



Università degli Studi di Padova

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Gestionale

Il ciclo di vita e le attività di riciclo dei principali materiali da imballaggio

RELATORI : CH.MO PROF. MIRTO MOZZON

CH.MO PROF. RINO A. MICHELIN

LAUREANDO: ALBERTO MAZZETTO

ANNO ACCADEMICO: 2012-2013

INDICE

| | |
|---|----|
| INTRODUZIONE | 5 |
| CAPITOLO 1 - La plastica | 7 |
| 1.Definizione | 7 |
| 1.1.Policondensazione | 8 |
| 1.2.Poliaddizione | 10 |
| 2.La produzione della plastica | 11 |
| 2.1.Il Riciclo Meccanico | 11 |
| 2.2.La raccolta | 12 |
| 2.3.Selezione | 12 |
| 2.4.Il riciclo eterogeneo | 13 |
| 2.5.Il riciclo omogeneo | 14 |
| 2.6.Triturazione | 14 |
| 2.7.Lavaggio | 15 |
| 2.8.Macinazione | 15 |
| 2.9.Essidamento | 15 |
| 2.10.Granulazione | 16 |
| 2.11.Il riciclo chimico | 16 |
| 2.12.La termovalorizzazione | 17 |
| 3.Esempi di prodotti realizzati in plastica riciclata | 19 |
| 3.1.Neolite | 19 |
| 3.2.Plasmix | 20 |
| 4.Gli aspetti critici nel riciclo della plastica | 25 |
| CAPITOLO 2 - L'acciaio | 27 |
| 1.Definizione | 27 |
| 2.La produzione di acciaio primario | 27 |
| 2.1.Produzione del coke metallurgico in cokeria | 28 |
| 2.2.Produzione dell'agglomerato di minerali di ferro | 28 |
| 2.3.Produzione di ghisa nell'altoforno | 28 |
| 2.4.Produzione di acciaio in acciaieria | 29 |
| 3.La produzione di acciaio secondario | 30 |
| 4.Gli aspetti critici nel riciclo dell'acciaio | 31 |
| CAPITOLO 3 – Alluminio | 33 |
| 1.Metallurgia dell'alluminio | 33 |
| 1.1.Il processo chimico | 33 |
| 1.2.Processo elettrolitico | 34 |

| | |
|--|----|
| 2.La produzione di alluminio secondario | 37 |
| 3.La raccolta degli imballaggi in alluminio | 38 |
| 4.Il riciclo dell'alluminio | 38 |
| 4.1.Pretrattamenti | 39 |
| 4.2.Fusione in forni salini | 39 |
| 4.3.Recupero e trattamento delle scorie saline | 40 |
| 5.Gli aspetti critici nel riciclo dell'alluminio | 41 |
| 6.Dati della produzione di alluminio | 41 |
| CAPITOLO 4 - Il vetro | 43 |
| 1.Definizione | 43 |
| 2.Fabbricazione massa vetrosa | 43 |
| 2.1.Preparazione della miscela | 43 |
| 2.2.Riscaldamento | 44 |
| 2.3.Fusione | 44 |
| 2.4.Affinazione | 44 |
| 2.5.Raffreddamento | 44 |
| 3.La raccolta degli imballaggi in vetro | 45 |
| 4.Gli aspetti critici nel riciclo del vetro | 46 |
| 5.Dati sul riciclaggio del vetro | 49 |
| CAPITOLO 5 - Il legno | 51 |
| 1.Il compensato | 51 |
| 1.1.Processo produttivo dei pannelli di compensato | 52 |
| 1.2.Compensato da interni | 54 |
| 1.3.Compensato da esterni o fenolici | 54 |
| 1.4.Compensato marino | 54 |
| 1.5.Compensato strutturale | 55 |
| 2.Il pannello truciolare | 55 |
| 2.1.Tipi di pannello | 57 |
| 3.Gli impieghi del legno recuperato | 58 |
| 4.Gli aspetti critici nel riciclo del legno | 59 |
| 5.I numeri del legno riciclato | 60 |
| CAPITOLO 6 - La carta | 63 |
| 1.Definizione | 63 |
| 2.Tipologie di pasta | 63 |
| 2.1.Produzione di pasta da fibra vergine | 63 |
| 2.2.Pasta legno – Ground Wood | 64 |
| 2.3.Pasta termomeccanica (TMP) | 64 |

| | |
|---|----|
| 2.4.Pasta chimica: chiamata anche cellulosa Kraft – processo al solfato | 64 |
| 2.5.Imbianchimento | 65 |
| 2.6.Produzione di pasta da fibre riciclate | 65 |
| 2.7.Durata di vita delle fibre riciclate | 66 |
| 2.8.L'impasto | 66 |
| 3.Tipologie di macchinari e processi | 67 |
| 3.1.Macchina per la produzione di carta Fourdrinier o a doppia tela | 67 |
| 3.2.Macchina per la produzione della carta a tele gemelle | 67 |
| 3.3.Sezione presse | 67 |
| 3.4.Seccheria | 68 |
| 3.5.Patinatura | 68 |
| 3.6.Patinatrice | 68 |
| 3.7.Calandratura | 69 |
| 3.8.Taglio e avvolgimento | 69 |
| 3.9.Imballaggio ed etichettatura | 70 |
| 3.10.Controllo di processo | 70 |
| 4.Materia prima rinnovabile | 70 |
| 5.La pasta da macero | 71 |
| 6.Gli aspetti critici nel riciclo della carta | 72 |
| CONCLUSIONE | 74 |
| BIBLIOGRAFIA | 75 |
| SITOGRAFIA | 75 |

INTRODUZIONE

L'eccezionale crescita demografica degli ultimi decenni e l'esplosione dei consumi nei paesi industrializzati, come mai era avvenuto nella storia dell'umanità, costituiscono un serio motivo di preoccupazione tanto per la quantità delle risorse disponibili quanto per la qualità dell'ambiente in cui viviamo.

Cosa fare dei rifiuti che produciamo in abbondanza e come approvvigionarsi di energia senza compromettere le riserve naturali, sono due dei problemi più rilevanti del nostro tempo.

Promuovere una corretta gestione dei rifiuti, quindi, coniugando educazione, modelli operativi e tecnologie adeguate, costituisce un fondamentale contributo all'opzione di Sviluppo Sostenibile, ormai concordemente adottata a livello internazionale: un modello di sviluppo in grado di soddisfare i bisogni delle generazioni presenti senza compromettere quelli delle generazioni future. Prioritaria risulta essere la riduzione dei rifiuti, limitandone la produzione e privilegiando il riuso di oggetti e materiali, anche se, naturalmente, il problema principale rimane come trattare quei prodotti.

La raccolta differenziata dei rifiuti e il ruolo essenziale, per la buona riuscita di essa, da parte del cittadino-produttore di rifiuti sono due cardini della cultura dello Sviluppo Sostenibile. La raccolta, però, vive in funzione delle fasi successive che portano al recupero effettivo dei materiali.

L'Italia, anche se povera di materie prime, ha sviluppato un'importante industria del riciclo. Esso è un'importante settore dell'economia italiana ed è caratterizzato da piccole-medie imprese in cui lo spirito imprenditoriale del titolare si fonde con l'approccio "famigliare", che ha quest'ultimo, nei confronti della sua attività. Così ogni singola frazione di materiale raccolto viene recuperata in modo molto efficiente. A confermare questo concetto ci sono i dati di recupero degli imballaggi, quasi il 70%, e del loro riciclo, circa il 60%.

Il CONAI, Consorzio Nazionale Imballaggi, è un consorzio di diritto privato, senza fini di lucro, nato nel 1997. Il suo compito è quello di gestire il recupero e il riciclo dei materiali da imballaggio e di perseguire gli obiettivi previsti dal Decreto Ronchi (D. Lgs. 22/97), a sua volta sostituito dal D. Lgs. 152/06.

La politica del riciclaggio dei rifiuti in Italia è inserita in un contesto europeo in cui l'Unione Europea mira a "fare dell'Europa una società che ricicla" per spingere il recupero dei rifiuti a livelli sempre più elevati.

I principali materiali da imballaggio sono plastica, alluminio, acciaio, carta, vetro, legno e sono i materiali che costituiscono la quasi totalità dei beni di largo consumo. Il seguente lavoro ha lo scopo di descrivere, con uno sguardo attento e critico, le

principali tecniche di riciclaggio dei materiali da imballaggio e di analizzare, in modo rigoroso, le eventuali criticità, aspetti negativi.

CAPITOLO 1

La plastica

1. Definizione



Figura 1.1: bottiglia di plastica.

La plastica è costituita da molecole di grandi dimensioni che sono denominate polimeri. I polimeri sono costituiti da atomi di carbonio e di idrogeno, con possibile presenza di ossigeno, azoto o altri elementi quali il cloro, il bromo. La struttura molecolare dei polimeri è filiforme e deriva dall'unione di unità molecolari più semplici, i monomeri. I monomeri più importanti sono: etilene, propilene, butadiene e stirene.

Il processo di produzione della plastica inizia con il petrolio. Il petrolio, collocato all'interno di enormi torri, viene scaldato e fatto bollire: le varie sostanze di cui è costituito si separano (perché hanno diverse temperature di ebollizione) e si sistemano all'interno della torre in posizioni diverse. Si ottengono così gas, benzine, cherosene, nafta e un prodotto chiamato virgin-nafta, da cui derivano le plastiche.

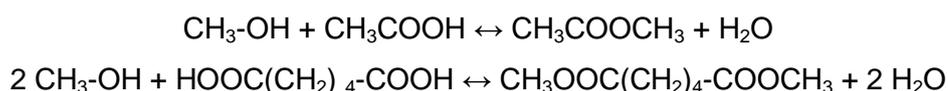
Essi vengono ricavati attraverso il processo industriale di trattamento del petrolio denominato cracking in cui si ottiene la rottura delle molecole degli idrocarburi di partenza, ricavando così i principali monomeri. In seguito, attraverso processi di polimerizzazione e policondensazione, in presenza di specifici catalizzatori, i monomeri vengono raggruppati in catene per ottenere i polimeri, che presentano differenti proprietà e struttura a seconda dei monomeri di partenza. Le catene polimeriche

ottenute possono essere lineari, ossia indipendenti le une dalle altre, oppure collegate tra loro a formare un reticolo tridimensionale. Nel primo caso i polimeri si dicono termoplastici e sono caratterizzati dalla proprietà di fondere a una determinata temperatura, riacquistando lo stato solido se riportati a temperatura più bassa del punto di fusione. Nel secondo caso si dicono termoindurenti perché, se sottoposti all'azione del calore, non fondono ma, con il progressivo aumento della temperatura, tendono a decomporsi.

Per la produzione di manufatti in plastica viene impiegato il 4% del totale di petrolio utilizzato nel mondo, di cui l'1,6% per il settore degli imballaggi.

1.1.Policondensazione

Per la realizzazione di alti polimeri è evidentemente necessario legare insieme, mediante apposite reazioni chimiche in grado di determinare la formazione di stabili legami covalenti, un gran numero di molecole organiche. Affinché ciò risulti possibile occorre che le molecole che partecipano alla reazione siano munite di almeno due posizioni reattive. Se facciamo difatti reagire l'alcool metilico con l'acido acetico (entrambe molecole con un'unica posizione reattiva), o anche l'alcool metilico (una funzione reattiva) con l'acido adipico (due funzioni reattive), in presenza di un catalizzatore acido, otteniamo dei prodotti di condensazione (noti come esteri) semplici ed incapaci di reagire ulteriormente tra loro; la reazione è di equilibrio ed è nota come esterificazione di Fischer:



Se però anche l'alcool contiene due funzioni reattive (si tratta cioè di un glicole) è possibile ottenere la costituzione di un polimero lineare in quanto l'estere, una volta prodotto, è ancora in grado di reagire con un'altra molecola di acido e poi, di nuovo, con altro glicole e così via di seguito, in modo da realizzare oligomeri di dimensioni via via crescenti, secondo lo schema seguente:



(ove si è indicato con G il glicole e con A l'acido dicarbossilico) e ciò si ripete un grandissimo numero di volte, venendosi così via via a costituire un alto polimero, e, in questo particolare caso, un poliestere lineare.

..... GAGAGAGAGAGA

Quindi ogni qual volta che un monomero bifunzionale reagisce chimicamente con un altro altrettanto funzionalizzato sarà possibile generare una serie infinita di reazioni elementari che danno luogo ad oligomeri con massa molecolare crescente. Questi contengono ancora le funzionalità necessarie per il proseguimento della reazione, purché venga rigorosamente rispettato il rapporto stechiometrico tra i funzionali dei due reagenti.

Se si pensa all'elevato numero di reazioni organiche che, permettendo la formazione di stabili legami covalenti, ben si prestano alla preparazione di macromolecole ed alla varietà di composti chimici che, per ciascuno degli schemi sintetici utilizzabili, possono essere fatte reagire, si può capire di quale ampiezza sia la gamma delle materie plastiche sintetiche ottenibili per lo meno in laboratorio.

Se il monomero contiene entrambi i tipi di gruppi funzionali reattivi, le macromolecole risultanti conterranno una sola unità strutturale. Ad esempio la condensazione intermolecolare dell'acido lattico genererà una catena polimerica lineare, in cui è la sola unità strutturale esterea a ripetersi periodicamente lungo la macromolecola. Analoga situazione si avrà nella policondensazione di un amminoacido.

Nella tabella seguente vengono riportati solo alcuni dei principali tipi di polimeri ottenibili per polimerizzazione a stadi, con indicazione del tipo di monomero polimerizzabile e dell'unità ripetente che ne consegue.

| POLIMERO | UNITÀ RIPETENTE | MONOMERO |
|-------------------|-----------------------------|---|
| Poliammidi | -NH-R-NH-CO-R'-CO- | NH ₂ -R-NH ₂ , ClOC-R'-COCl |
| Policarbonati | -Ar-O-CO-O- | HO-Ar-OH, COCl ₂ |
| Poliesteri | -R-O-CO-R'-CO-O- | HO-R-OH, HOOC-R'-COOH |
| Polieteri | -Ar-O- | Ar-OH |
| Polisilossani | -O-SiR ₂ - | HO-SiR ₂ -OH |
| Polisolfoni | -Ar-SO ₂ -Ar- | Cl-Ar-Cl, K ⁺ O-SO ₂ -O ⁻ K ⁺ |
| Polisolfuri | -Ar-S- | Br-C ₆ H ₄ -SH |
| Poliuree | -NH-R'-NH-CO-NH-R-NH-CO- | O=C=N-R-N=C=O, NH ₂ -R'-NH ₂ |
| Poliuretani | -O-R'-O-CO-NH-R-NH-CO- | O=C=N-R-N=C=O, HO-R'-OH |
| FenoloFormaldeide | -Ar-CH ₂ - | C ₆ H ₅ -OH, H-CHO |
| UreaFormaldeide | -NH-CO-NH-CH ₂ - | H-CHO, NH ₂ -CO-NH ₂ |

Tabella 1.1: unità strutturale e monomero dei principali polimeri di condensazione.

Le reazioni di polimerizzazione possono venire raggruppate in tre classi:

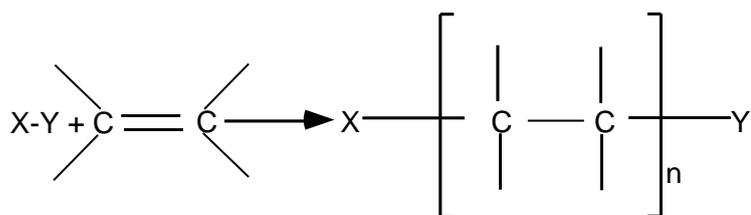
- reazioni concernenti il gruppo carbonilico, da cui si originano: i poliesteri, le poliammidi, i poliuretani, le poliuree, la resina fenolo-formaldeide;
- reazioni di sostituzione nucleofila, da cui si originano: i polieteri, i polisolfuri, i polisolfoni;
- reazioni di sostituzione elettrofila, da cui si originano: i polibenzili, le resine fenoloformaldeide, ecc.

La condensazione intermolecolare di monomeri bifunzionali porta alla formazione di polimeri lineari; la bifunzionalità costituisce pertanto un requisito indispensabile e la presenza occasionale di impurezze monofunzionali (per lo più sottoprodotti della sintesi del monomero) può determinare molto presto l'arresto della crescita delle catene polimeriche. Purtroppo la presenza di impurezze monofunzionali non costituisce l'unico inconveniente della reazione di polimerizzazione a stadi in quanto un problema ulteriore è rappresentato dalla formazione di composti ciclici che consegue alla condensazione intramolecolare dei funzionali reattivi. Infatti, nel caso di un monomero contenente nella stessa molecola entrambe le funzionalità reattive, si può verificare una reazione intramolecolare che genera composti ciclici non suscettibili di ulteriori reazioni di accrescimento della catena. Analoghe ciclizzazioni possono avvenire intermolecolarmente, tra molecole di monomeri bifunzionali per generare strutture cicliche di maggiori dimensioni. In pratica le due reazioni competitive si verificano sempre nel corso di un processo di polimerizzazione a stadi, tuttavia la scelta delle condizioni sperimentali, dei monomeri di partenza, di eventuali catalizzatori selettivi e la stereochimica della struttura risultante, possono indirizzare prevalentemente la reazione in un senso o nell'altro.

1.2.Poliaddizione

La seconda classe di macromolecole è costituita dai polimeri d'addizione che vengono di solito preparati a partire da derivati vinilici o comunque monomeri olefinici, cioè molecole contenenti una o più insaturazioni. Tali reazioni di polimerizzazione possono realizzarsi con un meccanismo anionico, cationico, radicalico o mediante poliinserzione in un legame organo-metallico covalente.

La polimerizzazione di un alchene o di un suo derivato viene definita vinilica e può essere riassunta mediante il seguente schema sintetico:



Il reagente X-Y é una specie chimica in grado di promuovere, secondo maniere diverse, la combinazione di un elevato numero di unità monomeriche fino a portare alla formazione dell'alto polimero. Esso può funzionare da vero e proprio catalizzatore ed allora si rigenera continuamente al termine del processo di crescita di ciascuna delle catene polimeriche, oppure può restare incorporato all'inizio ed alla fine della macromolecola, come nello schema sopra riportato, per consumarsi quindi gradualmente nel corso della reazione. La polimerizzazione degli alcheni costituisce una tipica reazione di poliaddizione. In essa si verifica la somma di una specie iniziatrice di catena (precursore del centro attivo) ad una molecola di alchene, in maniera tale da generare un intermedio altamente reattivo, ma stabilizzato per risonanza, che, nel corso della sua vita, porta poi ad una successiva rapida addizione di numerose altre molecole di monomero (stadio detto di propagazione). Lo stadio di propagazione e quindi la polimerizzazione ha termine con l'arresto della crescita della catena polimerica (terminazione) cosa che avviene o quando una specie reattiva si attacca alla parte terminale in sviluppo della catena, o quando questa espelle una specie di piccole dimensioni (reazione detta di b-eliminazione). L'esatto meccanismo in gioco nella polimerizzazione vinilica e la natura chimica del centro attivo portatore della catena cinetica dipendono dal particolare tipo di catalizzatore che viene utilizzato per iniziare la reazione.

2. La produzione della plastica

2.1. Il Riciclo Meccanico

Il riciclo meccanico consiste nella lavorazione meccanica di oggetti in plastica, raccolti come rifiuto, che diventano così materia prima-seconda per la produzione di nuovi oggetti.

Il riciclo meccanico rappresenta una delle possibili vie di valorizzazione dei polimeri termoplastici e, inoltre, implica minimi requisiti di lavorabilità del materiale.

La qualità dei prodotti ottenuti sarà fortemente dipendente dalla qualità della selezione operata sul prodotto di riciclo. L'industria del settore tenta di migliorare continuamente, per questo motivo, le tecniche di selezione dei materiali di riciclo. Questo con particolare riferimento ai prodotti post consumo al fine di ottenere frazioni sempre più

"pulite" di materiali omogenei. D'altra parte il riciclo meccanico degli sfridi di lavorazione, ovvero dei termoplastici provenienti dal circuito industriale, è una attività consolidata da tempo.

A seconda della tipologia di rifiuto plastico recuperato, e avviato al processo di riciclo meccanico, si possono ottenere:

- dai polimeri termoplastici macinati, granuli o scaglie da utilizzare nella produzione di nuovi manufatti;
- dai polimeri termoindurenti macinati, delle frazioni di materiale utilizzabili come cariche inerti nella lavorazione di polimeri termoindurenti/termoplastici vergini, o riempitivi per altri prodotti poiché non possono essere rilavorati essendo infusibili.

2.2.La raccolta

Tutte le attività di recupero dei materiali prendono inizio con la fase di raccolta. Questa avviene secondo una differenziazione del sistema in atto:

- raccolta differenziata per tipologia di prodotto;
- raccolta multimateriale per due o più tipologie di prodotto;
- raccolta indifferenziata di tutte le frazioni di rifiuti.

Sulla base del tipo di raccolta perseguita è già possibile ottenere una buona qualità del prodotto recuperato da avviare al riciclo.



Figura 1.2: raccolta di rifiuti

2.3.Selezione

La selezione degli imballaggi in plastica provenienti dalla raccolta urbana (bottiglie, flaconi e altri imballaggi in plastica) può essere eseguita meccanicamente o manualmente in base alla tipologia dell'impianto. L'attività di selezione permette di

eliminare eventuali frazioni estranee, ovvero vetro, carta, alluminio, dagli imballaggi in plastica e di suddividere quest'ultimi secondo la tipologia del polimero.



