differente e caratterizzante forma ad essa per renderla più performante in termini di resistenza meccanica e conducibilità elettrica anche grazie a dei rinforzi laterali.



*Figura 13: Griglia negativa*

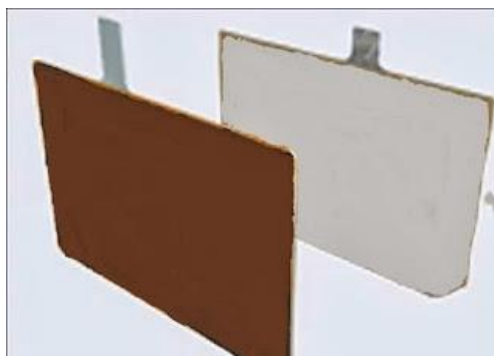
Tale griglia negativa necessita di due differenti periodi di stagionatura. Un periodo di stagionatura subito dopo essere stata prodotta per aumentarne la durezza in quanto il piombo è un metallo malleabile e un periodo di stagionatura dopo essere stata spalmata con l'impasto negativo.

Per quanto riguarda le caratteristiche della stagionatura si rimanda al paragrafo sulla stagionatura.

### 3.1.3 PASTING

Per poter completare il processo di produzione, si procede con il pasting, viene prelevato il materiale dalla molazza collegata ai due container esterni alla zona di produzione. Nella molazza positiva vi è l'impasto positivo e nella molazza negativa, l'impasto negativo che andranno ad essere utilizzati per la realizzazione delle rispettive piastre positive e negative.

Il processo di pasting prevede il riempimento della griglia tubolare (positiva) e la spalmatura della griglia piana (negativa) con il rispettivo ossido, attraverso un processo automatizzato su linee separate per le griglie negative e positive, che controlla spessore, peso ed uniformità della pasta, le piastre vengono riposte in una camera di stagionatura.



*Figura 14: Piastre negative*

Proprio durante questo processo le griglie passano attraverso delle macchine collegate all'impasto che indipendentemente dalla dimensione della griglia spalmano la materia attiva lungo tutta la superficie del rullo della macchina su cui è posizionata la griglia. In questo modo notiamo come a intervalli regolari si deve intervenire pulendo la macchina per evitare la solidificazione del materiale composto principalmente da piombo e dunque del danneggiamento irreversibile della produzione o della macchina.

Nello specifico, per entrambe le piastre si seguono ricette già prefissate, con un peso specifico:

- Per la positiva: tra 3,6 e 3,8 g/cm<sup>3</sup>
- Per la negativa: tra 4,45 e 4,65 g/cm<sup>3</sup>

#### 3.1.4 STAGIONATURA

Tutte le piastre prodotte, sia positive che negative, vengono in stagionate nelle apposite *curing chambers* (camere di stagionatura).

Per stagionatura intendiamo il processo in cui intercorre del tempo tra quando si riempie o spalma la griglia a quando questa si ritiene pronta considerando le specifiche richieste; questo periodo è di circa 5 giorni.

Il processo è influenzato sia da parametri interni, quali la composizione, la densità e la consistenza della pasta, sia da fattori esterni quali la temperatura, l'umidità relativa e la circolazione dell'aria all'interno della camera di stagionatura nelle quali vengono posizionate (umidità pari al 90%). Difatti questi parametri determinano la quantità di acqua presente all'interno della materia attiva, che è uno dei fattori chiave nella buona riuscita dell'elettrodo.

Durante tale processo le griglie prodotte, sia positive che negative, sono posizionate sul fianco più lungo delle stesse e non su una delle due facce principalmente per una questione di ottimizzazione dello spazio e per evitare che le griglie si comprimano le une con le altre.



Durante questa fase si genera una struttura porosa interconnessa saldamente connessa alla griglia.

L'output di tale processo sono rispettivamente le piastre positive e le piastre negative pronte per essere utilizzate nella produzione dei singoli elementi.

### 3.2 PRODUZIONE DELL'OSSIDO DI PIOMBO

<b>Monossido di piombo</b>	
	
<b>Nome <u>IUPAC</u></b>	
Ossido di piombo	
<b>Proprietà chimico-fisiche e Caratteristiche generali</b>	
<b><u>Densità</u></b> (g/cm <sup>3</sup> , in <u>c.s.</u> )	9,6 (20 °C)
<b><u>Solubilità</u></b> in <u>acqua</u>	(20 °C) insolubile
<b><u>Formula bruta</u></b> o <b><u>molecolare</u></b>	PbO
<b><u>Aspetto</u></b>	solido giallo

A temperatura ambiente l'ossido di piombo si presenta come un solido giallo inodore. È un composto tossico per la riproduzione, nocivo, pericoloso per l'ambiente. Mischiato con

l'acqua si può ottenere l' idrossido di piombo, sostanza molto nociva per la salute e l'ambiente.

L'ossido di piombo, si produce dal piombo. Il piombo è un materiale molto resistente alla corrosione: non viene intaccato dall'acido solforico, si scioglie però in acido nitrico. Ha l'importante proprietà di assorbire le radiazioni. Si presume che tutto il piombo esistente sia derivato dal decadimento dell'uranio-238 che si trasforma in piombo con un tempo di dimezzamento di circa 4,51 miliardi di anni.

Il piombo lo troviamo allo stato solido in lingotti detti pani di piombo, questo viene posizionato manualmente su dei rulli motorizzati che lo trasportano all'interno di un forno, passando così allo stato liquido. Il materiale viene versato entro degli stampi, si raffredda e passa nuovamente a stato solido. Tali stampi conferiscono al materiale in lavorazione una dimensione relativamente piccola e una forma cubica; a questo punto, il materiale è movimentato attraverso un mulino (elevatore) che sposta il materiale su un piano superiore, scaricandolo su di un convogliatore a nastro che lo movimentata entro un ulteriore contenitore che sottopone il materiale a grande pressione, in modo da permettere ai cilindretti di scontrarsi tra loro uscendo da lì in stato polveroso. Questa polvere creatasi, l'ossido di piombo, viene dapprima aspirato passando attraverso appositi filtri e poi, successivamente, tramite un sistema ad aria compressa, viene convogliato nei mescolatori a molazze ovvero due contenitori presenti in un'altra area, sino al momento in cui si dovrà generare l'impasto vero e proprio.

Per generare l'impasto vero e proprio si combina acqua (H<sub>2</sub>O), acido solforico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), ossido di piombo (PbO), con additivi quali nerofumo, solfato di bario, composto di lignina e olio ad una temperatura costante compresa tra 55 °C e 60 °C.

Prima di continuare bisogna considerare più aspetti:

La necessità di verificare il livello di umidità dell'ambiente circostante: ciò consente alla macchina di trattare il Pb a determinati valori in modo da “eliminare” l'umidità dunque ridurre la possibilità di ossidazione dello stesso. Tale informazione è data alla macchina circa ogni tre settimane.

- La polvere di Pb che deriva deve coincidere sulla macchina, quanto più possibile con il valore di 30 che è il valore ideale per evitare/ridurre il processo di ossidazione

- Vi è una maggiore probabilità di ossidazione del Pb se esso resta per molto tempo entro i container, prima di essere usato per creare l'impasto.

È possibile verificare la quantità presente di ossido all'interno dei due differenti contenitori (per pasta positiva e negativa) attraverso un monitor su cui ogni container è diviso in più livelli e per ogni livello vi è una spia relativa al livello di riempimento. Se illuminate la prima in basso indica il riempimento delle prime 9t del container, la superiore il riempimento delle successive 9t. stesso discorso va fatto per il secondo container.

È ovvio concludere che se qualunque spia non è illuminata è perché non si sono raggiunte le 9t di materiale all'interno del container e che non potrà mai essere illuminata la spia superiore se non è illuminata anche la inferiore (la prima dal basso).

Questi container sono direttamente collegati ad una differente zona che è la zona di produzione di ossido positivo ed ossido negativo, che andrà ad essere utilizzato rispettivamente per riempire le griglie positive e spalmare le griglie negative. In tale fase l'ossido viene impastato ad altri additivi entro le molazze, contenitori ulteriori che separano i due differenti impasti.

### 3.3 ASSEMBLAGGIO E FORMAZIONE DEGLI ELEMENTI

Il processo di formazione degli accumulatori a partire delle piastre positive e negative stagionate, prevede una prima fase di “imbustamento” (detto sleeving) delle piastre. Questa fase consiste nell'avvolgere le singole piastre con del materiale plastico (PVC) che funge da elemento separatore tra i singoli elettrodi.

Successivamente le piastre imbustate vengono disposte in modo da creare il *gruppo* che costituirà il singolo elemento; tale fase può avvenire sia manualmente che in modo automatico. Il gruppo viene a questo punto inviato ad un macchinari (COS) in grado di effettuare diverse operazioni quali: spazzolatura, stagnatura, colata di piombo fuso per l'aggiunta dei *codoli* in piombo. Questi vengono saldati al gruppo e una volta assemblato

l'accumulatore ne costituiranno i poli attraverso cui avverrà a carica elettrica dell'elemento stesso.

In seguito si ha il caricamento dei gruppi nei rispettivi vasi, ossia nei contenitori plastici che costituiranno la parte esterna degli accumulatori: in questa fase si hanno due tipi di vasi differenti in base alla tipologia di accumulatore.

La chiusura ermetica dei vasi avviene con una termosaldatrice che appone dei coperchi preriscaldati mediante una coppia di resistenze elettriche sui singoli vasi; questa fase termina con la prova di tenuta dell'accumulatore, che consiste nel portare in pressione l'elemento e nel verificare che non ci siano perdite d'aria, fase fondamentale per evitare che i singoli accumulatori possano disperdere acido nella batteria nelle fasi di utilizzo della stessa.

Il processo di assemblaggio si conclude con la formazione degli elementi. Tale processo è legato alla conversione della pasta curata in Pb e PbO<sub>2</sub>. Il processo può avvenire in due differenti modi:

- Tank formation: le piastre positive e negative sono sistemate in un recipiente contenente acido solforico. La durata del processo varia tra 48-72h per le piastre adoperate nelle batterie usate nella trazione e tra 18-30h per le batterie SLI (Starting Lighting-Ignition). Dopo la formazione l'eccesso di acido solforico viene rimosso mediante lavaggi in acqua; infine le piastre vengono essiccate ed opportunamente conservate. Questo metodo è usato per le piastre che non saranno usate per più di sei mesi.

- Container formation: questo processo viene convenzionalmente usato per le batterie SLI che saranno usate entro sei mesi dalla formazione delle piastre. In questo caso le piastre positive e negative vengono assemblate con il separatore e vengono sistemate nel case della batteria. Dopo il riempimento con acido solforico ed un periodo di immersione di 1-2h, le batterie vengono connesse all'alimentatore e formate.

Quest'ultima è la principale metodologia di formazione delle batterie Faam.

Le reazioni che avvengono durante il processo di formazione comportano delle variazioni nella composizione chimica della materia attiva. Per la piastra positiva, si possono distinguere due stadi:

- Stadio 1: la pasta reagisce con l'acido solforico per formare  $\text{PbSO}_4$ ;
- Stadio 2: il solfato di piombo che si è formato durante l'immersione in acido solforico e nella prima fase della formazione è ossidato.

La durata del primo stadio di formazione dipende dalla densità dell'acido solforico. Durante tutto il processo di formazione si ha una continua variazione del volume della pasta attiva in seguito alla formazione del biossido di piombo.

