



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

**Appunti universitari**

**Tesi di laurea**

**Cartoleria e cancelleria**

**Stampa file e fotocopie**

**Print on demand**

**Rilegature**

NUMERO: 1170

DATA: 22/10/2014

# **A P P U N T I**

STUDENTE: Ferrero

MATERIA: Tecnica Impatto Riciclaggio Materiali

Prof. DeBenedetti

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.  
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.

## INTRODUZIONE AL CORSO

Affronteremo le tecniche di riciclaggio di:

- Vetro
- Alluminio
- Rame
- Plastica
- Carta
- Leghe ferrose e leghe d'alluminio

Il ciclo primario si occupa della formazione di materiale utile partendo dalle materie prime reperibili in natura. Per trasformare il materiale di origine in qualcosa di utilizzabile bisogna considerare anche il corrispettivo impatto energetico. In natura non sono mai presenti i metalli, troviamo invece gli ossidi. E' necessaria tantissima energia per passare dalla condizione di ossidi a quella di metalli. Questa energia, alla fine della vita del prodotto deve essere confrontata con quella necessaria al processo di riciclaggio. Si fa quindi un paragone tra l'energia di un materiale ottenuto da ciclo primario e quella tramite un ciclo secondario (riciclo).

RSU – Rifiuti Solidi Urbani. Tramite processi di raccolta differenziata vengono a monte ripartiti dall'utente in varie frazioni e quindi suddivisi in:

- Indifferenziato
- Alluminio + plastica
- Metalli + plastica
- Vetro
- Carta
- Umido/compostaggio

Una valutazione corretta da parte dell'utente delle varie categorie di rifiuti rende il processo di riciclaggio più efficiente. Ogni tecnica di trattamento ha un proprio impatto e vengono anche valutate delle tecniche alternative, come ad esempio la suddivisione nell'impianto di trattamento e non a monte da parte dell'utente. Altri tipi di rifiuti sono quelli di tipo:

- Elettrico
- Elettronico

Con questo tipo di rifiuti non sono costretto a selezionare in base alla qualità dei materiali, ma piuttosto in base alla tipologia di attrezzatura. Posso facilmente

minore capacità di disassemblaggio, rende più o meno prezioso il materiale di rifiuto. Questo si traduce nel concetto di omogeneità chimica, molto difficile da realizzare. Le tecnologie da utilizzare saranno maggiormente sofisticate o meno in base al grado di omogeneità o disomogeneità chimica del materiale di rifiuto considerato. Non è detto che un processo di riciclaggio comprenda solo un materiale di rifiuto. Spesso viene inserito e mischiato il rifiuto nuovo con quello inquinato, ciò che conta è la qualità del prodotto finale.

(es. considerando la carta, ho bisogno di un quantitativo di materiale vergine)

Se durante il processo di trattamento si viene incontro a un componente inquinante radioattivo, bisogna applicare delle procedure apposite, diverse dai casi standard. In generale quindi posso affermare che: le tecnologie di trattamento vengono scelte in funzione dell'origine del materiale, del suo ciclo di vita e del tipo di riciclo che devo mettere in atto. La parola chiave è valorizzazione, devo valorizzare il materiale di riciclo o rifiuto. Questo processo è tanto più efficiente quanto più confronto l'operazione del ciclo di rifiuto col ciclo primario.

Posso suddividere i rifiuti in due grandi macro-categorie:

- 1) Rifiuti nuovi
- 2) Rifiuti a fine vita

I primi sono gli scarti di materiale di lavorazione e assemblaggio, e sono generalmente noti e classificati. I rifiuti a fine vita sono invece ignoti e inquinati. Il rifiuto deve essere valutato nel suo ciclo di vita dal momento in cui viene prodotto. Ovviamente i metalli sono i più interessanti da classificare. (Si parla di frantumazione per i rifiuti a fine vita e non per i rottami nuovi)

### PRODUZIONE DI ACCIAIO DA CICLO DI RIFIUTO

In questo contesto useremo il termine rottame al posto di rifiuto. Il valore del rottame è molto più alto di quello del rifiuto. Si parla prevalentemente di rottami metallici. Quali sono le operazioni che mi restituiscono dei rottami metallici nuovi?

- 1) Asportazione di trucioli
- 2) Sfridi (insieme dei residui di lavorazione) di tranciatura
- 3) Bave di stampaggio
- 4) Ritorni di fonderia

1 – lavorazioni metalliche che sono fatte portando via da un semilavorato di acciaio dei trucioli, come la piattatura, fresatura, trapanatura...etc. Queste portano via del materiale che costituisce un rifiuto nuovo, cioè prodotto a monte della lavorazione di un componente meccanico e che non è ancora entrato nella fase d'uso. Per esempio,

dell'operazione di frantumazione (sto sempre considerando rottami di tipo metallico a fine vita e non nuovi).

Terza fase: cernita. Dopo la frantumazione avviene la cernita di tipo magnetico, in cui riconosco parti estremamente nobili come l'acciaio inossidabile.

Quarta fase: creazione della carica e rifusione. Le prime tre fasi sono svolte dai rottamai, che analizzano le varie tipologie di rifiuto. Ora si passa in acciaieria in cui l'obiettivo è produrre acciaio di qualità. Dopo aver creato la carica opportuna per il forno, si è quindi pronti per il processo di rifusione. L'acciaio già una volta è stato liquido. Tuttavia il processo di rifusione non è veramente "eterno". Per ogni rifusione c'è una parte di materiale che si perde, non ritorna propriamente acciaio, e va a finire sotto forma di rifiuto. Questo avviene principalmente in due modi: tramite le polveri dei fumi e gli additivi (scorie purificatrici e energia). Quando rifondo il rottame, devo sempre aggiungere delle scorie di vario tipo, che servono a pulire e proteggere il materiale. Alla fine anche la scoria andrà persa, perciò deve essere formata da dei materiali abbondanti in natura e a basso pregio. Oltre a queste, un altro grande additivo è l'energia, necessaria per attivare il processo di rifusione. Si distingue una forma di energia più nobile, energia elettrica, e una meno nobile, tramite la combustione principalmente del carbone. L'acciaieria utilizza energia elettrica e ha un elevatissimo impatto ambientale. In generale posso affermare che non esiste un processo di recupero che non produca ulteriori rifiuti. Questa è una delle leggi fondamentali del riciclaggio. Perché quindi risulta vantaggioso riciclare i rottami metallici? Per risparmiare materie prime, ma fondamentale perché la quantità di energia da impiegare nel processo primario (estrazione-lavorazione) è molto maggiore rispetto a quella necessaria al processo secondario (rifusione). Un altro aspetto da considerare è l'impatto che questi processi hanno sull'ambiente, per esempio valutando le emissioni inquinanti per unità di energia. Per un'acciaieria la produzione di gas serra dovuti alla lavorazione non è trascurabile. Tuttavia non è impattante l'acciaieria in assoluto, ma lo è in relazione al paese in cui è allocata e quindi al mix energetico della nazione stessa. Sfruttare le energie idroelettriche è un buon modo per ridurre questi effetti.

### CRITERI PER SCEGLIERE UN PROCESSO DI RICICLAGGIO

- 1) Fabbisogno energetico rispetto al ciclo primario
- 2) Impatto ambientale rispetto al ciclo primario
- 3) Conservazione delle materie prime
- 4) Quantità di rifiuti prodotti in seguito al processo di rifusione

- Radioattivi
- Corpi chiusi sotto pressione

Il controllo delle emissioni radioattive viene effettuato tramite dei contatori Geiger prima che il rottame venga scaricato in acciaieria. I corpi chiusi, come ad esempio le bombole o gli ammortizzatori contenenti del liquido al loro interno, a contatto con le altissime temperature del forno, potrebbero diventare esplosivi a causa dell'aumento di volume. I rottami in ingresso devono quindi essere preventivamente controllati e qualora fosse necessario, anche sottoposti a un'operazione di bonifica. Per i corpi chiusi è spesso attuato un controllo visivo, con l'eliminazione dei componenti pericolosi. Nel caso di rottami a fine vita, si procede a una frantumazione preventiva per separare dei componenti complessi. Il parco rottame deve essere al coperto, poiché nel forno elettrico non deve arrivare nessun elemento inquinante come potrebbe essere l'acqua. Essa crea infatti dei problemi nelle reazioni che avvengono all'interno del forno. Il volume della cesta di carica è globalmente pari a quello del forno elettrico, ma sarà pieno di vuoti tra i rottami, e quindi inferiore a quello dell'acciaio liquido. Il materiale nella cesta non viene ribaltato dentro al forno, ma può fuoriuscire per gravità tramite un fondo apribile, quando si trova in corrispondenza dell'imbocco del forno. Per proteggere il forno dalle alte temperature si utilizza un materiale refrattario per foderarne le pareti e il fondo, come ad esempio il calcestruzzo.

*Il **calcestruzzo** (spesso abbreviato **cls.**) è un conglomerato artificiale costituito da una miscela di legante, acqua e aggregati (sabbia e ghiaia) e con l'aggiunta, secondo le necessità, di additivi e/o aggiunte minerali che influenzano le caratteristiche fisiche o chimiche del conglomerato sia fresco sia indurito.*

Esso è però un materiale molto fragile, e rischia di rovinarsi nel momento in cui viene riversato il materiale dalla cesta, che generalmente è ad alta densità. Se non lo fosse, ci vorrebbero più ceste caricate per arrivare al funzionamento a piena potenza del forno. Non posso quindi utilizzare solo dei materiali leggeri. Per non danneggiare la suola del forno, nella cesta vengono inseriti dei materiali che ammortizzano gli urti, come i trucioli da asportazione. La cesta viene di solito caricata due o tre volte. Tra i materiali che vi finiscono dentro, alcuni sono tollerabili mentre altri no, considerando sempre la quantità in cui si presentano. In piccole quantità sono tollerabili i materiali ceramici, che sono inerti: assorbono energia termica, ma non influenzano la qualità del bagno di acciaio. Materiali estranei o inquinanti sono tutti quelli di tipo organico (vernici, oli, plastiche). Sono dei materiali combustibili, ossia vengono eliminati per combustione producendo dei fumi dannosi e inquinanti. Bisogna porre particolare attenzione agli oli all'interno dei corpi chiusi in pressione. Essendo potenzialmente esplosivi, essi non sono accettabili, mentre con gli oli singoli ho un grado di tolleranza maggiore. Tra i materiali non tollerabili nel bagno di acciaio, che non

1550-1600 °C. Si distinguono tre fasi principali, che corrispondono a diverse potenze in assorbimento:

- 1) Foratura della carica;
- 2) Creazione del bagno;
- 3) Mantenimento del bagno e scorifica.

La prima fase rappresenta il momento più critico nel processo di conduzione del forno. La carica ha una duplice funzione:

- Deve fondere, in modo che si crei il prima possibile il bagno nella parte bassa del forno;
- Deve schermare le pareti del forno rispetto all'arco elettrico per evitare danneggiamenti. (la suola del forno è in materiale refrattario)

Gli elettrodi tendono a scendere nella carica con la stessa velocità, ma non incontrano sempre materiale della stessa natura. Si verifica quindi un altro fenomeno che prende il nome di instabilità dell'arco elettrico, che provoca tantissima rumorosità in questa fase. Quando si sta nei pressi del forno, è obbligatorio indossare delle protezioni acustiche. Si ha una forma di inquinamento acustico, come prima forma di danno ambientale, chiamato più precisamente impatto locale. Altre forme di impatto sono l'emissione di fumi e polveri. Se non sono captati, essi vanno nel camino e aumentano l'inquinamento della regione circostante (con regione intendiamo la zona intorno all'acciaieria soggetta all'arrivo delle polveri e dei fumi, che può essere più o meno estesa a seconda delle correnti e del vento). Infine si ricorda l'impatto provocato dall'emissione dei gas serra, che si riversa su scala globale. Viene quindi riservata maggiore attenzione a questo fenomeno.