Figura 1.3: operazione di selezione degli imballaggi in plastica.

2.4. Il riciclo eterogeneo

Il riciclo eterogeneo viene effettuato attraverso la lavorazione di un materiale misto contenente PE, PP, PS, PVC (film in PE alta e bassa densità, film in PP, taniche, vaschette, big bags, barattoli, reggette e retine). In questo materiale eterogeneo può essere presente, anche se in quantità minime, PET (contenitori per liquidi), inerti, altri imballaggi, metalli. In questo processo vi è una prima separazione morfologica e dimensionale seguita da una magnetica per separare eventuali frazioni estranee che potrebbero creare problemi in fase di lavorazione. Queste tre separazioni vengono eseguite in base alla lavorazione e al prodotto che si vuole realizzare.

Successivamente il riciclo procede secondo tre fasi:

- triturazione, frantumazione grossolana del materiale;
- densificazione;
- estrusione.

In base alla lavorazione e al prodotto che si vuole ottenere, si potranno eseguire tutte le fasi o solamente in parte: ad esempio si potrà tritare il materiale e successivamente densificarlo oppure, una volta tritato il materiale può essere direttamente estruso. Le difficoltà presenti nel riciclo eterogeneo sono legate alle differenti temperature di lavorazione dei polimeri miscelati. Questo problema esclude la possibilità d'impiego di plastiche eterogenee per la realizzazione di prodotti di forma complessa e che presentano spessori minimi.

2.5. Il riciclo omogeneo

Con particolare riferimento al riciclaggio omogeneo di polimeri termoplastici il riciclatore dovrà accertarsi che nel polimero da trattare non siano presenti altri polimeri, materiali inerti, cariche o additivi in quantità tale da pregiudicare la processabilità. Successivamente alla fase di raccolta, e separazione da altri materiali, la plastica viene accuratamente selezionata per tipologia di polimero.

Le metodologie di separazione che si possono effettuare sono diverse:

- separazione magnetica;
- separazione per flottazione;
- separazione per densità;
- galleggiamento;
- separazione per proprietà aerodinamiche;
- setaccio tramite soffio d'aria;
- separazione elettrostatica.

Una volta separati, i diversi polimeri vengono avviati alle fase successive.

2.6. Triturazione

È la prima operazione prevista nel riciclaggio meccanico. Il livello tecnologico raggiunto in questa fase ha permesso di poter disporre sul mercato di una vasta gamma di mulini che consentono di macinare pressoché tutti i tipi di manufatti, dal film, alle bottiglie, a pezzi stampati di grosse dimensioni. L'operazione della triturazione produce la frantumazione grossolana del materiale, portando lo stesso ad assumere dimensioni di pezzatura omogenea anche se irregolare. Il sistema di caricamento è in genere costituito da un ragno prensile oppure da un nastro trasportatore. A seguito della frantumazione il materiale subisce una considerevole riduzione del volume iniziale; questo è particolarmente evidente trattando corpi cavi, a profilo sia chiuso che aperto, in cui la riduzione del rapporto del volume è molto elevata (in genere superiore a 1:5).

Ai fini della processabilità del materiale trattato è importante garantire un certa omogeneità della pezzatura del prodotto. Questo si traduce in una più facile lavorabilità nelle macchine che stanno a valle dell'impianto.

I problemi che si possono trovare in questa fase riguardano essenzialmente l'alimentazione. Trattando materiali morbidi ed elastici, quali ad esempio film e teloni, l'alimentazione, ovvero la produttività del tritурatore, risulta pressoché costante.

Diversamente, la triturazione di materiali rigidi, può a volte comportare problemi in fase di alimentazione, in quanto gli uncini del gruppo macinante non riescono ad "agganciare" il manufatto.

2.7.Lavaggio

Il lavaggio del prodotto ottenuto a seguito della triturazione viene eseguito nel caso in cui sia necessario separare quelle parti che potrebbero essere dannose alla successiva fase di trasformazione. In base alle caratteristiche del polimero riciclato e al settore di provenienza sono stati sviluppati diversi sistemi di lavaggio. Il sistema più diffuso è quello che prevede il passaggio del materiale triturato in una vasca nella quale viene mantenuta una corrente d'acqua. Il materiale proveniente dalla precedente fase di triturazione viene convogliato nella vasca di lavaggio e viene trascinato dalla corrente d'acqua verso l'uscita della vasca. Sul fondo vengono raccolti i materiali che hanno una densità maggiore dell'acqua quali ad esempio terra, parti metalliche o altri polimeri. È chiaro che questo sistema di lavaggio è valido per i polimeri a densità inferiore di 1 g/cm^3 , in prevalenza poliolefine.

Per gli altri polimeri il lavaggio avviene di solito mediante il passaggio del materiale su un nastro trasportatore e sul quale viene spruzzata acqua, tal quale o additivata, al fine di favorire il lavaggio del materiale. Per garantire una corretta pulizia del materiale in taluni impianti viene disposta una seconda vasca di lavaggio. Per alcuni prodotti, come ad esempio parti di bottiglia o manufatti stampati, per i quali vengono utilizzate etichette adesive, si ricorre al trattamento del materiale con soluzioni basiche al fine di consentirne la separazione dell'etichetta e della colla. Il materiale con il quale è stata prodotta l'etichetta è spesso incompatibile in fase di trasformazione con il polimero costituente il prodotto.

2.8.Macinazione

Il prodotto proveniente dall'operazione di lavaggio viene convogliato in un mulino macinatore che ha lo scopo di ridurre ulteriormente la pezzatura del materiale. Questa operazione viene eseguita di solito per i manufatti rigidi (stampati). Per manufatti morbidi quali film e fogli la macinatura avviene dopo l'operazione di essiccamento. È importante che il prodotto proveniente dal lavaggio non contenga parti metalliche o altro materiale che possa compromettere l'efficacia del mulino.

2.9.Essiccamento

Il macinato, dopo essere stato sottoposto ad un eventuale lavaggio, viene alimentato a un sistema di presse a vite o centrifugato per essere separato da tutta l'acqua libera. Una volta centrifugato il prodotto contiene solo "adsorbita" alla superficie, pari al 15-20%. L'ulteriore essiccamento del macinato viene effettuato in corrente d'aria calda o gas combustibili, a mezzo di essiccatori verticali a zig-zag o centrifughi per raggiungere un tenue residuo di acqua dell'ordine del 2-3% compatibile con la lavorazione

successiva a mezzo di un estrusore con degasaggio. Il materiale essiccato viene inviato al silos di stoccaggio. I silos utilizzati sono in genere forniti di agitatori che hanno lo scopo di omogeneizzare il prodotto.

2.10. Granulazione

È questa la parte finale dell'impianto nel corso della quale si ottiene il granulo che verrà utilizzato per le successive applicazioni. Il materiale proveniente dal silos di stoccaggio viene alimentato in un estrusore munito di una piastra forata con fori del diametro finale di 2-4 mm. Il polimero fuso uscente dalla filiera può essere tagliato a distanza da una taglierina trasversale, dopo raffreddamento degli "spaghetti" (fili estrusi) in vasca ad acqua (taglio a freddo) o da un sistema di coltelli rotanti a contatto della filiera stessa, in ambiente ad acqua nebulizzata (taglio a caldo).

2.11. Il riciclo chimico

I rifiuti plastici costituiscono una importante fonte per il recupero di materia e di energia. Allo stesso tempo, esistono difficoltà considerevoli a garantire uno smaltimento ambientalmente corretto e sostenibile, a causa principalmente degli elevati quantitativi da trattare e della diversità della natura chimica delle diverse famiglie di polimeri.

I processi termo-chimici di conversione per scarti plastici mirano a ottenere combustibili e chemicals alternativi a quelli di origine fossile, con vantaggi considerevoli per l'ambiente, quali, ad esempio il risparmio di fonti non rinnovabili in via di esaurimento, la riduzione delle emissioni di CO₂ nell'atmosfera, il contenimento del conferimento indiscriminato dei rifiuti in discarica. Il riciclo chimico è rappresentato da una serie di processi chimici che decompongono il polimero nei monomeri d'origine.

Alcune plastiche (polimeri di policondensazione), per loro natura chimica, si prestano meglio a questo genere di trattamento. Il PET polietilentereftalato, le poliammidi PA comunemente identificate con il termine nylon ed i poliuretani PUR possono essere efficacemente depolimerizzati. I processi di decomposizione chimica mutano a seconda del reattore o del metodo utilizzato per la depolimerizzazione. I processi attraverso cui è possibile operare questa forma di recupero di energia e di materia sono trattamenti termici grazie ai quali avviene il cracking delle catene polimeriche. Questi trattamenti termici sono:

1. pirolisi: scomposizione delle molecole mediante riscaldamento sotto vuoto ottenendo una miscela di idrocarburi liquidi e gassosi simili al petrolio. La pirolisi può avvenire a bassa temperatura (450-550°C) o ad alta temperatura (650-850°C), ed il prodotto di essa può essere miscelato al petrolio grezzo e quindi tornare in ciclo.

2. Idrogenazione: trattamento di degradazione a base di idrogeno e calore, in cui i polimeri si trasformano in idrocarburi liquidi. Le materie plastiche miste possono essere sottoposte a condizioni analoghe a quelle che subisce la virgin nafta nel cracking in modo da produrre i vari gas olefinici (etilene, propilene, butadiene, ecc.) dai quali si può ricavare nuovamente polietilene, polipropilene, PVC, gomma sintetica.
3. Gassificazione: procedimento ad alta temperatura (800-1600°C) basato sul riscaldamento in mancanza di aria con cui si produce una miscela di idrogeno e ossido di carbonio che può essere utilizzata come combustibile nelle centrali, o per sintesi di prodotti chimici come il metanolo oppure può essere utile nella lavorazione di altre materie.
4. Chemiolisi: lavora le singole materie dismesse con processi che le trasformano nelle materie prime di origine.
5. Glicolisi (o Alcolisi), Metanolisi, Ammonolisi: processi di depolimerizzazione tramite l'utilizzo rispettivamente di glicol tereftalico, di metanolo e di ammoniaca come reagenti che innescano la depolimerizzazione dei polimeri di policondensazione (PET, PA, PUR). La metanolisi e le altre analoghe reazioni sono processi più specifici in quanto non riportano a prodotti base bensì a precursori intermedi. È però applicabile solo a polimeri di condensazione che devono essere preventivamente separati dalle altre plastiche.

Tra i vari processi oggetto di studio e sperimentazione, quelli di pirolisi appaiono particolarmente promettenti sul piano tecnico ed economico, soprattutto per l'alto valore aggiunto dei prodotti di reazione e per l'elevato rendimento di trasformazione in energia elettrica delle tecnologie utilizzabili a valle.

In particolare, i processi di pirolisi di rifiuti plastici sufficientemente omogenei, quali quelli da raccolte differenziate o da raccolte di scarti industriali, consentono l'utilizzo dei prodotti ottenuti come feedstock nell'industria petrolchimica per la produzione di miscele di idrocarburi o di poliolefine.

2.12. La termovalorizzazione

Il rifiuto da imballaggio plastico può essere riciclato o sottoposto a termovalorizzazione con recupero energetico. Le plastiche sono un ottimo combustibile, mediamente superiore alla nafta e possono essere bruciate mescolate ai rifiuti solidi urbani (RSU).

Gli impianti moderni di combustione dei rifiuti garantiscono il contenimento delle emissioni in atmosfera e la combustione delle plastiche non aumenta le emissioni di sostanze nocive. In molti casi la termovalorizzazione è più conveniente rispetto ad altre modalità di smaltimento, sia economicamente, sia in termini di ecobilancio. Le materie

plastiche consentono un risparmio di petrolio. Ogni impianto di combustione dei rifiuti è costituito da cinque sezioni principali che consentono, rispettivamente:

- la preparazione e l'alimentazione del rifiuto;
- la combustione del rifiuto;
- il recupero di calore;
- il controllo delle emissioni in atmosfera;
- la stabilizzazione, lo smaltimento delle ceneri e dei residui solidi.

I forni a griglia sono impiegati prevalentemente nella combustione dei rifiuti solidi. Possono essere a griglia fissa e a griglia mobile. La loro caratteristica consiste appunto in una griglia su cui viene formato un letto di rifiuti dello spessore di alcune decine di centimetri. L'aria necessaria per la combustione viene iniettata, parte sotto la griglia e parte sopra il letto. L'aria sopra la griglia fornisce l'eccesso d'aria necessario per la completa combustione. I forni a griglia fissa hanno una potenzialità ridotta pari a qualche tonnellata/giorno. È infatti il forno a griglia mobile a rappresentare la soluzione più consolidata nella termovalorizzazione di RSU con recupero energetico. È composto da una camera in refrattario alla cui base si trova la suola di combustione costituita da un sistema di griglie e gradini mobili. Il rifiuto viene immesso mediante tramoggia nella parte più alta della griglia, da cui uno spintore lo avvia verso i gradini inferiori. L'aria di combustione viene iniettata sia dal sottogriglia, sia nella camera di combustione. Questo sistema di combustione è stato concepito per i rifiuti tal quali: la quantità di massa presente in questi rifiuti facilita infatti la percorrenza della griglia. Gli impianti di questo tipo possono bruciare da 4 a 30 t/h di rifiuti e produrre per ciascuna tonnellata di rifiuti 450 kWh di energia elettrica e, se utilizzabile, 1.000 kWh di calore a bassa temperatura.

La combustione attuata con queste caratteristiche consente già di per sé la distruzione delle sostanze tossiche sprigionatesi durante il processo, con un'efficienza che è pari o superiore al 99,9%, fugando ogni possibile dubbio in tema di sicurezza per le popolazioni. I fumi prodotti vengono trasferiti in una camera di post-combustione per completare i processi di combustione, condizione indispensabile a garantire l'assenza di composti organici nei fumi in uscita dall'impianto. Attraversata la camera di post-combustione si svolge la fase cruciale del ciclo energetico: i fumi entrano nella caldaia, dove cedono il proprio calore trasformando acqua in vapore. L'energia contenuta nel vapore può essere utilizzata come energia termica, ovvero energia elettrica impiegabile anche per autoalimentare l'impianto. All'uscita dalla caldaia i fumi raffreddati vengono immessi nel circuito dei diversi sistemi di depurazione che consentono l'abbattimento delle diverse tipologie di sostanze inquinanti. Dalla combustione dei rifiuti alla fine restano, come residui, scorie che rappresentano il 10-12% in volume ed il 15-20% in

peso dei rifiuti stessi e ceneri pari al 5%. Le scorie vengono avviate in discarica oppure (se opportunamente rese inerti) utilizzate in alcuni Paesi come materiale per fondi stradali ed altri usi civili.

3. Esempi di prodotti realizzati in plastica riciclata

Esistono due grandi categorie di plastiche riciclate:

- pre-consumo: si tratta del riciclo di elementi di scarto derivanti dal processo produttivo (stampo, taglio, ecc.) per cui già polimerizzati ma non contaminati da altre sostanze; da questi è quindi possibile generare plastiche eterogenee o omogenee di alta qualità;
- post-consumo: si tratta del riciclo di elementi in plastica (a volte anche misti ad altri materiali) derivanti dalla raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani; necessitano di cernita e pulizia (come già visto) e vanno spesso a formare nuove mescole eterogenee brevettate.

Pochi sono i prodotti plastici in grado di essere riprodotti a partire dal riciclo di elementi post consumo. È infatti, per la natura chimica di queste sostanze, difficile tornare alla lavorabilità del prodotto vergine. Per questo motivo esistono molte plastiche di tipo eterogeneo.

3.1. Neolite

Neolite è uno dei risultati dell'attività di selezione e riciclaggio delle raccolte differenziate multimateriale e mono-prodotto, provenienti dalle aziende di servizi che svolgono tale attività. Il risultato sono profilati in plastica eterogenea denominati neolite (marchio registrato). La sezione può essere circolare, rettangolare, quadrata. I profilati sono lavorabili come il legno. I campi di applicazione di tali profilati sono ampi, ovvero tutte quelle applicazioni per esterno che oggi vedono impiegato il legno. Questo grazie alle particolari caratteristiche chimico fisiche che lo rendono resistente, per propria natura, agli agenti atmosferici ed agli ambienti aggressivi.

Con la neolite si possono ottenere i seguenti prodotti:

- arredi per esterni destinati alle pubbliche amministrazioni (panchine, fioriere, recinzioni, ecc.);
- arredi per giardini (fioriere, gazebo, pergolati. ecc);
- isole ecologiche per raccolte differenziate;
- parchi gioco per bambini.

Tali categorie di prodotti sono già sperimentate da anni, ed il gruppo Recoplast può dire di essere leader in Europa. Neolite vede la presenza del 60–80% di plastiche provenienti dalla raccolta differenziata dei Rifiuti Solidi Urbani, con l'ulteriore aggiunta di LDPE (polietilene a bassa densità) nella quota restante, comunque proveniente dal riciclaggio di raccolte differenziate di imballaggi in plastica. Quindi neolite è un materiale riciclato al 100%. Ogni chilogrammo di neolite contiene: circa 20 contenitori quali bottiglie, flaconi, vaschette, etc. e l'equivalente di 70 sacchetti per la spesa.

I profilati in neolite vengono realizzati con un processo che prevede la selezione, la macinazione, la miscelazione e l'estrusione delle plastiche miste con macchine speciali a bassa temperatura in modo da ottenere un prodotto profilato eterogeneo estruso dalle ottime qualità tecniche, estetiche e di durata. Il profilo in neolite, è strutturato, ove occorra, con armature in acciaio zincato; per strutturato si intende che l'armatura viene co-estrusa e quindi essere corpo unico con la plastica per garantire la massima durata e l'inattaccabilità da parte degli agenti atmosferici. Neolite garantisce una durata illimitata con assenza di manutenzione, fatto salvo il controllo periodico per atti vandalici e/o manomissioni. Sia il materiale che i particolari costruttivi hanno la massima solidità e sicurezza. La colorazione di neolite è realizzata durante l'operazione di estrusione in modo che i profilati risultino colorati omogeneamente anche all'interno. Dato che la pigmentazione in fase di estrusione viene realizzata con una miscela di cui il colore base è il grigio, si possono ottenere colori e tonalità vincolate al grigio di partenza, ma comunque colori molto caldi quali il verde, marrone, azzurro, che si immettono gradevolmente nell'ambiente.

3.2.Plasmix

Il plasmix, plastiche miste residue, è un "rifiuto" che fino ad ora era quasi esclusivamente destinato a finire in discarica o ad essere incenerito.

Con il recupero virtuoso del plasmix (plastiche miste) si chiude il ciclo di recupero della plastica, si va verso i "Rifiuti zero nella gestione degli imballaggi in plastica" da non confondere con "Rifiuti zero" della gestione dei rifiuti urbani prodotti complessivamente. In Italia la valorizzazione degli imballaggi in plastica, come riporta la "Relazione sulla gestione 2010" a cura di Corepla, è problematica proprio per il plasmix, di cui nel 2010 le superfici pubbliche ne hanno prodotto 63.426 tonnellate.

Tabella 1.2: relazione sulla gestione 2010, Corepla.

| Quantità in tonnellate | Anno 2009 | Anno 2010 |
|--|-----------|-----------|
| Imballaggi in plastica: immesso al consumo complessivo | 2.092.000 | 2.071.000 |
| Di cui circuito domestico | 1.344.000 | 1.328.000 |
| Raccolta differenziata urbana plastica | 588.323 | 614.190 |
| Riciclo da superficie pubblica <u>con</u> valorizzazione "contenitori per liquidi in PET, HDPE..." | 260.797 | 286.032 |
| Riciclo da superficie pubblica <u>senza</u> valorizzazione "altri imballaggi - PLASMIX" | 74.590 | 63.426 |
| | 335.387 | 349.458 |

I contenitori per liquidi in PET ed HDPE hanno un mercato ormai consolidato a livello europeo, di seguito si riporta in dettaglio i flussi di imballaggi riciclati nel 2009 e 2010.

Tabella 1.3: commercializzazione dei prodotti in plastica selezionati.

| Quantità in tonnellate | Anno 2009 | Anno 2010 |
|--------------------------------------|-----------|-----------|
| Contenitori in PET | 173.228 | 175.287 |
| Contenitori in HDPE | 60.433 | 62.113 |
| Totale contenitori per liquidi (CPL) | 233.661 | 237.400 |
| Cassette | 3.251 | 2.836 |
| Film | 20.716 | 42.304 |
| Misto poliolefine | 3.169 | 3.492 |
| Totale altri prodotti | 27.136 | 48.632 |
| Totale riciclo con valorizzazione | 260.797 | 286.032 |

Nella composizione della raccolta, la frazione composta da "altri imballaggi", ovvero la parte costituita da imballaggi diversi da bottiglie, flaconi e film, risulta tuttora problematica per la collocazione a riciclo con una valorizzazione.

Dalla relazione citata emerge che, anche per effetto della crisi economica, c'è stata una diminuzione delle quantità richieste di queste frazioni ed il passaggio ad una contribuzione da parte di Corepla per l'avvio a riciclo di MPO (misto poliolefine) e plasmix (plastiche miste).