A seconda della composizione delle piastre, cambiano le variazioni volumetriche cui sono soggette le piastre e quindi la resistenza meccanica delle stesse. L'ossido di piombo ed i solfati di piombo sono di colore bianco o tendenti al giallo, mentre il  $\text{PbO}_2$  è marrone: queste differenze di colore all'interno della materia attiva permettono di distinguere le zone formate durante il primo stadio. La struttura formata è molto stabile ed assicura una lunga vita alla batteria in termini di numero di cicli.

Anche il processo di formazione della piastra negativa può essere diviso in due stadi: nel primo stadio (circa 6h), si ha la conversione dell'ossido di Pb e del 3BS, in Pb e del  $\text{PbSO}_4$ .

Durante il secondo stadio, il solfato di piombo si converte in Pb che assume una struttura interconnessa in cui si possono distinguere due differenti zone: la zona a contatto con la griglia consiste in una struttura compatta che fa da sostegno a dei cristalli più piccoli. Quest'ultimi sono quelli che saranno coinvolti nelle reazioni di carica e scarica della batteria e che cambieranno continuamente morfologia con i vari cicli di funzionamento. Si può quindi concludere che la capacità della piastra negativa è determinata principalmente dai cristalli secondari, che possono quindi essere considerati come la vera massa attiva della piastra. La morfologia di questa struttura dipende anche dagli additivi che vengono utilizzati e dalla loro stabilità. Tuttavia, in seguito alla ciclizzazione della batteria, questa doppia struttura scompare in quanto si ottiene una massa poco porosa e compatta a causa della solfatazione irreversibile degli elettrodi.

Durante il processo di formazione è fondamentale controllare numerosi parametri. La corrente di formazione determina la velocità con cui avviene il processo; la massima densità di corrente è limitata dalla temperatura e dalla tensione massime raggiungibili, al fine di evitare un'eccessiva perdita di acqua sia per evaporazione che per lo sviluppo di idrogeno e di ossigeno.

La temperatura non dovrebbe superare i 50°C; tuttavia spesso la formazione viene condotta a 60°C per migliorare la vita della batteria, pertanto, viene sempre monitorata in cabina di controllo e da un operatore attraverso un termoscaner. Le temperature elevate possono provocare la degradazione degli additivi ed accelerare il processo di corrosione delle griglie.

La tensione della batteria deve essere bassa per limitare l'eccessivo sviluppo di idrogeno e di ossigeno. La tensione massima ammissibile durante la formazione è di 2.6-2.65V.

La concentrazione dell'acido solforico esercita una grossa influenza sul processo di formazione delle piastre, determinando sia la composizione che la struttura della materia attiva.

Il metodo più comunemente usato per la formazione delle piastre prevede l'applicazione di una corrente costante; tuttavia, per evitare un eccessivo sviluppo di gas all'inizio della formazione, la corrente viene spesso incrementata gradualmente, seguendo un processo Multi-Step Formation.

Un altro tipico metodo di formazione prevede l'alternanza di fasi di circuito aperto e di scarica. Durante il circuito aperto si ha un allontanamento delle bolle di gas dalle piastre, oltre ad un abbassamento della temperatura.

La durata e l'intensità della corrente di scarica dipende dallo spessore delle piastre che si devono formare.

Ci sono diversi criteri per valutare se il processo di formazione è concluso:

- La concentrazione dell'acido solforico non cambia per un periodo superiore a 2h.
- La velocità di sviluppo di gas raggiunge un valore costante.
- La piastra positiva è di colore marrone.

- La PAM contiene una percentuale di PbO<sub>2</sub> compresa tra 88-92%, mentre la NAM contiene una percentuale di Pb compresa tra il 92-94%.

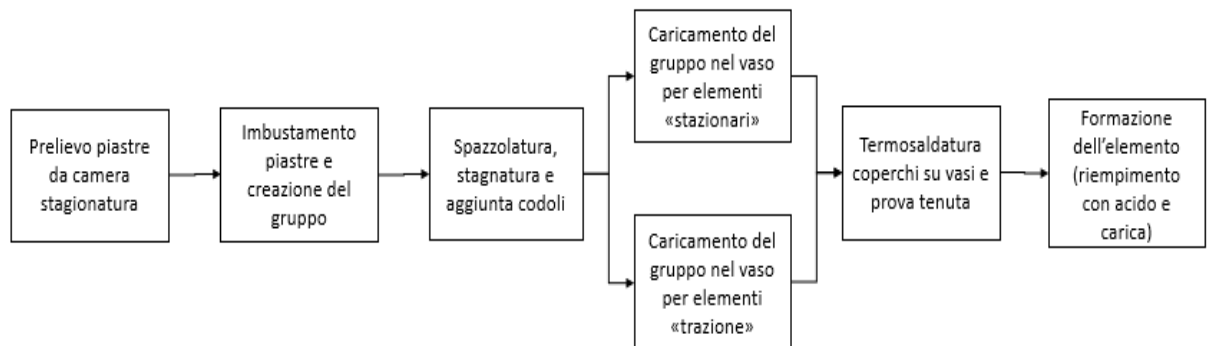


Figura 15: Schema a blocchi assemblaggio e formazione

### 3.4 ASSEMBLAGGIO BATTERIE

Il sotto processo finale per la produzione delle batterie industriali della IBF S.p.a. consiste nell'assemblaggio delle batterie.

Gli accumulatori assemblati formati vengono caricati con dei carrelli elevatori su dei piccoli camion e trasportati nel capannone adibito per l'assemblaggio e al deposito batterie. A questo punto, si dispongono gli elementi entro un cassone metallico, poi si provvede a collegare manualmente i poli dei singoli elementi seguendo schemi predefiniti per i diversi tipi di batterie industriali. Infine le batterie assemblate vengono accuratamente imballate e depositate nel magazzino prodotti finiti e successivamente spedite ai clienti.

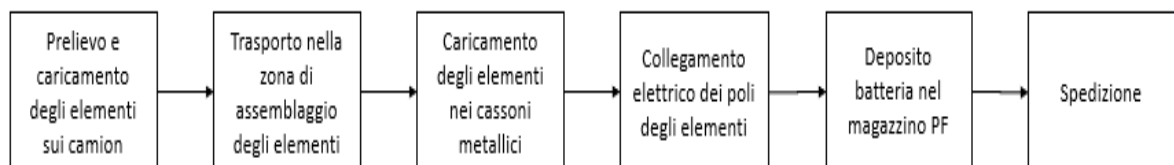


Figura 16: Schema a blocchi assemblaggio batterie

## 4 ECONOMIA CIRCOLARE

Quando si parla di sostenibilità non ci si riferisce semplicemente a nuove e innovative modalità di spostamento che hanno meno impatto sull'ambiente, ma anche a tutte quelle strategie economiche e sociali che possono rendere la nostra vita più semplice, abbattendo qualsiasi forma di sfruttamento, sia esso ambientale o umano.

È proprio in questo contesto che si inserisce l'economia circolare, fenomeno che analizzeremo con cura e attenzione nelle prossime righe.

Il termine economia circolare può essere definito usando le parole scelte dalla Ellen MacArthur Foundation nel suo rapporto del 2012 *“Verso l'economia circolare: motivazioni economiche e di business per una transizione accelerata”*:

*“Economia circolare è un termine generico per definire un'economia pensata per potersi rigenerare da sola. In un'economia circolare i flussi di materiali sono di due tipi: quelli biologici, in grado di essere reintegrati nella biosfera, e quelli tecnici, destinati ad essere rivalorizzati senza entrare nella biosfera”*.

Insomma, un impianto economico capace di ridurre qualsiasi tipo di spreco perché pensato e strutturato per garantire un costante riuso e riciclo di qualsiasi materiale e risorsa in piena contrapposizione al sistema economico lineare che tutti conosciamo.

La linearità, infatti, prevede un'abbondante disponibilità di risorse in qualsiasi luogo e in qualsiasi momento ed è proprio questa caratteristica a renderlo sempre meno funzionale ai tempi che viviamo.

La circolarità è un nuovo modo di immaginare e vedere prodotti e cicli produttivi, basata sulla sua capacità di rigenerarsi autonomamente.

Attualmente, ciò a cui siamo abituati è un eccessivo sfruttamento delle risorse che, una volta esaurito il loro potenziale produttivo, altro non sono che



elementi da smaltire per una massimizzazione del profitto e un abbattimento dei costi.

Con l'economia circolare, invece, si parla di un uso e reintegrazione di ogni risorsa; è ovvio, quindi, che ogni ciclo produttivo deve essere rivisto e adattato a questo nuovo modus operandi.

Per farlo, si parte da cinque principi base:

- **Creazione di ecosistemi:** bisogna iniziare adottando un approccio olistico, ponendo, quindi, molta attenzione all'intero sistema di produzione.
- **Progettazione ecosostenibile:** ogni prodotto deve essere pensato e progettato avendo ben chiaro come potrà essere impiegato in un secondo momento; ecco perché deve necessariamente avere caratteristiche tecniche che ne consentano il recupero.  
Dunque, i rifiuti prodotti da industrie e privati, non come materia di scarto, ma come materiale riutilizzabile, ovvero una seconda materia prima;
- **Recupero e riuso:** le materie prime vergini devono essere sostituite con materie prime seconde provenienti da azioni di recupero atte a preservarne la qualità. Dunque, scongiurare lo spreco a monte.
- **Moduli versatili:** i prodotti devono essere modulari e versatili di modo che siano sempre adattabili a qualsiasi condizione d'uso. Quindi si ha come obiettivo quello di arrestare la morte precoce della materia.
- **Energie rinnovabili:** le energie prodotte da fonti rinnovabili sono la chiave per abbandonare in tempi rapidi i combustibili fossili.

Questa trattazione tenterà come già detto, di dare spunti per la gestione dei fanghi industriali Faam in modo da poter ridurre la quantità di fanghi smaltiti, riutilizzare i fanghi prodotti e continuare a riciclare i fanghi che non si riuscirà a riutilizzare in caso di malagestione continuando a dare una nuova vita a risorse che, altrimenti, sarebbero risultate impossibili da usare e dunque eliminate.

I componenti usati vengono riportati al livello qualitativo originale e, di conseguenza, possono essere venduti come nuovi pezzi con doppio beneficio, ambientale ed economico. L'economia circolare produce, tra i vari benefici, una maggiore sicurezza sulla disponibilità delle materie prime, un aumento della competitività, un impulso all'innovazione e alla crescita economica, ma soprattutto un incremento dell'occupazione.

Naturalmente, questo va fatto parallelamente alle azioni atte a garantire la massima sostenibilità al ciclo vitale delle batterie.

Sebbene sembrasse una sfida impossibile all'inizio, è doveroso dire che il presente ci sta dando ragione: mettere in piedi dei sistemi produttivi che si basano sull'economia circolare, infatti, non solo è possibile, ma è una strategia particolarmente efficace.

Sul breve termine, la circolarità vuol dire riuscire a garantire una produttività praticamente infinita grazie al costante riciclo e riuso di qualsiasi materiale.

Sul lungo termine, invece, un'economia circolare può davvero aiutare nella realizzazione di un futuro migliore sia per l'ambiente che per le nostre abitudini, tornando a un consumo attento e coscienzioso non solo delle risorse che il Pianeta ci mette a disposizione, ma anche del nostro tempo.

