



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTA' DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA GESTIONALE

PROCESSI DI LAVORAZIONE E RICICLAGGIO DEI POLIMERI

RELATORE: CH.MO PROF. Enrico Savio

LAUREANDO: Massimiliano Perigozzo

ANNO ACCADEMICO: 2010-2011

Indice

Introduzione	1
Capitolo 1 - Polimeri	
1.Struttura	2
1.1.Caratteristiche	2
1.2.Polimerizzazione	2
1.2.1.Polimerizzazione per condensazione	2
1.2.2.Polimerizzazione per addizione	2
1.2.3.Polimerizzazione al plasma	2
1.3.Catene polimeriche	3
1.4.Cristallinità	4
1.5.Temperatura di transizione vetrosa	5
2.Classificazione	5
2.1.Termoplastici	5
2.2.Termoindurenti	6
3.Elastomeri	7
4.Biopolimeri	7
4.1.Caratteristiche	7
4.2.Polimeri a base di amido	8
4.3.Polimeri a base lattica (PLA)	8
4.4.Il mercato	8
5.Polimeri maggiormente utilizzati	8
5.1.Polietilene (PE)	8
5.1.1.Caratteristiche	9
5.1.2.Il mercato	9
5.2.Polipropilene (PP)	9
5.3.Polistirene (PS) e ABS	10
5.4.Cloruro di Polivinile	11
Capitolo 2 - Processi di lavorazione dei polimeri	
1.Estrusione	12
1.1.Estrusori monovite	12
1.2.Estrusori di degassaggio	13
1.3.Estrusori a cascata	13
1.4.Estrusori bivate	14
2.Stampaggio a iniezione	15
3.Stampaggio rotazionale	16
4. Calandratura	16
5. Stampaggio mediante soffiatura	17
6. Espansione	17
7. Termoformatura	17
8. Colata	

Capitolo 3 - Il riciclaggio delle materie plastiche

1. Il riciclo meccanico	18
1.1. La raccolta	18
1.2. La selezione	19
1.3. Il lavaggio	20
1.4. L'essiccamento	20
1.5. La compattazione	20
2. Il riciclo chimico	22
2.1. La pirolisi	22
2.2. L'idrogenazione	22
2.3. La gassificazione	22
2.4. La chemiolisi	22
2.5. La glicolisi, la metanolisi e la ammonolisi	22
3. La termovalorizzazione	22

Capitolo 4 - Situazione italiana ed europea sullo smaltimento dei rifiuti e delle plastiche

1. Raccolta differenziata in Italia	25
2. Incenerimento dei rifiuti in Italia	26
3. Smaltimento dei rifiuti nei Paesi UE	27
4. Processi di riciclaggio di materie organiche	28
4.1. Compostaggio	28
4.2. Digestione Anaerobica	29
4.3. Trattamento meccanico-biologico	29
5. Nuove tecnologie di riciclaggio	29
5.1. Polyfem (Polymer Fillers Emulsified Materials)	29
5.2. Riciclo di imballaggi in poliaccoppiato	30
Conclusioni	32
Bibliografia	33

Introduzione

Questo contributo prende in esame il tema delle materie plastiche, della loro lavorazione e del loro riciclaggio o smaltimento, temi di fondamentale importanza in un settore che registra a livello mondiale cadenze produttive di circa 250 milioni di tonnellate annue.

Tali quantità impongono la necessità di una ottimizzazione della produzione di materie plastiche e di un loro responsabile smaltimento. Attualmente i maggiori plant del mercato mondiale stanno sempre più indirizzando i loro investimenti e le loro ricerche verso lo sviluppo di tecnologie di produzione di bioplastiche a minor impatto ambientale.

Un ulteriore motivo per canalizzare gli sforzi e la ricerca verso questo tipo di produzione è rappresentato dal fatto che quasi un terzo della plastica prodotta è di tipo "usa e getta", per lo più utilizzato nel settore dell'imballaggio, e ciò grazie alle ottime proprietà intrinseche del materiale quali la resistenza meccanica e la resistenza agli attacchi chimici. Tutto ciò si accompagna ad una peculiare e straordinaria leggerezza del materiale, cosa che risulta fondamentale nel settore dell'approvvigionamento e della logistica.

Per la eccellente resistenza agli attacchi chimici, i prodotti plastici presentano certo eccezionali vantaggi, quali un'ottima durata di vita del prodotto rispetto ad altri materiali utilizzati, ma d'altra parte implicano anche notevoli problematiche in fase di smaltimento. Un banale esempio di prodotto plastico non degradabile è la comune gomma da masticare.

Il mercato delle plastiche ha subito nel biennio della crisi mondiale 2008-2009 una flessione dovuta sia al calo delle vendite, sia a scelte fatte dalle aziende, dettate da un'estrema prudenza. Attualmente il mercato ha ripreso la sua crescita: da un lato le maggiori aziende stanno ampliando i loro siti per incrementare le cadenze produttive, d'altro lato la ricerca, come già detto, si sta spostando verso il nuovo mercato dei biopolimeri.

Nel presente lavoro si cercherà di analizzare i principali fattori a sfavore del riciclaggio dei polimeri, fattori dovuti, come si vedrà, soprattutto alla scarsa competitività economica rispetto alla produzione tradizionale di componenti plastici e alla mancanza di dati qualitativi sulla storia e sulla composizione del materiale riciclato, elementi che potrebbero compromettere le proprietà del prodotto finale riciclato.

Inoltre verrà preso in esame il tema della raccolta differenziata dei rifiuti e delle plastiche a livello regionale, nazionale ed europeo, cercando brevemente di analizzare le diverse scelte fatte dagli stati europei per poi confrontarle con quanto avviene in Italia.

CAPITOLO 1

Polimeri

1.Struttura

1.1.Caratteristiche

Fra i materiali strutturali dei polimeri si possono distinguere materiali ceramici, materiali metallici e materiali polimerici. Questi ultimi si possono dividere in organici e inorganici in relazione al fatto che contengano o non contengano carbonio. I polimeri organici possono essere distinti in polimeri organici naturali o polimeri organici sintetici.

I polimeri sono materiali composti da molecole di grandi dimensioni definite macromolecole. I polimeri nella loro forma base sono formati da monomeri che unendosi fra loro formano lunghe catene, chiamate catene polimeriche. Dall'unione di queste si formano i polimeri. Questi si possono dividere in due gruppi: gli omopolimeri composti da un solo monomero, e i copolimeri caratterizzati dall'essere composti da due o più monomeri.