Trovano uno sbocco commerciale i casalinghi prodotti utilizzando solo plastica riciclata post-consumo, selezionata e rigenerata. La linea Utilgreen, che fa parte del progetto "Da casa a casa", prodotti di largo consumo realizzati con le plastiche miste (plasmix) provenienti dalle raccolte differenziate, è in vendita sugli scaffali di molti supermercati Coop toscani e della costa tirrenica. La gamma include secchi, cestini, vasi, sottovasi, fioriere, scope per casa o scopettone per passare lo straccio, oltre a scopini per la pulizia bagno, palette raccogli rifiuti: tutti prodotti da Utilplastic, azienda del comprensorio pistoiese specializzata nella produzione di articoli casalinghi. Dopo

varie prove, trattando il granulo plastico che, l'azienda Revet ottiene dal plasmix (le plastiche miste), hanno ricavato una miscela stabile in grado di essere fusa e stampata per dare forma al nuovo pezzo. La materia prima è ricavata dalla selezione e dal trattamento di rifiuti plastici quali vaschette, sacchetti di polietilene, imballaggi plastici d'uso alimentare, pellicole d'imballaggio. La Revet trasforma questo materiale in granuli che vengono poi miscelati con una piccola percentuale di sfridi industriali e quindi stampati da Utilplastic, i primi a sperimentare l'uso di questi materiali per oggetti casalinghi. Si tratta di una plastica riciclata particolare, diversa da quelle presenti sul mercato dei casalinghi perché realizzata con gli scarti meno nobili dei rifiuti urbani, appunto il plasmix, ed è proprio in questo l'alto valore ambientale.

“Da casa a casa” indica per la prima volta la possibilità diretta del cittadino di acquistare prodotti realizzati con parte della plastica della raccolta differenziata che si fa in casa. Questo progetto è l'ultimo frutto dei cinque protocolli firmati da Revet, Corepla e Regione Toscana che hanno portato alla realizzazione, con plastiche miste (plasmix) provenienti dalla raccolta differenziata, di una vasta gamma di “Riprodotti in Toscana” quali arredi per esterni, componenti automotive, pannelli fonoassorbenti, profili per prefabbricati e pallets.



Figura 1.4: esempi di prodotti in plasmix.

La commercializzazione avviene attraverso accordi con la grande distribuzione toscana, in modo da favorire la “filiera corta”: i passaggi raccolta differenziata-trattamento-riprodotto saranno fatti nell'ambito territoriale più ristretto, con minori distanze di trasferimento e quindi minori impatti ambientali.

Un'altra sperimentazione di utilizzo del plasmix, nota come “modello Vedelago”, usa questa frazione miscelata con il residuo secco non riciclabile (recupero del rifiuto residuo del Comune di Ponte nelle Alpi presso il Centro Riciclo Vedelago). Molti considerano questo modello la soluzione per raggiungere l'obiettivo di “Rifiuti zero” della gestione dei rifiuti urbani, ma è opportuno considerare che la sperimentazione in questione, da quanto emerge dalla “Indagine recupero del rifiuto residuo del Comune

di Ponte nelle Alpi presso l'impianto Centro Riciclo Vedelago (CRV)- Relazione conclusiva 2009" a cura dell'Osservatorio Rifiuti di ARPAV, al momento presenta dei limiti significativi.

Nell'estrusore del Centro Riciclo viene inserita una miscela di scarti dell'impianto di trattamento della plastica e di scarti plastici industriali: la miscela iniziale è mediamente composta soltanto dal 15% del rifiuto secco residuo urbano, quantitativo che dopo la selezione magnetico-manuale svolta prima dell'estrusione si riduce a circa l'8% della miscela in entrata. Circa il 39% (selezionato a monte dell'estrusore) del secco residuo viene comunque avviato a smaltimento in discarica.

Quindi se da un lato è interessante il metodo del CRV che consente un parziale riciclo anche del secco residuo, è chiaro che si è ancora lontani dall'obiettivo rifiuti zero e che comunque per riciclare una parte di secco servono più di 11 parti di plastica mista. Ponte nelle Alpi, comune bellunese di circa 8.500 abitanti, particolarmente virtuoso nella gestione dei rifiuti, con produzione annua complessiva di rifiuti pari a 2.630 tonnellate, di cui 549 tonnellate di secco residuo (dato 2009 Arpav), per riciclare il secco prodotto su base annua avrebbe bisogno di circa 3.140 tonnellate di plastiche miste, salvo mandare ancora in discarica circa 265 tonnellate di secco scartato dalla selezione.

Se questo bilancio può essere applicabile ad un piccolo Comune, utilizzando le plastiche miste della raccolta differenziata di tutta la provincia di Belluno, è evidente che attualmente non risulta applicabile per un bacino di dimensioni più significative. Il Bacino Padova 2, che comprende il Comune di Padova e altri 19 Comuni della cintura metropolitana con circa 420.200 abitanti e oltre il 50% delle attività produttive, nonché tutte le attività commerciali e terziarie di interesse provinciale e regionale, ha una produzione annua complessiva di rifiuti pari a 237.540 tonnellate, di cui 115.658 tonnellate di secco residuo (dato 2009 Arpav). Se si volesse riciclare con il "modello Vedelago" il secco prodotto su base annua, il Bacino avrebbe bisogno di circa 661.910 tonnellate di plastiche miste, salvo mandare ancora in discarica circa 55.750 tonnellate di secco scartato dalla selezione.

Nel caso della Provincia di Padova, con circa 927.000 abitanti con produzione annua complessiva di rifiuti pari a 454.447 tonnellate, di cui 186.657 tonnellate di secco residuo (dato 2009 Arpav), per riciclare il secco prodotto su base annua avrebbe bisogno di circa 1.068.230 tonnellate di plastiche miste, salvo mandare ancora in discarica circa 89.970 tonnellate di secco scartato dalla selezione.

Come riportato nella Relazione sulla gestione Corepla nel 2009 sono state prodotte dalle superfici pubbliche a livello nazionale 74.590 tonnellate di plasmix, sufficienti a coprire solo l'11% del fabbisogno per la miscela del secco prodotto dal Bacino Padova

2, mentre coprirebbe appena il 7% del fabbisogno per la miscela del secco residuo prodotto dalla Provincia di Padova.

La stima degli imballaggi in plastica raccolti nel 2009, con sistema monomateriale, multimateriale leggero con gli imballaggi metallici e multimateriale pesante con anche gli imballaggi in vetro, ammonta complessivamente a circa 10.255 tonnellate per il Bacino Padova 2 e a 18.072 tonnellate per la Provincia di Padova.

La raccolta differenziata della plastica riportata da Corepla per tutta la Regione Veneto, risulta nel 2009 pari a 80.356 tonnellate, con la raccolta procapite molto elevata a livello nazionale, seconda solo alla Valle d'Aosta.

Infine gli ultimi dati disponibili (2008) su analisi merceologiche del rifiuto secco residuo padovano, emerge che la plastica ancora presente nel rifiuto a smaltimento, tra imballaggi e altra plastica diversa fuori specifica Corepla (Consorzio di filiera CONAI per gli imballaggi in plastica) è pari in media al 16%.

Con il consolidamento dell'industria del riciclo delle plastiche miste, il plasmix, e la commercializzazione su vasta scala dei prodotti ottenuti, come mostra l'esempio toscano, si potrebbe anche pensare ad un allargamento delle raccolte della plastica, che attualmente si limitano ai soli imballaggi in plastica, essendo gli unici remunerati ai Comuni dall'Accordo ANCI-CONAI (Accordo di Programma Quadro ANCI-CONAI 2009-2013).

È auspicabile che si possa prevedere con Corepla (Consorzio di Filiera per gli imballaggi in plastica) per la plastica una "raccolta congiunta" di imballaggi e altri oggetti plastici che attualmente finiscono nel rifiuto secco residuo a smaltimento. In questo modo, senza rischiare di "sporcare" la plastica con il rifiuto residuo selezionato (modello Vedelago) si potrebbe recuperare quella frazione di plastica merceologicamente analoga agli imballaggi attualmente raccolti. Si tratta degli stessi polimeri, che però in base agli accordi attuali costituisce una "impurezza della raccolta" e quindi deve essere raccolta con il rifiuto secco e avviata a smaltimento per non penalizzare economicamente la raccolta degli imballaggi e vanificare gli sforzi dei cittadini virtuosi. Questo aiuterebbe enormemente anche la comunicazione degli Enti pubblici e dei gestori ai cittadini che, anche quando praticano una raccolta differenziata scrupolosa, fanno fatica a distinguere un imballaggio in plastica da un oggetto in plastica, ad esempio le stoviglie monouso, che deve essere messo nel sacco del secco e avviato a smaltimento.

4. Gli aspetti critici nel riciclo della plastica

Le possibilità di riciclo della plastica sono state esplorate solo di recente. La peculiarità del sistema del recupero della plastica è rappresentata dal fatto che a questa categoria appartengono diversi polimeri, tra loro eterogenei. Per la produzione di nuovi manufatti occorre una selezione approfondita, poiché anche piccole quantità di un polimero estraneo possono inficiare il processo. Questa criticità condiziona l'intero processo di riciclo del materiale in oggetto. Sono state quindi sviluppate diverse tecnologie di separazione, sinteticamente descritte di seguito (Basoni, 2003c):

1. analisi degli elementi costitutivi: esistono sistemi automatici che sono in grado di distinguere gli atomi di cui è composto un dato polimero (è il caso ad esempio del PVC, inconfondibile poiché contiene cloro, elemento facilmente individuabile);
2. separazione per densità: la plastica viene tagliata in scaglie, immersa in un liquido e separata per decantazione, ovvero le parti più leggere restano in superficie e quelle più pesanti si raccolgono sul fondo, o per centrifugazione;
3. separazione elettrostatica: viene sfruttata la proprietà dei polimeri di PET e PVC, che assumono cariche elettriche diverse;
4. scioglimento selettivo: mediante solventi chimici si sciolgono uno o più tipi di polimeri che possono essere poi filtrati, isolati e solidificati;
5. separazione ottica: è un metodo studiato in Germania che prevede la distinzione dei singoli pezzi, trasportati su nastro, per materiale, colore e forma. Il riconoscimento avviene in base alla differente riflessione dei raggi infrarossi tipica per ogni materiale plastico. I raggi riflessi vengono captati da sensori, elaborati da un computer che identifica il pezzo e attiva getti d'aria per spostarlo dal nastro e separarlo dal resto.

In Italia la tecnologia di separazione automatica più utilizzata è l'ultima descritta, ossia quella NIR.

Per quanto riguarda più nello specifico il riciclo meccanico del PET (Furiano, 2008), esistono ancora diversi problemi da risolvere per ottimizzare la filiera del riciclo:

1. i costi di raccolta e selezione delle bottiglie di PET sono piuttosto elevati a causa dei severi requisiti pretesi dalle aziende di rilavorazione per ottenere prodotti di buona qualità;
2. quando il PET riciclato è usato per applicazioni non tradizionali deve spesso competere sul mercato con resine di costo inferiore;
3. tracce di adesivi e di etichette causano alterazioni nel colore e nella purezza del materiale riciclato;
4. frazioni che hanno subito degradazioni termiche o ossidative causano nel prodotto finale peggioramento delle proprietà meccaniche ed estetiche (ingiallimento);

5. il PET contenente tracce di umidità anche minime, degrada velocemente durante il processo di riciclaggio, per cui va preventivamente e perfettamente essicato.

La selezione dovrebbe quindi essere particolarmente spinta in quanto, per avere un prodotto di buona qualità, le scaglie di PET dovrebbero essere (Furiano, 2008):

1. separate per colori;
2. libere o quasi da contaminanti, quali PVC, carta, colla, polvere;
3. avere un peso molecolare il più possibile simile a quello del prodotto vergine.

A proposito di quest'ultimo punto, infatti, la riduzione del peso molecolare del PET, che ha luogo in seguito alla rilavorazione, si manifesta con una perdita della viscosità intrinseca dovuta alla degradazione termica e idrolitica della catena polimerica. Il PET riciclato delle bottiglie, generalmente ha una viscosità intrinseca compresa nell'intervallo 0,68-0,72 dl/g, mentre per il polimero vergine si attesta su 0,8 dl/g. Per il PET che deve subire processi di iniezione la viscosità intrinseca dovrebbe essere pari almeno a 0,74 dl/g e questo comporta alcuni problemi in fase di rilavorazione del PET riciclato. Infatti, avendo il PET riciclato già una viscosità intrinseca di 0,68-0,72 dl/g, dopo la laminazione essa può scendere ulteriormente a 0,63 dl/g. A tali valori diventa difficoltosa l'estrusione in film, perché la resistenza del fuso viene ridotta sostanzialmente dando luogo a problemi di flessione.

Per quanto riguarda invece più nello specifico il riciclo meccanico dell'HDPE (Furiano, 2008), gli svantaggi sono legati al ridotto campo di applicazione del materiale ottenuto, che presenta alcune limitazioni sia per il trattamento di termofusione che per l'utilizzo consentito. Esso non è infatti utilizzabile per la fusione ad iniezione, a causa del suo basso indice di fusione; inoltre non risulta idoneo per la produzione di film a causa della sua elevata densità e rigidità che porterebbe a produrre film spaccati e di bassa qualità. Tale materiale non può inoltre essere riutilizzato per produrre contenitori per liquidi, in quanto la normativa ne proibisce l'utilizzo a diretto contatto con i cibi. Esso può essere utilizzato solo in alcuni processi di soffiaggio a causa della sua scarsa durezza e rigidità. Infine, anche l'utilizzo per produrre bottiglie di detersivi non è possibile perché è un omopolimero. L'utilizzo di tale polimero riciclato necessita quindi una modifica delle sue proprietà reologiche tramite, ad esempio, l'aggiunta di additivi o copolimeri adatti.

Infine, il riciclo meccanico di plastiche eterogenee presenta difficoltà legate alle differenti temperature di lavorazione dei polimeri miscelati. Questo problema esclude la possibilità di impiego di plastiche eterogenee per la realizzazione di prodotti di forma complessa e che presentano spessori minimi (Furiano, 2008).

CAPITOLO 2

L'acciaio

1. Definizione

Acciaio è il nome dato ad una lega di ferro contenente carbonio in percentuale non superiore al 2,11%. Oltre tale limite le proprietà del materiale cambiano e la lega assume la denominazione di ghisa. Il termine "ferro" indica il metallo puro, cioè l'elemento chimico contrassegnato dal simbolo Fe, ma viene usato anche per indicare il metallo quasi puro, ossia contenente percentuali bassissime (non più dello 0,05%) di carbonio, che non ne alterano sensibilmente le caratteristiche.

Grazie all'ampio intervallo delle proprietà meccaniche, fisiche e chimiche le leghe ferrose sono le più utilizzate tra i diversi metalli.

In Italia l'acciaio viene prodotto per il 40% per ciclo integrale nei sistemi altoforno-acciaieria ad ossigeno principalmente per riduzione dei minerali di ferro (produzione primaria), e per il 60% per ciclo elettrico in forni ad arco elettrici per fusione prevalentemente di rottami ferrosi (produzione secondaria). Questa suddivisione fra i due modi differenti di produzione non è comune in altri stati europei e mondiali perché, in questi Paesi, il ciclo integrale è la metodologia più comune con circa il 62%.

Rilevazioni del 2011 descrivono l'Italia come il secondo Paese produttore di acciaio nell'Unione Europea dopo la Germania, con 28,7 milioni di tonnellate prodotte.

2. La produzione di acciaio primario

La produzione dell'acciaio avviene in complessi industriali molto grandi e i processi produttivi sono notevolmente energivori e inquinanti. Il processo di produzione dell'acciaio viene detto a ciclo integrale.

La produzione primaria dell'acciaio può essere così suddivisa:

1. produzione del coke metallurgico in cokeria;
2. produzione dell'agglomerato di minerali di ferro;
3. produzione di ghisa nell'altoforno (Blast Furnace);
4. produzione di acciaio in acciaieria (Basic Oxygen Furnace, BOF).

Le materie prime arrivano via mare nel pontile dell'impianto siderurgico: si tratta di minerale di ferro pellettizzato (ovvero sotto forma di palline) e di materiale fossile. Dopo essere stata scaricata, la materia prima viene trasferita da un nastro trasportatore

verso vaste aree di stoccaggio all'aperto, dove è messa a parco. Cadendo dal nastro i materiali formano a terra dei grossi cumuli separati.

2.1. Produzione del coke metallurgico in cokeria

La prima fase del processo di produzione di acciaio primario è la produzione del coke metallurgico per la quale vengono utilizzate delle miscele di carbone. Nelle celle dei forni la miscela di carbon fossile distilla ad elevata temperatura (1000-1100°C) e, in assenza di ossigeno, elimina le materie volatili del fossile. Rimane, così, solo la parte condensata: il coke; il processo di produzione del coke viene detto ciclo di cokefazione. La miscela gassosa prodotta durante la cokefazione viene poi recuperata, grazie al processo di depurazione, e immessa nella rete di distribuzione delle utenze termiche dell'impianto. È sempre tramite un nastro trasportatore che il coke, opportunamente vagliato, viene poi stoccato in cumuli, così come era avvenuto con il minerale di ferro. Nell'altoforno si mandano coke, minerale e calcare già assemblati nella percentuale ideale che dipende da quanto ossido di ferro c'è nel minerale.

2.2. Produzione dell'agglomerato di minerali di ferro

Il ciclo prosegue con la produzione dell'agglomerato di minerali di ferro. La produzione dell'agglomerato prevede la preparazione di un'opportuna miscela, costituita da omogeneizzato fine, coke fine, calcare, calce, minuti di ritorno da altoforno e di ricircolo. L'agglomerazione vera e propria avviene attraverso la combustione della miscela, a partire dalla frazione di coke in essa presente. L'agglomerato viene quindi raffreddato, frantumato e vagliato a freddo per ottenere la pezzatura richiesta per la carica dell'altoforno. L'agglomerato può essere prodotto per sinterizzazione oppure per pellettizzazione: solitamente la sinterizzazione avviene nello stesso sito di produzione dell'acciaio, mentre i pellets vengono prodotti direttamente dove il minerale viene estratto.

2.3. Produzione di ghisa nell'altoforno

La ghisa viene prodotta negli altiforni con una carica costituita da coke metallurgico, agglomerato, minerali di ferro in pezzatura e fondenti. Vengono introdotti periodicamente a strati alterni il minerale in pezzatura idonea, l'agglomerato, il coke e i fondenti. Durante la lenta discesa della carica avvengono le reazioni di ossidoriduzione degli ossidi di ferro ad opera del gas riducente che attraversa la carica dal basso verso l'alto. Nella parte bassa dell'altoforno, dove la temperatura è maggiore, avviene la fusione della carica con la formazione di ghisa e della ganga dei minerali; quest'ultima, unitamente alle ceneri di coke e ai fondenti, determina la scoria, nota come loppa di

altoforno. I prodotti fusi vengono raccolti in un canale principale di colaggio, rivestito di refrattario, ove ghisa e loppa stratificano per effetto dei differenti pesi specifici. Una barriera a sifone posta all'estremità del rigolone separa i due flussi e determina il loro convogliamento in due canali di colaggio differenti. La ghisa, caricata in appositi carri ferroviari, viene trasferita nelle acciaierie per essere affinata ad acciaio, mentre la loppa viene granulata con acqua.

2.4. Produzione di acciaio in acciaieria

Il convertitore ad ossigeno permette di produrre acciaio dalla ghisa che proviene generalmente dall'altoforno. Il processo che si svolge nel convertitore consiste essenzialmente nella decarburazione della ghisa mediante l'insufflazione di ossigeno iniettato spesso a velocità supersonica attraverso una lancia inserita dall'alto nella bocca del convertitore. L'ossidazione di C a CO produce un eccesso di calore che viene impiegato per fondere il rottame introdotto nel convertitore prima di immettere la ghisa. Nel convertitore è aggiunta anche la calce per svolgere le funzioni metallurgiche previste: dalla defosforazione alla desolforazione. I convertitori sono recipienti in lamiera di spessore intorno ai 50 mm, a cono simmetrico e a fondo chiuso, rivestiti di materiale refrattario. Il convertitore viene caricato per il 20-30% circa da rottame al quale poi verrà aggiunta ghisa fusa proveniente dall'altoforno, calce e fluoruro di calcio. In totale la carica di un convertitore è compresa tra:

50-60 t < carica convertitore < 200 t.

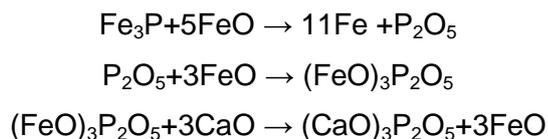
Esistono diverse tipologie di convertitori e tra queste le più importanti sono due:

- convertitore ld: con il soffiaggio dell'ossigeno dall'alto;
- obm: con soffiaggio di ossigeno dal basso.

Le operazioni che avvengono in un convertitore si riducono essenzialmente a tre:

1. carica;
2. soffiaggio;
3. colata in siviera.

Il convertitore è in grado di abbassare il fosforo che è nocivo nei processi siderurgici:



Per far uscire l'acciaio il convertitore viene fatto ruotare e tra un ciclo e l'altro il foro viene raffreddato; il processo di conversione dura circa 20 minuti. La vita di un convertitore è più breve di quella dell'altoforno che deve durare circa 13 anni. Le parti

più soggette all'erosione sono le parti cilindriche con una durata di circa 500 colate ed il foro di colata con una durata di 60-70 colate. Oltre all'usura meccanica dovuta al caricamento dei materiali ci sono quelle di natura termica e chimica. Il recipiente dove viene colato l'acciaio è la siviera, nella quale l'agitazione dal basso riduce il contenuto di O_2 , H_2 , N_2 che sono intrappolati all'interno dell'acciaio. Il ferro che esce dal convertitore ha una percentuale di C dell'ordine di 0.025% inoltre sono presenti S, Si, Mn.