Man mano che il rottame viene portato a fusione, il livello nel forno sale, fino ad arrivare a quello della porta laterale. In genere servono almeno due o tre ceste di carica. Il forno può operare per l'intera giornata, oppure solo in ore notturne preferendo tariffe elettriche più economiche. E' necessario che abbia un funzionamento costante. Il caricamento del forno non avviene in un'unica volta, ma è di tipo progressivo: prima di aggiungere il rottame di un'altra cesta, tutto il materiale già presente viene portato a fusione. Il processo si conclude quando si raggiunge il livello di potenza e funzionamento stabilito. Quando gli elettrodi scendono forando la carica, non è detto che tutta la carica risulti fusa. Il raggiungimento del livello di fusione regolare da parte della carica viene effettuato tramite un controllo visivo dalla porta del forno stesso.

o eliminabile. Ha anche una funzione protettrice del bagno stesso. La scoria è formata essenzialmente da ossido di calcio, ha un comportamento basico. La sua prima funzione è quella di creare le condizioni per l'eliminazione degli elementi indesiderati come fosforo e zolfo che sono fortemente deprimenti rispetto alla qualità dell'acciaio (operazione di pulizia). La seconda funzione della scoria basica è quella di preservare le pareti del forno e la suola, costituiti in materiale refrattario basico (ossido di magnesio). La scoria basica contiene ossido di calcio (calce), il cui contrapposto acido nel bagno è l'ossido di silicio. Se non avessi la parte basica, la scoria sarebbe molto aggressiva rispetto alle pareti del forno (azione corrosiva della scoria). Riassumendo, le tre azioni benefiche della scoria sono quelle di:

- Protezione
- Pulizia
- Preservare le pareti del forno.

Tutte queste azioni si sviluppano nella fase in cui il bagno è già pronto. Vengono prodotti anche dei rifiuti in questo processo, come le scorie o la calce inquinata. Non è un aspetto trascurabile, poiché se ne producono ogni giorno varie tonnellate e non ci sono processi validi per smaltirle in modo corretto e rispettoso per l'ambiente. Ciò che fa lavorare la scoria è l'agitazione che rinnova le superfici di contatto tra scoria e bagno. Il movimento si ottiene con l'insufflo di gas (ossigeno) dentro al bagno. Si crea un'azione combinata di vari elementi presenti nel bagno di acciaio. (Acciaio → ferro + carbonio) Il carbonio disciolto nell'acciaio liquido a contatto con un getto di ossigeno subisce una facile combustione. A oltre 1600°C di temperatura, la combustione del carbonio crea ossido di carbonio. Quindi si protegge il ferro dall'ossidazione e si produce un effetto positivo sulla scoria. Le bolle di ossido di carbonio che si liberano dal bagno fanno gonfiare la scoria, aumentandone il volume creando una "spuma di scoria", che tende a traboccare dalla porta di scorifica del forno. La scoria viene eliminata nella fase di ossidazione del bagno. Di conseguenza vengono portate via anche tutte le impurità che necessitano di essere eliminate.

## CONDOTTA DEL FORNO ELETTRICO E IMPATTO SULL'AMBIENTE

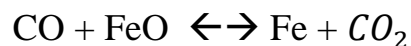
Dopo aver fatto la carica del forno avviene la fusione. Aprendo la volta, si emettono dei fumi. Voglio ora analizzare le reazioni che avvengono. Il consumo energetico solo per il processo di fusione della carica va dai 300 ai 400 KWatt/h per ogni tonnellata; se lo moltiplico per il costo il euro, trovo il costo di rifusione. A questo valore bisogna aggiungere i costi per i servizi e per la messa in produzione del prodotto finito. Il bagno metallico è costituito da vari ingredienti:



presenti sarebbero pronti a ossidarsi prima del rame. Non ossidandosi, ritroverei disciolto nell'acciaio tutto il rame presente nel forno. Tutti gli altri metalli disciolti, decisamente più attivi del ferro, hanno maggiore affinità con l'ossigeno, e quindi in parte vengono persi. In questa fase di affinazione vado a perdere una parte di metalli indesiderati, ma anche una certa quantità di quelli utili (es. cromo). Quando influsso ossigeno, provo un rimescolamento nel bagno, che agisce sulla scoria e porta ad aumentare proprio le reazioni metallo-scoria. Si ha quindi:

- Combustione del carbonio → azione positiva
- Ossidazione del silicio → azione negativa

Vengono prodotti ossido di carbonio (CO) e ossido di silicio (SiO<sub>2</sub>). Il CO gassoso ha un'azione positiva perché provoca la formazione di bollicine che causano il rimescolamento del bagno e favoriscono la miscelazione di metallo e scoria. L'ossido di silicio invece ha degli aspetti negativi prima di tutto perché porta via un elemento di lega interessante per gli acciai. Inoltre la silice è un ossido di natura acida che provoca un'azione corrosiva sulle pareti refrattarie del forno (ovviamente solo sul "taglio scoria" ossia dove lavora la scoria, non su tutto il refrattario). Vengono inoltre emesse delle polveri che vanno a finire nei fumi. Poiché i rottami nel forno sono sempre molto arrugginiti, nel contatto tra l'ossido di carbonio e scoria avviene la reazione:



Il ritorno del ferro nel bagno è sicuramente un effetto positivo. (Quando insufflo ossigeno, non si forma ruggine, poiché ho l'azione protettiva degli altri metalli, come ad esempio il silicio, che si ossidano prima del ferro. Avvio questo processo solo fino a quando è necessario, altrimenti rischierei di ossidare di nuovo il bagno e sprecare l'ossigeno, che ha dei costi elevati.) La ricarburazione del bagno mi permette di aggiungere altro carbonio se non è presente in quantità sufficiente. Allo stesso modo aggiungo dell'altro rottame "corroso" nel bagno se non sono presenti abbastanza ossidi. Per stabilire la giusta quantità di ossigeno da insufflare vengono considerati dei parametri di acciaieria e delle analisi di laboratorio. Viene infatti prelevato e fatto solidificare un provino dal bagno, che viene poi immediatamente spedito in laboratorio in cui verrà analizzato. Dopo questo processo non ho ancora acciaio vero e proprio, la messa a punto della lega si fa al di fuori del forno, tramite una fase di "alligazione finale", che ha un consumo energetico molto minore rispetto al forno elettrico. Quando insufflo ossigeno inoltre, la scoria lievita e si arricchisce di impurità e ossidi vari, rischiando di diventare più aggressiva. Deve essere eliminata tramite un

Considerando l'aspetto energetico, mi posso domandare se l'energia elettrica necessaria per portare a fusione la carica possa essere sostituita da altre forme meno nobili di energia. Ci sono tre possibili variazioni dal punto di vista energetico:

- 1) Preriscaldamento della carica
- 2) Utilizzazione di cascami energetici dal forno
- 3) Utilizzazione di energia termica in forno

Nel primo caso riscaldo per via termica il materiale prima di caricarlo in forno, ossia quando sono ancora nella cesta di carica. Nel forno non arriva del rottame particolarmente freddo, ma già con una certa quantità di energia immagazzinata. Non è un buon procedimento, poiché provo emissioni anche nella fase di carica della cesta, in cui di norma non sono presenti. E' una delle scelte meno utilizzate soprattutto se si considera l'impatto ambientale. Un metodo migliore è invece basato sull'idea di recuperare l'energia termica prelevata dal forno, per esempio sotto forma di acqua calda. Devo considerare infatti che nel forno ci sono delle zone, come la volta e la parte alta del tino, in cui non si entra mai in contatto né con il bagno liquido, né con la scoria. Queste zone devono essere fatte con un materiale che resista all'azione di irraggiamento del forno: potrei utilizzare di pannelli raffreddati ad acqua, ovviamente senza arrivare a temperature talmente elevate da danneggiare i pannelli. Questa soluzione ha un "consenso sociale" poiché con l'energia termica recuperata sotto forma di acqua calda si potrebbero alimentare le zone abitative nella regione intorno all'acciaiera. Se mi interessa accelerare l'intero processo di fusione, posso considerare un altro metodo vantaggioso. Insieme all'azione riscaldante dell'arco elettrico, uso dei combustori secondari (ossicombustibili), il cui comburente è l'ossigeno puro. Le acciaierie elettriche vengono quindi alimentate da una sottostazione elettrica (per l'energia necessaria all'arco elettrico) e da un ossidotto (analogo al metanodotto), ossia un condotto che porta ossigeno gassoso ai combustori secondari. Nonostante sia la metodologia più applicata, presenta una limitazione. Infatti viene aumentata la produttività dell'impianto, diminuendo la durata del ciclo Tap to Tap, grazie alla presenza dei combustori. Non è sempre conveniente aumentare la produttività, soprattutto in periodi in cui non c'è un'elevata richiesta di prodotto. L'applicazione di questa metodologia dipende quindi dalla collocazione dell'acciaiera, dai costi e dalla produttività richiesta. Va inoltre considerato che crescono notevolmente anche le emissioni rilasciate nell'ambiente.

### IMPATTO DEL RIFIUTO SOTTO FORMA POLVERULENTA

Poiché le particelle delle polveri sono così pericolosamente imprevedibili? In parte per il fattore di forma che le differenzia; hanno dei diametri molto diversi le une dalle

sue condizioni originarie, in modo che abbia una composizione più o meno standard; la composizione del rifiuto cambia se è macinato oppure no.

Tra tutti i costituenti delle scorie di acciaieria e delle polveri di emissioni dei fumi, quale è il componente più benefico? L'agente aggressivo è a base di acido acetico, è benefico chi lo neutralizza, ossia un componente basico, come l'ossido di calcio.

Dopo il saggio con l'acido acetico, il rifiuto viene classificato come tossico o nocivo, e necessita di un processo di inertizzazione. Può avvenire in tre modi:

- 1) Eliminazione chimica dell'agente tossico
- 2) Inglobamento in una matrice impermeabile
- 3) Trattamento per il recupero, in cui distinguo una parte utile (Zn) e la scoria.