#### 4.1.1 L'IMPORTANZA DELLO SMALTIMENTO NELL'ECONOMICA CIRCOLARE

Il recupero, lo smaltimento ed il riciclo delle batterie sono eseguiti con molta attenzione in quanto si tratta di materiali pericolosi sin dalla raccolta. Le batterie vengono smontate mediante la selezione dei componenti da riciclare. Di seguito analizzeremo i vantaggi derivanti dal recupero batterie ma soprattutto faremo un'analisi dei vantaggi derivanti dal riutilizzo dei fanghi derivanti da uso industriale.

Il gruppo Seri, nello specifico nello stabilimento Faam di Monte Sant'Angelo, il recupero delle batterie è totalmente internalizzato entro la filiera dal cassetto al contenitore, dal

depuratore alla calce. Pertanto, la trattazione si focalizzerà sul recupero fanghi.

## RECUPERO BATTERIE AL PIOMBO

Le batterie al piombo esauste vengono reimmesse nel ciclo produttivo dopo avere sostituito i pezzi danneggiati o troppo vecchi, riporta gli accumulatori al piombo allo stato originario. Le batterie recuperate possono dunque essere utilizzate nuovamente, con consumi ridotti e spese di manutenzione ridotte.

Il riciclaggio delle batterie esauste è di fondamentale importanza, per i vantaggi sia economici sia ambientali ad esso collegati. Se non fosse possibile il riciclo, infatti, lo smaltimento delle batterie potrebbe avvenire solo con l'abbancamento in discariche idonee a ricevere rifiuti tossico-nocivi. Quest'ultima soluzione risulterebbe oltremodo onerosa sia per gli eccessivi costi della discarica sia per il mancato recupero e valorizzazione del metallo Pb e di alcune componenti plastiche, oltreché dannosa per l'ambiente. Il metallo riciclato dalle batterie esaurite rappresenta oltre il 40% della produzione italiana di piombo nonché il 37% del fabbisogno nazionale di metallo. Tale produzione secondaria richiede altresì minore energia rispetto a quella necessaria per la lavorazione del minerale.

### 4.1.2 PERICOLOSITÀ BATTERIE ESAUSTE

Le batterie, per la loro composizione, una volta esaurita la loro funzionalità sono dei rifiuti tossici pericolosi per l'ambiente. Il piombo è un metallo pericoloso che non deve essere disperso nell'ambiente. Allo stato metallico, come quello che si ritrova negli elettrodi a griglie delle batterie, esso è scarsamente solubile in acqua, ma può sempre trovare una via di diffusione nella matrice biologica.

La parte attiva, costituita da ossido di piombo, applicata alla griglia, subisce alcune reazioni chimiche artificiali o naturali che lo trasformano in sali o altri composti del piombo generalmente più solubili e, quindi, più pericolosi e maggiormente disperdibili nell'ambiente. Il piombo è altamente tossico: blocca l'attività di alcuni enzimi

interferendo sui processi biochimici vitali; gli organi umani particolarmente sensibili risultano il fegato, il sistema nervoso e l'apparato riproduttivo. Le materie plastiche che contengono la batteria, per quanto resistenti, possono rovinarsi e rompersi.

Dopo l'abbandono, la batteria può subire urti, trascinamenti e schiacciamenti che conducono alla fuoriuscita dei componenti tossici e nocivi, tra i quali l'acido solforico, composto fortemente corrosivo che danneggia qualsiasi materiale col quale entra in contatto. Esso provoca ustioni anche gravi al contatto con la pelle, è pericoloso per ingestione e per inalazione, corrode i tessuti ed altri materiali di abbigliamento e protezione ed è in grado di acidificare grandi bacini o fonti idriche sotterranee o superficiali, danneggiando irreparabilmente flora e fauna e nuocendo, altrettanto irreparabilmente, alle riserve di acqua potabile od irrigua, intaccando le loro caratteristiche di neutralità chimica e di purezza biologica.

La plastica, dei contenitori, è un materiale resistente e non biodegradabile, il quale, pur non esercitando di per sé un pericolo diretto per la salute, poiché chimicamente inerte, è però una fonte di inquinamento visivo: il forte impatto estetico negativo che consegue all'abbandono di rifiuti plastici deturpa il paesaggio. Inoltre, tutti i rifiuti, compresi i contenitori o i sacchetti di plastica, sono in grado di esercitare azioni negative di tipo fisico, come l'ostruzione di condotte, canali ed altro, o di tipo biologico, come il noto fenomeno del soffocamento da ingestione in grandi animali marini.

## GLI IMPIANTI DI RICICLAGGIO

Oltre a possedere, attraverso il Cobat, uno dei migliori modelli di gestione integrata di rifiuti, l'Italia vanta anche una tecnologia per il riciclaggio delle batterie esauste tra le più aggiornate al mondo. Sono sei gli impianti consorziati del Cobat in Italia che effettuano il riciclaggio delle batterie per una capacità installata di 442.000 ton/anno, addirittura superiore rispetto ai volumi provenienti dalla raccolta. Tali impianti sono situati in Lombardia, in Campania, in Calabria e in Sicilia.

Gli impianti di riciclaggio utilizzano un processo che prevede, anzitutto, la fase di frantumazione delle batterie. Dall'area di stoccaggio le batterie sono caricate in una

tramoggia e, tramite nastri trasportatori, sono inviate alla sezione frantumazione composta da mulini a martelli.

Il prodotto frantumato con pezzatura calibrata è trasferito ad un sistema vagliante a umido dove avviene la separazione accurata della parte metallica fine ossidata dal mix di griglie metalliche e materie plastiche. La parte metallica fine (detta “pastello”) viene trasferita ad un filtro pressa.

Il mix di griglie metalliche e materie plastiche viene avviato, mediante nastri, al separatore idrodinamico in controcorrente che, sfruttando la differenza di densità dei vari componenti frantumati, separa le componenti plastiche da quelle metalliche. In questa fase viene anche liberata la parte liquida della batteria (soluzione acquosa di acido solforico) che è inviata all’impianto di neutralizzazione. In questo impianto avviene l’attacco dell’acido con calce idrata e con agenti flocculanti che consentono la decantazione dei solidi disciolti ed il raggiungimento della neutralizzazione del liquido ai valori fissati dalla normativa sugli effluenti.

- **Fusione**

La fusione del pastello avviene alla temperatura di circa 800 – 1.000° C in forni rotativi a fiamma diretta alimentati a metano e ossigeno. Impianti di captazione e abbattimento delle polveri a valle con filtri a maniche consentono un controllo in continuo delle emissioni in atmosfera, nel rispetto dei criteri imposti per legge. Nei forni avviene la riduzione del materiale da solfato e ossido di piombo a piombo metallo attraverso l’aggiunta di appositi reagenti tra cui il ferro. Tale “piombo d’opera” viene successivamente inviato alla raffinazione – alligazione per ottenere piombo raffinato o leghe per vari utilizzi.

- **Raffinazione del prodotto**

Il piombo d’opera, in blocchi o allo stato liquido, proveniente dalla fonderia, viene immesso in caldaie, dove subisce trattamenti diversi a seconda del prodotto finale che si vuole ottenere. A solo titolo di esempio, per ottenere piombo raffinato al 99,97%, si può procedere ad una decuprazione (eliminazione

del rame), quindi ad una destagnazione (eliminazione dello stagno) e ad una successiva depurazione dell'antimonio.

Oggi, infatti, le batterie al piombo sono quasi completamente raccolte e tutte recuperate con tecniche pirotecniche (si brucia la plastica e si recupera il piombo e i metalli fusi) o più efficacemente con tecniche idro-metallurgiche, in grado di riciclare sia il contenitore in plastica che tutti i metalli.

#### 4.1.3 L'IMPORTANZA DELLO SMALTIMENTO FANGHI

I fanghi di depurazione arrivano dal materiale di scarto e si possono suddividere in primari, secondari, biologici o attivi e chimici. I primi hanno una quantità solida del 4% e derivano dalla prima separazione. I secondari derivano da una seconda lavorazione e hanno una percentuale di elementi solidi più bassa rispetto a quelli primari. Si ottengono dei fanghi secondari dopo un processo di lavorazione. Quelli chimici sono invece dei prodotti a seguito del processo di chiariflocculazione, che permette a tutte le particelle non sedimentate di precipitare. Ognuno di questi fanghi di depurazione ha bisogno di uno specifico trattamento.

Per capire meglio il processo di smaltimento fanghi di depurazione, è necessario capire quali sono le fasi della lavorazione. Si parte con un procedimento di ispessimento o addensamento, che permette alla sostanza secca presente nel fango di ridurre il volume, in modo tale da iniziare il trattamento. Si passa poi ad una stabilizzazione biologica, necessaria per poter eliminare i batteri dai fanghi: questa fase è molto importante, visto che i patogeni vengono eliminati definitivamente. Poi si cerca di andare a far leva sui legami dell'acqua, al fine di indebolirli. In questo modo sarà più semplice il processo di disidratazione, che andrà a togliere la maggior parte della sostanza acquosa presente. Questo tipo di operazione serve assolutamente per poter avere un prodotto solido che può essere utilizzato nei due scopi.

Fondamentale è minimizzare la quantità di fanghi da smaltire, da portare quindi al depuratore per poter successivamente separare il Pb dalle altre sostanze e reinserirlo entro il processo produttivo come materia prima. Pb 99.97% purezza.



Figura 17: Fanghi industriali

Esistono delle normative che permettono, a chi produce fanghi di depurazione, di seguire lo smaltimento passo dopo passo senza contaminare l'ambiente. I fanghi possono essere lavorati, ad esempio, in modo tale da ottenere un prodotto riutilizzabile in agricoltura, oppure un rifiuto da scartare.

#### 4.2 VALORI LIMITE PER L'UTILIZZO DEI FANGHI

Possono essere utilizzati i fanghi che al momento del loro impiego in agricoltura, non superino i valori limite per le concentrazioni di metalli pesanti e di altri parametri stabiliti.

##### Valore limite (mg/kg SS)

Cadmio	20
Mercurio	10
Nichel	300
Piombo	750
Rame	1000
Zinco	2500

##### Valore limite

Carbonio organico % SS (min.)	20
Fosforo tot. (P) %SS (min.)	0.4
Azoto tot. % SS (min.)	1.5
Salmonelle MPN/gSS (max.)	10 <sup>3</sup>

Considerare che i valori di sostanza secca relativi al quantitativo effettivamente utilizzato in agricoltura tiene conto delle analisi puntuali trasmesse dagli operatori alle Province (Autorità competente delegata dalla Regione), mentre i dati di produzione e di ritirato dagli impianti sono stimati sulla base dello stato fisico dichiarato nei MUD in virtù delle seguenti ipotesi:

1. stato fisico "liquido (L)": percentuale sostanza secca attribuita 10%;
2. stato fisico "fangoso palabile (FP)": percentuale sostanza secca attribuita 20%;
3. stato fisico "solido non polverulento (SNP)": percentuale sostanza secca attribuita 40%;
4. stato fisico "non determinato": percentuale sostanza secca attribuita 15%.