Dopo essere stato colato in siviera, l'acciaio è avviato ai successivi processi di trasformazione in cui viene impressa la forma finale desiderata, attraverso due modi di procedere: la laminazione e la colata continua.

3.La produzione di acciaio secondario

Il ciclo elettrico o ciclo da rottame rappresenta la seconda filiera principale della produzione di acciaio e il forno elettrico ad arco o FEA rappresenta la macchina di fusione principale. Il ciclo elettrico utilizza, per la produzione, rottame o materiali ferrosi alternativi. Essi, in ogni caso, hanno un elevato contenuto di ferro sotto forma metallica come ad esempio il minerale "preridotto" che viene prodotto presso le miniere di minerale con cicli che utilizzano carbone o gas come elemento riducente dell'ossido di ferro minerale. L'uso del rottame è molto importante anche dal punto di vista ambientale, infatti la possibilità dell'industria siderurgica di riciclare una frazione molto elevata del proprio prodotto, sia come provenienza dagli scarti di produzione, sia come reimpiego del materiale giunto a fine vita, riduce notevolmente l'impatto ambientale. Il ciclo che si svolge presso l'acciaieria di Terni è un tipico ciclo elettrico che utilizza quasi esclusivamente rottame, acquistato sui mercati mondiali dopo accurata selezione.

Nella figura 2.1 è rappresentato schematicamente l'intero ciclo che può essere sintetizzato:

- caricamento del rottame in forno elettrico;
- fusione del rottame;
- spillaggio in siviera;
- trattamento di metallurgia secondaria;
- solidificazione in colata continua;
- laminazione a caldo per ottenere rotoli di lamiera ad elevato spessore (35 mm), "coils a caldo";

- laminazione a freddo per portare questa lamiera allo spessore utile per le applicazioni commerciali (anche inferiori a 0,23 mm).

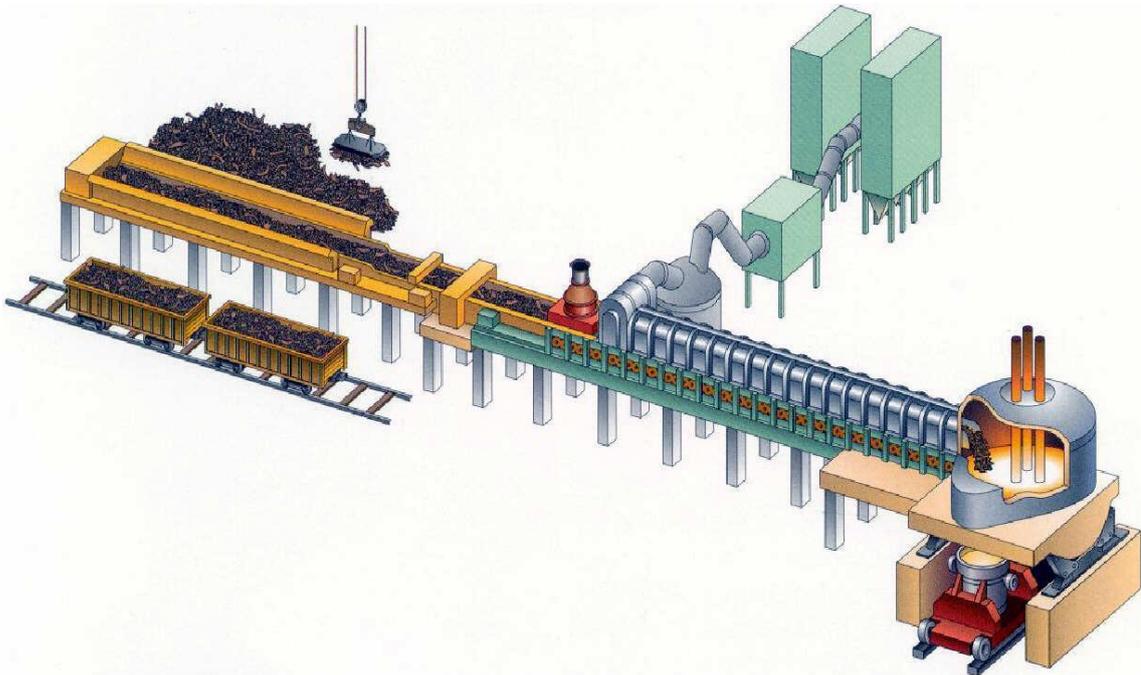


Figura 2.1: ciclo di produzione acciaio secondario.

4. Gli aspetti critici nel riciclo dell'acciaio

È noto che le tecniche di riciclo dei materiali ferrosi (e non ferrosi), presentano un consumo energetico molto più basso di quello richiesto per la produzione primaria e i prodotti che ne derivano hanno un ampio mercato, in quanto la loro qualità è molto simile a quella dei materiali prodotti a partire dalle materie prime vergini. L'aspetto negativo dei processi di riciclo dell'acciaio è che essi implicando trattamenti termici ad alte temperature (rifusione dei rottami), possono comportare problemi ambientali per la produzione di emissione inquinanti in aria. In generale, infatti, i forni di rifusione secondaria emettono, rispetto al processo primario, un maggiore quantitativo di polveri (dovute alle impurezze contenute nel rottame), di metalli pesanti (tipicamente presenti nel rottame utilizzato) e di diossine e furani (a causa della presenza di cloruri e carbonio organico nel rottame associata ai metalli, specialmente il rame, operanti come catalizzatori nella sintesi "de novo").

Lo studio di ENEA et al. (2002) aveva come obiettivo la stima dei fattori di emissione dei POPs (Persistent Organic Pollutants), un gruppo di sostanze tossiche, bioaccumulabili, persistenti nell'ambiente e disponibili al trasporto su lunghe distanze, che comprende i PCDD (diossine), PCDF (furani), PCB (policlorobifenili), HCB

(esaclorobenzene) e IPA (idrocarburi policicli aromatici). Dall'analisi dei risultati ottenuti dallo studio, la produzione complessiva di POPs (emissioni in atmosfera ed emissioni nelle polveri) appare più limitata negli impianti che utilizzano rottame maggiormente selezionato. A causa della varietà di soluzioni impiantistiche e di condizioni di esercizio esistenti negli impianti di riferimento, non è stato però possibile formulare in modo definitivo ipotesi riguardanti i principali parametri responsabili della formazione dei POPs: sicuramente, l'introduzione con la carica metallica di impurezze di tipo organico (come grassi, oli, vernici, plastiche, gomme) gioca un ruolo fondamentale. Per quanto concerne la produzione di diossine e furani, lo studio conclude che ci sono molte indicazioni, tra cui la distribuzione dei gruppi omologhi di PCDD/PCDF, simile ad un profilo di origine termica con un'alta prevalenza di furani rispetto alle diossine, che portano a ritenere che in questi processi predomini la sintesi "de novo".

Un'altra criticità che si riscontra nel riciclo dell'acciaio è connessa alla presenza dello stagno dovuta alla produzione di imballaggi in banda stagnata (lamina di acciaio di basso spessore rivestita di stagno). Quale valore medio di stagno contenuto negli imballaggi provenienti dai sistemi di raccolta differenziata, si stima una percentuale dello 0,2% in peso (Mattoni, 2008). Lo stagno è un elemento incompatibile con la produzione di acciaio di alta qualità (Veronesi, 2003a) e quindi il riciclo della banda stagnata è subordinato o, ad un processo di destagnazione del rottame, o al suo utilizzo in miscela con altri rottami che non contengono stagno. In Italia esistono soltanto due impianti che effettuano la destagnazione per la bonifica dell'acciaio e il recupero dello stagno: il processo è infatti di tipo elettrolitico, molto costoso e presenta delle forti criticità dal punto di vista ambientale, legate alla gestione dei bagni elettrolitici esausti. Prima di procedere alla fase di separazione dello stagno, il materiale deve essere depurato il più possibile dagli elementi estranei, quali inerti e frazioni organiche, in modo da evitare l'inquinamento dei bagni alcalini utilizzati nel processo (Mattoni, 2008). Maggiore è il pretrattamento di pulizia del materiale, migliore è il grado di distagnatura, come pure più elevata è la resa dello stagno che si deposita sui catodi. La presenza di inquinanti nei liquidi provoca infatti la caduta dello stagno nei fanghi.

CAPITOLO 3

Alluminio

1. Metallurgia dell'alluminio

L'alta refrattarietà e l'alta temperatura di fusione dell'allumina (2040°C) non consentono di ricavare l'alluminio mediante processi di riduzione pirometallurgici. D'altra parte non è possibile ottenerlo neppure direttamente dalla bauxite tramite processi elettrolitici, in quanto ferro e silicio presenti in quantità apprezzabili nel minerale verrebbero a codepositarsi al catodo: è quindi necessario un processo preliminare per ottenere allumina della massima purezza. Nel 1825 Oersted, che scoprì l'alluminio, lo ricavò sufficientemente puro trattando a caldo con sodio il suo cloruro: il procedimento risultava, tuttavia, assai costoso tanto da far considerare l'alluminio quasi un metallo prezioso. Solo a seguito dei brevetti del francese Paul-Toussant Héroult e dell'americano Charles Martin Hall del 1886 che prevedevano l'elettrolisi dell'allumina disciolta in criolite (3NaFAIF_3) fusa, e dell'invenzione della dinamo, che consentiva di produrre le notevoli quantità di energia elettrica necessarie nel processo elettrolitico, fu possibile ottenere alluminio a costi sufficientemente ridotti da permetterne l'utilizzo in campo industriale. Subito dopo, l'austriaco Carl Josef Bayer brevettò la sua tecnica per trasformare la bauxite in allumina. Furono così poste le basi dei metodi industriali per la produzione di alluminio, usati ancora oggi in tutto il mondo e conosciuti sotto il nome di processo Bayer-Hall-Héroult. Da allora sono stati messi a punto vari processi (Déville-Péchiney, Peniakoff, Serpek, Pedersen, ecc.) per l'ottenimento di allumina pura, tesi a migliorare le rese e quindi l'economicità di processo. Mentre la bauxite è di facile estrazione, il processo per isolarne il contenuto in alluminio è alquanto complesso e viene completato in due fasi successive: la prima chimica (processo chimico) che permette la produzione di allumina (Al_2O_3), l'altra elettrolitica (processo elettrolitico) in cui l'allumina viene ridotta a metallo.

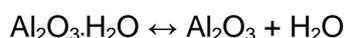
1.1. Il processo chimico

Il processo chimico prevede la preventiva frantumazione ed essiccazione della bauxite in modo da ridurla, in appositi mulini, fino ad ottenere la cosiddetta "farina di bauxite". Questa viene miscelata con una soluzione concentrata di soda caustica (idrossido di sodio NaOH) in ragione di 300 kg di farina di bauxite per metro cubo di soluzione di soda caustica. La pasta così ottenuta, accumulata in un'autoclave chiamato "*digestore*", viene arricchita ulteriormente di soda caustica in soluzione e, quindi,

portata nelle opportune condizioni di reazione (temperatura 180-200°C e pressione 150-200 MPa). In tali condizioni la soda caustica dissolve l'allumina idrata, il solo alluminio solubilizza come alluminato sodico.



La silice presente nella bauxite forma con la soda e con parte dell'allumina un silicato doppio di alluminio e sodio di formula $\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{Na}_2\text{O}$ che è insolubile come pure l'ossido ferrico (Fe_2O_3) e all'ossido di titanio (TiO_2) che pertanto si raccolgono come residui (chiamati fanghi rossi) sul fondo dell'autoclave. Essendo insolubili, tali residui si possono eliminare per sedimentazione e filtrazione. L'inerte così ottenuto viene lavato al fine di recuperarne gli elementi chimici residui. Una volta eliminati i fanghi rossi la soluzione di alluminato di sodio è, invece, pompata dal "digestore" in apposite vasche di precipitazione (dette "decompositori") per circa 100 ore, dove subisce l'aggiunta di triidrato di allumina in polvere, estremamente pura, con funzione di innesco germinativo. Nel contenitore, costantemente agitato e gradualmente raffreddato, avviene la reazione di idrolisi: l'alluminato di sodio si decompone (precipitando sulle particelle triidrato di allumina) portando alla formazione allumina idrata ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$):



L'allumina idrata, dopo filtrazione e lavaggio, viene calcinata in forni rotativi a 1100-1200°C e si ottiene così allumina α di elevata purezza (99.5-99.6%) in forma di polvere bianca molto fine, inerte ed igroscopica. La soluzione di soda caustica viene, invece, recuperata e riutilizzata nelle produzioni successive.

Il consumo energetico del processo è valutabile nell'equivalente di 0.4, 0.5 t di carbone per ogni tonnellata di Al_2O_3 prodotta.

1.2. Processo elettrolitico

Il processo prevede l'ottenimento dell'alluminio attraverso l'elettrolisi (o la riduzione) dell'allumina ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$), intendendo con ciò la sua dissoluzione in alluminio e ossigeno.

L'allumina calcinata, ottenuta dal processo chimico, è ridotta in metallo in celle elettrolitiche collegate in serie ad un generatore di corrente diretta, come è mostrato in figura 3.1.

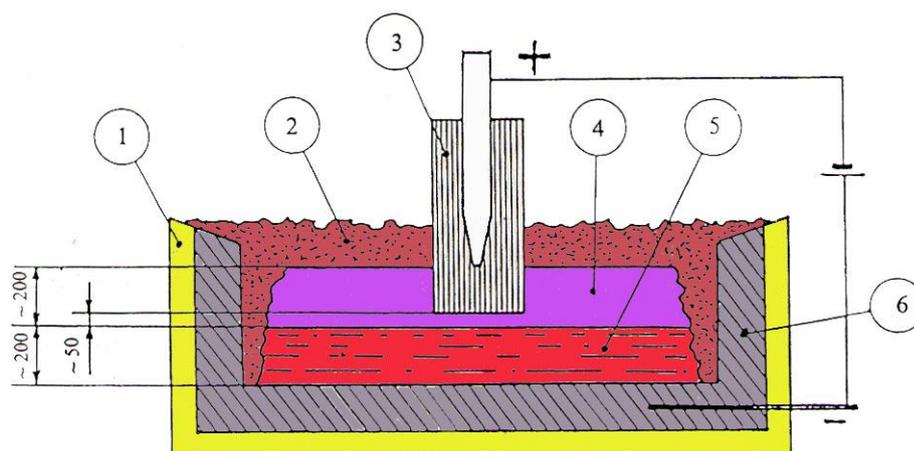


Figura 3.1: processo elettrolitico.

Schema di cella elettrolitica per la produzione di alluminio:

- 1) refrattario;
- 2) crosta solida di allumina e criolite;
- 3) anodo di carbone;
- 4) elettrolita fuso;
- 5) alluminio fuso;
- 6) suola conduttrice di carbone grafitato.

Il processo si svolge in celle costituite da vasche rettangolari di grandi dimensioni, costruite in acciaio e mattoni refrattari su cui è disposta una suola di grafite che funziona da catodo (essendo collegata al polo negativo di un generatore di corrente continua). Queste celle contengono un elettrolita fuso, nel quale avviene la vera e propria dissoluzione dell'allumina, costituito da una miscela di criolite ($3\text{NaF}\cdot\text{AlF}_3$) fusa con additivi utilizzati per ridurre la temperatura di funzionamento delle celle elettrolitiche a valori accettabili ($960\text{-}980^\circ\text{C}$) e per ottenere la giusta densità e conduttività del bagno necessarie alla separazione dell'alluminio. Barre rettangolari di carbone (grafite) vengono immerse nel fuso fin quasi a contatto con il fondo della cella e funzionano da anodo. Queste, poi, sono collegate al polo positivo del generatore di corrente continua ed agiscono come conduttori elettrici: regolando la distanza (circa 5 cm) tra gli elettrodi (anodo e catodo) la corrente elettrica che attraversa il bagno fuso consente di mantenere la temperatura ai valori voluti ($960\text{-}980^\circ\text{C}$) per effetto Joule, riducendo, al contempo, le mescole di allumina che si dissolvono in alluminio e ossigeno. L'alluminio si deposita sul catodo (ossia sul fondo della vasca), mentre l'ossigeno che si libera dall'anodo reagisce con esso producendo CO e CO_2 e provocandone il progressivo consumo per combustione: pertanto essi vanno sostituiti di frequente. Inoltre, poiché le impurezze dell'anodo passano nel bagno, è necessario che esso sia costruito con

carbone (grafite) assai puro. Dal momento che nel fuso si possono trovare contemporaneamente numerose specie ioniche (F^- , AlF_6^{3-} , O^{2-} , Na^+ , ecc.) i processi elettrochimici non sono definiti con certezza; in modo schematico e riassuntivo si può dire che durante l'elettrolisi si verifica quanto segue:



Normalmente si opera, fra gli elettrodi, con una tensione di circa 5-6 V. Industrialmente, per ragioni economiche, vengono poste in serie 100-150 celle per formare un gruppo alimentato in corrente continua di 500-900 V. La corrente che attraversa ogni cella giunge a valori di 100.000 A. L'alluminio che si ottiene fuso sul fondo della vasca viene periodicamente prelevato (ogni 24 h circa) mediante un sistema di aspirazione a vuoto che consente il prelievo senza inopportuni rimescolamenti: la differenza di peso specifico tra l'alluminio e l'elettrolita è, infatti, assai limitata (dell'ordine di 0.3 kg/dm^3). L'alluminio prodotto dalle celle elettrolitiche ha un titolo attorno al 99.6%: le principali impurezze sono costituite da Fe e Si. Sempre per via elettrolitica è possibile una successiva raffinazione che può aumentare la purezza fino al 99.99% e oltre. Il metallo fuso prelevato dalle celle può essere inviato a forni di attesa, alla fabbricazione di leghe o colato in pani. Per la produzione di 1 kg di alluminio con il processo elettrolitico sono necessari dai 17 ai 20 kW di energia (oltre quella impiegata nel processo Bayer per la trasformazione della bauxite in allumina); ne deriva la forte dipendenza del costo totale dal costo dell'energia, essendo relativamente poco incidente il costo della materia prima. In definitiva per la produzione di 1 kg di alluminio con titolo 99.6%, sono necessari circa 20-25 kWh e 4 kg di bauxite.

Per ottenere una successiva raffinazione, quando richiesto, si procede ad un secondo processo elettrolitico su alluminio fuso in elettrolita costituito da una miscela di cloruri e fluoruri a 750°C circa. La cella è simile a quella impiegata per l'elettrolisi dell'allumina, ma in essa l'elettrodo superiore è il catodo e la suola l'anodo. In tal modo, si raggiungono titoli anche superiori al 99.9%.

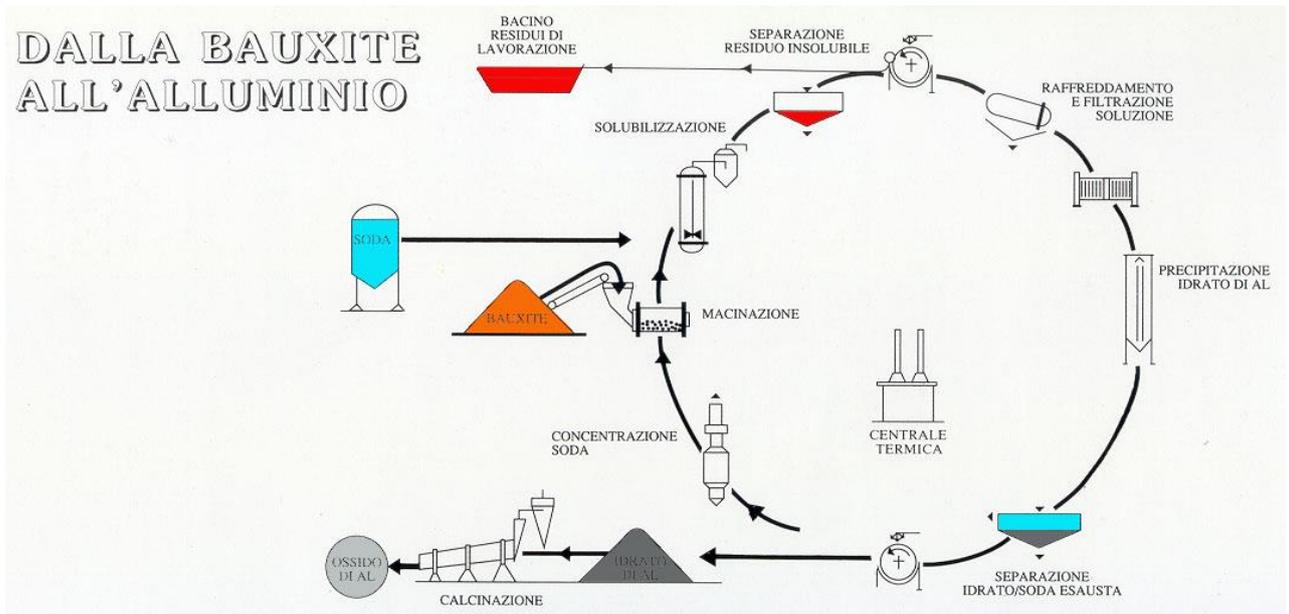


Figura 3.2: ciclo di produzione alluminio.