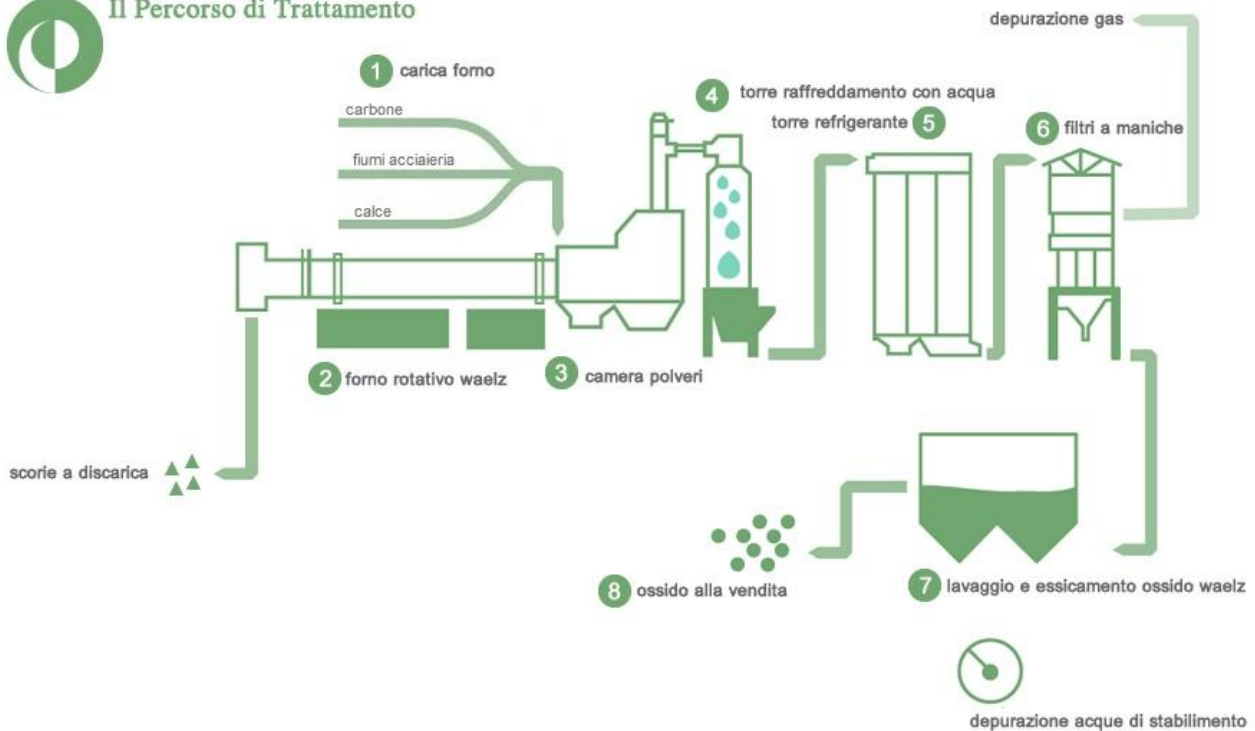
Sono tre sistemi molto diversi. Nel caso delle polveri provenienti dal forno elettrico, la prima proposta corrisponde a un processo di "riciclo chiuso". Non tratto le polveri in modo specifico, ma eseguo l'operazione più semplice. Dopo averle separate, le insufflo di nuovo dentro al forno. In questo modo le polveri lavorano di nuovo chimicamente dentro al forno e posso recuperarne una parte direttamente utile. La tipica composizione di una polvere emessa tramite la pratica del riciclaggio delle polveri è:

- $Fe_2O_3 \rightarrow 30\%$
- $ZnO \rightarrow 30\%$
- $CaO \rightarrow 30\%$
- $MnO \rightarrow 4\%$
- $PbO \rightarrow 3\%$
- $CdO \rightarrow 0,05\%$

Tuttavia ci potrebbero essere anche grandi variazioni rispetto a questa composizione. Secondo il saggio EPA la tolleranza sul cadmio, principale inquinante dello zinco è molto bassa, essendo lo zinco parecchio diffuso. Le polveri insufflate di nuovo nel forno si arricchiscono di zinco, molto volatile. Insieme alle polveri, inserisco anche il carbonio, agente benefico che costa poco e rende tanto. Il carbonio serve a ridurre l'ossido di ferro presente in grande quantità, e permette di recuperare il metallo. Si parla di eliminazione chimica perché le polveri pian piano si arricchiscono di ossido di zinco. Considero in questo modo le polveri come materia prima per recuperare lo zinco. Questo processo si può svolgere facilmente in acciaieria, tramite una lancia che permette di insufflare nel forno le polveri arricchite di carbonio. C'è quindi il grande vantaggio di far restare le polveri solo all'interno dell'acciaieria, ossia manca il momento di abbandono del rifiuto dopo la produzione e l'uso. Questo stesso processo può essere effettuato anche per i gas e non solo per le polveri emesse dai



## Il Percorso di Trattamento



Copyright 2009 © - Pontenossa.com

Viene immessa anche la calce sottoposta a un processo di pellettizzazione. A un certo punto avviene la reazione di riduzione da ossido di zinco a carbonio. Viene prodotto dello zinco, che fonde a temperatura molto bassa (poco più di 400°). Quindi alla temperatura del forno Waeltz, lo zinco evapora, creando dei fumi ricchi di metalli volatili. Una volta ricondensati, mi faranno recuperare zinco, piombo e cadmio. Dal forno recupero anche pellets di scoria, contenenti ossido di ferro e ossido di calcio, che ritrovano un utilizzo nel forno elettrico o nell'altoforno. Al contrario del primo processo descritto, così sono in grado di recuperare direttamente lo zinco sotto forma metallica, dando vita a un vero e proprio processo metallurgico di produzione. Se mi procuro essenzialmente del rottame zincato, allora produco delle polveri in grado di essere inviate direttamente al processo pirometallurgico. Il processo Waeltz diventa più economico, quanto più è alto il titolo di zinco, ossia si tratta di un materiale più adatto al recupero. Tutto ciò ovviamente in funzione degli interessi dell'acciaieria. Posso anche utilizzare insieme il primo e il terzo processo, continuando a riciclare le polveri nel forno elettrico, finché non ottengo una composizione con abbastanza ossido di zinco.

Oltre all'azione dell'acido acetico, può essere effettuato un altro tipo di test. In questo modo i metalli presenti nelle polveri sono portati in soluzione non come acetati, ma sotto forma di carbonati. Il processo di eluizione avviene tramite una soluzione satura

La tecnologia Consteel permette la carica del forno ad arco in modo continuo evitando l'utilizzo della carica in ceste, inoltre il rottame viene preriscaldato dai fumi caldi del forno in controcorrente. L'introduzione del sistema Consteel è stata una vera e propria rivoluzione: mai prima di allora era stato provato con successo, su scala industriale, un sistema di carica continua. Al momento sono ventidue gli impianti nel mondo dotati di questa innovazione tecnologica. Con l'avviamento dei prossimi impianti in costruzione, la produzione di acciaio con sistema Consteel sfiorerà i 15 milioni di tonnellate per anno.

I vantaggi di questo sistema sono conseguenza del fatto che l'arco non lavora mai con rottame solido, ma interagendo solo con il bagno liquido:

- assenza di rotture di elettrodi
- migliore resa dell'energia elettrica
- riduzione nell'usura del forno, dei pannelli e della volta
- riduzione dei disturbi elettrici (flickers, armoniche)

Dal punto di vista ambientale, con l'evoluzione del sistema Consteel accoppiato ad una corretta gestione della chimica nel forno, si ottengono ulteriori vantaggi:

- l'utilizzo della pratica con scoria schiumosa permette una sensibile riduzione del rumore dell'arco (< 95 dB), e riduzione dell'erosione del refrattario
- i fumi in uscita dalla sezione di preriscaldamento del rottame sono a temperatura sufficientemente elevata: la tecnologia Consteel soddisfa tutte le norme in materia di emissioni di diossine secondo le specifiche europee e giapponesi
- Riduzione dal 10% al 30% della CO<sub>2</sub> emessa dal forno
- Riduzione della polverosità dei fumi: infatti le particelle più grandi di polvere tendono a cadere nella sezione di preriscaldamento del convogliatore che agisce da camera di sedimentazione.

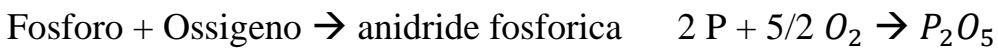
Inoltre, con l'installazione di un sistema di rilevamento delle radiazioni ionizzanti sul convogliatore (in aggiunta a quello di ingresso all'impianto) è possibile un controllo accurato della radioattività del rottame che sta per essere caricato in forno.

Il forno elettrico con questo sistema non viene mai svuotato completamente, rimane una certa quantità di acciaio liquido che mi protegge la suola. Evito i problemi di foratura della carica. Viene modificata anche l'architettura del forno: forno EBT (eccentric botton tapping). Non è più un'acciaieria tradizionale, ho realizzato un nuovo sistema di scarico comandabile dall'esterno, che va bene anche per far fuoriuscire le scorie schiumose. La tenuta del forno deve essere molto efficace per evitare delle possibili fuoriuscite di acciaio liquido. Posso utilizzare dei cascami energetici. La carica in continuo è adatta a un rottame in pezzatura standard, rispetto al caricamento tramite la cesta in cui c'era molta più variabilità sulle dimensioni del rottame.

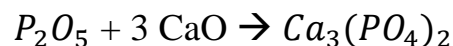
sovradimensionata, in modo che periodicamente una parte venga pulita tramite una scossa e attraversata da aria pulita.

### FASE DI AFFINAMENTO O AFFINAGGIO

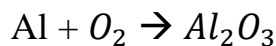
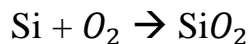
Abbiamo affrontato in ordine il processo di carica, fusione e scorificazione. A questo punto, una volta ottenuto il bagno di acciaio, bisogna mettere a punto la lega. E' un'operazione complessa dal punto di vista metallurgico, non ho più del rottame ma sono vicino al prodotto finale. L'elemento fondamentale che devo andare a togliere dal bagno di acciaio è il fosforo (P). Questo infatti è dannoso, e viene ossidato facendolo reagire con l'ossido di calcio, dopo aver subito un ulteriore insufflaggio di ossigeno. Se voglio esprimere il processo tramite reazioni chimiche scrivo che:



Anidride fosforica + ossido di calcio  $\rightarrow$  fosfato di calcio (deriva dall'acido fosforico)



Insieme al fosforo, se ne vanno anche tutti gli altri elementi ossidabili come silicio e alluminio, tramite reazione di neutralizzazione acido-base. Gli ossidi acidi che si formano vengono infatti catturati dall'ossido di calcio CaO.



Tra il carbonio disciolto nel bagno di acciaio e l'ossigeno si instaura una fondamentale reazione di equilibrio:



La concentrazione di ossigeno e quella di carbonio è in equilibrio con la formazione di ossido di carbonio nel bagno. Insieme alle altre reazioni di combustione e ossidazione del carbonio, posso dire che esiste una costante di equilibrio tale che:

$$K = \frac{p_{\text{CO}}}{[\text{C}][\text{O}]}$$

Il rapporto tra la pressione parziale dell'ossido di carbonio (1 atm generalmente) e la concentrazione di ossigeno e carbonio, è pari a una costante. Per quanto riguarda la concentrazione del bagno quindi:

$$[\text{C}][\text{O}] = \text{costante}$$

potere basico. L'ossido di alluminio viene poi eliminato nella seconda fase del calmaggio). Alla fine di questo processo, la scoria risulta essere l'elemento più difficile da smaltire, soprattutto la scoria della prima fase del calmaggio è più pericolosa, poiché contiene tutti i metalli facilmente ossidabili.