Generalmente i polimeri si contraddistinguono per le seguenti proprietà: bassi valori di densità, resistenza, rigidità, bassa conducibilità termica ed elettrica, elevato coefficiente di dilatazione e buona resistenza all'attacco chimico (per esempio il tempo stimato di degradazione del polistirolo è di circa 1000 anni); tutto ciò a fronte di un peso ridotto, che li rende materiali ideali per la realizzazione di molti prodotti.

Le proprietà di uno specifico polimero, possono essere estremamente eterogenee, e sono determinate da:

- struttura del monomero o dei monomeri;
- forma e grandezza delle molecole;
- catene polimeriche.

1.2.Polimerizzazione

Con il termine polimerizzazione si intendono tutti quei processi finalizzati al collegamento dei monomeri per costituire le catene.

I principali processi per polimerizzare avvengono per *condensazione*, per *addizione* e al *plasma*.

1.2.1.Polimerizzazione per condensazione

Per tale polimerizzazione si utilizzano due tipi di monomeri reagenti e come sottoprodotto della reazione si ha la condensazione di acqua. Le molecole polimeriche si accrescono fino a quando uno dei due reagenti si è consumato.

1.2.2.Polimerizzazione per addizione

In questo processo un iniziatore apre il doppio legame tra gli atomi di carbonio e inizia il collegamento attraverso l'aggiunta di ulteriori monomeri alla catena. Tutto ciò avviene ad una elevata velocità solitamente in pochi secondi.

1.2.3.Polimerizzazione al plasma

Questa si utilizza principalmente per il rivestimento di un substrato. Attraverso un canale vengono introdotti dei monomeri in una zona di reazione, delimitata da pareti in quarzo. In questa zona è presente un plasma a bassa pressione, cioè un gas totalmente o parzialmente ionizzato, che oscilla a temperature comprese fra i 60°C e i 150°C. All'interno della zona di reazione le molecole di monomero vengono riscaldate a causa dello scontro fra elettroni, provocando reazioni chimiche che

richiederebbero temperature ben più elevate. Con questo processo si possono ottenere superfici idrofile o idrofobe, ma anche superfici antigraffio in sostituzione del vetro. Durante la polimerizzazione al plasma (fig.1) i monomeri si uniscono attraverso un legame covalente o primario, così chiamato per la sua forza, e formano le catene polimeriche che, invece, si assemblano fra loro attraverso legami secondari come quelli ionici, che sono molto più deboli dei precedenti di uno o due ordini di grandezza.

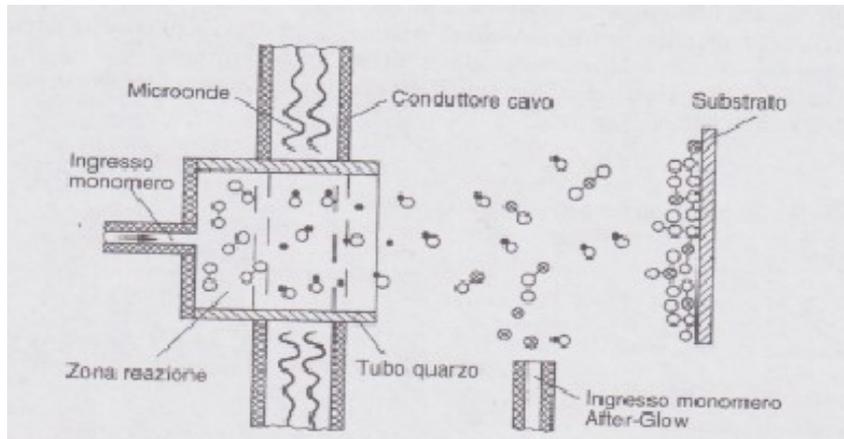


Fig.1 Polimerizzazione al plasma

Fonte: H.Saechtling, 2006, *Manuale delle materie plastiche*

1.3.Catene polimeriche

Le catene polimeriche (fig.2) si distinguono in:

- lineari: non necessariamente assumono forma rettilinea;
- ramificate: durante la sintesi del polimero si uniscono alle catene principali delle catene minori, situate lateralmente. Rispetto alle precedenti le catene ramificate hanno densità inferiori perché le ramificazioni ostacolano il compattamento e impediscono il moto relativo, causando un aumento di resistenza a deformazione e a rottura;
- reticolate: hanno una struttura tridimensionale composta da catene collegate da legami covalenti;
- a rete: sono costituite da tre reti tridimensionali di tre legami covalenti, e sono caratterizzate da una alta resistenza.

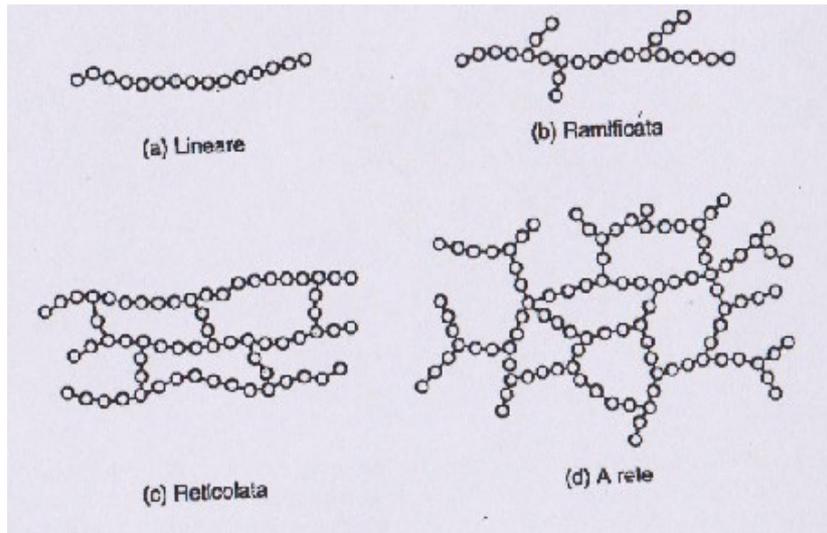


Fig.2 Catene polimeriche

Fonte: S. Kalpakjian et S. R. Schmid, 2008, *Tecnologia meccanica*

1.4.Cristallinità

Le catene si possono distribuire in modo cristallino o amorfo (Fig3).