2.La produzione di alluminio secondario

L'alluminio ha una caratteristica particolare che lo differenzia da tutti gli altri materiali perché può essere riutilizzato all'infinito senza perdere le sue qualità originali; l'alluminio che si ottiene dal riciclaggio viene detto "alluminio secondario" e questo nome è l'unica differenza con l'alluminio ottenuto dalla bauxite (il minerale da cui si ricava l'alluminio). Il riciclaggio dell'alluminio permette un risparmio del 95% dell'energia richiesta per produrlo partendo dalla materia prima; per questo motivo, il "rottame d'alluminio" non è un rifiuto da buttare, ma un prezioso materiale da riutilizzare. Infatti per ricavare dalla bauxite 1 kg di alluminio sono necessari 14 kWh, mentre per ricavare 1 kg di alluminio nuovo da quello usato servono solo 0,7 kWh di energia. L'Italia è la maggiore produttrice d'alluminio secondario in Europa, dopo la Germania. Il riciclo consente:

- il recupero di materiale prezioso senza decadimento di qualità;
- risparmi dell'energia necessaria alla produzione di primario;
- riduzione delle emissioni serra;
- riduzione delle attività estrattive;
- limitazione degli oneri di smaltimento.

3.La raccolta degli imballaggi in alluminio

Una delle principali caratteristiche degli imballaggi e dei rifiuti di imballaggio in alluminio è di essere rispettivamente di destinazione e di provenienza domestica. Sono perciò i comuni o i gestori di servizio ad avere un ruolo fondamentale nella gestione della raccolta differenziata di tali rifiuti (Veronesi e Russo, 2003). A fianco dei soggetti responsabili della raccolta, comuni e loro delegati, nel mercato in esame opera il Consorzio Imballaggi Alluminio, CiAl. Gli imballaggi in alluminio sono generalmente raccolti insieme ad altre tipologie di imballaggi. Anche per il 2007, infatti, risulta confermata la prevalenza a livello nazionale della modalità multi-materiale di raccolta differenziata dei rifiuti di imballaggio in alluminio. La raccolta mono-materiale risulterebbe economicamente e quantitativamente non conveniente, in considerazione della modesta quantità di rifiuti captabili e del loro basso peso specifico (CiAl, 2008). Nel dicembre 2007, risultavano monitorate le tipologie di raccolta degli imballaggi in alluminio riferite a oltre 34 milioni di abitanti serviti. L'elaborazione dei dati ha mostrato che il 42% di questi 34 milioni di abitanti, effettuavano una raccolta degli imballaggi in alluminio tramite una raccolta multi-pesante (imballaggi di alluminio, acciaio e plastica), il 16% tramite una raccolta vetro + metalli e il restante 10% tramite una raccolta dei soli metalli (CiAl, 2008).

L'alluminio viene poi separato dagli altri materiali nelle piattaforme di selezione utilizzando prevalentemente i separatori ECS (Eddy Current Separator), basati sul principio delle correnti indotte generate da un campo magnetico alternato, rotante e a elevata frequenza (350-1000 Hz). La separazione dei metalli non ferrosi, tra cui anche l'alluminio, avviene per repulsione: quando si trovano sopra il rotore magnetico, essi vengono lanciati con forza proporzionale al rapporto tra la loro conducibilità elettrica e il loro calore specifico. Maggiore è il valore di questo rapporti, cioè maggiore è la conducibilità a parità di peso specifico, maggiore è la forza esercitata e quindi più ampio è il salto del metallo espulso. I metalli non ferrosi di uso comune con il valore più elevato sono: alluminio (13,1), magnesio (13), rame (6,6), argento (6,5), zinco(2,5), stagno (1,2), e piombo (0,45) (Veronesi e Russo, 2003).

4.Il riciclo dell'alluminio

I rottami vengono portati alle fonderie, dove, dopo un controllo sulla qualità del materiale, vengono pre-trattati a circa 500°C per essere liberati da eventuali sostanze estranee (ad esempio per l'eliminazione della vernice dalle lattine). La fusione avviene poi in forno alla temperatura di 800°C, fino ad ottenere alluminio liquido che viene

trasformato in lingotti, generalmente basati sulla famiglia di leghe alluminio-silicio, a cui si aggiungono altri metalli quali il rame e il magnesio. L'alluminio recuperato, di qualità identica a quello originale, viene impiegato in edilizia, meccanica e casalinghi, oltre che nel settore degli imballaggi (Schiona, 2008).

Più nello specifico, le fasi principali della produzione di alluminio da materie prime secondarie sono (dal documento sulle linee guida sui metalli non ferrosi, 2004):

- pretrattamenti;
- fusione in forni salini;
- raffinazione;
- colata;
- recupero e trattamento delle scorie saline.

Le tecnologie applicate nelle fasi di raffinazione e colata sono identiche a quelle utilizzate per la produzione di alluminio primario, e di conseguenza non verranno nuovamente trattate. I pretrattamenti, la fusione, il recupero e il trattamento delle scorie saline sono invece processi specifici della produzione di alluminio secondario e vengono quindi qui di seguito descritti.

4.1.Pretrattamenti

Prima della fusione i rottami vengono normalmente pretrattati per eliminare o rimuovere i contaminanti e le impurità presenti. I trattamenti comunemente effettuati sul rottame sono:

1. frantumazione;
2. selezione;
3. deverniciatura e delaccaggio;
4. compattazione;
5. preriscaldamento.

4.2.Fusione in forni salini

Per la fusione dei rottami è possibile utilizzare forni differenti in funzione della materia prima alimentata e della necessità, ad esempio, di utilizzare flussanti salini.

Se il rottame disponibile presenta caratteristiche intrinseche eterogenee vengono utilizzati forni di tipo rotativo salino, composti da un cilindro rotante, nel quale viene alimentato il metallo, riscaldato dall'esterno mediante bruciatori. All'interno del forno, oltre al rottame viene alimentato un fondente, in genere cloruro di sodio che, fondendo a una temperatura poco più bassa rispetto all'alluminio, forma una crosta detta salt cake che circonda il fuso di alluminio impedendo che questo entri in contatto con l'aria e si ossidi; inoltre ingloba al suo interno gli ossidi di alluminio presenti e altri

sottoprodotti che si formano nel corso del processo di fusione, come solfuri e nitruri di alluminio. La quantità di sale da aggiungere dipende dalla resa di fusione. Una riduzione di flussante nella fase di fusione può essere ottenuta pretrattando il rottame e aumentandone il contenuto metallico, oppure utilizzando forni rotativi ad asse inclinato. Nel caso siano disponibili rottami con elevato grado di purezza e di determinate dimensioni, possono essere utilizzati forni a riverbero eventualmente attrezzati con sistemi di pompaggio o di rimescolamento del metallo e nei quali non è necessario l'utilizzo delle scorie saline.

4.3. Recupero e trattamento delle scorie saline

La miscela salina esausta, evacuata a fine ciclo dai forni di fusione, viene raffreddata lentamente in grossi contenitori metallici. I blocchi di scoria subiscono una prima frantumazione grossolana, per poi essere inviati all'impianto di macinazione che rappresenta il primo stadio del processo di recupero. Nell'impianto di macinazione la scoria viene macinata finemente e durante questa fase viene recuperata, mediante vagliatura o utilizzando i sistemi di separazione a induzione magnetica, la frazione di alluminio metallico (circa 10%) inglobata nella scoria.

Mentre l'alluminio metallico può essere recuperato direttamente nei forni di fusione, le polveri fini di sali e ossidi di alluminio vengono avviate al secondo stadio del processo di recupero. Mediante la dissoluzione in acqua delle polveri fini viene effettuata la separazione della frazione solubile (miscela salina) da quella insolubile; questa è costituita da ossidi metallici, principalmente Al_2O_3 , e, previa decantazione, viene filtrata e lavata con acqua fino a ottenere un prodotto idoneo al recupero. La salamoia viene invece filtrata e sottoposta al processo di evaporazione e cristallizzazione da cui vengono recuperati i cristalli dei sali originari.

La miscela salina viene quindi riutilizzata nel processo di fusione, mentre l'acqua di condensa che proviene dall'evaporazione della salamoia, viene riciclata internamente al processo nelle fasi di dissoluzione delle polveri e di lavaggio degli ossidi.

L'impianto di riciclo delle scorie saline può risultare anche idoneo per il riciclo delle polveri di abbattimento dei fumi trattate con bicarbonato di sodio, e dei materiali refrattari derivanti dalla manutenzione periodica dei forni di fusione.

Tra i principali effetti benefici sull'ambiente del recupero delle scorie saline si possono citare:

1. la riduzione del quantitativo di rifiuti avviati allo smaltimento in discarica;
2. il risparmio delle risorse mediante il riutilizzo selettivo dei componenti (alluminio e miscela salina recuperati nel processo di fusione originario, ossidi d'alluminio avviati al recupero).

5. Gli aspetti critici nel riciclo dell'alluminio

Come già trattato riguardo al riciclo dell'acciaio, uno degli aspetti critici del riciclo dell'alluminio è associato all'utilizzo di trattamenti termici ad alte temperature (la rifusione dei rottami) che possono comportare problemi ambientali per la produzione di emissioni inquinanti in aria.

A questo proposito dall'analisi dei risultati ottenuti dallo studio di ENEA et al. (2002), la produzione complessiva di POPs (emissioni in atmosfera e nelle polveri) appare più limitata negli impianti che utilizzano rottame maggiormente selezionato: ad esempio, per l'alluminio secondario, i valori più bassi sono stati riscontrati da attività di rifusione che, per loro natura, trattano rottame particolarmente pulito.

Non esistono comunque altre significative problematiche connesse al riciclo dell'alluminio. Inoltre si sottolinea che l'alluminio recuperato è di qualità identica a quello originale (Schiona, 2008).

6. Dati della produzione di alluminio

Secondo i dati diffusi il 20 marzo 2012 dall'International Aluminium Institute (Iai), «la produzione mondiale di alluminio ha raggiunto le 7,2 milioni di tonnellate nel gennaio-febbraio 2012, contro i 6,7 milioni di tonnellate del gennaio-febbraio 2011», con un aumento del 7,9% su base annua. A febbraio la produzione di alluminio è aumentata del 9%, raggiungendo 3,5 milioni di tonnellate rispetto ai 3,2 milioni di tonnellate del febbraio 2011.

Nel gennaio-febbraio 2012 ben 3 milioni di tonnellate di alluminio sono state prodotte nella sola Cina, 279.000 tonnellate in Africa, 788.000 tonnellate in Nord America, 343.000 tonnellate in Sud America, 419.000 tonnellate nel resto dell'Asia, 609.000 tonnellate in Europa Occidentale, 721.000 tonnellate in Europa Centrale e dell'Est, 377.000 tonnellate in Oceania e 601.000 tonnellate in Medio Oriente.

A quanto pare sta aumentando anche la produzione di alluminio riciclato; secondo l'Iai e l'Organisation of the European Aluminium Recycling Industry (Oea) «l'alluminio è riciclabile all'infinito: approssimativamente il 75% dell'alluminio prodotto dal 1988 (circa 1 miliardo di tonnellate) è ancora in uso produttivo» e molto di questo materiale è ancora nella catena del lifecycle delle merci.

Secondo l'Iai «globalmente, il riciclo dell'alluminio permette di risparmiare circa 90 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno e oltre 100.000 GWh di energia elettrica, equivalenti al consumo di energia annuo dell'Olanda». Infatti la produzione di alluminio riciclato richiede fino al 95% in meno di energia della produzione primaria di alluminio.

Il valore economico di questa materia prima ha fatto diventare le lattine di alluminio l'imballaggio più riciclato al mondo, con una percentuale media di riciclo del 60% che in alcuni Paesi raggiunge il 90%.

A livello mondiale l'alluminio raggiunge i più alti tassi di riciclaggio di materia prima, con il 90% di quello utilizzato nei trasporti e nelle costruzioni. Questo non toglie che le grandi miniere di alluminio siano considerate tra le più inquinanti e con maggior impatto sull'ambiente.

CAPITOLO 4

Il vetro

1. Definizione

E' difficile definire il vetro da un punto di vista scientifico: esso, infatti, sfugge alle più comuni suddivisioni della materia. Più facile, invece, è definire il vetro da un punto di vista merceologico in quanto, soprattutto in questi ultimi anni, se ne sono vagliate le più disparate proprietà e si conosce abbondantemente il suo comportamento nelle più diverse applicazioni.

La silice (sabbia) fonde a temperatura elevata (1723°C) e dà luogo, per raffreddamento rapido, ad un solido amorfo (vetro silice). Il vetro di sola silice rammollisce a temperatura molto alta per dare un liquido molto viscoso, quindi le molecole scorrono con estrema difficoltà le une sulle altre.

Per abbassare la temperatura di rammollimento e quindi la temperatura di lavorazione, si devono rompere alcuni collegamenti tra le molecole di silice. Ciò si ottiene introducendo nel reticolo atomi che lo modificano come ad esempio il sodio.

In tal modo il vetro diventa più facilmente liquido a temperatura più bassa. Questi atomi vengono chiamati fondenti o modificatori di reticolo. Si può così già notare che il vetro è composto da formatori di reticolo o vetrificanti (come la silice si comportano anche altri ossidi quali il boro, l'allumina, ecc.) e modificatori di reticolo (comportamento analogo a quello del sodio si riscontra anche con l'ossido di calcio, potassio, il bario, il piombo, il magnesio ecc.).

2. Fabbricazione massa vetrosa

2.1. Preparazione della miscela

Le materie prime, opportunamente purificate ed essiccate, vengono finemente triturate, dosate e mescolate nelle proporzioni richieste dal tipo di prodotto desiderato, in modo da raggiungere la massima omogeneità possibile. In questa fase hanno particolare importanza la granulometria del materiale, specialmente della sabbia, e l'umidità della massa perchè incidono direttamente sul tempo di fusione.

2.2.Riscaldamento

La miscela ottenuta viene collocata in appositi forni e gradualmente riscaldata, per un periodo di sei ore, fino alla temperature di circa 1500 °C.

2.3.Fusione

La fusione ha una durata di altre sei ore ed avviene a temperatura costante di 1500°C, in modo da rendere la massa del materiale fluida ed omogenea. Essendo la temperature di fusione della silice pari a 1710°C, per poter operare a 1500°C si ricorre all'impiego di sostanze fondenti (soda o potassa), che abbassano il punto di fusione.

I forni oggi più usati sono:

- forni a canale, impiegati per lavorazioni continue automatizzate;
- forni a bacino, consentono una produzione di quantità elevate di vetro;
- forni a crogiolo, vengono adottati per la produzione di piccole quantità di vetri destinati a impieghi particolari e artistici.

2.4.Affinazione

E' un procedimento di depurazione, molto importante per la riuscita qualitativa del prodotto, che ha lo scopo di liberare la massa vetrosa fusa dalle parti indesiderate mediante l'impiego di sostanze affinanti e omogeneizzanti, che sprigionano gas: le eventuali bolle e impurità vengono portate in superficie e successivamente eliminate sotto forma di schiuma.

Durante l'operazione, che dura circa 12 ore, la massa fusa viene lasciata gradualmente raffreddare fino alla temperatura di circa 1200 °C.

2.5.Raffreddamento

Terminata l'affinazione, la massa vetrosa viene ulteriormente raffreddata fino alla temperatura di lavorazione che varia, a seconda del tipo di vetro, da 1200°C a 950°C. Il raffreddamento deve essere molto lento, poichè, a causa delle cattive caratteristiche di conduttività del calore del vetro, la diminuzione di temperatura delle facce esterne si trasmette molto lentamente all'interno, producendo tensioni tanto più elevate quanto più rapido è stato il raffreddamento.

Queste tensioni alterano le caratteristiche di resistenza del materiale per cui è necessario sottoporre a ricottura i prodotti forgiati e a tempra quelli per i quali sono previsti particolari impieghi. La formatura e la lavorazione della massa vitrea, per la realizzazione dei prodotti più comuni, viene effettuata mediante i seguenti procedimenti: modellazione, soffiatura, stampaggio, laminazione, filatura.

Questi particolari procedimenti, adottati per la produzione di lastre per l'edilizia, danno origine ai seguenti prodotti: lastre tirate, lastre laminate o colate-laminate, lastre float o cristalli.

La lastra così ottenuta viene eventualmente sottoposta, a seconda del particolare tipo di impiego, a successive lavorazioni quali: la molatura dei bordi, la foratura, la sabbiatura o smerigliatura, la smaltatura a freddo, la smaltatura a caldo, la curvatura, la givrettatura, l'incisione, la specchiatura.

3.La raccolta degli imballaggi in vetro

La raccolta differenziata degli imballaggi in vetro da utenza domestica, e quelli provenienti da piccole utenze commerciali o artigiane, avviene ad opera dei comuni o dei gestori del servizio ambientale. Il materiale proveniente da raccolta differenziata è costituito principalmente da contenitori in vetro per alimenti. I rifiuti di imballaggio che possono essere conferiti alla raccolta differenziata sono principalmente quelli da rottame di vetro sodico-calcico, con esclusione dei contenitori etichettati come pericolosi, dei vetri da tubi catodici, delle lampade a scarica, dei vetri cristallo e di altri vetri contaminati da sostanze radioattive (Basoni, 2003a).

Nel caso della raccolta differenziata del vetro occorre distinguere tra presenza di frazioni estranee e scarti. Per frazioni estranee si intende l'insieme dei materiali diversi dal vetro, che vengono rilevati attraverso l'analisi merceologica effettuata sul materiale appena raccolto. Possono essere costituite da porcellane, metalli pesanti, materia organica. Lo scarto è invece composto da quello che viene separato dal rottame di vetro dall'impianto di selezione, che spesso contiene una parte di vetro intercettato dalle maglie dei setacci e non distinguibile dalle materie estranee, ad esempio porcellane o altre sostanze (Basoni, 2003a).

La produzione di vetro da rottame richiede il raggiungimento di elevati standard qualitativi per i materiali raccolti. Valori inferiori portano infatti al danneggiamento degli impianti: la presenza di pochi grammi di materiale estraneo può ad esempio determinare l'arresto prolungato della produzione, per la necessità di sostituire alcune parti del rivestimento interno in refrattario. Le vetrerie forniscono quindi specifiche merceologiche minime per definire il vetro trattato come materia prima secondaria, e un capitolato per l'accettazione del vetro in ingresso. È dunque necessaria una concertazione tra i responsabili della fase della raccolta e dell'impiego (le vetrerie), dato lo stretto legame che intercorre tra le due fasi, tenendo conto che la vetreria si trova ad operare sui risultati dei processi di selezione, che però dipendono fortemente dalla fase di raccolta.

Secondo il consorzio CoReVe (2005), elevati standard qualitativi potrebbero essere raggiunti tramite la sostituzione delle raccolte multi-materiali, laddove esistenti, con quelle mono-materiali in campana, e con una distribuzione ottimale delle stesse sul territorio pari a un contenitore ogni 400 abitanti. Infatti, negli ultimi anni, a fronte di un aumento generale delle quantità di materiale avviato al recupero, si è osservata una diminuzione della resa del processo dovuta al peggioramento della qualità del materiale raccolto. La causa principale di questa inversione di tendenza è da attribuirsi, secondo il consorzio CoReVe, all'introduzione massiccia in Italia della raccolta differenziata multi-materiale del vetro in associazione con altri materiali. La criticità consiste nel fatto che la successiva separazione non consente di recuperare un rottame con caratteristiche analoghe a quelle della tradizionale raccolta mono-materiale. Inoltre, la raccolta congiunta di materiali differenti provoca una perdita aggiuntiva: durante il processo di selezione, infatti, gli oggetti estranei trascinano con sé materia di vetro. Si pensi ad esempio all'estrazione di una lattina d'alluminio: essa può contenere al suo interno un quantitativo di vetro che non può essere in alcun modo recuperato.

La raccolta mono-materiale con campane viene quindi considerata essere un sistema "efficace, efficiente ed economico" per la raccolta del vetro e il sistema che consente di raggiungere i livelli di qualità necessari e sufficienti per massimizzare il riciclo in vetreria.

4.Gli aspetti critici nel riciclo del vetro

Nel caso del riciclo del vetro, come già accennato, il primo problema si presenta con la qualità del materiale raccolto, in quanto la percentuale di rottame utilizzabile nella miscela e la qualità dei prodotti lavorati finiti dipendono proprio dallo standard qualitativo di partenza del rottame e dalla fase di trattamento che lo stesso materiale subisce per poter essere utilizzato in vetreria. La presenza di sostanze estranee o di sostanze non completamente fuse per insufficienza di tempo e/o temperatura possono danneggiare sia il forno che il prodotto finito. Le più comuni fonti di inquinamento del rottame che producono inconvenienti in vetreria sono tipicamente (Assovetro, 2009):

- i materiali ceramici, provenienti da stoviglie e vasellame in ceramica che erroneamente vengono introdotti nei cassonetti di raccolta. Anche in pezzature ridotte (inferiori ai 10 mm), possono originare infusi sul contenitore, poiché, essendo prodotti con impasti di argille caoliniche e sabbie feldspatiche, sono alto fondenti, alla stregua dei materiali refrattari, e quindi solo parzialmente eliminabili durante il processo di fusione;

- le pietre, che possono inquinare il rottame durante le varie movimentazioni nei piazzali e trasferimenti via camion, prima di giungere in vetreria. Sono difficilmente fusibili anche se in granulometria fine (1-2 mm per sabbia e granito, 0,1-0,2 mm per le cromiti); quindi, pur essendo presenti in quantità modeste, possono causare preoccupanti ondate di infusi e colorazioni indesiderate sul prodotto finito;
- le impurezze metalliche-magnetiche sfuggite al separatore magnetico, provenienti soprattutto dalla rete metallica contenuta all'interno del vetro retinato e dalle capsule metalliche dei contenitori per bibite, e le impurezze metalliche non magnetiche, provenienti dalle etichette metalliche a base di piombo e dalle capsule in alluminio o rame dei flaconi per medicinali. Il danno più grave che arrecano gli inquinanti metallici introdotti nel forno con il rottame, oltre al difetto sul contenitore, è costituito dalla corrosione, esercitata dalle leghe metalliche che si depositano sul fondo, nei confronti dei materiali refrattari della suola della vasca di fusione che, a causa di ciò, può talvolta venir forata da parte a parte in più punti.