Ora si è quindi pronti per il prelievo dell'acciaio liquido e della scoria dal forno. Tutto ciò che c'è di liquido nel forno viene travasato nella siviera, grosso contenitore che può contenere anche 100 tonnellate di acciaio. Inizia l'ultima fase di affinazione, in cui viene messa a punto la lega di acciaio, comunemente chiamata "metallurgia in siviera o fuori forno". Non è infatti necessaria la grossa potenza energetica utilizzata nel precedente processo di fusione. Queste operazioni hanno un basso costo energetico. Mentre nel forno largo e basso si hanno grosse dispersioni termiche, nella siviera, stretta e alta, è presente un basso irraggiamento. In questa fase operativa in siviera prima della colata finale, devo quindi apportare il calore necessario solo a colmare le dispersioni termiche. Viene in un certo senso "trasformata la siviera in un forno elettrico". Essa viene chiusa tramite un coperchio in cui sono presenti tre elettrodi che apportano il calore necessario a compensare le dispersioni termiche tramite un'alimentazione ad arco elettrico. La scoria in questa fase è buona, ossia ricca di ossido di calcio, mentre il bagno d'acciaio non presenta ancora la composizione voluta e necessita di ulteriori correzioni o aggiunte. Tramite l'ossido di calcio, riesco a togliere un altro elemento dannoso presente nel bagno d'acciaio oltre al fosforo (eliminato nella fase ossidante iniziale). Lo zolfo costituisce una grande impurezza, per essere eliminato come solfuro richiede delle condizioni riducenti; se si ossida, non riesco a portarlo via. L'ambiente riducente è favorito dall'aggiunta di carbonio in lega, che insieme ad altri materiali correttivi solidi viene posto nel fondo della siviera prima di farvi arrivare la colata d'acciaio. La quantità di correttivi viene stabilita in seguito alle analisi fatte al momento dello spillaggio, in modo da arrivare alla composizione di acciaio desiderata. Per evitare che i correttivi molto costosi, elementi nobili a grossissimo impatto, rimangano sul fondo della siviera, è necessario un meccanismo che agiti il bagno d'acciaio. Uso una lancia da inserire nel bagno da cui fuoriesce del gas inerte come l'Argon (non si usa l'azoto). Insufflando Argon, ottengo anche un parziale raffreddamento del bagno, compensato dal calore fornito dagli elettrodi. Dopo aver sciolto i residui di materiale correttivo, al flusso di Argon posso aggiungere del CaSi: il silicio contribuisce a togliere ancora ossigeno, mentre il calcio purifica nuovamente dallo zolfo. Una volta pronta la colata, ci si avvia alla parte finale in acciaieria, che interessa la siderurgia classica. Oltre alla colata d'acciaio da questo processo ho ottenuto scoria in abbondanza e polveri trasportate dai fumi, elementi fortemente impattanti che costituiscono il prezzo da pagare per

partenza da quale lega è costituito. Un esempio classico sono le lattine d'alluminio. Tratteremo principalmente del rottame nuovo, che deriva dal processo di produzione e non è alla fine della vita del componente. Vengono divisi in:

- 1) Torniture
- 2) Schiumature
- 3) Rottame a fine vita sottoposto ad accurata selezione (es. lattine)

Insieme costituiscono la carica del forno. Le torniture di alluminio presentano parecchie differenze rispetto a quelle d'acciaio precedentemente analizzate. La tipologia di forno utilizzato per la fusione dei rottami di alluminio non è in grado di smaltire i fumi prodotti dalla combustione degli oli che potrebbero essere presenti nelle torniture, derivanti da lavorazioni industriali. E' quindi indispensabile che le leghe di alluminio vengano preliminarmente sottoposte a un processo di essiccazione, per liberarle dagli oli contaminanti. Gli oli da taglio generalmente sono oli che vengono miscelati con acqua per creare una emulsione (c'è una dispersione molto fine di olio in acqua in modo che si mescolino). L'olio usato per le lavorazioni meccaniche ha due funzioni principali:

- Raffreddamento
- Lubrificazione

L'olio emulsionato riduce l'attrito tra l'utensile e il pezzo da cui abbiamo ricavato il truciolo. L'acqua raffredda le superfici durante la lavorazione. Gli oli da taglio vengono divisi in:

- Oli vegetali (di colza, di girasole...) che hanno anche una competizione come alimento
- Oli minerali derivati dal petrolio che non hanno uso in ambito alimentare

Ovviamente presentano capacità emulsionanti e lubrificanti molto diverse. La caratteristica più importante che hanno in comune è quella di eliminare la loro parte volatile con temperature relativamente basse (siamo circa sui 400°C). Su questo si basa il processo di essiccazione delle torniture di alluminio. Se le porto a circa 400°C sono in grado di liberare la parte volatile degli oli da taglio presenti. Questa parte che si allontana viene comunemente chiamata VOC, volatile organic compounds.

Il forno per il trattamento delle torniture di alluminio è costituito da un cilindro inclinato rotante, all'interno del quale si va a perdere la parte volatile degli oli e il tutto avviene con una modesta percentuale di ossigeno, ossia con una ridotta quantità d'aria. Il forno ha uno schema di impianto molto semplice, deve essere mantenuto in depressione per evitare che il capannone in cui è presente l'impianto venga invaso dai



fusa in attesa di essere riversata nello stampo, ho una grande ossidazione superficiale del bagno. Devo quindi provvedere a un'operazione di scrematura per portare via la scoria, e quindi la parte di ossido. Tuttavia viene trascinato anche un po' di metallo. La scoria di schiumatura non viene subito eliminata proprio per la presenza di questo metallo che può essere recuperato. Detto in generale "residuo di schiumatura", è composto da:

- Gocce di alluminio (parte metallica da recuperare)
- Massa di ossidi di alluminio

Si tratta quindi di un blocco di materiale composito, in cui ossido e metallo si ritrovano miscelati insieme. Come faccio a liberare le gocce di alluminio in parte presenti nella scoria? Sfrutto le loro caratteristiche, ossia la fragilità della scoria (costituita dall'ossido) e la tenacità dell'alluminio, estremamente duttile. I blocchi di scoria vengono spaccati grazie all'azione di un mulino a martelli (cilindro rotante di martelli), con cui si separa la componente di ossido dalle gocce di alluminio. Bisogna però prestare attenzione al dosare l'energia di questo meccanismo, altrimenti si rischia di far finire di nuovo una parte della scoria nell'alluminio. Evito che troppo ossido rimanga inglobato nella parte metallica. Viene perciò stabilito il numero di passaggi che il blocco di materiale composito deve fare sotto al mulino a martelli. Tra un passaggio e l'altro sotto il mulino, devo fare una selezione e una setacciatura, o più in generale una vagliatura del materiale, portando via la frazione più fine. Con un eccessivo passaggio sotto il mulino rischio di andare a perdere nella vagliatura anche una parte delle particelle più sottili di alluminio, mentre con un passaggio al di sotto delle necessità, avrò del materiale troppo grossolano, che non mi porta una facile divisione tra scoria e gocce di metallo. Ovviamente questa dosatura dipenderà anche dal tipo di scoria utilizzata.

Uno standard per la produzione della lega di alluminio è l'utilizzo dei forni rotativi (messi in rotazione grazie alla presenza di due supporti alla base). Non è a forma di tubo, ma è cilindrico, piuttosto basso e tozzo, con due bocche: una anteriore per la carica del materiale, una posteriore per la raccolta dei fumi. Nella parte bassa del forno si crea il bagno, protetto dalla scoria. Il sistema di riscaldamento è costituito da un bruciatore a metano, con la fiamma che incide sulla parte alta, in modo che si abbia un riscaldamento sia per irraggiamento che per conduzione. Viene scaldata la muratura in refrattario e di conseguenza si scambia calore con la carica metallica. La fiamma non scalda per contatto diretto altrimenti si avrebbe l'ossidazione dell'alluminio. La scoria deve proteggere il bagno coprendolo, e aiutarmi nell'eliminazione di tutto quello che è indesiderabile nel rottame di alluminio, come

prima i pacchetti di torniture, che creano il bagno, e in seguito le granelle che riescono facilmente ad arrivare a fondo. Quindi in generale, carico prima il rottame ad alta densità apparente e bassa superficie specifica, mentre dopo quello a bassa densità apparente e alta superficie specifica. Per quando riguarda l'acciaio, avevo messo nella carica prima le torniture e poi il rottame ad alta densità. La differenza del processo si ha anche a causa delle diversità del forno utilizzato!

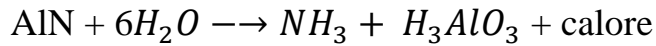
Nel momento della colata del bagno, si apre un apposito canale nella parte bassa del forno rotativo. Il forno viene fermato in modo che l'orifizio di colata si trovi nella parte più bassa. L'alluminio viene spillato, e ci si ferma poco prima di arrivare alla scoria. Quest'ultima non è eliminata, ma è direttamente pronta per la fusione successiva (altra differenza con la scoria del ciclo secondario dell'acciaio). Quando la scoria finisce il suo lavoro e degrada? Man mano che la scoria salina si arricchisce di ossido, aumenta la sua viscosità, diventando meno fluida. Una parte viene spillata dal forno e sostituita con cloruro di sodio vergine; la scoria viene quindi ricostituita per diluizione di quella già presente nel forno. Ne deriva una scoria che assomiglia vagamente a una schiumatura, potrebbe contenere ancora una parte interessante di alluminio. Da qui ci si avvia alla pratica di trattamento della scoria salina.

### EXCURSUS SUL CICLO PRIMARIO DELL'ALLUMINIO

Si può fare un interessante confronto dal punto di vista energetico tra il processo primario e secondario per quanto riguarda l'alluminio. Anche il processo primario genera dei rifiuti sotto forma di scorie recuperabili. Questo processo parte dal trattamento della bauxite, minerale costituito da idrossidi di alluminio (ossidi di alluminio idrato) e ossidi estranei a base principalmente di ossidi di ferro. La bauxite viene sottoposta a un processo di attacco chimico selettivo per separare il metallo di interesse. L'idrossido di alluminio che la compone è un idrossido anfotero, ciò vuol dire che in questa forma può comportarsi sia da acido che da base. Viene perciò portato in soluzione dall'idrossido di sodio. A causa del comportamento anfotero, posso scrivere l'idrossido  $Al(OH)_3$  sotto forma di acido come  $H_3AlO_3$ , e sottoporre la bauxite, in cui è presente in maggioranza, all'attacco dell' $NaOH$  (soda caustica). Passa in soluzione il sale dall'alluminio e viene tirato fuori un fango formato principalmente da idrossido di ferro,  $Fe(OH)_3$ , chiamato anche fango rosso. Questo sottoprodotto deve essere smaltito. Ho quindi attaccato il minerale con la soda caustica, ottenendo allumina per arrostitimento e lasciando un residuo di idrossido di ferro, che può essere trasformato in metallo. Il processo di riduzione dell'alluminio avviene per via elettrochimica: devo trovare un solvente per l'ossido di alluminio, e non è particolarmente facile poiché si tratta di un materiale refrattario. In genere viene utilizzata la criolite,  $Na_3AlF_6$  o fluoruro di sodio e alluminio. Si crea una

- Solfuri di alluminio

Entrambi se vengono a contatto con l'acqua si decompongono, rilasciando ammoniaca e acido solfidrico, tramite reazioni molto esotermiche:



C'è quindi il concreto pericolo che le scorie in fase di stoccaggio o disperse in luoghi non autorizzati possano emanare delle sostanze pericolose quando vengono a contatto con l'acqua. Le scorie nere, o saline, sono invece composte in maggioranza da cloruro di sodio, molto più facile da trattare e recuperare rispetto ai fluoruri. Per il meccanismo di recupero delle scorie nere non utilizzo un processo di frantumazione, poiché non c'è una quantità sufficiente di alluminio. Devo andare quindi a recuperare i cloruri. Le scorie nere possono essere trattate tramite un processo di dissoluzione del cloruro di sodio, evaporazione dell'acqua in salamoia e ricristallizzazione del sale. (Il primo impianto per il recupero delle scorie saline si ebbe in Svizzera). Schematizzando posso dire che:

- 1) Scoria salina originaria NaCl (salgemma);
- 2) Tramite un processo di dissoluzione ottengo dalla scoria nera dei fanghi contenenti ossido di alluminio  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;
- 3) Con la ricristallizzazione produco del sale fino, NaCl.