Nel primo caso si è in presenza di una distribuzione ordinata delle molecole e questo aspetto modifica notevolmente le proprietà meccaniche e fisiche del polimero. Infatti all'aumentare della cristallinità aumenta la rigidità, la durezza, la densità, la resistenza ai solventi e al calore, e diminuiscono duttilità e gommosità. Ad esempio gli elastomeri, come gli pneumatici, presentano una struttura prevalentemente amorfa.

La cristallinità può essere controllata attraverso un'adeguata impostazione della velocità di raffreddamento durante la solidificazione. Il grado di cristallinità è influenzato anche dal tipo di catene coinvolte, e chiaramente è più facile che catene lineari si compattino in modo ordinato rispetto a catene altamente ramificate.

Nel secondo caso lo stato amorfo è determinato invece da una sorta di confusione di compattamento delle catene, e ciò va a discapito delle proprietà fisiche e meccaniche sopra elencate.

Per quanto attiene invece i polimeri semicristallizzati, essi contengono entrambe le configurazioni e vengono anche chiamati materiali a due fasi.

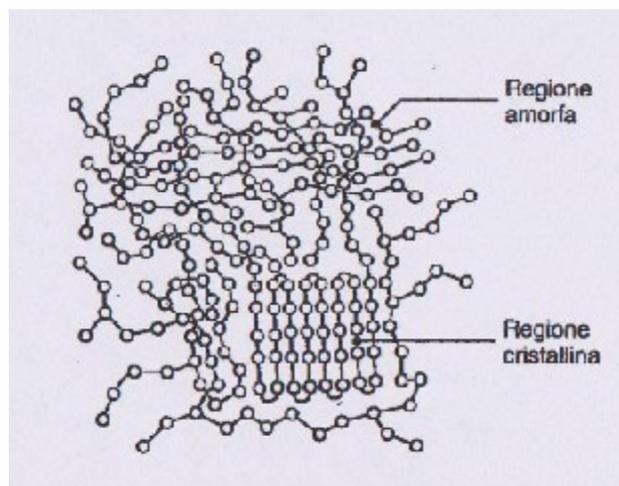


Fig.3 Cristallinità

Fonte: S. Kalpakjian et S. R. Schmid, 2008, *Tecnologia meccanica*

1.5. Temperatura di transizione vetrosa

I polimeri amorfi non presentano un punto di fusione ben definito, ma in un breve intervallo di temperatura cambiano in modo drastico il loro comportamento meccanico. Questa temperatura, che varia da polimero a polimero, viene chiamata temperatura di transizione vetrosa, e a questa temperatura i polimeri amorfi passano dall'esser duri, rigidi, fragili e vetrosi all'esser gommosi o coriacei.

Per la determinazione di tale temperatura viene diagrammato il volume specifico del materiale in funzione appunto della temperatura, in modo da poter osservare il brusco cambiamento di pendenza della curva che indica che a tale temperatura cambiano nettamente le caratteristiche fisiche del materiale.

Invece i polimeri semicristallizzati, a causa dei loro cambiamenti strutturali, presentano un netto punto di fusione.

Nella tabella 1 vengono riportate alcune temperature di transizione vetrosa e di fusione di polimeri, che saranno poi analizzati in dettaglio.

Materiale	Temperatura di transizione vetrosa °C	Temperatura di fusione °C
Polistirene	100	239
Polietilene-HD	-90	126-135
Polietilene-LD	-110	105-118
Polipropilene	-14	162-168
Cloruro di Polivinile	87	212

Tab.1 Temperatura di transizione vetrosa e punto di fusione

Fonte: S. Kalpakjian et S. R. Schmid, 2008, *Tecnologia meccanica*

2. Classificazione

Le materie plastiche vengono classificate in due macroinsiemi:

- termoplastiche
- termoindurenti

2.1. Termoplastiche

Sono polimeri che hanno la caratteristica di avere catene unite da legami deboli, cioè non reticolate.

Aumentando la temperatura al di sopra della temperatura di transizione vetrosa o del punto di fusione questi polimeri diventano più facili da stampare o da formare, poiché, a causa delle vibrazioni delle molecole dovute alla temperatura, si indeboliscono i legami secondari fra le catene, le quali riescono a muoversi più agevolmente.

Quando il polimero successivamente viene raffreddato si ripristinano le sue proprietà fisiche e meccaniche iniziali. Infatti il processo viene considerato reversibile anche se ogni volta che il riscaldamento si ripete si perdono in maniera minima le proprietà del materiale: come i metalli infatti i polimeri subiscono il processo di invecchiamento termico, cioè se iteriamo il processo di riscaldamento e raffreddamento troppe volte causiamo la degradazione del nostro pezzo.

Al di sotto della temperatura di transizione vetrosa il polimero si comporta come un solido elastico, in modo lineare secondo la legge di Hooke ($\sigma = E\varepsilon$), mentre invece se la tensione supera un certo valore

il pezzo si rompe.

Quando si lavora un polimero termoplastico le sue catene possono prendere un'orientazione dettata dal processo di lavorazione, il materiale diventa così anisotropo, quindi più resistente nella direzione di allungamento.

Infine questi materiali sono caratterizzati da una bassa conducibilità termica ed elettrica.

Nella tabella 2 vengono elencati i principali termoplastici con le relative caratteristiche.

2.2.Termoindurenti

I termoindurenti hanno un reticolo formato da catene unite da forti legami covalenti, e si potrebbero considerare come un'unica grande molecola.

Al contrario dei termoplasti i polimeri termoindurenti presentano una reticolazione irreversibile.

Il processo di produzione si svolge in due passaggi:

- il primo passaggio avviene nell'industria chimica, dove si preparano le catene allineate, polimerizzandole parzialmente;
- il secondo passaggio si svolge nell'industria manifatturiera, nella quale si completa la polimerizzazione con l'ausilio di temperatura e pressione adeguate.

Generalmente i termoindurenti hanno caratteristiche migliori dei termoplastici: infatti possiedono proprietà meccaniche, chimiche, termiche, elettriche e dimensionali di maggiore qualità. Tuttavia, poiché i termoindurenti hanno catene polimeriche ben compattate, conferiscono al prodotto un comportamento tipicamente fragile. C'è da sottolineare inoltre che questi polimeri sotto l'azione di una temperatura troppo elevata carbonizzano o si infiammano.