#### *4.2.1.1 NORMATIVA ITALIANA SUI FANGHI DI DEPURAZIONE*

Negli ultimi mesi si sono moltiplicati gli interventi della magistratura per smascherare discariche di rifiuti con fanghi da lavorazione spacciati per rifiuti tossici. In generale è molto più costoso smaltire questi fanghi nelle discariche che nei campi agricoli. Utilizzarli in agricoltura è legale. Lo consente una legge che recepisce una direttiva europea “basta che non contengono sostanze tossiche e nocive per il terreno, l’uomo e l’ambiente”. Ma, non essendoci specificati tutti gli inquinanti, la legge viene lasciata all’interpretazione. La normativa italiana – che si muove nell’ambito della Waste Framework Directive europea (Direttiva 2008/98/CE), la stessa da cui deriva il mai realmente recepito principio del “chi inquina paga” – classifica i fanghi di depurazione come “rifiuti speciali” (Codice Europeo Rifiuti EER 190805), risultanti dal trattamento delle acque reflue civili ed industriali che possono essere usati come fertilizzante su terreni di cui è necessario modificare pH, salinità e tenore di sodio. Se trattati con le giuste procedure e limitazioni, i fanghi non sono pericolosi né per i terreni né per la salute, nonostante derivino comunque dal trattamento di prodotti farmaceutici, plastiche, detersivi, degli scarti alimentari o delle pelli.

Funziona così: dall’impianto di depurazione il rifiuto viene trattato in appositi impianti di recupero con calce viva o acido solforico e poi lasciato per qualche tempo in apposite biocelle, così da ridurre quanto più possibile il “potere fermentiscibile” e l’impatto sanitario. Passati i controlli di qualità, il fango è pronto per essere usato come fertilizzante.



Il “Rapporto rifiuti speciali 2018” dell’Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (Ispra) basato su dati del 2015-2016 – gli ultimi disponibili – riporta, sul piano nazionale:

- quasi 3,2 milioni di tonnellate fanghi di depurazione prodotti dalle acque reflue urbane (Codice EER 190805), +3,7% rispetto al 2015;
- più di 76.000 tonnellate di fanghi pericolosi prodotti dal trattamento di acque reflue industriali (Codice EER 190811 e 190813);
- più di 806.000 tonnellate di fanghi non pericolosi derivanti dal trattamento di acque reflue industriali.

#### *4.2.1.2 DATI SULLA GESTIONE DEI FANGHI*

I fanghi provenienti dal trattamento delle acque reflue industriali, come indicato nell’art. 2 del D.lgs. 99/1992, sono residui derivanti da processi di depurazione:

- 1) delle acque reflue urbane provenienti da insediamenti civili;
- 2) delle acque reflue urbane provenienti da insediamenti civili e produttivi;
- 3) delle acque reflue provenienti esclusivamente da insediamenti produttivi.

I fanghi possono essere trattati, ovvero sottoposti a trattamento biologico, chimico o termico, a deposito a lungo termine ovvero ad altro opportuno procedimento, in modo da ridurre in maniera rilevante il loro potere fermentiscibile e gli inconvenienti sanitari legati alla loro utilizzazione.

Tali rifiuti possono, prima del loro avvio alle diverse forme di gestione, essere sottoposti a preventivo processo di disidratazione presso il sito di produzione (Ciò che Faam fa con la calce).

La Tabella 4.4.6 evidenzia come nella gestione dei fanghi da trattamento acque reflue industriali le operazioni di smaltimento siano prevalenti rispetto a quelle di recupero con una percentuale pari al 70,8% del totale gestito (706.423 tonnellate).

**Tabella 4.4.6 – Gestione dei fanghi prodotti dal trattamento delle acque reflue industriali (tonnellate), anno 2015-2016**

Operazione di smaltimento/recupero	Codice EER 190811*	Codice EER 190812	Codice EER 190813*	Codice EER 190814	TOTALE
	Quantità (t/a)				
Smaltimento in discarica (D1)		41.140	25.087	191.753	257.980
Trattamento biologico (D8)	11	7.300	131	31.733	39.175
Trattamento fisico-chimico (D9)	1.450	39.133	36.454	82.647	159.684
Incenerimento (D10)		4.463	2.466	4.011	10.940
Raggruppamento preliminare (D13)	32	7.525	4.045	17.898	29.500
Ricondizionamento preliminare (D14)	1	169	2.036	770	2.976
<b>A) Totale smaltito (D1-D14)</b>	<b>1.494</b>	<b>99.730</b>	<b>70.219</b>	<b>328.812</b>	<b>500.255</b>
Utilizzazione principale come combustibile o come altro mezzo per produrre energia (R1)	0	0	1	0	1
Riciclo/recupero delle sostanze organiche non utilizzate come solventi (R3)	0	84.272	2	4.190	88.464
Riciclo/recupero delle sostanze inorganiche (R5)	0	429	1.586	77.832	79.847
Trattamento in ambiente terrestre a beneficio dell'agricoltura o dell'ecologia (R10)	0	1.026	0	0	1.026
Scambio di rifiuti per sottoporli ad una delle operazioni da R1-R11 (R12)	0	17.387	449	2.605	20.441
<b>B) Totale recuperato (R1-R12)</b>	<b>0</b>	<b>103.114</b>	<b>2.038</b>	<b>84.627</b>	<b>189.779</b>
<b>*C) Totale stoccaggio al 31/12 (R13/D15)</b>	<b>83</b>	<b>3.465</b>	<b>2.173</b>	<b>10.668</b>	<b>16.389</b>
<b>Totale gestito (A+B+C)</b>	<b>1.577</b>	<b>206.309</b>	<b>74.430</b>	<b>424.107</b>	<b>706.423</b>

Fonte: ISPRA

Nella tabella 4.4.7 sono evidenziate le diverse operazioni di gestione dei fanghi da trattamenti acque industriali, ripartite nelle varie regioni.

**Tabella 4.4.7 – Gestione dei fanghi prodotti dal trattamento biologico delle acque reflue industriali, contenenti sostanze pericolose, per regione (Codice EER 190811\*), anno 2016**

REGIONE	D8	D9	D13	D14	Totale stoccaggio al 31/12/16	TOTALE
Piemonte	11	4	17	-	-	32
Valle d'Aosta	-	-	-	-	-	0
Lombardia	-	-	-	-	-	0
Trentino Alto Adige	-	-	-	-	-	0
Veneto	-	-	0,4	-	-	0
Friuli Venezia Giulia	-	-	-	-	-	0
Liguria	-	-	-	-	-	0
Emilia Romagna	-	1.238	9	-	75	1.322
Toscana	-	157	-	1	0,1	158
Umbria	-	-	-	-	-	0
Marche	-	-	5	-	8	13
Lazio	-	51	-	-	-	51
Abruzzo	-	-	-	-	-	0
Molise	-	-	-	-	-	0
Campania	-	-	1	-	-	1
Puglia	-	-	-	-	-	0
Basilicata	-	-	-	-	-	0
Calabria	-	-	-	-	-	0
Sicilia	-	-	-	-	-	0
Sardegna	-	-	-	-	-	0
<b>TOTALE</b>	<b>11</b>	<b>1.450</b>	<b>32</b>	<b>1</b>	<b>83</b>	<b>1.577</b>

Fonte: ISPRA

Nelle tabelle 4.4.9 sono riportati i quantitativi di fanghi da altri trattamenti (chimico-fisico) delle acque reflue industriali, contenenti sostanze pericolose, gestiti sul territorio nazionale (EER 190813\*).

**Tabella 4.4.9 – Gestione dei fanghi prodotti da altri trattamenti delle acque reflue industriali, contenenti sostanze pericolose, per regione (Codice EER 190813\*), anno 2016**

REGIONE	D1	D8	D9	D10	D13	D14	R1	R3	R5	R12	R13/D15 al 31/12/16	TOTALE
Piemonte	197	-	5.228	-	3.106	4	-	-	-	147	144	8.826
Valle d'Aosta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lombardia	2.523	131	7.878	-	21	80	-	-	-	-	53	10.686
Trentino Alto Adige	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3
Veneto	3.732	-	4.259	-	202	-	-	-	-	116	78	8.387
Friuli Venezia Giulia	-	-	19	-	-	-	-	-	-	-	16	35
Liguria	-	-	2	-	5	-	-	-	-	1	5	13
Emilia Romagna	4	-	4.845	1.054	160	-	-	-	-	-	370	6.433
Toscana	2.688	-	3.916	-	178	1.923	-	2	-	99	193	8.999
Umbria	14.861	-	88	-	2	-	-	-	-	-	8	14.959
Marche	1.065	-	166	-	183	9	-	-	-	-	4	1.427
Lazio	-	-	9.134	-	36	-	-	-	-	-	646	9.816
Abruzzo	-	-	47	-	-	-	-	-	-	-	69	116
Molise	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Campania	-	-	200	-	86	-	-	-	-	-	6	292
Puglia	-	-	52	-	63	-	-	-	-	86	30	231
Basilicata	-	-	-	1.369	-	-	-	-	-	-	-	1.369
Calabria	-	-	205	-	-	-	-	-	-	-	3	208
Sicilia	-	-	415	43	3	20	1	-	723	-	544	1.749
Sardegna	17	-	-	-	-	-	-	-	863	-	1	881
<b>TOTALE</b>	<b>25.087</b>	<b>131</b>	<b>36.454</b>	<b>2.466</b>	<b>4.045</b>	<b>2.036</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1.586</b>	<b>449</b>	<b>2.173</b>	<b>74.430</b>

Altro punto su cui ci soffermeremo, specificatamente in Puglia dove è ubicata l'azienda, è la quantità maggiore espressa in tonnellate all'anno di fanghi non riutilizzati ma mandati in discarica. Questa è una grossa perdita economica. Ricordiamo infatti che se opportunamente mantenuti i fanghi possono essere utilizzati nei nuovi impasti sino ad un 70% del materiale totale che costituisce l'impasto.

**Tabella 2.3.16 - Fanghi smaltiti in discarica e numero discariche, per regione, anno 2016**

Regioni	Fanghi smaltiti (t/a)	Numero discariche
Piemonte	3.896	2
Valle d'Aosta	0	0
Lombardia	19.294	2
Trentino Alto Adige	3	1
Veneto	16.928	2
Friuli Venezia Giulia	2.277	1
Liguria	14.073	3
Emilia Romagna	16.867	8
<b>NORD</b>	<b>73.338</b>	<b>19</b>
Toscana	9.276	5
Umbria	9.852	4
Marche	40.359	7
Lazio	1	1
<b>CENTRO</b>	<b>59.488</b>	<b>17</b>
Abruzzo	0	0
Molise	1.463	1
Campania	0	0
Puglia	220.741	4
Basilicata	5.021	1
Calabria	1.397	2
Sicilia	9.617	4
Sardegna	6.508	4
<b>SUD</b>	<b>244.747</b>	<b>16</b>
<b>ITALIA</b>	<b>377.573</b>	<b>52</b>

Fonte: ISPRA

La produzione dei rifiuti speciali secondo la codifica del Regolamento (CE) n. 2150/2002, relativo alle Statistiche sui rifiuti

La produzione complessiva dei rifiuti speciali, si attesta, nell'anno 2016, a circa 135,1 milioni di tonnellate, di cui circa 125,5 milioni di tonnellate di rifiuti non pericolosi e 9,6 milioni di tonnellate di rifiuti pericolosi.

La tabella 3.3 riporta i dati di produzione dei rifiuti speciali, non pericolosi e pericolosi, per categoria merceologica dei rifiuti, secondo la codifica del Regolamento (CE) n. 2150/2002.