*L'NaCl originario è salgemma, viene fuori dalle miniere di sale. Perché è meglio il salgemma rispetto al sale fino, anche se quest'ultimo risulta più pregiato chimicamente? Il salgemma presente nel fondo del forno deve essere fuso. Se mettessi quello fino in forno, verrebbe trascinato nella combustione e avrei delle perdite. Andrebbe infatti a finire nelle polveri e di conseguenza nei filtri. Se avessi dei filtri a maniche, l'NaCl andrebbe ad impaccarli, azzerando il loro potere filtrante; con filtri a umido invece, troverei l'NaCl disciolto nelle acque di scarico (pericolo ambientale se dovesse arrivare a contatto col terreno). Cerco quindi di avere una cristallizzazione del sale in modo molto grossolano. Devo sciogliere più cloruro di sodio possibile.*

La scoria salina deve essere possibilmente prodotta in pezzatura molto fine. Ogni tot cicli del forno, la scoria deve essere sostituita, poiché tende a diventare viscosa. Il mezzo migliore per raccoglierla è un grosso contenitore di ghisa. La scoria liquida, ancora incandescente, viene poi immessa in un raffreddatore che ne garantisce la produzione in piccoli pezzi, rendendola quasi polverulenta. Avendo quindi svuotato il contenitore di ghisa in un impianto di raffreddamento rapido, ottengo goccioline di scoria, adatte alla formazione di salamoia. L'altra opzione per il trattamento della scoria salina era la frantumazione. Se volessi avere un processo ideale, in quel caso produrrei zero rifiuti, trovando una collocazione per tutti i materiali utilizzati. Anche la scoria può essere valorizzata, nonostante sia un materiale molto povero. Rilevante

sono ossidate e quindi non risulta necessario l'utilizzo di una scoria salina per purificarle. Di conseguenza non viene utilizzato un forno a combustione, poiché non avendo la scoria coprente, finirei per ossidare le torniture. Comunemente si impiegano dei forni fusori a induzione, tramite le correnti indotte nel crogiolo refrattario viene portata a fusione la carica. Quest'ultima è composta dalle bricchette, ossia le torniture sottoposte a pressatura e quindi ad alta densità, riesco così a riempire la carica in modo ottimale. In questo tipo di forno non è presente una vera e propria scoria coprente, poiché non c'è la fiamma che può ossidare il rottame. Tuttavia i forni a induzione sono meno economici di quelli a combustione, dal punto di vista energetico richiedono una forma di energia più nobile. Hanno però come vantaggio la produzione di una lega già pronta per essere nuovamente immessa nell'ambito produttivo.

### TRATTAMENTO DELLE LEGHE DI RAME

In generale si suddividono i rottami di rame in:

- 1) Rame elettrotecnico
- 2) Ottoni (rame + zinco)
- 3) Bronzi (rame + stagno)

Il riciclaggio di queste leghe è più semplice rispetto ai metalli trattati prima. E' inoltre un metallo molto pregiato tra quelli in mercato. Confronto alcune caratteristiche principali tra leghe di ferro, alluminio e leghe di rame:

- Ferro: alto fondenti, temperatura di fusione circa 1600°C raggiunti nel forno elettrico ad arco. Non ci sono alternative oltre a questo forno.
- Alluminio: basso fondenti, le temperature raggiunte in forno sono correlate alla fusione del cloruro di sodio più che alla fusione della lega di alluminio vera e propria. Siamo circa sugli 800°C. Posso utilizzare o un forno a combustione, o un forno a induzione per torniture selezionate.
- Rame: medio fondenti, circa 1100°C per fondere in forno. Temperature raggiungibili sia con i forni elettrici che con quelli a combustione.

Le leghe di rame hanno una straordinaria conducibilità elettrica. Una grande differenza rispetto alle altre leghe si ritrova nella reattività all'aria. La capacità di ossidarsi è molto alta nell'alluminio, media nel ferro e molto bassa nel rame. Questa caratteristica crea un panorama molto vantaggioso per il processo della rifusione. La quantità di scoria che si viene a utilizzare è molto modesta, poiché è limitato l'ossido da rimuovere. La tecnica fusoria da utilizzare è meno critica per quanto riguarda l'ossidazione della lega. Inizio per esempio a considerare gli ottoni (rame + zinco) nel

efficiente. Tra le frazioni umide esiste anche un rifiuto di tipo agricolo, che oltre a essere biodegradabile, viene più precisamente chiamato compostabile e può essere trasformato in fertilizzante tramite dei processi di fermentazione anaerobica. Fanno parte di questa categoria per esempio le potature, i legni etc... Non posso però trasformare sempre questo rifiuto in composto perché spesso le piante vengono esposte all'azione delle polveri sottili presenti nell'atmosfera. Il rifiuto legnoso tra i RSU può arrivare a circa il 15-20% sul totale, molto più consistente dell'esigua parte metallica (solo 4%). La raccolta dei RSU in alcuni Paesi non presenta un sistema di selezione a monte da parte dell'utente, ma si applica questo processo nell'impianto di raccolta. Lo schema europeo in generale prevede di separare la parte putrescibile e suddividere la restante parte in altre macro-categorie quali: vetro, carta, plastica, metalli. A seconda dei processi di riciclaggio adottati si può accorpore la carta e il vetro, oppure inserire i metalli tra la plastica o nel vetro, poiché da soli costituiscono una frazione troppo limitata. Questa scelta dipende ovviamente dal tipo di impianto di separazione che è presente a valle. Il valore più alto sarà dato alla parte metallica, mentre il più basso ovviamente ai rifiuti cartacei. Ogni sistema di raccolta dei RSU deve essere ottimizzato in base alla possibilità di raccolta e ai mezzi disponibili. È fondamentale per esempio che i contenitori di raccolta (comunemente cassonetti) siano messi in zone facilmente raggiungibili dai mezzi, e in zone ad alta densità abitativa. Per ottimizzare il sistema di raccolta viene spesso utilizzato un sistema "porta a porta", che si basa sul senso di responsabilità e conoscenza collettivo e che se fatto bene può limitare i costi dell'operazione di raccolta. Oltre alle macrocategorie di rifiuti sopra elencati, rimane una frazione di "indifferenziato", in cui vanno a confluire materiali compositi vari. Minore è questa frazione, più il sistema è economicamente compatibile. Dopo la selezione, avviene il trattamento secondo dei criteri specifici che portano a una ulteriore divisione. I macrocriteri di separazione sono:

- 1) Densimetrico: crea la possibilità di una selezione a valle basata sulla densità del rifiuto stesso.
- 2) Elettromagnetico: si basa sulle proprietà elettromagnetiche che contraddistinguono soprattutto i metalli; hanno una buona conducibilità elettrica e sono magneticamente attivi.
- 3) Meccanico: si basa sulla fragilità o tenacità del rifiuto trattato. Applicato in particolare alla frazione del vetro. Eccezioni saranno la parte plastica o metallica.
- 4) Utilizzo di sistemi combinati.

Il fondo della discarica deve avere tre strati:

- Telo spesso;
- Argilla o bentonite, ossia materiali con grosso assorbimento per eventuali ingressi di acqua;
- Telo finale di supporto.

L'acqua non deve superare queste barriere per evitare che venga inquinata la falda acquifera sottostante, sia che sia acqua piovana o derivante dai rifiuti. Il livello delle acque sotterranee subisce un'escursione a seconda che gli strati del terreno siano o no impermeabili. Il livello della falda dipende dall'intensità delle piogge e della stagione oltre che dalle caratteristiche del terreno con cui è in contatto. Spesso sono collegate ai fiumi. Si crea una distinzione tra acqua di prima e seconda falda. L'acqua di prima falda è quella più superficiale, può essere soggetta a dell'inquinamento, per esempio di tipo batterico dovuto ai pascoli degli animali in superficie. Quest'acqua generalmente non è potabile. L'acqua di seconda falda è quella destinata alla distribuzione negli acquedotti, si trova sotto uno strato di terreno impermeabile che costituisce una naturale protezione, risulta cioè protetta dal punto di vista geologico al contrario della prima. Il livello massimo che raggiunge la prima falda rispetto al fondo della discarica deve avere sempre un margine di sicurezza per ridurre al minimo il rischio di possibili contaminazioni. E' impossibile infatti eliminare del tutto l'acqua che impregna la discarica, che sia piovana o derivante dai rifiuti stessi. Prende comunemente il nome di percolato. Il percolato deve essere periodicamente aspirato e trattato, quindi depurato con sistemi di tipo chimico-fisico, molto simili a quelli usati comunemente per trattare le acque di scarico. Tra i requisiti base di una discarica si ha la necessità di:

- Avere un vaso impermeabile;
- Consentire la raccolta del percolato;
- Poter gestire una quota di rifiuti putrescibili.

La decomposizione delle sostanze organiche presenti avviene tramite dei processi di fermentazione anaerobica (in assenza di aria), che comportano una frammentazione della molecola e una sua riduzione a causa della contemporanea produzione di idrogeno da parte del rifiuto. Ne scaturisce principalmente del metano. E' lo stesso processo che è avvenuto naturalmente nelle zone di raccolta di gas combustibile, a causa della fermentazione di materiali vegetali o animali entrati nel terreno. Nelle discariche quindi in seguito a questi processi avviene la risalita di biogas. Sono necessarie delle tubazioni di raccolta del biogas, mentre nei casi più semplici questo stesso viene incendiato in discarica. (quest'ultima pratica oggi poco utilizzata,

- Metalli
- Ceramici
- Organici
- Plastica
- Vetro.

Il passo successivo è quello di procedere a una selezione sul triturato. Il nastro trasportatore, in cui sopra scorre il rifiuto, termina con una puleggia, mentre sopra è sovrastato da una elettrocalamita. Per prima cosa viene portato via l'acciaio insieme all'altro materiale metallico. Tra il triturato rimasto nel nastro trasportatore esiste una grossa differenza tra i materiali conduttori e quelli non conduttori. Al loro interno ci saranno leghe di alluminio e leghe di rame, che costituiscono una frazione molto pregiata. La puleggia posta alla fine del nastro trasportatore genera un campo magnetico in modo tale che tutto ciò che è metallico rimanga aderente al nastro. Nel cassone di raccolta sottostante andranno a finire tutti i materiali non conduttori come i ceramici, il materiale organico e le plastiche. Dal nastro viene poi rilasciata prima la parte metallica più leggera come l'alluminio, mentre dopo quella più pesante come il rame, che va a cadere più lontano. Questa operazione prende il nome di "sistema a correnti parassite o correnti di Foucolt", e consiste nel separare la frazione metallica dalla parte che non conduce elettricità tramite le tre fasi sopra descritte. La frazione dei non conduttori sarà quella più abbondante, infatti contiene anche materiali putrescibili. Dopo aver così concluso il trattamento meccanico, si passa a quello biologico. La frazione di materiale non conduttore insieme a quella di materiale fine separata in origine dal trommel, va a finire in una vasca di fermentazione anaerobica, dove avviene proprio la fermentazione tramite un processo di tipo bio-chimico. Viene suddivisa in due fasi, ognuna in un opportuno serbatoio:

- 1° serbatoio: fermentazione con produzione di acido acetico;
- 2° serbatoio: fermentazione metanogena, produce del metano.

La parte più difficile da decomporre tra tutti i materiali che vanno a finirci è la cellulosa. Le plastiche in generale non dovrebbero andare a finire in queste vasche, poiché solo alcuni tipi di esse risultano demolibili per fermentazione. Le plastiche vengono in maggioranza eliminate a monte sul nastro dopo la frantumazione con una tecnica di ventilazione, ossia con un getto d'aria che le trascina via, poiché costituiscono in genere la parte più leggera. Il processo di smaltimento in generale prende comunemente il nome di processo di "digestione". Dalla fermentazione esce una parte significativa di fanghi privati della componente organica prevalente. Alla

punto di vista ambientale e per l'impatto locale, il trattamento dei rifiuti più indicato, portato all'estremo dal processo Arrow.