Termoplastici	Resistenza agenti chimici	Ottica	Resistenza meccanica	Resistenza all'usura	Attrito moderato	Resistività elettrica	Resistenza al calore	Esempi applicativi
Acetalici (Delrin)	Buona	-	Buona	Buona	-	-	Buona	Camme, ruote dentate.
Acrilici (Orlon, Plexiglass, Lucite)	Buona	Buona	-	-	-	Buona	-	Lenti, parabrezza, mobili.
ABS	Buona	-	Buona	Buona	-	-	-	Tubi sanitari, automotive, telefoni.
Cellulosici	Cattiva	-	Buona	-	-	-	Cattiva	Penne, occhiali.
Fluorocarburi (Teflon)	Buona	-	-	-	Buona	Buona	Buona	Antiaderenti, isolanti per fili.
Poliammidi (Nylon, Aramidi)	buona	-	Buona	-	-	-	-	Nylon: (rulli) Aramidi (giubbotti antiproiettile)
Policarbonati	Buona	Buona	Buona	-	-	Buona	-	Caschi, vetrate antiproiettili, lenti.
Poliesteri	Buona	-	Buona	Buona	Buona	Buona	-	Camme, pompe, componenti elettromeccanici.

Polietileni	-	-	Variabile	-	-	Buona	-	Bottiglie, giocattoli.
Poliimmidi (Torlon)	-	-	Buona	-	Buona		Buona	Tubi.
Polipropileni	-	-	Buona	-		Buona		Cavi, tv, tazze, valige.
Polistireni	-	-	-	-	-	-	-	Economici, contenitori usa e getta, imballi.
polisolfuri	Buona	-	-	-		-	Ottima	Ferro da stiro, macchina per caffè.
PVC puro	-	-	Cattiva	-	-	-	Cattiva	Economico: costruzioni, cavi elettrici.

Tab.2 principali termoplastici con relative caratteristiche

3. Elastomeri

Sono materiali in grado di recuperare la loro forma e dimensione in modo quasi completo, dopo essere stati deformati da un carico poi rimosso.

La loro struttura è principalmente amorfa. Presentano una temperatura di transizione vetrosa bassa, un basso modulo elastico, sono morbidi e possono essere sottoposti a grandi deformazioni senza rompersi.

I campi di applicazione di queste plastiche sono molto ampi. Esempi tipici ne sono: pneumatici per mezzi di trasporto, isolanti termici ed elettrici, parti resistenti agli urti, componenti per la protezione da corrosione e da abrasione.

Gli elastomeri si possono suddividere in quattro grandi famiglie:

- gomme naturali: sono ricavate dal lattice. Presentano buone caratteristiche di resistenza all'abrasione e alla fatica, ma scarsa resistenza a calore, oli e luce solare. Loro tipiche applicazioni sono pneumatici, tenute, supporti per motori.
- gomme sintetiche: presentano rispetto alle prime migliori caratteristiche di resistenza agli agenti chimici, al sole e al calore. Loro tipiche applicazioni sono pneumatici, tenute e cinghie.
- siliconi: possiedono la maggiore resistenza ad alte temperature fra gli elastomeri, ma presentano scarse proprietà meccaniche, come la resistenza statica e l'usura. Loro tipiche applicazioni sono tenute, guarnizioni, componenti elettrici.
- poliuretani: sono in grado di resistere in modo efficace al taglio e allo strappo, sono resistenti, rigidi e duri, e si oppongono ottimamente all'abrasione. Loro tipiche applicazioni sono componenti per automobili, guarnizioni, tenute.

4. Biopolimeri

4.1. Caratteristiche

Un terzo della plastica utilizzata nel mercato odierno a livello mondiale è rappresentato da materiale "usa e getta". Ciò rappresenta un serio problema a livello di smaltimento e per questo motivo è nata e sta crescendo la necessità di produrre materiali che abbiano un impatto ambientale minore o addirittura nullo. Questi materiali plastici prendono il nome di biopolimeri.

Un materiale plastico può essere definito "biodegradabile" se tutti i componenti organici sottostanno a processi di degradazione indotti da un sistema biologico per via naturale o metabolica.

Esistono vari modi per produrre plastiche biodegradabili, di seguito verranno illustrate le più interessanti dal punto di vista produttivo.

4.2.Polimeri a base di amido

Ad oggi il metodo di produzione più avanzato e diffuso (75-80 % del totale dei biopolimeri) è il sistema a base di amido. In questo processo i granuli di amido, derivato per esempio da patate o da riso, vengono scaldati fino a raggiungere lo stato liquido, per poi essere miscelati con additivi di diversa natura scelti in base alle caratteristiche finali che si vogliono ottenere.

I polimeri da amido correttamente miscelati con additivi possono essere lavorati con le usuali tecniche di lavorazione, e assumono caratteristiche molto eterogenee fra loro.

In passato l'amido era usato come carica del polimero in modo da renderlo biodegradabile. Si definisce come carica un materiale additivo che svolge il compito di compensare le deficienze del materiale a cui viene aggiunto. L'amido usato come carica deteriorandosi provocava la scomposizione della resina matrice in particelle. Oggi si tende ad usare l'amido senza additivi sintetici usando acqua, oli o grassi come additivi.

Attualmente il 75% dei polimeri da amido vengono utilizzati nel packaging e il restante 25% in agricoltura. Esempi applicativi sono: pellicole, beni di breve durata, impugnature, bottoni.

Un' interessante applicazione dei materiali derivati da amido è il filler nella produzione di pneumatici, in parziale sostituzione del carbon black. Il filler consente infatti una riduzione di attrito e di rumore e quindi un risparmio di carburante.

4.3.Polimeri a base lattica (PLA)

Il punto di partenza per la produzione di questi polimeri è il mais, da cui si sintetizza il glucosio, convertito successivamente in acido lattico che viene poi polimerizzato. Con questo processo si ottiene una resina di poliestere. Questo prodotto trova un'interessante applicazione nel settore biomedicale, per esempio nei trattamenti estetici grazie alla sua ottima bioassorbibilità da parte di un sistema biologico come può essere il corpo umano.