**Tabella 3.3 – Produzione dei rifiuti speciali secondo la codifica del Regolamento (CE) n. 2150/2002 relativo alle statistiche sui rifiuti (tonnellate), anno 2016**

(1) Aggregazione delle categorie dei rifiuti di cui all'allegato 1, sezione 2 del Regolamento (CE) n. 2150/2002		NP	P	Totale
Sottocategoria	Descrizione			
01.1	Solventi usati	-	287.757	287.757
01.2	Rifiuti acidi, alcalini o salini	235.442	343.281	578.723
01.3	Oli usati	-	850.458	850.458
01.4 - 02 - 03.1	Rifiuti chimici	820.326	1.789.039	2.609.365
03.2	Fanghi derivanti da acque reflue industriali	4.341.444	771.434	5.112.878
03.3	Fanghi e rifiuti liquidi derivanti da operazioni di trattamento dei rifiuti	4.659.223	157.944	4.817.167
05	Rifiuti della sanità e biologici	4.387	135.703	140.090
06.1	Rifiuti metallici ferrosi	8.623.938	-	8.623.938
06.2	Rifiuti metallici non ferrosi	1.245.942	-	1.245.942
06.3	Rifiuti metallici misti, ferrosi e non ferrosi	354.327	-	354.327
07.1	Rifiuti in vetro	1.048.978	442	1.049.420
07.2	Rifiuti di carta e cartone	2.085.913	-	2.085.913
07.3	Rifiuti di gomma	472.990	-	472.990
07.4	Rifiuti in plastica	2.697.896	-	2.697.896
07.5	Rifiuti in legno	3.736.038	11.449	3.747.487
07.6	Rifiuti tessili	332.620	-	332.620
07.7	Rifiuti contenenti PCB	-	4.655	4.655
08 (escluse 08.1 - 08.41)	Apparecchiature scartate (esclusi i veicoli fuori uso, le batterie e gli accumulatori)	363.772	78.600	442.372
08.1	Veicoli fuori uso	839.307	1.308.488	2.147.795
08.41	Batterie e accumulatori	5.454	183.267	188.721
09.1	Rifiuti della preparazione di alimenti e di prodotti alimentari di origine animale	391.210	-	391.210
09.2	Residui vegetali	907.619	-	907.619
09.3	Feci animali, urina e letame	84.362	-	84.362
10.1	Rifiuti domestici e simili	70.766	-	70.766
10.2	Materiali misti e indifferenziati	5.837.745	61.381	5.899.126
10.3	Residui di cernita	17.011.885	672.775	17.684.660
11	Fanghi comuni	6.941.181	-	6.941.181

(1) Aggregazione delle categorie dei rifiuti di cui all'allegato 1, sezione 2 del Regolamento (CE) n. 2150/2002		NP	P	Totale
Sottocategoria	Descrizione			
12.7	Terra di dragaggio	248.218	10.838	259.056
12.8 - 13	Rifiuti minerali derivanti da operazioni di trattamento dei rifiuti e rifiuti stabilizzati	2.588.921	1.429.331	4.018.252
<b>Totale</b>		<b>125.471.372</b>	<b>9.607.328</b>	<b>135.078.700</b>

(1) La leggenda delle categorie dei rifiuti ricomprese nelle sottocategorie descritte in tabella è riportata nella tabella 3.1.

NP: non pericolosi P: pericolosi

Fonte: ISPRA

La tabella 3.7 riporta i dati di gestione dei rifiuti speciali, elaborati, a livello nazionale, secondo la nomenclatura statistica prevista dal Regolamento (CE) n. 2150/2002, per categorie merceologiche (pericolosi e non pericolosi).

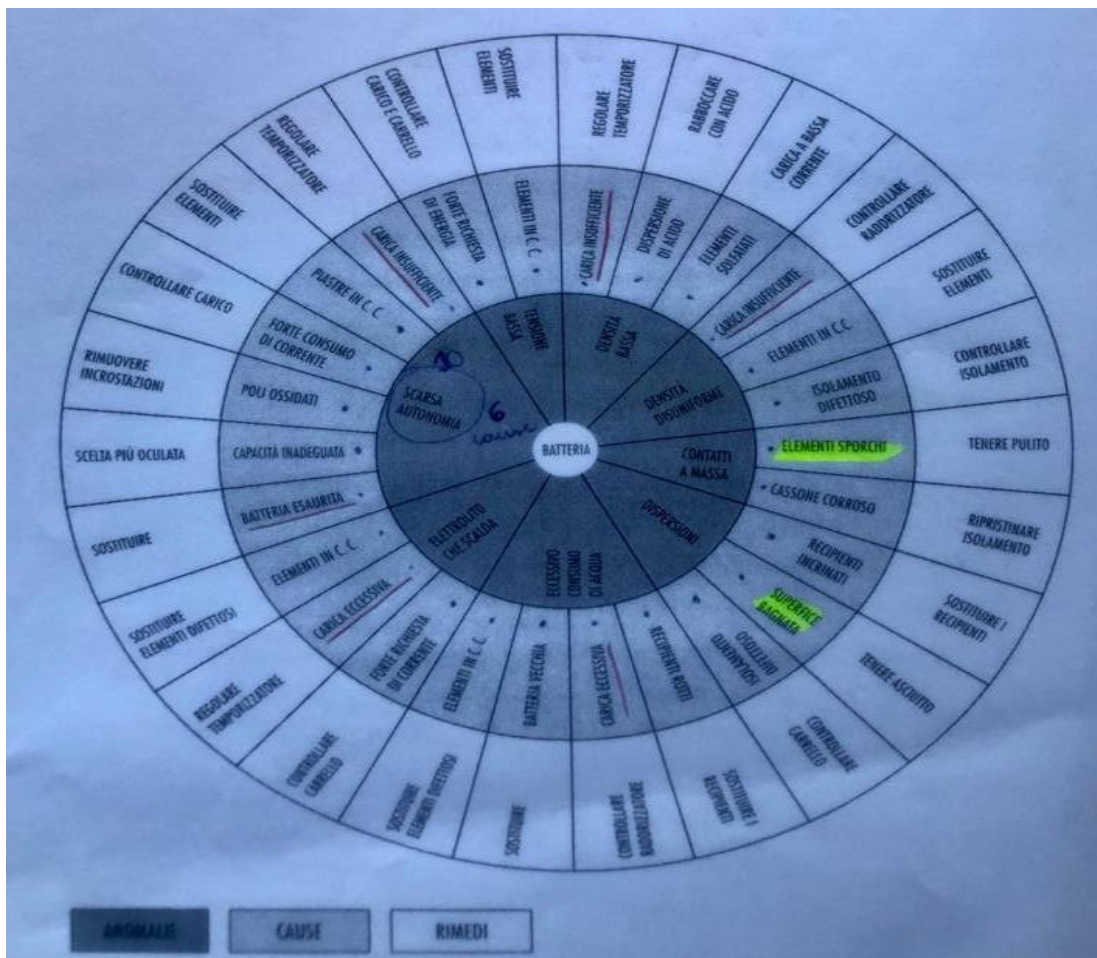
**Tabella 3.7 – Gestione dei rifiuti speciali secondo la codifica del Regolamento (CE) n. 2150/2002 relativo alle statistiche sui rifiuti (tonnellate), anno 2016**

Aggregazione delle categorie dei rifiuti di cui all'allegato 1, sezione 2 del Regolamento (CE) n. 2150/2002		NP/P	Totale recuperato	Totale smaltito	Totale gestito
Sottocategoria	Descrizione				
01.1	Solventi usati	P	189.859	109.892	299.751
01.2	Rifiuti acidi, alcalini o salini	NP	165.491	78.564	244.055
01.2	Rifiuti acidi, alcalini o salini	P	248.751	165.631	414.382
01.3	Oli usati	P	432.343	308.955	741.298
01.4 - 02 - 03.1	Rifiuti chimici	NP	241.333	515.397	756.730
01.4 - 02 - 03.1	Rifiuti chimici	P	471.842	1.341.797	1.813.639
03.2	Fanghi derivanti da acque reflue industriali	NP	518.437	3.647.946	4.166.383
03.2	Fanghi derivanti da acque reflue industriali	P	86.552	733.070	819.622
03.3	Fanghi e rifiuti liquidi derivanti da operazioni di trattamento dei rifiuti	NP	123.447	4.444.210	4.567.657
03.3	Fanghi e rifiuti liquidi derivanti da operazioni di trattamento dei rifiuti	P	37.634	98.693	136.327
05	Rifiuti della sanità e biologici	NP	317	4.219	4.536
05	Rifiuti della sanità e biologici	P	24.487	117.922	142.409
06.1	Rifiuti metallici ferrosi	NP	12.846.505	24.556	12.871.061
06.2	Rifiuti metallici non ferrosi	NP	2.009.937	8.939	2.018.876
06.3	Rifiuti metallici misti, ferrosi e non ferrosi	NP	704.286	2.215	706.501
07.1	Rifiuti in vetro	NP	2.090.591	25.720	2.116.311
07.1	Rifiuti in vetro	P	12	345	357
07.2	Rifiuti di carta e cartone	NP	3.433.054	30.125	3.463.179
07.3	Rifiuti di gomma	NP	400.788	3.792	404.580
07.4	Rifiuti in plastica	NP	2.448.520	120.957	2.569.477
07.5	Rifiuti in legno	NP	5.178.526	10.440	5.188.966
07.5	Rifiuti in legno	P	4.540	1.725	6.265
07.6	Rifiuti tessili	NP	277.964	32.791	310.755
07.7	Rifiuti contenenti PCB	P	399	2.434	2.833
08 (escluse 08.1 - 08.41)	Apparecchiature scartate (esclusi i veicoli fuori uso, le batterie e gli accumulatori)	NP	453.329	21.776	475.105



### 4.3 LA ROSA DELLE ANOMALIE

Per individuare con esattezze le principali cause di mal funzionamento della batteria e per ottimizzare i costi, si deve far riferimento a dati relativi all'esperienza acquisita in anni di convivenza con gli accumulatori. Attraverso la rosa delle anomalie andiamo a indicare ed analizzare le più comuni circostanze di funzionamento anomalo delle batterie evidenziandone le cause ed i rimedi possibili sotto il punto di vista dell'economia circolare.



Abbiamo problemi quali che possono manifestarsi a seguito di determinati problemi, sotto riportati, più o meno spesso.

Vediamo dunque quali problematiche avvengono a seguito di possibili cause e con quale percentuale, in modo da andare ad effettuare un'analisi per operare sulle problematiche che possono manifestarsi più frequentemente:

	TOTALE	%
▪ SCARSA AUTONOMIA	6	23,07692308
▪ ECC. CONSUMO ACQUA	4	15,38461538
▪ ELETTROLITO SCALDA	3	11,53846154
▪ DISPERSIONI	3	11,53846154
▪ DENSITÀ BASSA	3	11,53846154
▪ DENSITÀ UNIFORME	3	11,53846154
▪ CONTATTI A MASSA	2	7,692307692
▪ TENSIONE BASSA	2	7,692307692
	26	

Interconnessi a 19 possibili cause:

- Carica insufficiente
- isolamento difettoso
- carica eccessiva
- batteria esausta
- superficie bagnata
- elementi solfati
- elementi sporchi
- batteria vecchia
- poli ossidati
- recipienti rotti
- capacità inadeguata
- dispersione di acido
- recipienti incrinati
- cassone corrosivo
- piastre in corto circuito
- forte consumo di corrente
- forte richiesta energia
- forte energia corrente



## 5 RACCOLTA E ANALISI DEI DATI PER IL RECUPERO DEI FANGHI

Per comprendere le indicazioni tecniche operative necessarie per riutilizzare il fango derivante dal processo produttivo vi si fa riferimento ad un documento che descrive le procedure tecniche e quelle relative alla sicurezza dei lavoratori.