Per evitare tutti questi problemi, il rottame di vetro deve quindi essere attentamente selezionato e ciò ha spinto le aziende del settore vetrario (riciclatori e vetrerie) a richiedere la collaborazione di società operanti nel campo dell'elettronica applicata ai processi di cernita per risolvere il problema della separazione dei diversi inquinanti dal vetro di recupero e, in particolare, dei corpi opachi (ceramica, vetro-ceramica, pietre). Infatti, mentre lo stato dell'arte delle attrezzature di separazione di metalli magnetici e amagnetici non costituisce un limite tecnologico alla nobilitazione del rottame, discriminante è invece l'efficienza di cernita dei corpi opachi. Secondo il CoReVe (2005) elevati standard qualitativi potrebbero essere raggiunti tramite la sostituzione delle raccolte multi-materiali, laddove esistenti, con quelle mono-materiali in campana. Un vincolo, di natura tecnologica, è presentato dalla capacità di assorbimento da parte del mercato del rottame di vetro, attualmente costituito esclusivamente da vetro di colore misto dal quale si produce soprattutto vetro cavo colorato. Tenendo conto che la produzione di vetro colorato rappresenta soltanto il 50% della produzione totale, la quantità eccedente di rottame dovrebbe essere impiegata in produzioni differenti, quali l'edilizia e la pavimentazione stradale, oppure esportata (Basoni, 2003). Diventa quindi essenziale rendere disponibili per il riciclo in vetreria quantitativi apprezzabili di rottame selezionato per colore. Per fare questo è possibile avviare la RD separata per colore di vetro, oppure effettuare la separazione automatica dei diversi colori di vetro negli impianti di trattamento. La prima soluzione è più semplice e meno costosa, ampiamente collaudata nei Paesi europei che hanno raggiunto altissimi livelli di riciclaggio, come ad esempio la Germania, nella quale sono da tempo installati contenitori stradali che permettono al cittadino, all'atto del conferimento del vetro usato,

di separare quest'ultimo nei diversi colori (verde, bianco e giallo). In Italia si dovrebbe pervenire almeno alla raccolta separata di vetro colorato e vetro incolore (CoReVe, 2005). La seconda strada (quella della separazione negli impianti di trattamento) non risulta operativa in nessun Paese europeo e quindi l'Italia sarebbe il primo ad avviarla a scala industriale. Si deve tenere però presente che, con l'attuale stato dell'arte delle tecnologie disponibili sul mercato, solo la metà della frazione incolore presente nel vetro trattato viene intercettata dalle macchine di selezione. Pertanto, nel piano specifico di prevenzione di CoReVe (2005), si afferma che "da una stima di costi e benefici paaventabili non si ritiene attualmente ancora perseguibile economicamente, efficacemente ed efficientemente tale alternativa di separazione, sebbene sia auspicabile e prevedibile, nel prossimo futuro, il miglioramento tecnologico delle operazioni di trattamento anche in questa direzione".

Altro aspetto critico è legato alla qualità del prodotto finito, che può risultare minore se si utilizza rottame di vetro invece delle materie prime vergini. Innanzitutto, il British Glass Manufacturers' Confederation (2003) riporta la possibilità di alterazioni nel colore del vetro in uscita a causa della presenza di contaminanti come metalli, ceramica e vetro pyrex presenti nel rottame. Scalet et al. (2005) si focalizzano invece sullo scadimento qualitativo del prodotto finito in termini di concentrazione di metalli pesanti. Con la decisione della Commissione Europea del 19 febbraio 2001, il limite di concentrazione di metalli pesanti (come somma di piombo, cadmio, cromo VI e mercurio) negli imballaggi di vetro è stato innalzato a 200 ppm rispetto al vecchio limite di 100 ppm. Tuttavia, nonostante questo limite sia meno restrittivo rispetto al precedente, è spesso difficile da rispettare se si lavora con alte percentuali di rottame. I metalli pesanti sono infatti presenti nei neon, nelle lampade a scarica, nei tubi a raggi catodici e anche nel cristallo. Nello studio di Scalet et al. (2005) viene appunto analizzato l'effetto della composizione della miscela vetrosa sulla concentrazione dei metalli pesanti nel prodotto finito. Sono stati effettuati cicli di fusione di sei miscele vetrose contenenti tre diverse percentuali di rottame (0, 50 e 75) e utilizzando alternativamente solfato di calcio e polveri dei filtri come affinanti. Gli studiosi hanno concluso che l'effetto dell'utilizzo di rottame sul contenuto di cromo VI è trascurabile, così come anche il contenuto di cadmio è sempre al di sotto del limite di rilevabilità. I problemi si verificano invece con il piombo: da un contenuto nel prodotto finito di 2 ppm quando non si utilizza il rottame, si passa a 102 ppm utilizzando il 50% di rottame e si arriva a 207 ppm utilizzando il 75% di rottame. Quindi, per ogni punto percentuale di rottame si è stimato un contributo di 2-2,7 ppm di piombo. In un altro studio Scalet (2000) ha analizzato le conseguenze dell'utilizzo di rottame di vetro e delle ceneri del filtro sulle emissioni dal forno: si nota, all'aumentare di questi utilizzi, un aumento delle

emissioni di metalli pesanti tra cui soprattutto il piombo e un aumento dell'emissione di acido fluoridrico (a causa della presenza di alogeni nel rottame). L'ultimo aspetto che si vuole analizzare è l'evoluzione delle tecnologie. Sviluppi futuri riguardano la possibilità di riutilizzare la frazione fine di risulta, proveniente dalle operazioni di selezione e trattamento che attualmente, nella maggior parte delle vetrerie, è avviata a smaltimento in discarica (Basoni, 2003a). Questo flusso di fine, anziché terminare in discarica, potrebbe essere impiegato per la produzione di calcestruzzo, mattoni e ceramiche, consentendo elevati benefici economici e contribuendo alla diminuzione dello sfruttamento delle cave, che notoriamente hanno un elevato impatto ambientale. In quest'ottica il consorzio CoReVe aveva commissionato, nel 2001, una ricerca alla Stazione Sperimentale del Vetro di Murano sull'idoneità di tale materiale negli impieghi legati al settore edilizio. La ricerca aveva concluso che il materiale fine poteva considerarsi utilizzabile come materia prima seconda nel settore dell'edilizia in quanto sia i dati merceologici che di cessione rientravano nei limiti di legge (CoReVe, 2002). La ricerca è poi proseguita e Assovetro (2008) riporta che il rottame di vetro di scarto ha una vasta gamma di validi impieghi, dalla sostituzione dei materiali inerti tradizionali in molteplici comparti produttivi, all'inertizzazione dei rifiuti speciali più pericolosi.

5. Dati sul riciclaggio del vetro

Forse non è un caso, e testimonia la buona volontà complessiva degli italiani, il dato che racconta come sul riciclo del vetro nell'arco di un decennio la raccolta sia addirittura raddoppiata e ora concerne il 70%.

Un bilancio comunque migliorabile e perfettibile, come testimoniano anche alcune delle best practise locali del nostro Paese. Esiste perfino una graduatoria di merito.

Le sei città più brave a riciclare il vetro sono Piacenza, Fano, Lecce, Padova, Prato e Teramo, lo ha decretato il CoReVe.

Grazie al recupero del vetro si sono risparmiate, nel corso del 2011, oltre 3 milioni di tonnellate di materie prime, s'è risparmiata energia per 1 milione e mezzo di MWh e si sono evitate emissioni di quasi 2 milioni di tonnellate di CO₂.

L'industria italiana del vetro è sempre più virtuosa e non conosce crisi: aumenta, nel 2011, dell'1,77% la produzione di bottiglie, vasi e flaconi in vetro e del 7,6% l'utilizzo del vetro riciclato, con un risparmio energetico di 3 milioni di barili di petrolio. Mentre è del 68,1% il tasso di riciclo del vetro e cresce del 6% la raccolta differenziata degli imballaggi in vetro: il vetro non solo è sostenibile, sicuro e riciclabile al 100% ma, in questo momento di difficoltà economica si presenta come vera e propria "filiera verde" che resiste alla crisi.

Secondo i dati diffusi da Assovetro e da Coreve, la produzione degli imballaggi in vetro (bottiglie, vasi, flaconi) ha segnato nel 2011 un incremento dell'1,77% sull'anno precedente (+1,58% per tutti i contenitori in vetro), con un particolare salto nella produzione di vasi alimentari (+13%), e l'industria dei contenitori in vetro ha utilizzato più di 2 milioni di tonnellate di vetro riciclato, cioè +7,6% rispetto all'anno precedente, risparmiando così più di 3 milioni di barili di petrolio e più di 2 milioni di tonnellate di CO₂.

Anche per quanto riguarda il riciclo dei rifiuti di imballaggi in vetro continua il trend positivo: nel 2011 i rifiuti di imballaggio nazionali riciclati sono stati pari a 1.570.302 tonnellate, con un incremento di circa 100 mila tonnellate, corrispondenti al 6,8% in più rispetto all'anno precedente, ed è stato raggiunto un tasso di riciclo pari al 68,1%, superiore di oltre 8 punti rispetto all'obiettivo europeo (stabilito a quota 60%).

Quello del vetro, quindi, è un perfetto circolo virtuoso che trasforma il vetro da "materiale di scarto" a materia prima, a prodotto finito.

CAPITOLO 5

Il legno

1. Il compensato

Il compensato è un semilavorato a strati di legno sfogliato dal tronco dell'albero. Appartiene alla grande classe dei pannelli stratificati o multistrati, dai quali si distingue per l'orientamento incrociato dei vari strati.

Il procedimento per ottenere pannelli di legno compensato consiste infatti nello "sfogliare" il tronco d'albero con un apposito tornio in grado di tagliare uno strato molto sottile di legno (1-3 mm), incollando poi i fogli fra loro in modo da "incrociare le venature". Questo incrocio fa sì che la resistenza del materiale sia uniforme in tutte le direzioni, perché la resistenza del legno lungo le venature non si manifesta ugualmente in tutte le direzioni. L'incrocio delle venature fa sì che le caratteristiche meccaniche del legno, tipicamente unidirezionali, vengano "compensate" in una direzione ortogonale, da cui il nome. Prodotto dalla metà dell'Ottocento, esso era considerato un materiale moderno (il cui costo è anche oggi superiore a quello dei semplici assi) e fu impiegato per le pannellature dei mobili, anche di quelli storicisti decorati da imponenti parti scolpite in massello di noce.

I legni più utilizzati per la produzione di pannelli stratificati sono legni dolci come le conifere e in particolare l'abete, il legno di betulla o il pioppo, ma esistono compensati realizzati con essenze più pregiate quali il faggio, il teak, l'okoume e altri. Vi sono inoltre compensati in cui i soli strati esterni sono realizzati con fogli più o meno sottili di essenze pregiate come quelli appena citati o anche noce, rovere, palissandro, ecc., mentre gli strati interni che costituiscono la gran parte del pannello sono in legni dolci. In questi ultimi casi il compensato viene detto anche compensato nobilitato.

Per incollare i fogli tra loro serve una pressa semplice grande come il pannello, simile o uguale a quella per creare pannelli di truciolare. Se si usa colla fenolica (resistente all'acqua) si ha un compensato adatto all'esterno e al trasporto via mare (come il compensato "canadese marino").

I pannelli di compensato oggi sono molto commercializzati, anche se in Italia comparvero solo nel 1950 con lo sviluppo della cultura del pioppo: il materiale base per la costruzione. Infatti il pioppo come del resto anche il faggio o altri legni esotici è un legno molto adatto alla sfogliatura.

I pannelli di compensato sono formati da tre o più strati (comunque in numero sempre dispari per mantenere una struttura simmetrica, essenziale per la stabilità della forma) di legno sfogliato incollati con resine a pressione e sovrapposti con le fibre incrociate perpendicolarmente. Il comune pannello di compensato è formato da uno strato centrale detto anima e da altri due fogli esterni incollati con le fibre ortogonali rispetto a quella centrale.

I pannelli composti da più di tre strati vengono denominati multistrati, si può parlare in questo caso di un materiale ortogonale-isotropo, nel quale possono essere rilevati valori meccanici identici sia parallelamente che perpendicolarmente alla direzione della fibratura degli strati esterni.

Nel caso in cui l'anima sia costituita, anziché di un foglio, di uno strato di legno di maggiore spessore si ottengono pannelli di paniforte, che possono essere divisi in:

- paniforti di listellari: caratterizzati da un'anima centrale con listelli di legno massiccio dello spessore di 15-30 mm;
- paniforti lamellari: si differenziano dai listellari per la composizione dell'anima centrale, realizzata con lamelle di pioppo o abete dallo spessore di 6-8 mm.

1.1.Processo produttivo dei pannelli di compensato

La produzione dei pannelli di compensato necessita di legname e di colle. Il legname deve essere tondo, avere una forma cilindrica regolare, essere privo di fessure, senza difetti e di buona qualità.

Per l'incollaggio dei fogli si usano colle di resina sintetica, che hanno ormai sostituito i collanti organici quali la caseina e l'albumina.

La produzione dei pannelli comporta le seguenti fasi operative (figura 5.1):

- controllo e collaudo dei tronchi per selezionare quelli perfettamente tondi;
- deposito e preparazione con rifinitura delle due testate del tronco;
- troncatura e scortecciatura dei tronchi;
- centratura del tronco sull'asse della sfogliatrice;
- sfogliatura: riduzione del tronco in una lamina sottilissima tramite un coltello affilatissimo. Il tronco viene fissato alle due estremità e messo in rotazione al suo asse, la lama trasla in direzione radiale con un passo uguale allo spessore desiderato, ottenendo fogli di larghezza pari all'altezza del tronco e con spessore variabile da 1-2,5 mm (figura 5.2). La sfogliatura è il metodo più razionale per ricavare i piallacci: fornisce la maggiore quantità e necessita del minore dispendio di tempo;

- tranciatura: è un procedimento alternativo alla sfogliatura, adottato per legni con superficie a vista. Con questo procedimento si ottengono fogli sottilissimi eseguendo il taglio del tronco o di un blocco irregolare con un lama che avanza in direzione parallela all'asse del tronco stesso;
- taglierinatura dei fogli in pezzi di lunghezza appropriata;
- essiccazione degli sfogliati con successiva selezione;
- scelta degli sfogliati migliori che formeranno l'insieme dei fogli di numero dispari che verranno sovrapposti e incollati per formare il pacco;
- applicazione delle colle termoindurenti alle facce degli sfogliati;
- pressatura del pacco per assemblaggio dei fogli e successiva pressatura a caldo;
- rifinitura con squadratura e rifilatura dei pannelli pronti per la commercializzazione.

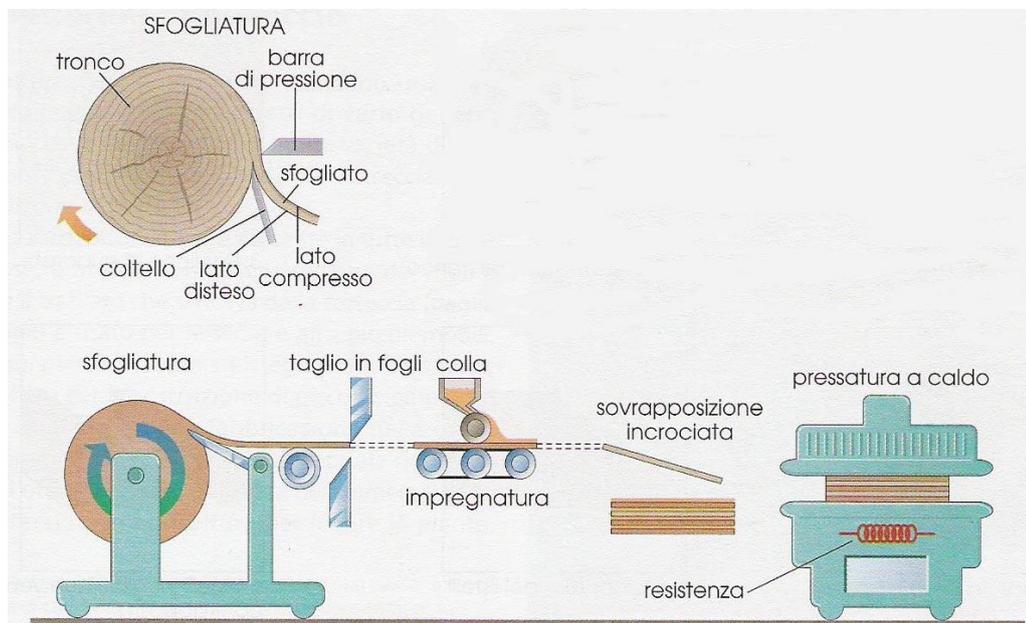


Figura 5.1: fasi operative produzione pannelli.



Figura 5.2: processo di sfogliatura.

I principali pregi dei pannelli di compensato consistono nelle elevate prestazioni meccaniche che sono in grado di offrire, nell'ottima lavorabilità, nella buona resistenza ai carichi e nell'eccellente aspetto estetico che li fa apparire in tutto simili al legno.

I pannelli devono comunque essere sempre ben calibrati per non dare problemi di stabilità e di levigatura finale, o per non creare tensioni tra gli strati che li compongono. Il livello di qualità dei pannelli di compensato è determinato dal numero dei nodi e dai segni visibili in superficie.

Il compensato si può dividere in varie tipologie, le più importanti delle quali sono le seguenti: compensato semplice, multistrato, marino, placcato e controplaccato, per impieghi esterni, sagomato, tamburato.

Le caratteristiche del compensato non sono determinate solamente dalla qualità dei suoi fogli ma anche dal tipo d'adesivo usato. Essi si possono raggruppare in base al loro uso.

1.2. Compensato da interni

Sono compensati da usare solo per usi non strutturali in interni. Sono normalmente prodotti con un davanti di qualità migliore del retro, usando un adesivo alla urea-formaldeide, che è di colore chiaro. Sono normalmente usabili per applicazioni all'asciutto, come mobilio o pannelli interni. Collanti modificati usati nella fabbricazione di certi tipi di questi compensati ne permettono un uso in condizioni di una certa umidità.

1.3. Compensato da esterni o fenolici

Questi compensati possono essere usati in condizione di completa o parziale esposizione agli agenti atmosferici (dipendendo dalla qualità dei collanti usati), ma sempre dove non è richiesta resistenza strutturale. Pannelli adatti all'uso in esposizione completa sono fabbricati con adesivo fenolico, di colore scuro. Esistono classificazioni precise, in base a ben determinate prove di resistenza. Pannelli adatti all'uso in condizioni di parziale esposizione usano adesivi alla urea-formaldeide melaninica. Questi sono utili per la costruzione di stipetti per cucine e bagni, e per altre simili applicazioni.

1.4. Compensato marino

È un compensato d'alta qualità, con facce di piallacci nobili, che si può usare in applicazioni dove è richiesta resistenza strutturale, principalmente prodotto per uso navale. È fabbricato usando fogli selezionati di una varietà limitata d'essenze simili al mogano. I fogli del compensato marino non hanno buchi o vuoti, e sono incollati con un

resistente adesivo fenolico. Nulla impedisce di usare il compensato marino per la costruzione di mobili per interni, durevolissimo e costoso. Il corretto utilizzo commerciale del termine "compensato marino" implica l'omologazione del medesimo da parte del RINA (Registro Italiano Navale).

1.5. Compensato strutturale

Differisce dal compensato marino solo per l'uso di fogli d'essenze meno pregiate, spesso trattate con sostanze chimiche che ne ritardano il marciume. Non è diffusissimo in Italia ed in Europa in generale, trovando uso soprattutto in Nord America per la costruzione delle abitazioni civili.

2. Il pannello truciolare



Figura 5.3: diverse tipologie di pannelli truciolari.

Per "pannello truciolare" si intende un pannello composto da particelle di legno, agglomerate mediante resine sintetiche termoindurenti. Le motivazioni che hanno spinto la realizzazione di questo prodotto sono di natura storica ed economica insieme. Un tempo i mobili venivano realizzati direttamente con legno massiccio, dopo aver trasformato i tronchi in tavolame atto alla costruzione di "contenitori". La scarsità di materia prima ed il prezzo spinsero dunque a ricercare materiali alternativi.

Il primo passo si compie con l'avvento del "pannello tamburato", che trova la sua affermazione su scala industriale con la nascita del compensato.

Ma presto anche il tamburato mostra i suoi limiti, derivanti da una indubbia complessità di produzione, dalla necessità di impiegare superfici di un certo spessore ed alveolari resistenti, da una mancanza di "flessibilità" nell'utilizzo del pannello.

L'industria del mobile aveva l'esigenza di materiali più finiti ed universali per incrementare la sua produzione; ecco allora comparire pannelli listellari e multistrati che, essendo continui, non presentavano limitazioni nel loro impiego.

Intervennero a questo punto due cause concomitanti a spingere la ricerca di un materiale alternativo:

- crisi delle materie prime e conseguente incremento dei prezzi di approvvigionamento dei legni esotici che rappresentavano la base dei pannelli suddetti;
- necessità di eliminare ingombranti sfridi e residui delle varie lavorazioni del legno; cosa possibile o mediante costosi inceneritori o trovando una conveniente utilizzazione di questa materia prima disponibile.