4.4.Il mercato

Nel 2008 il mercato dei biopolimeri raggiungeva le 4-500000 tonnellate annue contro gli oltre 250 milioni di tonnellate annue delle plastiche a derivazione fossile. Questo dato è influenzato, senza dubbio, dal fatto che le bioplastiche sono economicamente meno competitive di quelle a derivazione fossile. Negli ultimi anni però, in relazione allo sviluppo della ricerca nel settore e anche all'aumento del prezzo del petrolio, la differenza nel costo di produzione si è assottigliata.

Secondo un rapporto stilato nel 2004 dall'università di Utrecht per conto della Commissione Europea, le stime per la produzione di bioplastiche entro il 2020 dovrebbero raggiungere 1,75 milioni di tonnellate annue o, in condizioni favorevoli di mercato, anche i 3 milioni di tonnellate annue. A testimonianza di ciò è utile sottolineare come i maggiori plant del mercato si stiano muovendo in tale direzione. Un esempio è rappresentato dai tedeschi di BASF che, nel loro sito produttivo di Ludwigshafen in Germania, hanno incrementato la produzione da 14000 a 60000 tonnellate annue di Ecoflex (materiale brevettato ed esclusivo dell'azienda tedesca, che ha la capacità di sostituire il polietilene a bassa densità).

5.Polimeri maggiormente utilizzati

5.1.PE

5.1.1.Caratteristiche

Il polietilene (PE) appartiene ai materiali termoplastici. E' un polimero vinilico cioè presenta

all'interno del suo monomero un doppio legame carbonio-carbonio. Le sue proprietà e la sua struttura, cioè la massa molecolare e la cristallinità, dipendono essenzialmente dal sistema di polimerizzazione. Il polietilene si può presentare come un solido trasparente nella sua struttura amorfa o bianco nella sua struttura cristallina.

Storicamente il polietilene venne sintetizzato per la prima volta nel 1935, anche se già casualmente fu osservato nel 1898 dal chimico tedesco Hans von Pechmann. La sua prima produzione industriale avvenne nel 1939 quando se ne notarono le ottime caratteristiche come isolante elettrico.

Il polietilene viene tipicamente diviso in:

- PE-HD (high-density): possiede un numero molto basso di ramificazioni e questo permette alle catene di compattarsi bene, rendendo il grado di cristallinità molto elevato;
- PE-LD (low-density) possiede catene estremamente ramificate, cosa che impedisce una buona compattazione e per questo motivo il grado di cristallinità non è elevato.

Di seguito nella tabella 3 vengono elencate le principali caratteristiche del polietilene

Caratteristiche	Unità	PE-LD	PE-HD
Densità	g/cm ³	0,915-0,92	0,94-0,96
Modulo elastico E	Mpa	200-400	600-1400
allungamento	%	20 ca.	8 – 12
Temperatura di fusione	°C	105-118	126-135
Costante dielettrica a 100 Hz	adimensionale	2,3	2,4
Rigidità dielettrica	kV/mm	30-40	30-40

Tab.3 principali caratteristiche del polietilene

Fonte: H.Saechtling, 2006, *Manuale delle materie plastiche*

Esaminando i dati sopra esposti nella tabella 3 si può fare un confronto fra le proprietà dei polietilene ad alta e bassa densità: pur avendo una composizione chimica identica e identiche proprietà elettriche e chimiche il PE-LD presenta basse caratteristiche di cristallinità, di peso specifico, di temperatura di rammollimento, di resistenza alla trazione e di resistenza all'invecchiamento, al contrario del PE-HD. Tuttavia per quanto riguarda la permeabilità dei gas il PE-LD presenta buone caratteristiche al contrario del PE-HD che ha catene molto compattate.

Il PE è oggi il polimero maggiormente diffuso. Grazie alle sue caratteristiche di trasparenza e basso peso è riuscito a sostituire il vetro nell'ambito della conservazione di prodotti alimentari (basti pensare alle bottigliette di plastica).

5.1.2. Il mercato

Il mercato del PE, come tutti i settori produttivi, ha subito una brusca frenata durante la crisi economica del biennio 2008-2009, ma oggi il mercato ha ripreso a crescere. Basti pensare che la "Mossi & Ghisolfi", azienda italiana leader nel settore, ha di recente incrementato la produzione del suo sito in Brasile da 450.000 tonnellate annue a 650.000. L'obiettivo dell'azienda è quello di costruire nella regione statunitense del Golfo del Messico un impianto in grado di produrre un milione di tonnellate di PE annue.

5.2. Polipropilene (PP)

E' un polimero termoplastico semicristallizzato come il polietilene. Deriva dal monomero propilene e

rispetto al polietilene presenta migliori caratteristiche di resistenza e rigidità, ed una più elevata temperatura di fusione.

È un materiale molto utilizzato tanto che nel 2002 ne sono state consumate ben 42 ? tonnellate. Le sue applicazioni variano dagli articoli sanitari, ai giocattoli, ai mobili, all'automotive.

Il processo di lavorazione più utilizzato per questo tipo di polimero è lo stampaggio a iniezione. La massa del polimero durante tale processo raggiunge temperature dell'ordine dei 250-270°C.

In paesi molto umidi e caldi, può sorgere un problema legato all'umidità che può condensare sulla superficie dei granuli. Per questo motivo è necessario uno step di essiccaggio prima di iniziare le lavorazioni, o in alternativa si possono usare viti di degassaggio che fanno evaporare il vapore acqueo. Il polipropilene si può presentare in una grande varietà di configurazioni, a seconda dei materiali e dei leganti con cui viene miscelato. Di seguito verrà riportata una tabella che illustra alcune delle caratteristiche del polipropilene, che variano a seconda dei leganti e delle miscele utilizzate.

Caratteristiche	unità	PP-H	PP-B	PP-T 20	PP-T 40	PP-GFC 30
Densità	g/cm ³	0,9-0,915	0,895-0,905	1,04-1,06	1,21-1,24	1,14-1,21
Modulo di elasticità E	MPa	1300-1800	800-1300	2200-2800	3500-4500	5200-6000
Sollecitazione di scorrimento	MPa	25-40	20-30	32-38	30-35	-
Allungamento	%	8 – 18	10 – 20	5 – 7	3	-
Temperatura di fusione	°C	162-168	160 – 168	162 – 168	162 – 168	162-168
Coefficiente di allungamento longitudinale (23-55°C)	10 ⁻⁵ /K	12 – 15	12 – 15	10 – 11	8 – 9	6

Tab.4 principali caratteristiche del polipropilene

Fonte: H.Saechtling, 2006, *Manuale delle materie plastiche*

PP-H = omopolimeri PP-B = copolimeri a blocchi (si aggiunge per esempio il polietilene)

PP-T 20 T40 = con talco PP-GFC 30 = con fibre di vetro

5.3. Polistirene (polistirolo PS) e ABS

I polistireni sono polimeri derivati dal monomero stirene. Anche questi sono polimeri di largo utilizzo che si adattano molto bene allo stampaggio a iniezione con temperature che raggiungono i 180-280°C nel fuso e i 5-80°C negli stampi. Il PS ha un ritiro volumetrico molto ridotto durante la lavorazione e ciò consente di realizzare articoli con buone tolleranze dimensionali.