## APPROFONDIMENTO PROCESSO ARROW

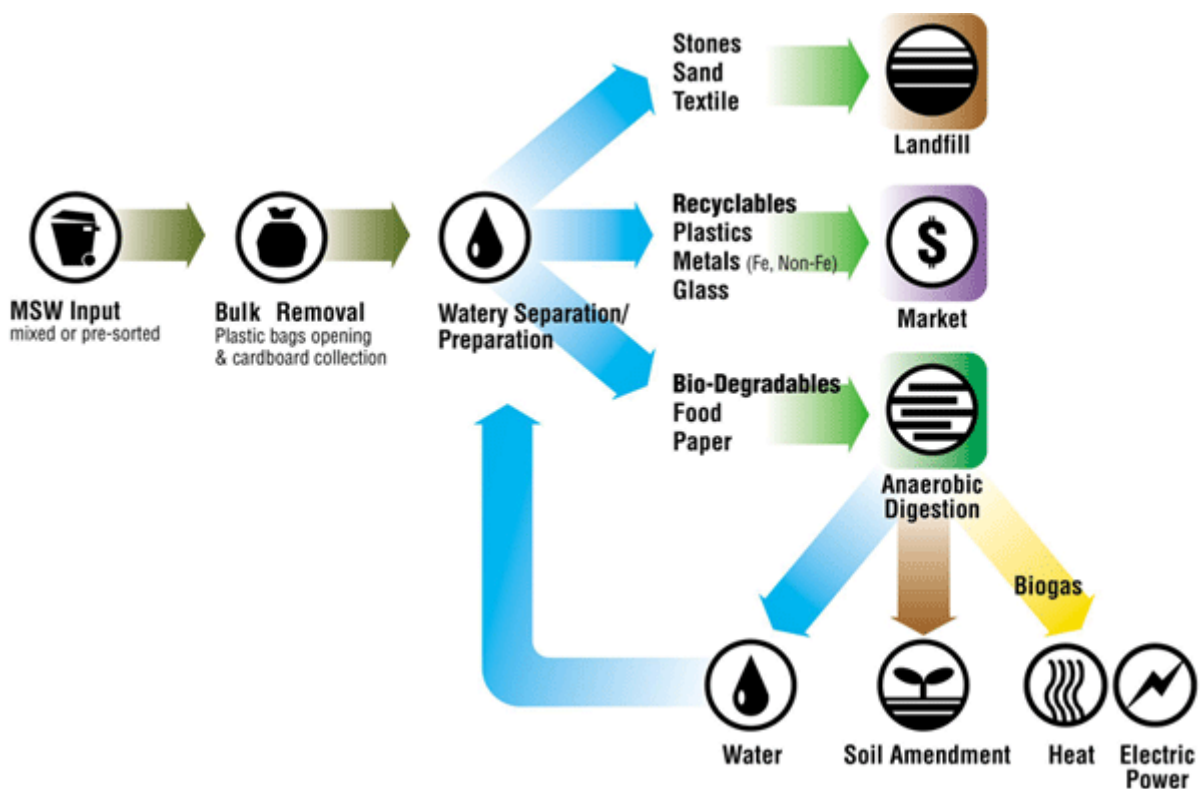
Il sistema Arrow Bio è una novità assoluta nel trattamento e nel recupero dei rifiuti indifferenziati ed è costituito da una tecnologia di trattamento a freddo che separa i rifiuti attraverso l'utilizzo di acqua a ciclo chiuso. Questa tecnologia per il trattamento dei rifiuti solidi urbani indifferenziati è stata brevettata in Israele dalla Arrow Ecology Ltd. e permette di recuperare tutti i materiali riciclabili come metalli, carta vetro e plastiche consentendo un trattamento anaerobico/aerobico della frazione organica attraverso tecniche idromeccaniche e bio-tecnologiche. Tramite queste tecnologie si produce biogas, fertilizzante ed acqua. Il biogas è utilizzabile per il trasporto o per la produzione di energia elettrica e termica; l'acqua di separazione viene bonificata e rimessa in circolo nelle vasche di trattamento.

Il processo può essere schematizzato nel seguente modo:

1. Immersione dei rifiuti in una vasca piena d'acqua.
2. Separazione per gravità dei materiali inorganici (metalli, vetro e altri inerti) con peso specifico maggiore dell'acqua che affondano, dai materiali a peso specifico minore dell'acqua (plastiche e materiali organici biodegradabili) che galleggiano o rimangono in sospensione.
3. Invio dei materiali inorganici ad una linea di recupero dei materiali ferrosi, non ferrosi e vetro. I materiali rimanenti vengono riciclati alla vasca di dissoluzione e proseguono nel processo dei materiali leggeri.
4. Trasporto della frazione organica leggera ad un vaglio a tamburo, dove avviene il lavaggio dei materiali attraverso dei getti d'acqua. Nel vaglio, si ha una grossolana separazione dei materiali in due flussi a pezzatura diversa: gli elementi più piccoli, che passano attraverso i fori, sono inviati a un trituratore idraulico; gli elementi più grossi procedono su un nastro trasportatore dove gli imballaggi di plastica densa (PET - polietilene tereftalato - e HPDE - polietilene ad alta densità-) sono separati manualmente. I metalli sono recuperati con una calamita e le pellicole di plastica sono allontanate tramite un separatore ad aria.
5. Il materiale rimanente è composto quasi esclusivamente da materiale biodegradabile che viene inviato al sistema di filtraggio. In



Impianto ArrowBio	1 Linea	2 Linee
Capacità giornaliera	150 ton.	300 tonn.
Capacità annuale	50,000 tonn.	100,000 tonn.
Produzione di biogas	15,000 m <sup>3</sup> /giorno	30,000 m <sup>3</sup> /giorno
Elettricità verde	1-1.2 MWh	2-2.5 MWh
Elettricità consumata	0.7 MWh	1 MWh
Dipendenti	10-15 per turno	20-25 per turno
Terreno necessario	8,000 m <sup>2</sup>	15,000 m <sup>2</sup>



Tra i RSU possiamo avere due divisioni nella parte di indifferenziato:

- Vetro + metalli (si basa sul riconoscimento delle proprietà meccaniche)
- Plastica + metalli (separazione tramite un criterio densimetrico)

costituita dai materiali inerti, che vanno a finire nelle ceneri derivanti dall'inceneritore. Riassumendo posso dire che:

- Se sottraggo dai rifiuti la frazione combustibile devo poi compensare aggiungendo metano.
- Se dovessi riuscire a eliminare tutta la frazione non combustibile, avrei soltanto dei benefici. Tuttavia non esiste un sistema di raccolta così preciso, che mi permetta di ridurre al massimo le frazioni di metallo e vetro. Per i metalli ovviamente si apre un ampio scenario di recupero.

Gli inceneritori attualmente in funzione, portano all'incenerimento circa 1000 e più tonnellate di rifiuti. Questo enorme quantitativo di rifiuti richiesto ha portato a una mancanza di frazione combustibile da mandare agli inceneritori soprattutto nei paesi dove la raccolta differenziata è cresciuta notevolmente. L'inceneritore non è di nessuna utilità senza la frazione combustibile necessaria! Ha uno sviluppo verticale, dove si alternano delle griglie mobili in cui il rifiuto casca dall'alto. In questo percorso incontra aria di combustione insieme a una certa quantità di metano che serve a compensare la mancanza di potere calorifico. Le griglie inoltre servono al rimescolamento del rifiuto stesso. Per essere ripuliti dalle tossine, i fumi vengono inviati al postcombustore, dove si effettua un controllo sulla loro temperatura finale (circa 1000°C) e si decide e regola la quantità di metano in ingresso per raggiungere il calore richiesto. L'inceneritore tratta un rifiuto con una composizione assolutamente variabile, non conosco la natura del materiale che vado a caricare. Tutto ciò che mi sottrae potere calorifico è ovviamente indesiderabile. Al limite, la frazione che potrebbe creare meno problemi nell'inceneritore è quella umida, solo l'acqua presente porterebbe via del calore. La parte umida viene sottratta con la raccolta differenziata principalmente per motivi igienici e sanitari, non per motivi tecnici. I fumi portati alla temperatura corretta, vengono utilizzati in una unità per il recupero termico (una caldaia), e il vapore generato va a finire in una turbina che produce come output energia elettrica. Lo scambio termico che avviene nella caldaia porta i fumi a una temperatura di circa 150°C, facendo quindi scaricare tutto il potenziale termico. I fumi andranno infine a defluire nel camino. Se il ciclo si interrompesse prima del passaggio nella caldaia si tratterebbe di un comune inceneritore, mentre con la parte dopo si può parlare di termovalorizzazione. Al contrario del TMB, in cui non avviene combustione, ora i fumi prodotti contengono metalli pesanti e diossine. Ovviamente con un rifiuto senza potenziale termico non ci può essere una valorizzazione. Questo procedimento ha il grande vantaggio di poter recuperare una parte di energia dal rifiuto, mentre col passaggio in discarica non recupero quasi nulla. I costi di gestione inoltre sono estremamente diversi: quelli

*La frazione inerte è ridotta al minimo valore possibile e esente da altri materiali; con l'incenerimento tutto ciò che è combustibile è andato via.*

## TRATTAMENTO DELLA CARTA E DEL VETRO

Per un comune è più conveniente la divisione di plastica + metalli, oppure vetro + metalli? Tutti e tre sono presenti in quantità non sufficienti a creare una frazione a sé, soprattutto i metalli. Un criterio di separazione densimetrico è poco consigliabile, poiché si presume una preventiva frantumazione. Considerando le caratteristiche meccaniche, plastica e metalli hanno entrambi un comportamento tenace, mentre vetro e metalli permettono una separazione più semplice, essendo uno fragile e l'altro tenace. Anche se la mescolanza di vetro e metalli sarebbe più consigliabile, nasce un inconveniente se si vanno a considerare le campane di raccolta. Esse hanno infatti una bocca di raccolta abbastanza piccola, si rischia quindi di buttare un oggetto metallico nell'indifferenziato perché ha delle dimensioni troppo elevate. La raccolta di metalli + plastica potrebbe quindi accogliere oggetti metallici di natura più complessa. Le bocce delle campane di raccolta sono così piccole prevalentemente per motivi precauzionali. Tra tutte le possibili separazioni dei RSU, oltre a quella dell'umido, è fondamentale anche quella del vetro. Non è un prodotto dal valore elevato, però se non venisse separato potrebbe finire o in discarica o nell'inceneritore. Nel primo caso, essendo inerte, non provocherebbe dei problemi, e frantumandosi molto facilmente non occuperebbe neanche troppo spazio. Se finisse nell'inceneritore invece, si andrebbero a incrementare le ceneri causate dai materiali inerti, sfavorendo il bilancio energetico e provocando uno svantaggio economico. Un'altra considerazione si può fare valutando che l'inquinante più pregiato del vetro sono i tappi di alluminio, per cui unendo vetro + metalli, non dovrei neanche preoccuparmi di questa ulteriore separazione, creando anzi un valore positivo aggiunto. Il vetro riciclato sostituisce la materia prima della sabbia silicea ( $\text{SiO}_2$  – silice), molto abbondante in natura. La silice fonde a temperature molto elevate, circa  $1800^\circ\text{C}$ . I normali vetri in commercio sono additivati con dei fondenti che abbassano la temperatura di fusione. Quando riciclo il vetro, oltre al risparmio di sabbia silicea, risparmio anche tutti gli additivi fondenti. Quale problematica c'è nel riciclaggio del vetro? La qualità e il colore del materiale stesso. Posso infatti riciclare per produrre:

- Vetri di colore giallo/marrone;
- Vetri trasparenti oppure vetri verdi.

Per valorizzare a pieno il riciclaggio del vetro dovrei avere tre distinte campane di raccolta, ciascuna apposta per il tipo di colore e di vetro.

La tecnologia usata per il riciclaggio del vetro è molto semplice, bisogna solo fare

- 1) Disassemblaggio delle fibre;
- 2) Ripulitura delle fibre dagli inchiostri e da tutte le sostanze estranee.