Lo studio di tale documento ha permesso di capire che per poter riciclare internamente il fango non si ha bisogno di grandi imprese; passando per un sistema di filtraggio di oggetti solidi dal cestello, si arriva al silos di decantazione. Questo con una capacità di 1000 litri fa sì che il fango decanti, arrivando alla giusta densità. Se questa non fosse quella richiesta, si va ad aggiungere acqua demineralizzata per le quantità riportate nella figura.

<b>FAAM</b>	<b>PREPARAZIONE FANGO DI RECUPERO A DENSITA' 1,7 KG/L</b>	
<b>PREPARATION OF RECOVERY MUD DENSITY 1.7 KG / L</b>		
DENSITA' FANGO/MUD DENSITY	QUANTITA' DI RIFERIMENTO 800 L/ QUANTITY REFERENCE 800 L	QUANTITA' DI RIFERIMENTO 1000 L/ QUANTITY REFERENCE 1000 L
1,75 Kg/l	80 l	100 l
1,8 Kg/l	160 l	200 l
1,85 Kg/l	240 l	300 l
1,9 Kg/l	320 l	400 l
1,95 Kg/l	400 l	500 l
2 Kg/l	480 l	600 l
2,05 Kg/l	560 l	700 l
2,1 Kg/l	640 l	800 l
2,15 Kg/l	720 l	900 l

IOP.06 Allegato 1 Rev. 1

Figura 18 preparazione fanghi di recupero

Il punto chiave di questo elaborato è proprio sul recupero degli scarti di lavorazione sia per un punto di vista economico che per un punto di vista ambientale.

Attualmente il layout delle canaline, che si colloca esattamente nella parte sottostante le linee produttive positive, è così disposto:

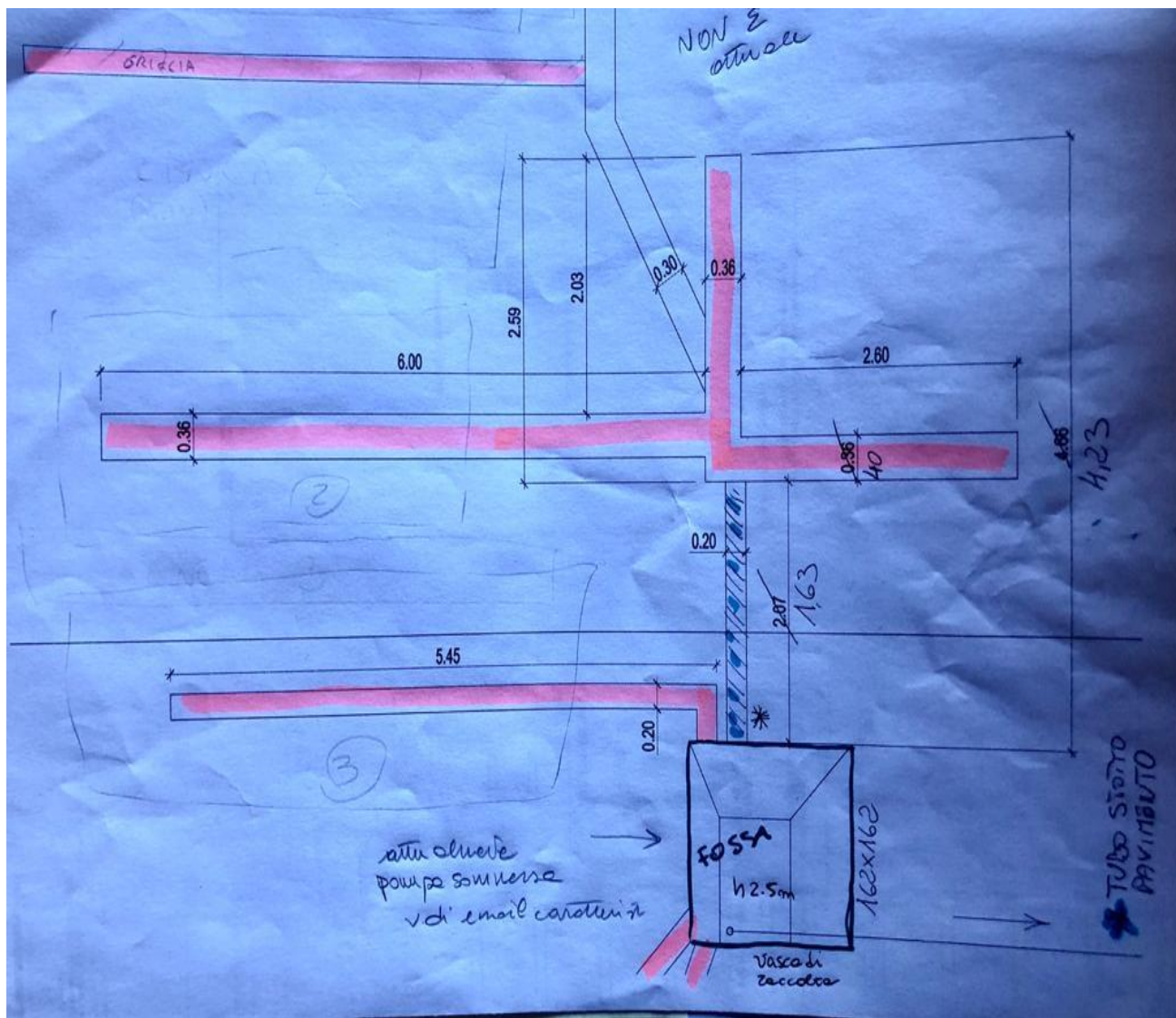


Figura 19: Layout canaline e attuale fossa

Problematica principale è la solidificazione prematura del fango sulle griglie e sul fondo delle canaline, che va a sedimentarsi non permettendo l'ingresso del fango entro le canaline o riducendo la capacità delle canaline stesse.

Ciò impedisce di ottimizzare la raccolta dei fanghi per il loro riutilizzo e obbliga la produzione a fermarsi per liberare i passaggi per la raccolta dei fanghi.

Una volta solidificati, questi non sono più riutilizzabili, si presentano infatti come pietre e devono essere smaltiti, sostenendo i costi che vedremo in seguito.

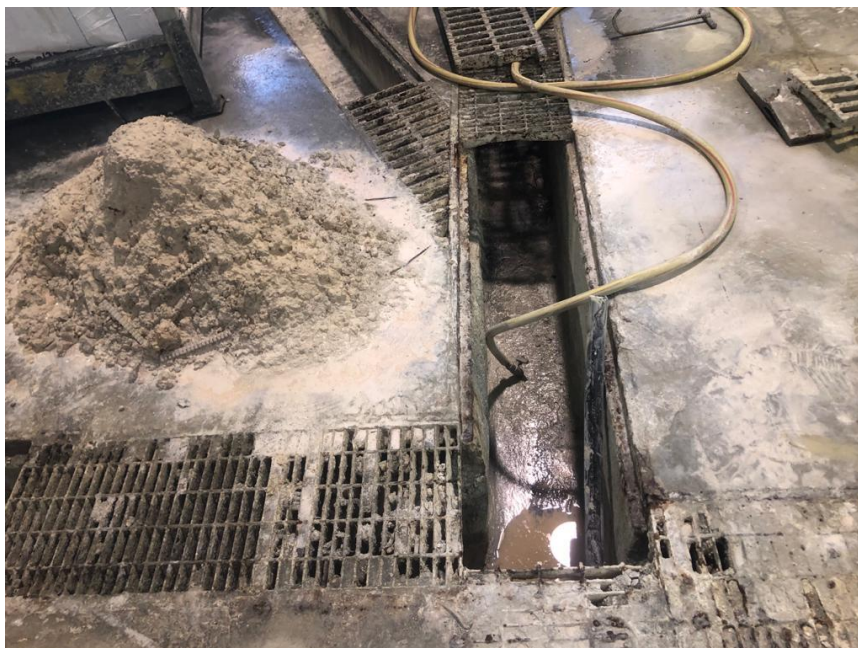


Le canaline risultano infatti prima della rimozione dei fanghi così:



*Figura 20: Canaline prima della pulizia*

Quando poi si va a pulire, utilizzando la forza lavoro di due turni (16 ore totali) di otto persone, ogni quattro mesi all'anno, le canaline tornano ad essere così:



*Figura 21: Canalina pulita*



*Figura 22: Canalina pulita*

Le canaline conducono i fanghi entro una vasca di raccolta (che attualmente risulta una fossa) di 2.5 metri di altezza e 1.60 metri di larghezza.

Da dati storici, in un anno si sono accumulate 100 tonnellate di fanghi che sono state smaltite. Il costo dello smaltimento è riconosciuto al 50% il che vuol dire che per ogni chilo di fango mandato a smaltire, ritorna il 50% in peso di piombo rigenerato e pronto per essere riutilizzato. Questo però non considera i costi sostenuti di tassazione che dipende dall'iva che va a credito e poi in detrazione.

In questo paragrafo mostriamo i dati Faam riferiti all'anno 2019 del quantitativo (espresso in metricubi) di fanghi inviati al depuratore. Sarà dunque fatta un'analisi economica che evidenzia i costi sostenuti dall'azienda senza la logica del riuso.

In seguito, verrà effettuata l'analisi completa dei costi che l'azienda sosterebbe con la logica del riuso dei fanghi e le azioni necessarie per poterlo fare.

Come già detto, i fanghi sono costituiti anche da acqua, questa dovrà essere smaltita con attenzione poiché contenente sostanze nocive con cui è entrata in contatto. Per tale motivo l'azienda deve considerare un'incidenza anche dell'acqua sui costi di smaltimento. Questa fa sì che, nei fanghi si aggiunga calce per mandare per lo più i fanghi sotto forma solida al depuratore e mandare l'acqua entro la vasca presente entro la stessa azienda.

Nella tabella sotto riportata vediamo che durante l'anno 2019 sono stati scaricati 22.174 metri cubi di fanghi, equivalente a 100 tonnellate.

L'azienda nell'anno 2019 avrebbe smaltito solo nelle 3 volte all'anno in cui fa manutenzione straordinaria (pulizia) delle attrezzature, circa 81 tonnellate di fanghi. Manutenzioni assolutamente necessarie per evitare un'eccessiva riduzione delle aree che accolgono i fanghi – ciò a causa della solidificazione della materia.

Il costo che l'azienda paga al depuratore per smaltire i fanghi è mediamente di 2 euro/kg – dipende infatti dalla LME ovvero dalla quotazione del piombo; dopo la depurazione, l'azienda riprende il piombo rigenerato, svalutato di 1 euro/kg. I costi non considerati oltre a questi sono i costi additivi, imputabili a consumi energetici e lavori straordinari.

Per via delle differenti densità, i fanghi re introducibili nel processo produttivo devono avere una densità non minore di 1.5 kg/l, altrimenti devono essere lasciati a decantare, aumentando così di densità, ma a quel punto non avendo le giuste attrezzature, si solidificano risultando inutilizzabili.