Sicuramente il polistirolo più conosciuto è quello espanso (PS-E) per gli imballaggi, ottenuto aggiungendo, durante la polimerizzazione dello stirene, un idrocarburo a bassa temperatura di ebollizione che, grazie al calore, evapora lasciando perle di polistirolo espanso. È possibile inoltre trovare sul mercato anche il PE-E resistente al fuoco.

L'omopolimero PS è però trasparente, lucido, duro, rigido ma soggetto a rotture perché fragile. Va impiegato in un intervallo di temperatura massima compreso fra i 60-80°C, è insensibile all'umidità e stabile alle soluzioni saline e agli acidi. Usato in ambienti interni il PS conserva la sua lucentezza, mentre se usato all'esterno tende a rovinarsi. Se viene fatto bruciare presenta una combustione lenta.

Un'ultima applicazione è rappresentata dal polistirolo antiurto dotato di una maggiore resistenza

meccanica e agli urti. Viene prodotto grazie alla miscelazione di polistirene con elastomeri in una quantità che varia dal 5 al 15 % di gomma.

Il suo campo di applicazione varia dagli imballaggi “usa e getta”, a settori più tecnici come riflettori per proiettori, pellicole per condensatori, alloggiamenti per radio, televisori.

L'ABS (acrilonitrile-butadiene-stirene) è un'importante sottoprodotto dello stirene. Offre la possibilità di variare le caratteristiche, viene prodotto a partire da San e da gomme.

L'ABS è opaco ma si possono ottenere anche derivati trasparenti aggiungendo particolari elastomeri. Presenta una buona resistenza all'impatto, all'usura, agli agenti chimici, una buona resistenza meccanica, caratteristiche queste che lo rendono un materiale ideale per applicazioni tipo: tubi, componenti per automobili, scafi di barche, valige, telefoni.

L'ABS riscontra anche grande successo nell'ambito della produzione di manufatti attraverso macchine di prototipazione rapida.

Nella tabella 5 vengono elencate le principali caratteristiche del polistirene e dell'ABS.

Caratteristiche	Unità	PS	ABS
Densità	g/cm ³	1,04 – 1,05	1,03 – 1,07
Modulo di elasticità E	MPa	3100 – 3300	2200 – 3000
Sollecitazione a rottura	MPa	30 – 55	-
Coefficiente di allungamento longitudinale (23-55°C)	10 ⁻⁵ /K	6 – 8	8,5 – 11

Tab.5 principali caratteristiche del Polistirene e dell'ABS

Fonte: H.Saechtling, 2006, *Manuale delle materie plastiche*

5.4.Cloruro di polivinile

E' un polimero vinilico, possiede proprietà molto varie a fronte di un costo ridotto. La sua rigidità può essere modificata aggiungendo dei plastificanti, che hanno il compito di distanziare le catene molecolari di PVC: spesso infatti proprio per la sua rigidità risulta difficile da lavorare e viene miscelato anche per questo motivo con dei plastificanti.

Il cloruro di polivinile può essere distinto in PVC rigido, adatto per esempio a segnaletiche stradali, e PVC flessibile, adatto a ricoprire fili elettrici.

A temperatura ambiente non presenta pericoli tossicologici per l'uomo, ma se combusto sprigiona diossina, a causa del cloro contenuto nel monomero.

I campi di applicazione variano a seconda del processo di lavorazione che si utilizza:

- stampaggio ad iniezione: si possono ottenere anelli di tenuta, ventose, manopole per biciclette, sandali, stivali;
- estrusione: si possono ottenere tubi, tubi flessibili, lastre, tende per docce, nastri alimentatori;
- soffiaggio: si ricavano bambole, bottiglie, tubetti.

CAPITOLO 2

Processi di lavorazione dei polimeri

1.Estrusione

Con estrusione si intende la fusione continua di materiale plastico e la sua forzatura attraverso una filiera di formatura con successivo raffreddamento per la produzione di semilavorati.

Il materiale all'inizio del processo si presenta sotto forma di granuli o polveri e, grazie a delle termocoppie, viene portato allo stato liquido per poterlo lavorare più agevolmente.

Il materiale viene inserito in un cilindro dotato di una vite che, girando, miscela e fa avanzare il materiale. Lungo il cilindro sono applicate varie termocoppie e sensori al fine di mantenere sotto costante controllo le principali variabili del processo, quali temperatura e densità.

Il movimento della vite provoca un aumento di pressione nel fuso, e grazie all'attrito prodotto si verifica anche un ulteriore aumento di temperatura.

Le cadenze produttive di questi impianti possono arrivare anche a 1000 Kg/h.

1.1.Estrusori monovite

E' certamente la macchina (fig.4) più utilizzata. E' costituita da una tramoggia nella quale vengono buttati i granuli e le polveri polimeriche. Il materiale passa attraverso l'apertura di alimentazione per poi canalizzarsi nel cilindro dove è presente una vite che ruotando porta il materiale verso l'adattatore per la filiera di estrusione. Dopo essere fuoriuscito dalla matrice l'estruso, grazie all'aria o a canali di acqua, viene raffreddato. Il raffreddamento deve avvenire in modo uniforme per limitare le distorsioni nel pezzo.

Quando il componente esce dalla matrice di estrusione presenta ancora una consistenza molle e raffreddandosi aumenta di volume. Questo effetto è noto come rigonfiamento, quindi nella fase di progettazione delle matrici di estrusione bisogna porre molta attenzione a questo fenomeno.