La carta a fine vita prende il nome di carta da macero, proprio perché viene sottoposta a un processo di macerazione: viene disgregata con un processo meccanico-termico. La carta viene “digerita” in un maceratore (pulper), dove si immette vapore acqueo. Quest’ultimo scalda l’acqua e si viene a creare un moto vorticoso grazie anche all’azione di alcune pale meccaniche che facilitano la disgregazione della carta. Al termine della macerazione le fibre sono libere: quelle più lunghe (di dimensione corretta) vanno a fondo, mentre le particelle più leggere vengono eliminate con l’acqua contenuta nel maceratore. Il processo di macerazione provoca una certa quantità di particelle fini che si ritrovano nei fanghi dell’impianto di depurazione dell’acqua. Quest’acqua che proviene dal maceratore necessita di essere chiarificata, mentre i fanghi si potrebbero smaltire con essiccazione naturale, incenerimento o discarica. Le fibre nel primo step di macinazione risultano ancora inquinate dall’inchiostro. In questa fase si distingue la qualità della carta riciclata, essa infatti può essere più o meno pregiata a seconda del grado di pulizia delle fibre. Maggiore qualità della carta riciclata → maggiore grado di pulizia con processi più raffinati. Molto spesso infatti la carta riciclata viene utilizzata per i cartoni da imballaggio, che non necessitano di una qualità elevata. L’operazione di pulizia delle fibre prende il nome di disinchiostrazione: sfrutta la caratteristica che le fibre sono idrofile mentre gli inchiostri sono in genere idrofobi. La separazione avviene tramite degli agenti schiumogeni: la parte di inchiostro viene portata via dal disinchiostatore tramite il traboccamento della schiuma. La carta non è mai al 100% riciclata. Per garantire un giusto grado di bianco, viene additivata con una parte di polpa di legno vergine. Secondo le logiche dell’LCA, il processo di riciclaggio della carta è un tipico esempio di riciclo aperto: produco nuovamente carta, però di qualità inferiore, più degradata, quindi utilizzabile per scopi meno pregiati (non usare per fotocopie! La carta riciclata è molto più porosa dell’originale, causando un consumo doppio di inchiostro!). Questo processo è giustificato se si va a considerare che nelle cartiere non si trasporta la “carta straccia”, ma quella già avviata alla macerazione; alla cartiera arriva il prodotto pregiato. Il processo di riciclaggio della carta è uno dei pochi che presenta molti centri di trattamento del rifiuto e pochi per il trattamento finale. Delle operazioni diverse devono essere svolte quando ho differenti tipi di carta, come quella patinata delle riviste o il tetrapak, il cui interno è costituito da alluminio e fogli di polietilene.

con alta efficienza e basso costo. Grandissime motivazioni per insistere con l'utilizzazione di acciaio nell'autovettura. Quale è sostanzialmente il ruolo che è cresciuto nel tempo? Quello dei materiali plastici, poiché molti componenti interni dell'abitacolo (non strutturali), sono stati costruiti con materiali plastici.

Termoplastici: materiali che sotto l'azione del calore diventano duttili e malleabili.

Termoindurenti: materiali che sotto l'azione del calore aumentano il loro grado di polimerizzazione e quindi anche la resistenza meccanica. Molto importanti sono gli elastomeri (pneumatici). Nel precedente elenco di materiali è interessante vedere quelli che devono assolutamente essere sottoposti a bonifica e quali invece possono andare direttamente alla selezione nella carcassa. Non esiste la possibilità di riciclaggio delle autovetture se non abbiamo tolto come minimo fluidi e batterie.

Questo perché la selezione prevede uno step fondamentale nella frantumazione.

Siccome molti dei fluidi sono infiammabili e corrosivi, se li avviassimo al processo di frantumazione avrei degli evidenti danni nell'impianto di selezione. Quindi anche se noi ci dimentichiamo dei rischi ambientali connessi allo spargimento dei fluidi, certamente i fluidi non possono essere avviati allo stadio di frantumazione.

- Eliminazione dei fluidi fondamentale per eventuale spargimento nell'ambiente;
- Potrebbero provocare combustioni, esplosioni, danneggiamento se arrivassero al frantumatore.

Quali sono i fluidi principali che devono essere tolti?

- Olio lubrificante: olio motore e olio del cambio;
- Liquido del circuito refrigerante;
- Carburante.

Questo richiede sicuramente un'operazione manuale, cioè l'autovettura deve essere montata sul carrozzone e bisogna fare l'operazione di svuotamento dei fluidi.

Montaggio del carrozzone e svuotamento dei fluidi, operazioni lunghe e impegnative dal punto di vista dei costi. Che cosa faccio di questi fluidi? Se li raccolgo, devo sapere che cosa farne. Gli oli esausti chiaramente portano con sé la necessità della rigenerazione. Sono sottoposti a un'operazione volta a eliminare tutte le frazioni "in sospensione" (filtrazione) e a separare i vari costituenti, in quanto durante il funzionamento dell'autovettura gli oli modificano le loro caratteristiche di viscosità, poiché sono sottoposti a un'azione di degrado di tipo termico: diventano troppo fluidi compromettendo il potere lubrificante. Per tale motivo la rigenerazione degli oli lubrificanti non può essere condotta in un impianto qualsiasi, ma in uno dedicato dopo che è avvenuta l'operazione di raccolta nei vari punti di produzione per la bonifica. Questi sono sicuramente presso i demolitori. I primi grandi produttori di oli

il concetto di preferire il rifiuto industriale con la sua linea di smaltimento perché è un rifiuto individuato, facendo la commistione ne perderebbe la tracciabilità. Esiste una responsabilità penale e civile di chi produce il rifiuto. Esempio di rifiuto industriale: sabbie di fonderia esauste. Materiale inerte, costituito da semplice sabbia anche se sporcata di carbone. Potrebbe usarle come materiale di copertura, senza avere i costi aggiuntivi dell'utilizzo di terreno vergine per questo scopo. Rimane tuttavia un'opzione impossibile a causa della grossa separazione presente tra i rifiuti di tipo industriale e quelli di origine urbana.

I fluidi refrigeranti sono costituiti in primo luogo dal glicole etilenico, additivato all'acqua nell'impianto di raffreddamento per abbassare il punto di congelamento dell'acqua nel radiatore. Il glicole etilenico è assolutamente miscibile con l'acqua, unico mezzo per recuperarlo è attuare una distillazione frazionata. Ciò che ostacola questo tipo di procedura è che mediamente le quantità che io raccolgo non giustificano l'invio all'impianto di recupero. Spesso è avviato all'incenerimento, o in casi peggiori viene lasciata evaporare l'acqua. I liquidi refrigeranti sono molto difficili da riciclare; qualcuno potrebbe essere riportato in ciclo direttamente recuperandolo dopo aver fatto un minimo di operazione di ricondizionamento.

Il carburante residuo che c'è nell'autovettura crea dei problemi, soprattutto la benzina a causa del bassissimo punto di infiammabilità. Ove non venisse bonificata e andasse a finire nella parte di frantumazione, avremmo delle esplosioni che danneggerebbero il frantumatore. L'olio diesel non è infiammabile, crea meno problemi di esplosione. Il fluido pericoloso per le operazioni di riciclaggio è quindi sicuramente la benzina. I residui di olio diesel sono da recuperare per i problemi di inquinamento del suolo, poiché i fluidi potrebbero finire direttamente sparsi sul terreno. La prima operazione in assoluto è perciò la bonifica dei fluidi. Le batterie sono in assoluto il componente più critico dal punto di vista ambientale. Sono dei contenitori in plastica (polipropilene) dove sono contenuti vari elementi (griglie di lega di piombo) impregnati di una pasta elettrolitica il cui costituente fondamentale è il biossido di piombo. Le griglie sono immerse in una soluzione criolettrolita a base di acido solforico. Dentro il contenitore di plastica è contenuta una miscela colossale dal punto di vista del danno ambientale, perché l'acido solforico nel liquido della batteria è estremamente corrosivo. L'altro costituente è il piombo con i suoi sali. E' tra i metalli fortemente tossici insieme al mercurio. Lasciare le batterie accanto al contenitore di raccolta dei rifiuti urbani è un danno irreparabile. C'è un consorzio apposito di raccolta delle batterie, che non consente la fuoriuscita dell'acido contenuto o dispersioni di piombo. La tecnologia delle batterie non è ancora riuscita a trovare un sostituto economicamente vantaggioso rispetto alle batterie al piombo.

- Armatura (anima di fili di acciaio, scheletro del pneumatico);
- Elastomeri (“gomma”);
- Teli o parti in tessuto;
- Eventualmente chiodature o altri sistemi di miglioramento della tenuta.

Il primo procedimento che si ha nel trattamento dei pneumatici è la separazione della carcassa metallica da tutta la parte elastomerica. Dopo lo smontaggio, il recupero dell’armatura è sicuramente l’operazione economicamente fondamentale: l’acciaio recuperato torna in utilizzo con il suo ciclo secondario, che abbiamo ampiamente trattato. Questo viene “strappato” con delle macchine apposite che portano via l’armatura separandola dalla parte elastomerica. Il suo principale costituente è la gomma, che può essere naturale o sintetica (in maggioranza). La gomma sintetica è formata da due tipi di polimeri reticolati insieme: lo stirene e il butadiene. Sono dei polimeri insaturi, cioè presentano dei doppi legami nella formula. I doppi legami sono disponibili per un processo di reticolazione. Quando si hanno le grosse molecole indipendenti senza reticolazione, la gomma è di bassa qualità, con scarse caratteristiche meccaniche. E’ l’esempio della gomma naturale, che è quasi sempre liquida. Per migliorare queste proprietà e favorire la formazione dei reticoli tra le molecole si sottopone la gomma a un processo a caldo di vulcanizzazione, tramite il quale si ottengono delle caratteristiche meccaniche soddisfacenti. Le macromolecole vengono legate tramite dei ponti di zolfo, a una temperatura di circa 140/150°C. Lo zolfo può essere aggiunto come elemento puro, oppure tramite degli additivi solfonati, che si comportano da donatori di zolfo. Il ponti creano quindi una reticolazione tridimensionale, rendendo la gomma resistente dal punto di vista meccanico. La gomma è in realtà di difficile produzione, poiché questa operazione di reticolazione è possibile solo grazie a dei particolari additivi, che oltre a modificare la disposizione delle molecole, riescono anche ad accelerare il processo (funzione catalitica). E’ proprio in questo processo di vulcanizzazione che si ha il maggior impatto dal punto di vista ambientale. La miscela del pneumatico è quindi costituita da:

- Polimeri di partenza
- Donatori di zolfo e additivi
- Neofumo (polveri di carbonio additivata per rendere la miscela più scorrevole nello stampaggio del battistrada.

Quando vado a riciclare un pneumatico, non ho più una gomma da vulcanizzare, essa risulta già reticolata con un additivo sgradevole come lo zolfo, derivante dal processo precedente. Proprio per questo risulta molto impattante.

Da questa condizione dipenderà poi la scelta tra il riuso del pneumatico con un nuovo battistrada, oppure la mandata a triturazione. Il sole e il caldo accelerano il naturale processo di invecchiamento della gomma, portando facilmente a una rottura. Quindi, considerando il caso in cui si possa scegliere un riuso del pneumatico, una volta portato a demolizione, può essere destinato alla ricostruzione del battistrada. Questa operazione può avvenire tramite l'applicazione di un nuovo battistrada con un processo a caldo e l'unione di gomma non vulcanizzata. La successiva modellazione e vulcanizzazione avviene direttamente nella pressa, che incide la forma del battistrada. In questo modo ottengo un prodotto molto più vicino a quello proveniente dalle gomme originarie. Tramite un processo di raspatura a freddo, il vecchio battistrada viene portato via e sostituito con uno nuovo sempre sulla carcassa vecchia. E' però un pneumatico di qualità inferiore. Sono due processi che si applicano a un pneumatico che ha consumato solo il battistrada, non vado cioè a distruggere il componente (ricostruisco e riutilizzo il battistrada). Ovviamente il rifiuto automobilistico si presta molto bene a questo tipo di operazioni. Le operazioni sulla carcassa agiscono sulla parte più grossa del rifiuto, e sono costituite prevalentemente dalla frantumazione. Riesco a separare:

- I metalli, tutti i componenti dalla carrozzeria alla meccanica, con particolare attenzione nella separazione magnetica dell'acciaio.
- Parte critica, detta FLUFF.