Nella figura riportata di seguito vediamo i dati riguardanti lo smaltimento di fanghi:

**Consumo annuale acqua industriale e potabile ANNO 2019**

**Monitoraggio depuratore** **ANNO 2019**

IOP27-01  
Rev.1

MESE	METRI CUBI SCARICATI	PARAMETRI DI USCITA						PRAMETRI INGRESSO				ORE FUNZ.	COSTO ADDITIVI (€)
		MEDIA			MASSIMO			MEDIA		MASSIMO			
		valore in mg/l del piombo	Ph uscita	Cond uscita	valore in mg/l del piombo	Ph uscita	Cond uscita	valore in mg/l del piombo	Ph ingr.	valore in mg/l del piombo	Ph ingr.		
GEN	1400	0,05	7,91	2,97	0,08	8,10	3,20	1,37	1,11	2,00	2,00	245	242,06
FEB	1400	0,05	7,96	2,94	0,06	8,20	3,10	1,11	1,03	2,00	2,00	275	220,09
MAR	2170	0,05	7,92	2,95	0,06	8,10	3,30	1,29	1,02	2,00	2,00	432	376,02
APR	1812	0,05	8,02	2,91	0,08	8,50	3,10	1,40	1,00	5,00	1,00	319	259,77
MAG	2088	0,05	7,97	3,00	0,06	8,20	3,50	1,80	1,05	2,00	2,00	440	457,03
GIU	1500	0,04	8,00	2,95	0,05	8,20	3,20	1,37	1,00	2,00	1,00	284	254,36
LUG	1860	0,05	7,93	2,94	0,06	8,20	3,20	1,32	1,03	2,00	1,50	353	301,65
AGO	1986	0,05	8,00	3,13	0,06	8,20	3,30	1,82	1,00	2,00	1,00	208	219,63
SET	2100	0,05	7,94	3,03	0,06	8,20	3,20	1,37	1,11	2,00	2,00	428	365,79
OTT	2025	0,05	7,95	2,95	0,06	8,10	3,20	1,55	1,08	2,00	2,00	388	375,44
NOV	1945	0,05	7,92	2,98	0,06	8,10	3,30	1,35	1,13	2,00	2,00	422	347,42
DIC	1888	0,05	7,89	3,01	0,05	8,20	3,20	1,47	1,18	2,00	2,00	325	295,70
											<b>22.174</b>	<b>3714,97</b>	

INDUSTRIALE	
gen-19	1400
feb-19	2049

A.N.S.	
	0
	649

mar-19	2720
apr-19	1513
mag-19	1916
giu-19	2122
lug-19	1930
ago-19	320
set-19	3341
ott-19	2744
nov-19	2285
dic-19	1590
	<b>23930</b>

550
-299
-172
622
70
-1666
1241
719
340
-298
<b>1756</b>

<b>POT. FIB</b>	
gen-19	107
feb-19	110
mar-19	95
apr-19	70
mag-19	148
giu-19	148
lug-19	87
ago-19	100
set-19	100
ott-19	109
nov-19	121
dic-19	107
	<b>1302</b>

<b>POT.FEDMA</b>	
gen-19	38
feb-19	40
mar-19	34
apr-19	20
mag-19	30
giu-19	99
lug-19	50
ago-19	12
set-19	15
ott-19	29
nov-19	35
dic-19	53
	<b>455</b>

**1757**

Con tali dati, in termini numerici diciamo che l'azienda ha sostenuto costi pari a 203.714,97 per il solo smaltimento.

## 6 ELABORAZIONE DATI

### 6.1 IL PROGETTO DI MIGLIORAMENTO

Tale progetto ha l'obiettivo di massimizzare il corretto recupero dei fanghi, utilizzando principalmente macchinari e strutture già presenti e ammortizzati, evidenziando un sistema di economia circolare che permetta di ottenere vantaggi economici e ambientali.

L'ipotesi di partenza si basa sul fatto che la preparazione del fango di recupero non richiede costi esterni o processi particolari; i costi del personale sono stati già assorbiti e non servono processi per la preparazione. Questo, deve essere filtrato in modo da eliminare le impurità solide e - se necessario – lasciato a decantare per circa 30 minuti. Si lascia decantare se la densità è minore di 1.7 kg/l; mentre se la densità è maggiore di 1.7 kg/l si aggiunge acqua demineralizzata per una quantità prefissata in base alla densità del fango di recupero.

Per il raggiungimento di tale obiettivo, bisogna:

- Indirizzare gli scarti all'interno di una vasca di raccolta
- Movimentare il materiale all'interno della vasca
- Evitare accumuli di scarto nella vasca nel lungo periodo
- Mantenere una disponibilità di fango costante

Considerando il piombo un materiale con un elevato peso specifico, di 11,342, e sotto l'ipotesi che gli scarti provengano principalmente dall'eccesso di materia attiva costituita per circa l'80% da ossido di piombo, notiamo che il materiale con maggiore densità tende a sedimentarsi sul fondo della vasca ( $1.7 \text{ kg/l} < d < 2 \text{ kg/l}$ ). Il fango, prodotto dalle lavorazioni, che si trova sul fondo della vasca ha una consistenza – prima di iniziare il processo di solidificazione – simile al calcestruzzo, questo tende a solidificarsi velocemente se non movimentato. Per questo si ipotizza di posizionare un agitatore all'interno della vasca di raccolta per movimentare la parte con densità maggiore.

L'ipotesi è quella di prelevare il materiale dal fondo della vasca attraverso una coclea che fa confluire il materiale entro il decantatore, direttamente collegato alla molazza.

Andiamo così ad analizzare la proposta in dettaglio e al fine di renderla più chiara.



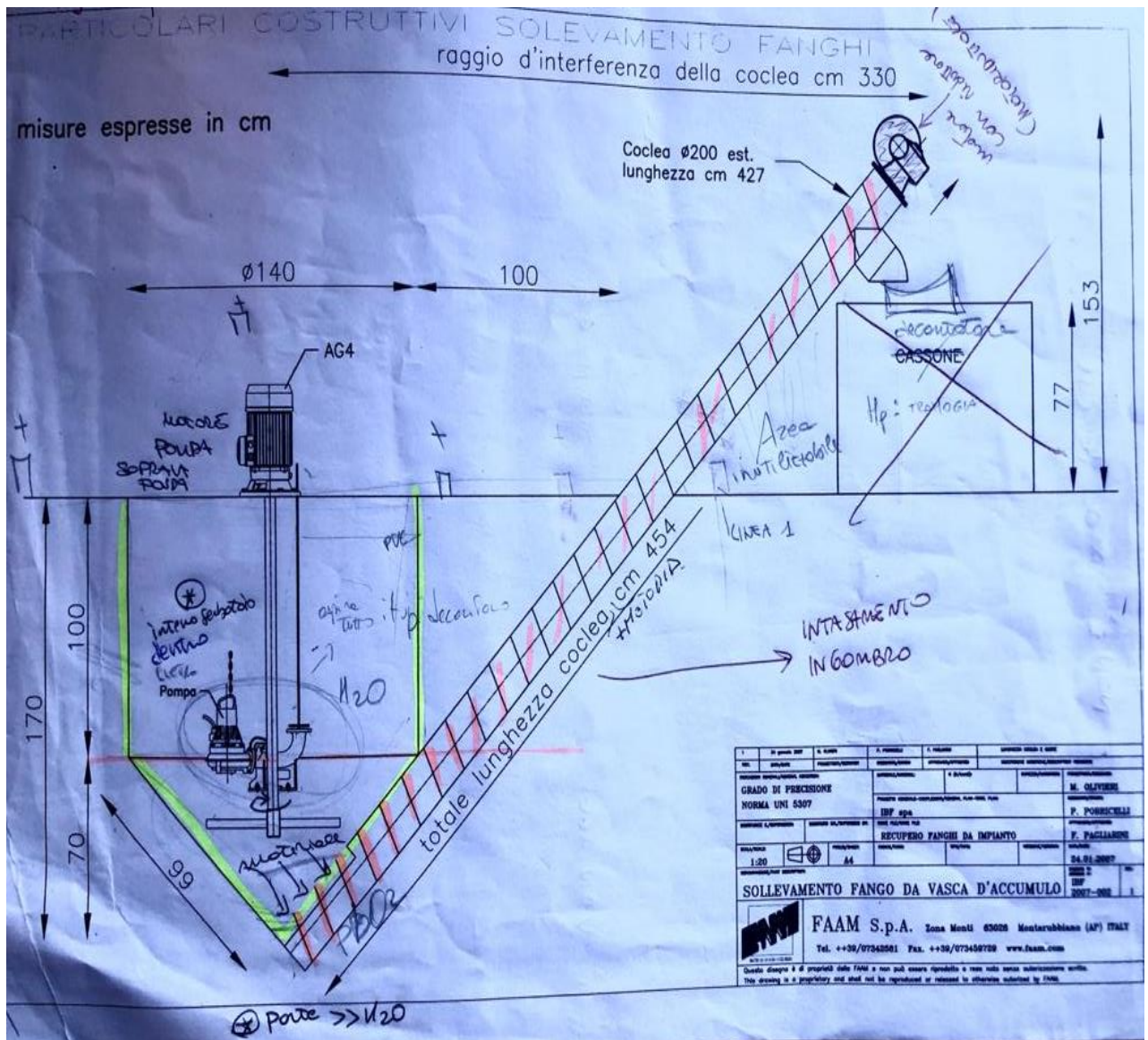


Figura 23: Proposta

Descriviamo quindi nel dettaglio l'ipotesi. Non esiste un additivo tale da ammorbidire il fango solidificato. Dunque, prima di trasportare i fanghi nel decantatore, si va a progettare innanzitutto una vasca di raccolta dei fanghi, con l'obiettivo di incanalare i fanghi e movimentarli costantemente - nella parte inferiore della vasca - riuscendo così a rallentare significativamente il processo di solidificazione dei fanghi.

Nella vasca, infatti, si andranno a creare diverse zone, partendo dalla parte più inferiore troveremo acqua (H<sub>2</sub>O) e ossido di piombo (PbO) quindi le sostanze con densità maggiore (circa 1.7 kg/l). Subito dopo ci saranno le sostanze con densità sempre minore, dunque, troveremo acqua (H<sub>2</sub>O) e sostanze fangose costituite dall'impasto di densità di circa 1.25 kg/l; Poi sulla zona più superficiale ci saranno le sostanze con densità minore, dunque, circa 1.10 kg/l quindi principalmente H<sub>2</sub>O utilizzata per la pulizia delle macchine.

La vasca di raccolta può essere in polietilene, un materiale resistente agli agenti tossici, economico e di facile manutenzione. Questa sarà a tronco conico con pianta quadra a cielo aperto, in modo da sfruttare al massimo la struttura della fossa già presente.

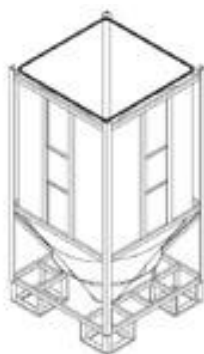


Figura 24: Hp vasca di raccolta

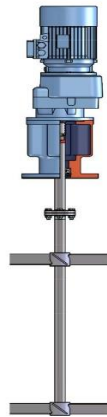
Un ulteriore vantaggio nell'utilizzo di tale materiale è dato dal fatto che non essendo un metallo il piombo difficilmente si attacca alle pareti nel caso in cui il fango rimanga internamente alla vasca di raccolta nel caso in cui il serbatoio sia pieno.

Si è infatti scartata la possibilità di una vasca in acciaio inox sia per il costo molto più elevato rispetto al polietilene, sia perché la sua manutenzione sarebbe maggiore, essendo lo spazio ridotto, infatti, una volta posizionata la vasca, in caso di rottura per le eccessive vibrazioni, questa sarebbe difficile da sistemare.

La forma del serbatoio in polietilene è conica, in modo da avere le due pendenze che mi incanalano il materiale senza lasciarlo sul fondo in modo da trasportare fuori gli scarti con continuità direttamente al decantatore, dopo essere stati filtrati.