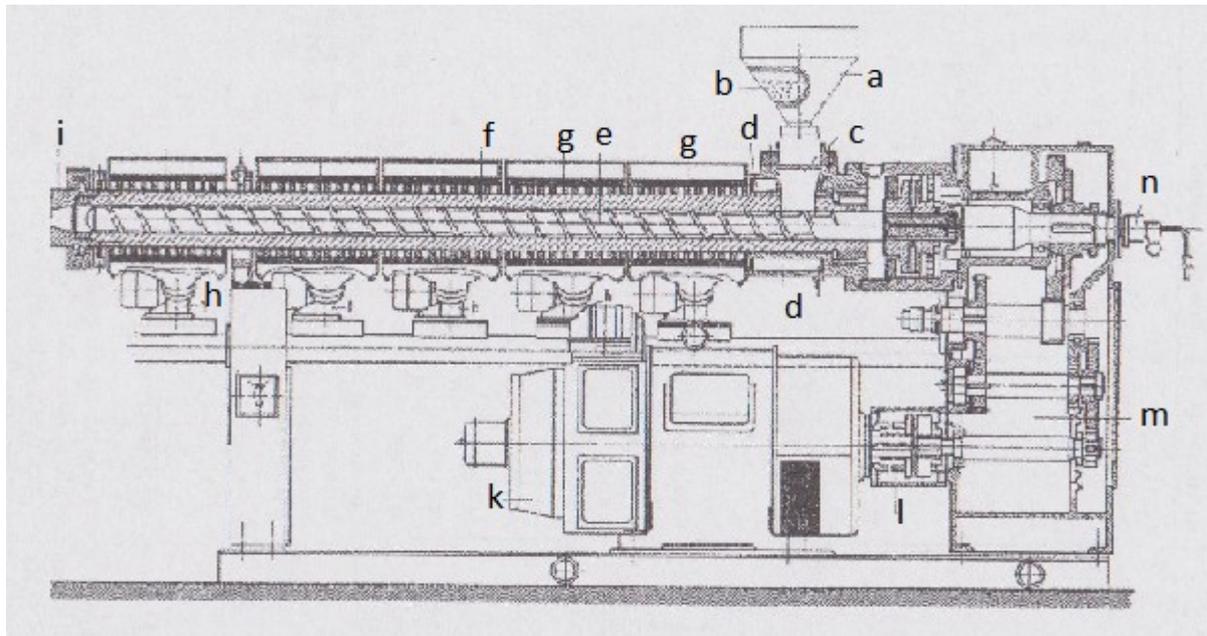


Fig.4 Estrusore monovite

Fonte: H.Saechtling, 2006, *Manuale delle materie plastiche*

Legenda fig.4

a) tramoggia di caricamento, b) massa di estrusione c) apertura alimentazione, d) canali di raffreddamento, e) vite, f) cilindro, g) riscaldamento/raffreddamento, h) soffiante di raffreddamento, i) adattatore per filiera di raffreddamento, k) motore elettrico, l) giunto, m) riduttore per comando a vite, n) collegamenti per il condizionamento termico della vite.

1.2.Estrusori di degassaggio

Gli estrusori di degassaggio (fig.5) hanno il compito di rendere superfluo il pre-essiccaggio dei granuli soggetti ad umidità, qualora il polimero ne avesse bisogno. L'altezza del filetto della vite viene aumentata per circa metà della lunghezza del cilindro, in tal modo nel fuso la pressione raggiunge il valore della pressione atmosferica. Con questa tecnologia grazie ad un'apertura di degassaggio, posta nel punto in cui il filetto della vite presenta l'altezza maggiore, il vapore acqueo e altri elementi volatili escono dal cilindro estrusore.

Durante questo procedimento si possono presentare delle difficoltà dovute alle diverse entità delle portate nelle due sezioni della vite, perché in tali sezioni la vite lavora a pressioni differenti.

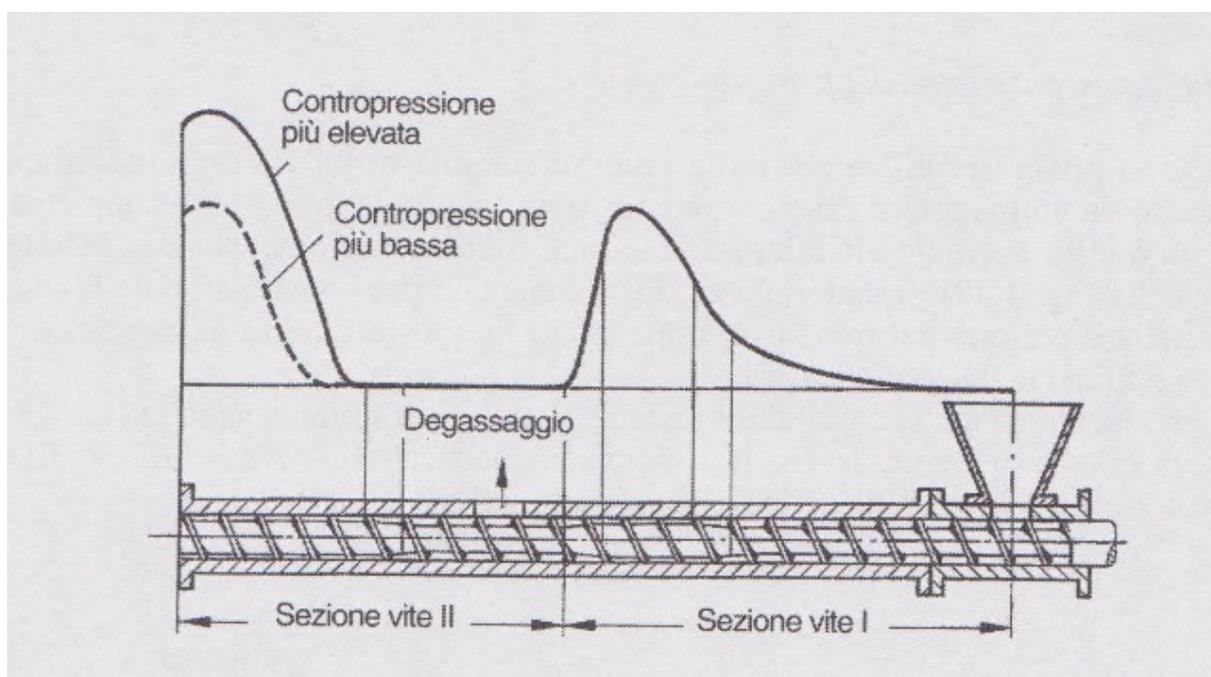


Fig.5 Estrusore di degassaggio

Fonte: H.Saechtling, 2006, *Manuale delle materie plastiche*

1.3.Estrusori a cascata

Rappresentano una variante della vite di degassaggio e sono composti da due estrusori: uno ha il compito di preparare il fuso di materiale plastico, l'altro invece omogeneizza il materiale fuso e genera la pressione sufficiente per la realizzazione del prodotto desiderato.