I metalli separati andranno ovviamente al riciclaggio, in quanto costituiscono la parte più nobile. Con il termine FLUFF si identifica tutto ciò che non è metallico, come plastica, vetro, tessuti...etc. Si tratta quindi di una frazione mista di difficile trattamento. Potrebbe essere valorizzata estraendone una parte combustibile, ma molto più frequentemente viene portata a discarica. Più si accentua lo smontaggio, maggiori sono gli effetti positivi, in quanto separo tutti i materiali che altrimenti andrebbero a finire nel fluff. Un accurato smontaggio limita quindi la produzione di fluff. Secondo la legislazione attuale, si cerca infatti di portare questa frazione a livelli sempre minori. La frantumazione risulta essere un processo energeticamente impegnativo, deve riuscire a "digerire" il pacco costituente la carcassa; le autovetture infatti vengono pressate per essere più facilmente trasportate. Anche se il frantumatore può accogliere le vetture intere, ne esistono principalmente due categorie:

- Sistema a ganasce, opera tramite il taglio del materiale;
- Sistema col mulino a martelli, molto più efficace per la separazione dei metalli.



- 2) Pareti di divisione, soffittature, costruite in mattoni, ossia dei manufatti che derivano dalla cottura di una miscela di argilla e sabbia. Oppure anche pareti in cartongesso.

Le macerie da demolizione possono prendere due strade diverse:

- 1) Discarica, tipologia più semplice possibile poiché si tratta di trattare materiali inerti, meno pericoloso dal punto di vista ambientale tenere questi materiali in discarica.
- 2) Riciclaggio, ovviamente un effetto benefico perché c'è una disponibilità di impianti sul territorio.

Le tipologie di impianto per il trattamento delle macerie sono:

- Fisse
- Mobili

Dipende principalmente dal voler fare una scelta più o meno economica. L'impianto fisso ha una capacità produttiva maggiore, con una più elevata qualità del prodotto riciclato e l'aggiunta dell'onere del trasporto dal sito di demolizione alla sede fissa. Gli impianti mobili hanno il vantaggio di essere spostabili nel luogo della demolizione, avendo però meno efficienza e di conseguenza meno qualità del materiale prodotto. Cosa è determinante nella scelta? Il riciclaggio dei rifiuti da demolizione si differenzia da tutti gli altri casi perché si tratta di rifiuti molto ingombranti e di bassissimo valore. E' determinante l'onere del trasporto e naturalmente anche l'impatto del trasporto. La strada più semplice sarebbe quella di utilizzare le macerie da demolizione per la creazione di rilevati o sottofondi stradali. Il limite di questa povera e semplice tecnologia è la carenza di strade che sarebbero necessarie per utilizzare il quantitativo di macerie prodotte. E' infatti un'utilizzazione poco costosa e interessante, ma non si possono smaltire in questo modo tutti i milioni di tonnellate che vengono prodotti. Per evitare la discarica bisogna quindi mettere a punto delle tecniche di riciclaggio, sia che si utilizzino impianti fissi, che mobili. Il primo fondamentale momento per l'economicità del sistema è fare sul complesso delle macerie una vagliatura iniziale. E' fondamentale perché così si separano le frazioni più fini (qualche decina di centimetro) e quelle finissime. La frazione più grossolana deve andare invece alla frantumazione, operazione molto più impegnativa, che giustifica ovviamente la precedente vagliatura. Sulla frazione frantumata posso poi separare la parte magnetica (acciaio) e fare la vagliatura della parte più fine. Quest'ultima vagliatura permette di riunire la frazione di pietrisco con quella di sabbia. Avendo riunito le due frazioni della stessa natura derivanti dalle precedenti

selezionatore. In generale, quali sono i polimeri più facilmente valorizzabili? Ovviamente quelli nuovi, costituiti dagli scarti omogenei di lavorazione, che non sono ancora entrati in fase d'uso. Una grande massa di plastiche da riciclare deriva soprattutto dai packaging (imballaggi), provenienti dai rifiuti solidi urbani. E' fondamentale la scelta che si segue nella raccolta differenziata: sia i materiali termoplastici che quelli termoindurenti si troveranno mischiati nella stessa campana. A questo punto il trattamento più semplice ed economico da impiegare è sicuramente la triturazione. La plastica ha infatti una bassissima resistenza meccanica a triturazione. Questa miscela tritata presenta però degli inquinanti come residui di cibo, carta, vetro e metalli. Una soluzione a monte potrebbe essere l'eliminazione diretta sul nastro di trasporto delle parti indesiderabili, ad opera di personale specifico. In linea teorica quando ricreo, la frazione termoplastica è quella legante, mentre quella termoindurente è rafforzante. C'è una bassa qualità di utilizzo per le plastiche riciclate, ad esempio le piste di atletica o i campi da tennis. Il riciclaggio di tipo meccanico è la strada corretta anche per il riciclaggio dei materiali nuovi. Nelle fabbriche i materiali termoplastici arrivano sotto forma di granuli di materiale polimerico. L'approccio principale al riciclaggio rimane la triturazione, che avvia un sistema di riciclo aperto, che alla fine produce oggetti di qualità inferiore. Es. PET da riciclo va a finire in tappetini, pyle, t-shirt, applicazioni comunque abbastanza nobili. Un altro onere del riciclaggio della plastica riguarda la sua caratteristica di essere un materiale a bassissima densità, e ciò incide parecchio sui costi di trasporto. I processi per il recupero delle plastiche dipendono dalla tipologia di prodotto a fine vita. Processi alternativi a quello meccanico (triturazione) si utilizzano quando la plastica risulta inquinata con altri elementi, come per esempio nel rifiuto di tipo elettronico. In questo caso risulta economicamente vantaggioso. Il rifiuto elettronico è costituito da plastica unita ad altri materiali. Nello specifico, i rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche vengono chiamati RAEE. Categorie di oggetti che rientrano nel rifiuto elettronico possono essere: cellulari, pc, stampanti. Questi componenti hanno un mix di materiali, nel quale si distinguono tre categorie principali:

- 1) Casing (involucro)
- 2) Batteria
- 3) Circuiti

Visti nel complesso, danno l'idea della complessità della separazione a cui si va incontro. E' una condizione quasi simile al problema trattato con gli autoveicoli. E' un argomento abbastanza critico perché le separazioni dei componenti derivano da alcune considerazioni.

temperature di 500/600°C, le catene polimeriche di spaccano, producendo tre frazioni differenti (gas, liquida, solida). A seconda della temperatura che si raggiunge nella pirolisi, si va a modificare la quantità della frazione liquida ottenuta. Oltre gli 800°C non è proprio più presente la parte liquida e non parlo più di pirolisi, ma di pirogassificazione. La quantità di gas che si produce per pirolisi è minore e può tornare in ciclo per rendere energeticamente indipendente il processo tramite una combustione. Il gas di combustione non viene immesso direttamente per scaldare, altrimenti dovrei anche aggiungere ossigeno e di conseguenza la plastica brucerebbe. Si utilizza un passaggio intermedio costituito da delle sfere di acciaio inox che vengono riscaldate nel preriscaldatore e destinate ad alimentare il riscaldamento del rifiuto. Le sfere infatti si comportano da trasmettitori di calore. Nel forno da pirolisi non ci deve essere aria, altrimenti si parlerebbe di un comune inceneritore. Il mezzo che porta calore nel forno da pirolisi senza immettere aria sono appunto le sfere di acciaio inox. Questo sistema potrebbe essere utilizzato per qualsiasi materiale organico, non solo per il rifiuto elettrico ed elettronico. Nella frazione liquida vanno a finire tutti gli oli di scarto del processo. Uno dei vantaggi principali del processo di pirolisi è il non dover utilizzare energia per la frantumazione, poiché l'intero processo diventa energeticamente indipendente, mentre prima era necessario anche un altro impianto di combustione. La pirolisi non è giustificata se c'è solo della plastica. E' invece giustificata da utilizzare quando nella parte solida del rifiuto elettronico vado a trovare dei metalli nobili da recuperare. Nasce quindi l'esigenza di usare delle plastiche non alogenate per essere compatibili col processo di pirolisi. Il vero problema nel riciclaggio della plastica sono i ritardanti di fiamma, ossia tutti i composti bromurati. Questi vanno tutti a finire nella frazione liquida, che per ovvie ragioni risulta molto difficile da valorizzare. Questi composti ritardano il processo di combustione e possono anche estinguere l'intero processo. I ritardanti bromurati si ritrovano in tutti i rifiuti, anche se ora sono fuorilegge e non possono più essere utilizzati. Tra gli altri inquinanti che possono essere presenti nel rifiuto elettronico si ritrova il mercurio, e in sua presenza è necessaria una preventiva bonifica. Riassumendo il processo di pirolisi viene utilizzato per separare la frazione polimerica, mentre il processo pirometallurgico separa le frazioni metalliche dal frantumato. Il forno da pirolisi ha una temperatura maggiore del punto di fusione dello stagno.

## BIOPOLIMERI

Costituiscono un complesso di materiali polimerici globalmente chiamato bioplastiche. Così come esistono fonti energetiche rinnovabili e non, esistono

- 1) Frigoriferi
- 2) Lavatrici
- 3) Televisori a tubo catodico
- 4) Cavi elettrici

Il frigorifero è sicuramente l'esempio più particolare e interessante. Si presta all'operazione mista di riuso e riciclaggio. Il componente fondamentale che si presta al riuso è il compressore presente all'interno, che garantisce l'effetto raffreddante tramite l'espansione di un liquido refrigerante. Prima di staccare il compressore dalla linea refrigerante, bisogna bonificare il circuito refrigerante, che utilizza come liquido degli idrocarburi alogenati. Sono principalmente i CFC o clorofluorocarburi, responsabili della distruzione della fascia di ozono. E' importante quindi non disconnettere il compressore facendo degasare in aria i CFC. Oggi si utilizzano i FREON, meno dannosi dei CFC. La prima fase è quindi la bonifica del circuito raffreddante. Una volta svuotato il circuito, si fa uno stoccaggio separato delle sostanze dannose, per evitare dispersioni in aria è necessaria una raccolta controllata. Questa operazione di recupero dei fluidi raffreddanti appartiene alla categoria della bonifica. Quando il compressore è pulito si aprono due strade:

- Riciclaggio separato, smontaggio del compressore che è il componente di maggior valore e successiva demolizione, dividendo la parte dei metalli. C'è da considerare anche la presenza del motore elettrico che lo alimenta.
- Riuso del compressore tal quale. Viene sottoposto a una nuova manutenzione e ritorna in ciclo.

Il compressore contiene anche un altro costituente che deve essere sottoposto a eliminazione. In caso di frantumazione e demolizione è assolutamente necessario togliere tutto l'olio presente. L'olio così estratto viene recuperato e mandato al consorzio degli oli esausti. A questo punto rimane solo la carcassa del frigorifero, e bisogna diminuire la quantità di materiale non interessante per il riciclaggio. Tollo tutte le parti in vetro, che segue poi la sua tecnica di riciclaggio specifica. Ora può avvenire sulla carcassa la frantumazione tramite un mulino a martelli, e si ottiene una parte di:

- Acciaio, portato via tramite calamitatura;
- Poliuretano espanso, polimero poroso a bassa densità che costituisce l'isolante termico del frigorifero.

La frantumazione lascia un residuo formato in maggioranza da poliuretano, non più espanso poiché il materiale viene sottoposto a compressione e trasformato in

sottoporli pericolosamente a combustione. Non è ovviamente un procedimento corretto, in quanto è sicura la produzione di diossine altamente dannose. E' possibile eventualmente eliminare la frantumazione della plastica immergendo i cavi in azoto liquido, rendendola molto debole. Anche se la tecnica più diffusa rimane la frantumazione, l'utilizzo del bagno in azoto liquido sarebbe conveniente, poiché si ha una resa maggiore se l'anima di rame viene recuperata senza essere sottoposta a precedente frantumazione.