Nasce così il "pannello truciolare" che concentra in sé una serie di vantaggi, sia produttivi che di utilizzo:

1. è producibile partendo da materie prime le più disparate, anche non "nobili", come ramaglia e rifili di segheria;
2. è un materiale continuo;
3. ha grandi dimensioni;
4. ha un'ottima stabilità.

I problemi principali che inizialmente affliggevano l'agglomerato truciolare erano rappresentati dall'incostante uniformità dello strato interno e dalla ruvidità delle superfici.

Questi problemi sono stati, ad oggi, brillantemente superati, ma per meglio comprendere che cos'è il "pannello truciolare", è bene accennare al suo ciclo produttivo.

I tipi di legno impiegati come materia prima sono i più svariati: pioppo, betulla, faggio, ontano bianco, ecc.; non vengono utilizzati il castagno, causa l'alto contenuto di acido tannico, ed i legni esotici per la loro inadatta struttura lignea.



Figura 5.4: truciolò.

Mediante macchine automatiche, dette "truciolatori", i legni vengono trasformati in truciolò di lunghezza e spessore controllati.

Gli scarti di altre lavorazioni, invece, vengono macinati da "cippatori" e quindi trasformati in truciolò mediante truciolatori centrifughi.

Parte dei trucioli viene poi "raffinata", per provvedere al fabbisogno di microschegge per lo strato esterno dei pannelli, mediante sfibratori.

Le particelle a diversa granulometria così prodotte vengono essiccate ed insilate in maniera da ridurre l'umidità residua a valori molto bassi (intorno al 4%) e controllarla scrupolosamente.

Dai silos le particelle passano alle stazioni di resinificazione, nelle quali vengono impregnate di resine sintetiche, quali urea, melanina, ecc., dei relativi catalizzatori e, eventualmente, di altri prodotti atti a conferire al pannello caratteristiche particolari come una migliore resistenza all'umidità, alle muffe, al fuoco.

Le particelle così predisposte giungono alla macchina formatrice, dove in pratica avviene la nascita del pannello.

La macchina provvede a costituire il "materasso" in maniera progressiva, con particelle a granulometria diversa, generando così la struttura del pannello, che vede sulle facce esterne le microschegge e nella parte interna trucioli a granulometria più elevata.

Il materasso così formato viene avviato alla termopressatura che può avvenire con presse monovano o multivano o a calandra.

L'azione combinata di temperatura, dell'ordine dei 200°C, e pressione, da 2 a 5 N/mm², fanno sì che avvenga la polimerizzazione e l'indurimento delle resine applicate alle particelle e, quindi, la loro coesione.

Il pannello viene poi sezionato e squadrato ed avviato alla stagionatura, che avviene in pile areate; durante questa ultima fase si ha l'eliminazione delle tensioni interne accumulate durante il ciclo di lavorazione, il pannello alla fine si presenterà quindi stabile e diritto.

Per considerare concluso il ciclo di produzione del pannello manca l'ultima delicata fase di calibratura e levigatura superficiale, che avviene con macchine estremamente precise, capaci di tolleranze dell'ordine del decimo di mm, su spessori fino a 40 mm.

2.1. Tipi di pannello

Diversi sono i tipi di truciolare prodotti, in relazione alla forma e dimensioni delle particelle, alla loro distribuzione attraverso lo spessore del pannello, ed al tipo d'adesivo usato. Si usano normalmente legni dolci, anche se legni duri possono essere aggiunti in varie proporzioni.

I pannelli truciolari sono materiali stabili ed uniformemente consistenti. Quelli costruiti di particelle fini hanno superfici ben lisce e sono ben adatti ad essere impiallacciati. Una gran varietà di pannelli già rifiniti usando piallacci di legno, o laminati di carta o plastica, sono disponibili per un pronto uso decorativo.

Quasi tutti i pannelli di truciolare sono piuttosto friabili ed hanno una resistenza a trazione inferiore a quella del compensato.

Gran parte dei truciolari sono per uso in interni. Come altri prodotti legnosi, essi sono negativamente affetti dall'eccessiva umidità: il pannello si rigonfia in spessore e non ritorna allo spessore originario una volta secco. Tuttavia esistono in commercio truciolari adatti ad essere usati in condizioni d'alta umidità.

I principali tipi di pannelli truciolari sono:

- truciolare a strato singolo, detto anche truciolare semplice, è fatto di un pannello uniforme di truciolati relativamente grossi ed ha delle superfici relativamente ruvide. È ben adatto ad essere impiallacciato o laminato, ma non ad essere dipinto;
- truciolare tristrato, ha un nucleo ben distinto di truciolati grossi laminato tra due strati di truciolati più fini. Gli strati esterni contengono una più alta quantità di resina, che produce superfici più lisce adatte per gran parte delle finiture, inclusa la verniciatura;
- truciolare a densità variabile, una variante al truciolare tristrato, dove il nucleo di truciolati grossolani si trasforma gradualmente in superfici di truciolati finissimi;
- truciolare nobilitato, le superfici sono ricoperte di piallacci selezionati, laminati plastici o di un sottile foglio di melamina. Quelli impiallacciati in legno sono già rifiniti e pronti per ricevere la rifinitura; quelli laminati o con superficie melaminica non hanno bisogno d'ulteriori lavorazioni e si possono usare come tali. Alcuni di questi pannelli in laminato plastico sono già sagomati per uso come piano d'appoggio per cucine componibili. Per i pannelli impiallacciati o ricoperti da fogli melaminici sono normalmente disponibili bordi d'uguale colore.

3.Gli impieghi del legno recuperato

Il legno recuperato, in Italia, è utilizzato principalmente per la produzione di pannelli truciolari e per la generazione di energia tramite combustione. Solo una frazione residuale è impiegata nei settori della produzione delle paste cellulose in sostituzione della fibra di legno vergine, oppure per la produzione di compost. Delle 18 imprese associate a Rilegno, che ricevono in ingresso il materiale selezionato proveniente dalle piattaforme convenzionate, 14 sono produttrici di pannelli truciolari, 2 sono centrali per la produzione di energia e le 2 restanti producono rispettivamente paste per carta e legno cemento (detto anche blocco cassero), un componente per l'edilizia con elevate proprietà isolanti (Basoni,2003b).

Per quanto riguarda la produzione di pannelli truciolari, fin dall'inizio del 1900 furono brevettati diversi procedimenti per la fabbricazione di pannelli partendo da frammenti

legnosi agglomerati in vario modo, ma i primi risultati industriali degni di nota si ebbero nel 1941 in Germania quando la ditta Torfit-Werken presso Brema diede inizio alla produzione di mobili per la casa composti da pannelli di particelle legnose incollate con legante fenolico.

Altre fabbriche seguirono l'esempio e in Svizzera nel 1945 la ditta Novopan introdusse nuovi collanti e tecniche di produzione. Attualmente questo tipo di pannelli costituisce un settore di grandissima importanza nelle industrie del legno di tutto il mondo (Giordano, 2003).

Col progredire della tecnologia le dimensioni dei pannelli sono andate continuamente crescendo sino a raggiungere delle misure veramente notevoli (2,10 × 5,10 m). Lo spessore può variare tra 4 e 35 mm; la massa volumica si situa tra 500 e 750 kg/m³. In sostanza, con la gamma di spessori indicata, questi pannelli possono servire tanto per le imprese del mobile, dell'arredamento e degli imballaggi pesanti, quanto per scopi costruttivi veri e propri, e cioè per divisori e pareti sottili, soffittature, sottofondi per pavimenti e casseforme per cemento armato (Giordano, 2003).

4. Gli aspetti critici nel riciclo del legno

Uno degli aspetti critici nel processo di riciclo del legno consiste nel fatto che il prodotto ottenuto dal riciclo (il pannello truciolare), presenta caratteristiche di resistenza meccanica inferiori a quelle, ad esempio, di un pannello compensato. Elaborando i dati presenti nelle schede tecniche di alcuni pannelli truciolari e compensati, si è infatti ricavato che la resistenza a flessione longitudinale di un pannello truciolare è pari a circa 0,4 volte quella di un pannello compensato di uguale spessore, e il modulo di elasticità a flessione di un pannello truciolare è pari a circa 0,3 volte quello di un pannello compensato sempre di uguale spessore. Per fare quindi in modo che i due pannelli possano resistere alla stessa sollecitazione flessionale, deformandosi allo stesso modo, è necessario che lo spessore del pannello truciolare sia maggiore di quello del pannello compensato di circa 1,6 volte.

Sembra inoltre che un pannello truciolare fatto con trucioli da legno di scarto abbia prestazioni più scadenti di un pannello, sempre truciolare, ma costituito da fibre vergini. Likidis e Grigoriou (2008) hanno infatti costruito in laboratorio un pannello truciolare con fibre vergini e poi l'hanno riciclato andando a recuperare le fibre di legno tramite un processo idrotermico. Hanno quindi poi fatto anche un secondo riciclo. I risultati hanno mostrato che i pannelli prodotti dalle particelle di legno recuperate, presentano una qualità inferiore in tutte le caratteristiche meccaniche e igroscopiche analizzate (ad

eccezione del modulo elastico), rispetto al pannello fatto con particelle originarie; inoltre il secondo riciclo ha causato un'ulteriore degradazione.

Oltre alle caratteristiche del prodotto, risultano critiche, almeno dal punto di vista energetico, anche le modalità di produzione del pannello truciolare da legno di recupero. Lo studio svolto da US EPA (2002) ha sviluppato infatti una valutazione comparata tra la produzione di pannelli in fibra di legno, a partire dal 100% di materie prime vergini e a partire dal 100% di residui post consumo. Da questo studio emerge che il riciclo del legno non è, dal punto di vista energetico, una pratica conveniente: nel processo primario, infatti, la richiesta energetica è di 10745 MJ/t di pannello, mentre per il secondario è di 11600 MJ/t di pannello. Il maggior consumo energetico stimato per il riciclo sarebbe riconducibile sostanzialmente alle perdite di prodotto che occorrono nel processo di recupero e riciclo.

Il legno è un prodotto prezioso tanto per gli usi a cui è destinato quanto per il tempo necessario per produrlo. Oltre che nella costruzione di mobili esso trova impiego diffuso negli imballaggi i quali, una volta esaurito il loro compito, spesso finiscono nelle discariche o bruciati.

Tuttavia questo legno sarebbe ancora utilizzabile o reiterando il precedente uso o dopo essere stato sottoposto ad un processo di riciclaggio.

In analogia a quanto avviene per il riciclo di altri materiali, l'ostacolo più rilevante sta nella sua raccolta ed il conferimento ad un impianto che lo trasformi rendendolo daccapo utilizzabile. Il punto debole della catena è ancora una volta il primo anello, poiché gli scarti si producono molto distribuiti sul territorio e la loro raccolta può diventare molto onerosa.

Il processo che conduce al riciclo del legno deve essere sostenuto da intense campagne di sensibilizzazione che producano in ciascun cittadino la coscienza della importanza di non dispenderlo, gravandosi del piccolo fastidio necessario a renderlo disponibile per i successivi processi di riciclaggio.

Il legno riciclato trova impieghi diffusi nell'industria mobiliera, soprattutto quella dei mobili per cucina, nella quale possono essere utilizzati pannelli realizzati con il legno ottenuto da processi di riciclaggio. Altri settori nei quali trova uso il legno riciclato è nei rivestimenti, allestimenti ignifughi, pareti; in questo modo non vengono abbattuti nuovi alberi e viene riutilizzato materiale ligneo riciclato.

5.1 numeri del legno riciclato

Rilegno è il consorzio nazionale per la raccolta, il recupero e il riciclaggio degli imballaggi di legno in Italia e opera all'interno del sistema Conai (Consorzio Nazionale

Imballaggi). In un recente rapporto ha presentato i dati annuali degli imballaggi riciclati e introdotti sul territorio nazionale, registrandone un aumento annuo dell'1,1% nel 2011.



Figura 5.5: dati riciclaggio imballaggi di legno.

Nel 2011 sono state 2 milioni 306 mila le tonnellate recuperate in tutto il territorio nazionale, dato in calo rispetto al 2010 del 3%. Inevitabile se si pensa la crisi che sta coinvolgendo tutta l'economia, e che di conseguenza trasmette squilibrio nei consumi interni. Tuttavia, nel 2011 nel nostro Paese, sono stati riciclati 1 milione 340 mila tonnellate di materiale legnoso proveniente da imballaggio, ormai inutilizzabile, toccando la percentuale del 58% che supera la soglia prevista dal Testo unico ambientale 152/2006 ferma al 35%. Della quantità recuperata nel 2011 (1.272.447 tonnellate) oltre il 55% è stata destinata al riciclo meccanico delle industrie nel settore dei pannelli truciolari. I dati più recenti indicano che oggi più del 95% del materiale legnaceo recuperato è diretto all'industria mobiliare le quali hanno sostituito le fibre legnose vergini con quello proveniente dal recupero. Inoltre, il recupero ligneo consente di essere riutilizzato sia per la costruzione di blocchi di legno che per la

bioedilizia.

Nel 2011 il 10% degli imballaggi di legno recuperati (232.118 tonnellate) sono stati riparati e destinati alla loro funzione originaria, lo 0,57% (13.226 tonnellate) è stato riutilizzato per processi di compostaggio, mentre il 2,92% è stato adibito al recupero energetico.

Il sistema di riciclo Rilegno si alimenta attraverso una rete di convenzioni con Comuni, aziende, soggetti pubblici e privati per programmare, al meglio, il recupero del legno in modo sistematico su tutto il territorio nazionale. Nel 2011 Rilegno ha, anche, registrato un incremento del numero dei consorziati che sono passati da 2.244 nel 2010 agli attuali 2.275, fra produttori, importatori e fornitori di materiale per gli imballaggi. Un dato positivo nel complesso, visto che le 839.000 tonnellate del milione e 796 mila gestite sono rifiuti legnosi provenienti da imballaggio, pallet, cassette ortofrutticole e imballaggi industriali.

CAPITOLO 6

La carta

1. Definizione

Esistono numerose specie di piante utilizzate per la produzione dei prodotti cartacei, in questo lavoro si descrivono principalmente i processi che impiegano fibre provenienti da conifere o fibre riciclate.

Nel caso della fibra vergine, il legno proveniente dalle conifere ha il vantaggio di avere fibre lunghe e resistenti che portano ad un'ottima formazione della carta. In Europa e nei paesi del nord vengono usati soprattutto abeti e pini, poiché le loro fibre forniscono le proprietà migliori nei processi di produzione della carta.

In aree densamente popolate, come il Regno Unito e l'Europa centrale, risulta economicamente conveniente e ecologicamente sostenibile usare fibre riciclate. Il materiale raccolto è una buona fonte di fibre e di alcuni minerali utili al processo produttivo. Questi materiali possono essere utilizzati per produrre nuova carta 100% riciclata, o come supplemento alla fibra vergine nella produzione di carte di qualità più elevata.

2. Tipologie di pasta

2.1. Produzione di pasta da fibra vergine

La parte principale dell'albero, il tronco, è usato per la produzione di segati. L'industria della pasta e della carta utilizza il materiale residuo delle segherie, rami e cime degli alberi e il materiale ottenuto dalle operazioni di sfoltimento della foresta. Il legno ricavato dalle foreste presenta due parti distinte. La parte interna, costituita dall'utile fibra di cellulosa, e lo strato esterno, costituito dalla corteccia. La corteccia diminuirebbe la qualità della carta se venisse impiegata nella produzione della pasta ed è pertanto eliminata prima del processo e utilizzata come importante biocarburante.

Una volta eliminata la corteccia, il legno può essere trattato in diversi modi per produrre paste meccaniche o chimiche. Ognuno di questi processi porta a differenti tecniche di applicazione, la pasta meccanica può essere prodotta in diversi modi, e la resa è generalmente intorno al 98% della quantità di legno impiegato, producendo in tal modo pasta con opacità elevata. La pasta chimica è prodotta eliminando la lignina dal legno. La lignina è il materiale che agisce da agente legante per le fibre nell'albero in crescita.

Eliminando la lignina, la resa ottenuta della quantità di legno impiegato scende al 50%, producendo fibre con una buona resistenza, ma con minore opacità.

2.2.Pasta legno – Ground Wood

Questo sistema rappresenta il metodo più antico di produzione di pasta, inventato attorno al 1840. I tronchi scortecciati vengono premuti contro una mola rotante, che separa le singole fibre attraverso un'azione di divisione.

Viene aggiunta acqua al processo, che serve anche a mantenere la mola fredda sotto l'intensa frizione dei tronchi premuti contro la pietra. La pasta passa attraverso vagli molto fini che fanno avanzare solo le fibre singole. La pasta viene anche ripulita da eventuali materiali estranei come sabbia e ghiaia.

2.3.Pasta termomeccanica (TMP)

In questo processo i tronchi sono ridotti in chips che vengono lavati per eliminare eventuale sabbia e ghiaia che possono causare logorii o rotture alle macchine di lavorazione. I chip sono riscaldati con il vapore per essere ammorbiditi e sono poi inseriti con acqua pressurizzata nel raffinatore. Il raffinatore è costituito da due dischi controrotanti e ogni disco ha diversi canali che si irradiano da un punto centrale verso il bordo esterno. Questi canali diventano via via più stretti man mano che si avvicinano al bordo esterno del disco.

I trucioli ammorbiditi vengono caricati nel centro e, per azione dei dischi, vengono rotti in fibre singole quando raggiungono il bordo esterno del disco. Le fibre che non sono state completamente separate sono rimandate alla fase di vagliatura e inviate ad un raffinatore di scarti per un ulteriore trattamento.

2.4.Pasta chimica: chiamata anche cellulosa Kraft, processo al solfato

Come con la TMP, i tronchi scortecciati vengono ridotti in chip e lavati prima di andare alla fase di produzione. I chip sono inseriti in un grande serbatoio, chiamato bollitore. Vengono introdotti prodotti chimici che sciolgono la lignina che lega le fibre, separandole dunque le une dalle altre. Il processo viene coadiuvato aumentando la temperatura nel bollitore a circa 150-200°C. La pasta viene poi selezionata per eliminare le fibre che non si sono separate e lavata per eliminare eventuali tracce di prodotti chimici, sabbia o ghiaia. I prodotti chimici utilizzati sono poi riciclati per essere nuovamente utilizzati nel processo.

2.5.Imbianchimento

La pasta prodotta con uno qualsiasi dei processi descritti mantiene ancora una colorazione scura. Tutti i tipi di pasta possono essere sbiancati per aumentare il grado di bianco.

L'imbianchimento è una richiesta primaria per la carta per l'editoria, poiché il bianco rende migliore la riproduzione dei colori.

Sebbene il cloro e il biossido di cloro siano estremamente efficaci nello sbiancare la fibra legno, i problemi ambientali causati da questi elementi hanno comportato l'eliminazione graduale di questi prodotti chimici dal processo di imbianchimento.

Infatti, i composti del cloro non possono essere neutralizzati completamente dall'impianto di trattamento delle acque reflue. Pertanto l'acqua trattata immessa nei fiumi o nel mare conterrebbe ancora residui di composti del cloro, come ad esempio le diossine, che consumerebbero ossigeno e distruggerebbero gli habitat acquatici. La pasta che viene sbiancata senza l'uso di questi prodotti chimici è chiamata totalmente priva di cloro (TCF – Totally Chlorine Free). I prodotti chimici frequentemente utilizzati per l'imbianchimento sono: ossigeno (O_2), ozono (O_3), perossido di idrogeno (H_2O_2).

Per la pasta meccanica l'imbianchimento con perossido è il più comune per ottenere un grado di bianco più alto. Tutti i residui rilasciati da questi composti possono essere trattati più facilmente nell'impianto di trattamento delle acque reflue e l'acqua immessa nei fiumi o nei mari non ha effetti dannosi sulla vita acquatica.

2.6.Produzione di pasta da fibre riciclate

La raccolta di quotidiani, riviste, resi degli editori e rifili di stampa costituiscono la base della pasta realizzata con fibre riciclate. La raccolta richiede investimenti significativi per fornire adeguati contenitori per il riciclo in luoghi facilmente accessibili da parte delle persone. La raccolta pubblica affianca la raccolta commerciale effettuata da editori e stampatori per fornire un contributo significativo per la produzione della carta.

La prima fase della produzione combina una quantità determinata di quotidiani e riviste, una soluzione di sapone agli acidi grassi, una grande quantità di acqua calda e il tutto ruota in un grande recipiente di spappolamento.

Questa azione separa le fibre e inizia il processo di disinchiostatura, sciogliendo il legame tra fibra e inchiostro.

Questa fase separa anche la maggior parte del materiale "pesante" e indesiderato che spesso è aggregato a quotidiani e riviste. Ad esempio i punti metallici, il materiale pubblicitario staccabile nelle riviste, le custodie dei CD, l'imballo di plastica e altri oggetti estranei. Gli ulteriori materiali indesiderati sono eliminati con pulitori a centrifuga e vagliando la pasta.

La pasta viene di seguito pulita in un processo di lavaggio multifase che elimina sistematicamente più del 99% dell'inchiostro che aderisce alle fibre. Il sapone agli acidi grassi è introdotto nuovamente in un grande recipiente contenente acqua calda e pasta non completamente ancora pulita. Il sapone indebolisce ulteriormente i legami dell'inchiostro dalle fibre. Viene fatta passare dell'aria compressa dal fondo del recipiente verso la superficie. In questo modo si producono delle bolle di sapone che attraggono le particelle di inchiostro rilasciate. Le bolle con l'inchiostro attaccato salgono sulla superficie dell'acqua e formano una schiuma sporca.