Si è scartata anche l'idea di inserire all'interno della vasca di raccolta dei sistemi anti-sedimentazione chiamati ad *Air Lift* – l'impraticabilità di tale sistema nel nostro caso è

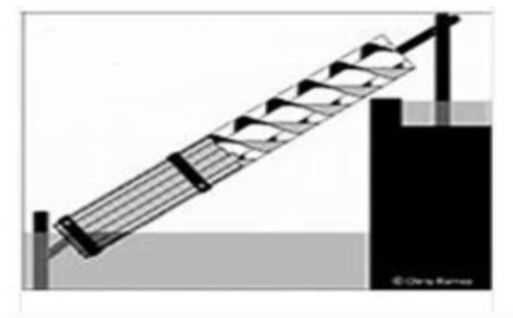
dovuta proprio al piombo che andrebbe ad attaccare le piccole uscite d'aria di questi sistemi se fermi anche solo per poche ore- richiedendo quindi grande manutenzione. Si è pensato dunque di ricorrere ad un'altra soluzione, sicuramente efficace, per movimentare i fanghi all'interno della vasca di raccolta, attraverso un agitatore.



*Figura 25 agitatore*

L'obiettivo principale è evitare la solidificazione all'interno della vasca di raccolta, dei fanghi. Questo perché, come già detto, i fanghi sono riutilizzabili ma devono essere richiamati in lavorazione al momento della preparazione della materia attiva; questo può creare un disallineamento tra la capacità del serbatoio e la richiesta in lavorazione in quanto non può essere preparato un impasto dai soli fanghi ma, può essere preparato con circa il 14% di fango sull'impasto totale.

Si è inoltre ipotizzato di collegare dal fondo della vasca di raccolta al decantatore attraverso una pompa a coclea motorizzata che permette di trasportare il materiale con maggiore densità presente sul fondo.



*Figura 26:hp struttura coclea*

## 6.2 VALUTAZIONE DELLE ALTERNATIVE

Hp.: Considerando la produzione di piastre dell'anno precedente (2019) pari circa a 1.8 milioni di piastre, considerando che l'azienda produce elementi in una logica *Make to Stock* che sono successivamente assemblati all'arrivo della commessa; supponendo che i quantitativi prodotti dall'azienda rimangano invariati; considerando che attualmente l'azienda smaltisce 100 tonnellate di fanghi all'anno.

Andiamo a calcolare il fabbisogno effettivamente richiesto di fanghi dall'azienda per evidenziare la possibilità di attuare un sistema di riciclo fine vita a questi.

Per fare la nostra analisi riportiamo tutti i dati necessari ad evidenziare se vi è maggiore convenienza nel reintrodurre gli scarti all'interno del processo per poi poter tramutare i continui residui di produzione in una risorsa.

Ricordiamo che nella produzione dell'elemento tutto si divide in positivo e negativo, dalla griglia alla preparazione della materia prima alle piastre.

Quantità di piastre positive e negative prodotte in un anno (pezzi/anno):

PIASTRE + (pz)	PIASTRE- (pz)	ELEMENTI (pz)
1.200.000	1.600.000	226.000

Numero di impasti per turno (8 ore) ed i litri di fango utilizzabili in un impasto:

IMPASTI /TURNO +	IMPASTI /TURNO -
4	8

Numero di turni al giorno:

TURNO + /GIORNO	TURNO - /GIORNO
3	1

Numero di impasti preparati al giorno:

IMPASTI + / GIORNO	IMPASTI - / GIORNO
12	8

Assumendo 220 giorni lavorativi abbiamo il numero di impasti preparati in un anno:

Impasti + /anno	Impasti - / anno
2640	1760

Litri di Fango che possono essere utilizzati per la preparazione di un impasto:

LITRI fango + / 1 IMPASTO+	LITRI fango - / 1 IMPASTO-
77	130

Produzione piastre per turno: In un turno positivo riusciamo a produrre 1200 piastre positive e 10.000 piastre negative, questo rispettivamente con 4 impasti positivi e 8 negativi. Dunque, considerando il numero di impasti all'anno e i litri di fango che possono essere utilizzati in un impasto, otteniamo il quantitativo, in litri, di fanghi che saranno richiesti per produrre materia attiva, sempre partendo da ciò che è stato scartato.

LITRI fango + /anno	LITRI fango - / anno
203.208	228.800
TOTALE: 432.080 litri / anno	

Dunque, il quantitativo totale di fanghi reinseribili all'interno della produzione risulta di 432.080 litri, che ad una densità di 1.7 kg/l, risulta 734.536 kg, circa 734 tonnellate.

Nella tabella sotto riportata evidenziamo la composizione della pasta, la materia attiva (anche chiamata impasto), notiamo al primo colpo d'occhio che il peso finale espresso in chilogrammi non cambia anche se non vi è aggiunta di fango. Questo perché i fanghi hanno la funzione di “sostituire” l'ossido di piombo (PbO) nella preparazione. Questo permette di riutilizzare un “costo già sostenuto”, riducendo allo stesso tempo, la quantità di nuova materia prima da utilizzare, ovvero il piombo.

Vediamo le componenti della pasta a confronto nel caso di pasta con l'aggiunta di fango e pasta con materiale ex novo (senza fango).

Pasta <b>con</b> fango		Pasta <b>senza</b> fango	
Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
900 kg PbO	800 kg PbO	1031 kg PbO	1021 kg PbO
130,9 kg Fango	221 kg Fango	0	0
158,4 kg H2SO4	158,4 kg H2SO4	158,4 kg H2SO4	158,4 kg H2SO4
86,5 KG H2O	86,5 KG H2O	86,5 KG H2O	86,5 KG H2O
1 kg Fibre	1 kg Fibre	1 kg Fibre	1 kg Fibre
TOT: 1276,8 kg	TOT: 1266,9 kg	TOT: 1276,9 kg	TOT: 1266,9 kg
Consumo annuo PbO		Consumo annuo PbO	
2.376.000 kg	1.408.000 kg	2.721.840 kg	1.796.960 kg
TOT: 3.784.000kg		TOT: 4.518.800 kg	
Costo annuo MP		Costo annuo MP	
4.752.000 €	2.816.000 €	5.443.680 €	3.593.920 €
TOT: <b>7.568.000 €</b>		TOT: <b>9.037.600 €</b>	

Quindi da questo primo confronto, si ipotizza un vantaggio economico derivante dall'utilizzo dei fanghi – dunque indirettamente del non utilizzo di ossido di piombo - di circa il 16% pari a 1.469.600 € all'anno.

## 7 CONCLUSIONI FINALI

Lo studio svolto ha permesso di formulare ipotesi riguardo ai vantaggi derivanti dalla riprogettazione del sistema di raccolta fanghi, in termini sia economici che ambientali.

Fondamento della logica su cui si basa l'economia circolare è proprio quello del riutilizzo, ancor meglio se fatto internamente alla filiera. Abbiamo visto d'altronde esserci la concreta possibilità di mantenere elevati standard qualitativi, utilizzando gli stessi scarti derivanti dalla produzione delle piastre.

Per tale ragione si è cercato di introdurre i vantaggi, in termini di innovazione, derivanti dall'adozione di tale sistema nell'azienda.

In conclusione, considerato che:

- Il piombo è la materia prima di cui ottimizzare le quantità in costi (quella che più incide in termini di costo)
- Il processo di preparazione del fango di recupero non ha un costo esterno per l'azienda
- La realizzazione di tale progetto per il recupero dei fanghi richiede un investimento iniziale pari circa a 50.000 €, ammortizzabili in 5 anni.

Ipotesi:

1. La prima ipotesi formulata è che la quantità prodotta di piastre rimanga invariata rispetto all'anno precedente (2019).
  - Considerando le quantità di ossido di piombo richieste per preparare la materia attiva, con l'utilizzo del fango e senza l'utilizzo del fango.
  - Considerando che il costo di acquisto del piombo è di circa 2 €/kg.

Vediamo:

	UTILIZZO FANGO	NON UTILIZZO FANGO
Fabbisogno PbO	3.784.000 kg	4.518.800 kg
Costo Acquisto Pb	<b>7.568.000 €</b>	<b>9.037.600 €</b>



A primo sguardo, con questa ipotesi, risulta evidente che si possono risparmiare circa 1.5 M €. Tale vantaggio è strettamente connesso all'utilizzo dei fanghi che permettono di ridurre del 16% circa il fabbisogno di ossido di piombo nell'impasto; quindi, dell'acquisto diretto di piombo. Ciononostante, quest'ultimo mantiene il suo peso specifico e il suo standard qualitativo.

Dunque, nell'utilizzare fanghi di recupero vi è un risparmio in termini di acquisto della materia prima, nella specie il piombo, pari a circa 1.469.600 €.

2. La seconda ipotesi formulata è che il fango sia costituito per circa l'80% da Pb.

Questa ipotesi è giustificata dal fatto che, analizzando le composizioni delle materie attive, abbiamo presenza di piombo:

- senza l'utilizzo di fango, di circa l'80% di Pb
- con presenza di fango, di circa il 67% di Pb

	Pasta <b>con</b> fango		Pasta <b>senza</b> fango	
	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
Peso Impasto (kg)	1276,9 kg	1266,9 kg	1276,9 kg	1266,9 kg
% Pb presente	70,5 %	63,1%	80,74%	80.59%

Nell'ipotesi in cui si riesca a recuperare solo il 50% in peso di piombo dai fanghi smaltiti in un'ottica di economia circolare vi è convenienza ad impiegare fanghi nel processo produttivo perché:

- il piombo restituito, anche se svalutato ha già assorbito il costo d'acquisto iniziale;
- si garantisce una produttività infinita grazie al costante riciclo e riuso di qualsiasi materiale nel breve termine;

- si aiuta l'ambiente attraverso un consumo attento e coscienzioso delle risorse nel lungo termine.

Questo studio ha sottolineato in un sistema di economia circolare come sia possibile riavere materie prime in ingresso alla produzione – dunque piombo – e costi ridotti. Ciò attraverso un terzista esterno alla filiera produttiva.

Saranno dunque sempre generati fanghi che dovranno essere smaltiti ma questi permetteranno di ricavare un quantitativo di piombo pari circa al 50% in peso del fango smaltito.

In entrambe le ipotesi si procurerebbe un vantaggio sia in termini economici che ambientali.

Invero, il risparmio economico è chiaro nella prima ipotesi, ed è destinato ad aumentare ove -per completezza di indagine- si integrasse con la previsione dei costi di smaltimento al netto dell'investimento iniziale per la realizzazione del progetto descritto.

Il vantaggio ambientale sta nel fatto di reimmettere in circolazione il minor quantitativo possibile di materiali nocivi.

## 8 BIBLIOGRAFIA

- [1] P.Giusti – Chimica per Ingegneria – Ed. Felici Pisa D. Berndt – Maintenance-free batteries - Researce Studies Press ltd. England Nigel Calder – Boatowner’s mechanical and eletrical manual – Mc Graw-Hill USA
- [2] Lean Manufacturing nella produzione di batterie per trazione il caso FAAM – Politecnico di Bari, 2009-2010
- [3] Tecnologia e Innovazione dell’immagazzinamento Elettrochimico dell’energia – Università di Padova, 2011-2012
- [4] Arrigo Pereschi – Impianti industriali – Esculapio, 2007

## 9 SITOGRAFIA

[1] Wikipedia

[2] Faam

[3] Alternativasostenibile

[4] ecodallecitta