La schiuma viene poi scartata nell'acqua di scarico. Questa operazione viene ripetuta usando recipienti multipli, fino a che la pasta è completamente pulita. Può essere necessario un ulteriore imbianchimento della pasta, per stabilizzare il grado di bianco ad un livello uniforme e costante.

2.7. Durata di vita delle fibre riciclate

La fibra vergine è costantemente necessaria per sostenere il processo di riciclo, poiché le fibre possono essere riciclate solo fino a sette volte e solo circa l'80% delle fibre riciclate può essere recuperato nel processo di disinchiostatura. Il riciclo ripetuto rende la fibra gradualmente più corta e più debole fino alla completa eliminazione. Queste fibre indebolite possono essere successivamente bruciate per produrre energia.

2.8. L'impasto

Una volta che la pasta è stata portata al grado di bianco desiderato, può essere aggiunto del colorante per stabilizzare la tonalità corretta. L'occhio umano è molto percettivo alle differenze di tonalità. A seconda del prodotto finale richiesto, possono essere aggiunti altri additivi e materiali di processo. Sono aggiunti grandi volumi di acqua prima di trasferire l'impasto nella cassa d'afflusso.

Nella cassa d'afflusso, la consistenza dell'impasto è costituita per il 99% di acqua e materiali di processo e per l'1% di fibra. Questo volume di acqua è necessario per impedire la flocculazione. La flocculazione è la tendenza delle fibre a raggrupparsi insieme. Se si lascia che questo accada, si avrà una non ottimale formazione del foglio. Per impedire la flocculazione, nella cassa d'afflusso viene creata una turbolenza. La cassa d'afflusso distribuisce un getto uniforme e determinato di impasto per iniziare a formare il foglio di carta.

3. Tipologie di macchinari e processi

3.1. Macchina per la produzione di carta Fourdrinier o a doppia tela

La sospensione di fibre esce dalla cassa d'afflusso in un getto controllato e costante sulla tela. La tela è una matrice/setaccio a piccoli fori che permette alla sospensione di iniziare il processo di drenaggio e alle fibre di formare una struttura intrecciata. La tela lavora circa alla stessa velocità del getto della sospensione. Questo viene chiamato rapporto getto-tela e man mano che l'acqua nella sospensione comincia a drenarsi, si determina la formazione delle fibre in uno strato coeso e intrecciato. La maggior parte delle fibre si orienta nella direzione della tela. Questo produce carta con maggiore resistenza nella direzione di macchina, rispetto alla direzione trasversale. Se il processo di drenaggio si affidasse solo alla gravità, il foglio di carta prodotto avrebbe due superfici differenti. Per impedire la produzione di carta con due superfici diverse, una seconda tela scorre sulla parte superiore della sospensione mentre questa viaggia sulla tela di fondo. L'utilizzo di lame drenanti e casse aspiranti permette il drenaggio dalla parte superiore della sospensione, uniformando in questo modo la distribuzione delle fibre fini e riducendo la differenza tra i due lati. La sezione della tela aumenta il contenuto secco dall'1% al 16-19%.

3.2. Macchina per la produzione della carta a tele gemelle

Uno sviluppo più moderno nella tecnologia cartaria ha visto la produzione della gap-former (tele gemelle), usata in macchine continue ad alta velocità. Questa tecnologia prende la sospensione di fibre direttamente dalla cassa d'afflusso e la immette, attraverso ugelli individuali, per tutta la larghezza della macchina continua, direttamente tra due tele. Questo permette il drenaggio contemporaneo dei due lati, producendo in questo modo una struttura più uniforme nella formazione del foglio.

3.3. Sezione presse

Una volta compiuta la prima fase di formazione del foglio di carta, è necessaria un'ulteriore eliminazione di acqua attraverso la sezione delle presse all'interno della macchina continua. Il foglio, che ha ancora un alto contenuto di acqua, passa attraverso una serie di grandi rulli in acciaio, che lo pressano per rimuovere ulteriori quantità di acqua. Il velo di carta scorre attraverso i rulli di compressione in acciaio e un materiale assorbente in feltro. Questo feltro assorbente, sotto forma di nastro continuo, agisce come carta assorbente per recuperare l'acqua che verrà poi estratta dal feltro tramite un sistema di vuoto prima che questo incontri la carta al giro successivo. Al termine della sezione presse, il contenuto secco è aumentato al 40-50%. Il foglio di carta può ora supportarsi autonomamente.

3.4.Seccheria

Per stabilizzare il contenuto finale di umidità della carta, sono eliminate ulteriori quantità di acqua per evaporazione. La seccheria è costituita da una serie di cilindri riscaldati a vapore, attraverso i quali passa il foglio. I cilindri sono disposti in modo tale che il velo di carta entra prima in contatto con un lato e successivamente con l'altro, per assicurare un'asciugatura omogenea. Il foglio può essere supportato durante questa fase, oppure può essere autoportante, a seconda del modello della macchina. Il supporto migliora il contatto e il trasferimento di calore e favorisce le prestazioni ad alta velocità. Alla fine di questa sezione, la carta è stata prodotta secondo la procedura richiesta e da questo momento possono seguire diverse ulteriori fasi di lavorazione. Per la carta giornale, una calandra può essere tutto ciò che necessita al prodotto finito. Una calandra è formata da un numero di rulli in acciaio che entrano in contatto con ciascun lato della carta per lisciare le fibre sulla superficie. Alcune macchine continue completano il processo con una calandra morbida. Una calandra morbida ha due coppie di rulli in acciaio. Un rullo in ogni coppia è coperto con un materiale morbido in gomma e ogni coppia è disposta in modo tale da realizzare il contatto su entrambi i lati della carta con ciascuno dei rulli. L'accoppiamento del rullo morbido con uno più duro produce diverse forze frizionali sulla carta e impartisce un leggero effetto lucido quando liscia le fibre. La carta che necessita di ulteriori processi di lavorazione è avvolta attorno ad una bobina in acciaio per formare le bobine madri, anche chiamate "tamburi". Alla fine il contenuto secco è del 90-95%, a seconda del tipo di prodotto.

3.5.Patinatura

Per la produzione di carta di alta qualità, elevato grado di bianco, una durata maggiore e una superficie di stampa migliore, può essere aggiunto uno strato di patina sulla carta base prodotta (supporto). Lo strato di patina è costituito principalmente da caolino (argilla cinese) e carbonato di calcio (CaCO₃). Ulteriori agenti leganti sono necessari per assicurare che il materiale fine e polveroso a base di caolino e carbonato di calcio aderisca alla carta base formando uno strato coeso. Possono essere aggiunti anche altri additivi, come ad esempio sbiancanti ottici che migliorano ulteriormente la percezione del bianco della carta. Gli sbiancanti lavorano convertendo la luce ultravioletta nello spettro visibile, donando una tonalità blu alla carta. La carta può avere infine una finitura lucida o opaca, a seconda degli ulteriori processi.

3.6.Patinatrice

Nella maggior parte dei processi di produzione di carta per l'editoria, la patina può essere applicata in due modi diversi o con una combinazione dei due: patinatura a

lama o a film. La patinatura a film applica sul supporto uno spessore di patina prestabilito. Lo strato di patinatura segue i contorni della carta base, producendo uno strato di patinatura di spessore costante. La patinatura a lama applica uno strato di patinatura maggiore rispetto al volume finale di patina richiesto. La patinatura in eccesso viene raschiata dal supporto mediante una lama, che lascia uno strato liscio di patina sulla superficie. In entrambi i metodi, prima viene patinato ed essiccato un lato della carta e successivamente si prosegue con il secondo lato nello stesso modo. A seconda del produttore della macchina, l'essiccazione è ottenuta mediante essiccatori a infrarossi o ad aria calda.

3.7. Calandratura

Per conferire alla carta l'effetto finale, la carta viene calandrata. Il compito della calandra è di correggere eventuali piccole anomalie nella struttura, aumentare il grado di lucido e di liscio. Per la carta patinata, la calandra lucida la superficie per conferire maggiore omogeneità e una finitura lucida a seconda della specifica richiesta. Per la carta BC (Bianca Calandrata) il caolino e il carbonato di calcio usati per realizzare la patinatura sono aggiunti alla pasta nella fase di miscelazione (impasto), prima di arrivare alla cassa d'afflusso della macchina continua.

Durante la formazione del foglio, questi minerali sono distribuiti per tutta la struttura della carta, con una concentrazione maggiore che migra verso le superfici esterne della carta. Questi minerali, insieme alle fibre, formeranno una struttura che si consoliderà sulla superficie mediante la pressione e il calore. Il risultato è una superficie lucida e uniforme, idonea per la stampa offset con forno e la stampa rotocalco.

Le calandre si trovano in numerose forme: calandre morbide e super calandre. In ogni caso queste eseguono compiti di "finitura" della superficie della carta secondo la specifica finale. Le calandre sono costituite da serie di rulli in acciaio, tra i quali passa la carta. I rulli danno calore e pressione alla carta, che lucida la superficie al livello richiesto. Ogni rullo alternato può essere rivestito con un materiale plastico più morbido, che aiuta l'effetto lucidante mediante un leggero differenziale di velocità tra il rullo in acciaio e il rullo coperto di gomma. Anche il calore del vapore che passa attraverso il rullo in acciaio cavo aiuta il processo.

3.8. Taglio e avvolgimento

La carta è sottoposta ad attente analisi di laboratorio e se i risultati sono soddisfacenti, la carta conforme procede verso l'avvolgitore. Qualunque sia la qualità prodotta, è ancora sotto forma di bobina madre o tamburo. La carta deve essere tagliata e avvolta

secondo le esigenze dell'utilizzatore. Vengono usati programmi informatici per pianificare il taglio della bobina madre per ottimizzare la carta disponibile, con uno spreco minimo di carta dai bordi. La bobina madre è posizionata su un lato dell'avvolgitore, singole anime in cartone di lunghezza prefissata sono collocate nei bracci delle stazioni di ricevimento. Quando le guide della carta sono fissate alle anime in cartone, la carta viene messa in tensione, i coltelli circolari tagliano la carta dalla bobina madre che si srotola e si avvolge sulle nuove anime formando delle nuove bobine.

3.9.Imballaggio ed etichettatura

Le bobine sono adesso della qualità, della dimensione, del diametro e della grammatura richiesta dal cliente/utilizzatore finale. Per proteggerle lungo tutta la catena di trasporto, le bobine sono avvolte in un imballo resistente all'umidità ed etichettate con le informazioni necessarie per una facile identificazione.

Le protezioni per le estremità interne, l'imballo del fianco, le protezioni per le estremità esterne e l'etichettatura avvengono tutte in maniera automatizzata. Le bobine sono ora pronte per essere spostate in magazzino o spedite direttamente al cliente.

3.10.Controllo di processo

Durante ciascuna fase di produzione della pasta e della carta, viene eseguito un rigoroso controllo da parte di operatori altamente specializzati. Oltre alle loro conoscenze tecniche, sofisticati sistemi di controllo computerizzati monitorano e regolano i parametri critici in ogni fase del processo di produzione. Questi sono ulteriormente coadiuvati da ispezioni quali sistemi di laboratorio come "doppia verifica" ai sistemi di controllo in linea nei processi di produzione. Questi sistemi assicurano che la carta prodotta soddisfi in modo costante le specifiche tecniche della qualità e si comporti al meglio in ciascuno dei processi di stampa adatti alla qualità prodotta.

4.Materia prima rinnovabile

Sia vergine dalla foresta o riciclata, la fibra legno è la base di tutti i nostri prodotti. La fibra legno è una risorsa rinnovabile. È riciclabile, e quando alla fine è esausta può essere utilizzata per la produzione di energia. Il prodotto residuo, l'anidride carbonica, viene riassorbito dagli alberi in crescita. Esistono sistemi per la certificazione della gestione sostenibile delle foreste, come PEFC e FSC. La loro missione è di garantire una silvicoltura attenta all'ambiente, vantaggiosa dal punto di vista sociale ed economicamente sostenibile in tutto il mondo.

L'acqua è usata per diversi scopi: sciogliere le materie prime, gli additivi e i prodotti chimici usati per la produzione della carta; trasportare le materie prime dagli impianti dove sono prodotte alla macchina continua; raffreddare gli impianti; per scopi sanitari. Il fabbisogno di acqua pulita nel tempo è stato costantemente ridotto per ragioni di efficienza energetica e per un utilizzo più attento. Il trattamento delle acque reflue avviene in tre fasi: meccanica, biologica e chimica.

L'utilizzo di energia si basa, per la gran parte, sui biocarburanti per la produzione combinata di elettricità e calore. L'uso delle diverse fonti energetiche varia a seconda dell'ubicazione della cartiera e dalla produzione. L'elettricità è usata principalmente per produrre pasta meccanica e per azionare motori e pompe. Nel processo TMP circa il 60% dell'energia elettrica è recuperato sotto forma di vapore a bassa pressione, che viene soprattutto usato per la fase di essiccamento del foglio nella macchina continua. Il calore è ottenuto da numerose fonti: dalla combustione di biocarburante come rami e cime degli alberi, dalla combustione di gas naturale, spesso combinata con la produzione di elettricità e dal recupero di energia nei processi di spapolamento meccanico. La seccheria della macchina continua è il maggiore consumatore di calore sotto forma di vapore.

Migliorando e sviluppando continuamente i nostri processi produttivi l'industria cartaria ha ridotto al minimo le emissioni in aria e in acqua.

5. La pasta da macero

La pasta da macero ha un ruolo molto importante nell'industria nazionale della carta. Il tasso di utilizzo del macero (consumo di macero/produzione cartaria) si attesta infatti al 55% (Comieco, 2008).

La carta da macero proviene da giornali invenduti, da sfridi di lavorazione e dalla raccolta differenziata dei rifiuti urbani.

La carta raccolta subisce innanzitutto una selezione manuale per l'eliminazione delle frazioni estranee e quindi una separazione nelle diverse tipologie di materiali cellululosici. Solitamente, all'uscita della selezione si hanno quattro flussi: il cartone, la carta di qualità, la carta mista e gli scarti. Alla cartiera il materiale selezionato viene quindi posto nel pulper e miscelato con acqua, formando un impasto fluido che, dopo una successiva fase di raffinazione, procede verso la sezione di formazione del foglio di carta. Qualora sia necessario produrre carta con un buon grado di bianco, si deve ricorrere anche ad un trattamento di disinchiostrazione.

Quando la carta da macero subisce un processo di lavorazione perde progressivamente le caratteristiche di resistenza meccanica e possiede requisiti

prestazionali sempre minori. Come conseguenza è possibile individuare un processo a cascata che consente di passare dalla carta per usi grafici di alta qualità (libri, giornali, riviste) o dalla carta Kraft (per imballaggio), che presenta forti resistenze allo strappo, alla carta da giornali, al cartoncino per alimenti secchi (pasta o biscotti), al cartone ondulato, fino ai vassoi per uova, frutta o verdura, che sono prodotti con l'utilizzo di fibre pressate che hanno perso ormai gran parte della loro consistenza (Veronesi, 2003b). Attualmente, nel settore packaging, il cartone ondulato e il cartoncino sono prodotti con un largo utilizzo di carta riciclata. Infatti, uno dei principali utilizzi del macero è quello della produzione di cartoncino per scatolame, che è generalmente costituito da quattro strati: copertina, sottocopertina, centro e retro. In particolare, il centro, che rappresenta il 60% circa del peso del cartoncino finito, può essere realizzato utilizzando il macero anche di più scarsa qualità, ossia quello derivante dalla raccolta urbana della carta: ciò è possibile perché il centro non viene a contatto con il contenuto e non deve essere stampato.

Lo studio di MetaFore (2006) riporta che il cartone utilizzato nel settore del packaging può contenere fino ad un massimo di pasta da macero del 66%; tale valore si abbassa al 44% per i giornali e diminuisce fino al 14% per le carte da scrivere e per ufficio. Ringman (2007) sostiene invece che in alcune particolari applicazioni del packaging si può arrivare anche a un utilizzo di pasta da macero pari al 91%, mentre nella produzione di giornali si utilizza anche un 84% di pasta da macero.

Per quanto riguarda l'impiego di fibre riciclate nel settore carte per uso igienico sanitario (tissue), la richiesta di caratteristiche di sofficià, assorbenza, voluminosità e resistenza meccanica è in contraddizione con l'impiego della carta da macero. Tuttavia nuove tecnologie di asciugamento, che utilizzano una macchina moncilindrica continua, consentono ora di impiegare impasti ad alta percentuale di fibre riciclate, ottenendo per la carta tissue caratteristiche simili a quelle per la carta prodotta con il 100% di fibre vergini (Veronesi, 2003b).

6.Gli aspetti critici nel riciclo della carta

La lavorazione della carta da macero comporta ogni volta una perdita di fibre del 20-25% circa; pertanto, tenuto conto del progressivo deterioramento delle prestazioni determinato dal riciclo, la stessa carta da macero può essere riutilizzata per un numero limitato di volte. Veronesi (2003b) riporta a questo proposito un numero massimo di turni di riciclo pari a 4 o 5, MetaFore (2006) riporta un valore pari a 6, Schmidt et al. (2007) riportano un numero compreso tra 4 e 6, l'European Topic Centre on Waste and Material Flows (2004) indica un numero massimo di turni di riciclo pari a 6-7.

Inoltre una delle tradizionali limitazioni nell'uso delle fibre riciclate è costituita dalla significativa presenza di contaminanti cerosi o bituminosi presenti nei maceri, che non solo determinano limitazioni per l'aspetto esteriore del prodotto finale, ma anche problemi di funzionalità dei macchinari (Veronesi, 2003b). L'industria della carta sta però sviluppando nuovi processi e impianti che riducano la quantità di materiali di scarto prima di trattare l'intera massa, evitando di disperdere così i contaminanti. In quest'ambito, tra le tecnologie per il frazionamento delle fibre e i processi di dispersione, gli epuratori divengono gli elementi chiave.

CONCLUSIONE

Negli ultimi dieci anni sono stati raggiunti significativi progressi nel recupero e riciclo degli imballaggi e dei loro rifiuti. Gli aspetti critici permangono e sono molto variegati ed eterogenei: difficoltà di raccolta del rifiuto nel caso del legno, presenza di polimeri estranei che modificano in maniera negativa le caratteristiche del polimero, problemi ambientali di inquinamento nel caso dell'acciaio e dell'alluminio, limitato numero di cicli di riciclaggio nel caso della carta, qualità del rottame raccolto nel caso di vetro.

Un problema di fondo rimane ancora aperto: si possono migliorare o ottimizzare le quantità consumate e l'impatto ambientale degli imballaggi?

Dato che gli imballaggi sono troppi, molte persone propongono di usare prodotti sfusi e acquistare i prodotti direttamente dal produttore. Questa azione non si può fare perché la nostra società non può fare a meno degli imballaggi. Da un lato lo scopo dell'imballaggio è quello di facilitare il contenimento, la protezione, la movimentazione, la spedizione e l'uso del prodotto, dall'altro lato vi è un ruolo ben maggiore che è quello di prevenire il danneggiamento delle merci e l'eccessiva insorgenza di rifiuti.

Per questa ragione l'intero sistema dell'imballaggio deve poter rispondere all'importante concetto di imballaggio responsabile che significa: ottimizzare gli imballaggi e minimizzare gli scarti.

Gli imballaggi sono moltissimi perché sono numerosi i prodotti che li riguardano e sono anche una fonte di informazione e comunicazione dall'azienda al cittadino. Ciascuna azienda, però, usa l'imballaggio che più le conviene, di solito quello più "alla moda" e che il consumatore apprezza di più in quel momento.

Una proposta è quella di organizzare, a livello italiano oppure europeo, la produzione e l'uso degli imballaggi in modo tale che quelli messi in commercio siano il minimo indispensabile, abbiano il minor impatto ambientale, generino la minima quantità di rifiuti e siano quasi totalmente recuperabili e riciclabili.

È ipotizzabile che in un futuro non molto lontano, un imballaggio potrà entrare in commercio a condizione che rispetti certe regole: sia recuperabile in modo certo, sia possibile seguirlo in tutto il suo "ciclo di vita" cioè da quando entra in commercio fino a quando diventa rifiuto. La condizione di un imballaggio di essere totalmente riciclabile è quella di disporre di standard di riferimento scientificamente definiti per ogni imballaggio e per ogni settore di impiego.

BIBLIOGRAFIA

Lucia Rigamonti, Mario Grosso, 2009, Riciclo dei rifiuti: analisi del ciclo di vita dei materiali da imballaggio, Dario Flaccovio Editore.

Serope Kalpakjian, Steven R. Schmid, 2008, Tecnologia Meccanica, Pearson Prentice Hall.

Veronesi V., Russo A., 2003, Il recupero dell'alluminio, in "I mercati del recupero – Un'analisi di sistema" a cura di Pogutz S., Tencati A., Ed. Maggioli.

Veronesi V., 2003, Il recupero della carta, in "I mercati del recupero – Un'analisi di sistema" a cura di Pogutz S., Tencati A., Ed. Maggioli.

Rossi L., 2000, Cenni storici e materia prima, in "Alla scoperta del pianeta carta", a cura di Assocarta.

SITOGRAFIA

http://greenreport.it/_new/index.php?page=default&id=15066

http://www.archinfo.it/fabbricazione-del-vetro/0,1254,53_ART_127451,00.html

<http://www.emattei-urbino.it/meccanica/docs/2522.pdf>

<http://www.sanpellegrino-corporate.it/riciclo-plastica-risparmio-72-miliardi-euro.aspx>

http://www.novambiente.it/index.php?option=com_content&view=article&id=1386:il-riciclo-della-plastica&catid=55:rifiuti&Itemid=227