Le due viti hanno comandi indipendenti (fig.6), quindi si possono sincronizzare in modo facile ed efficace, evitando così i problemi di diversità di portate, riscontrati nell'uso di estrusori di degassaggio. Il processo ha un elevato rendimento, è da sottolineare comunque che queste macchine sono molto costose.

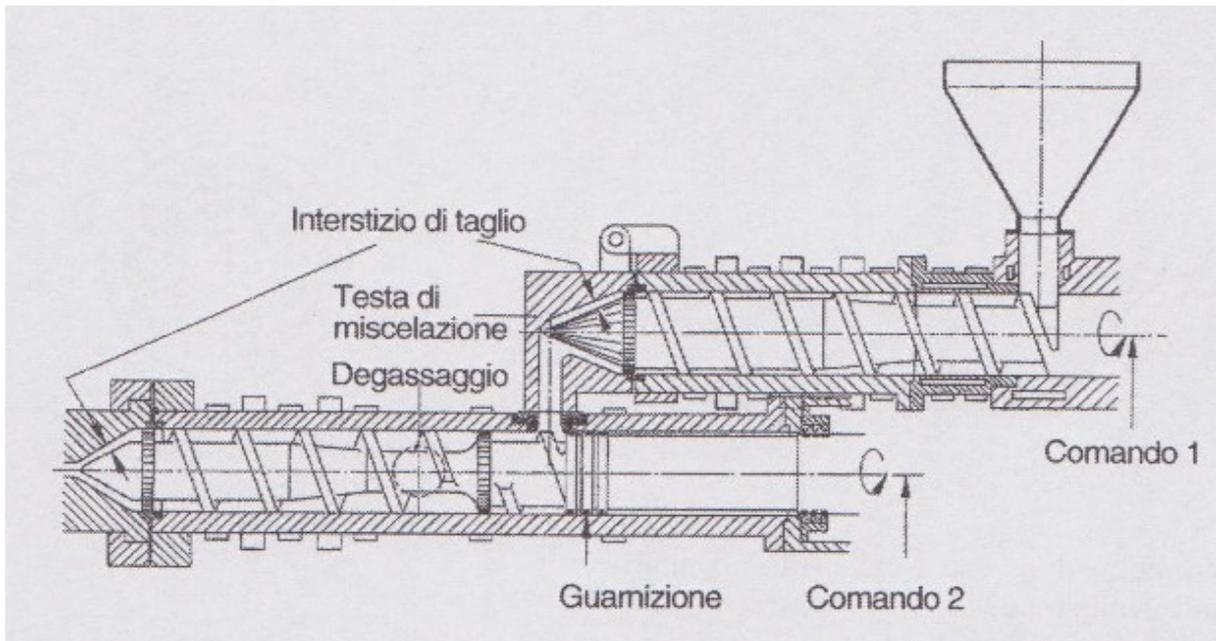


Fig.6 Estrusore a cascata

Fonte: H.Saechtling, 2006, *Manuale delle materie plastiche*

1.4.Estrusori bivate

Come suggerisce il loro nome, queste macchine rispetto alle precedenti presentano nel cilindro di estrusione due viti. Ciò porta a vantaggi quantificabili in: trasporto forzato del materiale anziché trascinamento, minor tempo di lavorazione, riduzione del tempo di permanenza del materiale nel cilindro estrusore, autopulizia delle viti.

Le viti possono essere corotanti o controrotanti. Con viti corotanti si possono anche miscelare in modo efficace cariche da aggiungere al polimero come farina di legno o carbonato di calcio.

2.Stampaggio a iniezione

Lo stampaggio a iniezione (fig.5) è di gran lunga il processo più utilizzato. Con questo tipo di macchine si possono ricavare prodotti del peso di 1 mg fino a prodotti che pesano anche 10 Kg , con tempi ciclo che variano da pochi secondi a vari minuti.

Le forme che si possono ottenere sono molto diverse e articolate, quindi si possono ottenere una grande varietà di prodotti utilizzando sempre un processo che mantiene un' alta redditività.

I granuli vengono inseriti nel cilindro nel quale è presente una vite o un pistone. Questi ultimi hanno il compito di innalzare pressione e temperatura e di spingere il materiale verso l'uscita del cilindro, dove sono posizionati due semistampi che chiudendosi danno la forma al componente.

Gli stampi sono comunemente composti da:

- canali di alimentazione e distribuzione per il riempimento delle cavità;
- canali, tipicamente di acqua, per il raffreddamento degli stampi quindi per limitare l'usura e la fatica termica degli stampi stessi;
- estrattori per fare in modo che il pezzo si stacchi in modo veloce dallo stampo.

La plastica che solidifica nei canali di alimentazione si chiamata materozza. Questa viene separata dal pezzo o con una lavorazione secondaria, o con la semplice apertura degli stampi se progettati in modo corretto. La materozza è un materiale di scarto e tipicamente viene rimacinata e riutilizzata nel processo di produzione.

Esistono stampi a camera calda che sono caratterizzati dal fatto che il fuso viene mantenuto alla temperatura di iniezione. In questo modo la materozza non si forma e i tempi ciclo sono inferiori

perché non bisogna attendere la solidificazione dei canali di alimentazione. Tutto ciò richiede, però, investimenti in apparecchiature più costose.

Attualmente le macchine a iniezione che non presentano la vite ma il cilindro sono molto rare, il loro utilizzo si limita alla produzione di microcomponenti.

Nel processo di stampaggio a iniezione si possono utilizzare, come nel caso dell'estrusione, viti di degassaggio con il filetto della vite che aumenta di altezza fino a raggiungere all'interno del cilindro la stessa pressione dell'atmosfera, in modo che i vapori possano essere espulsi attraverso un'apertura di degassaggio.

Le macchine utilizzate nello stampaggio a iniezione hanno generalmente una configurazione orizzontale. Vengono usate configurazioni verticali, che sfruttano la forza di gravità per il compattamento, solo per la realizzazione di componenti piccoli e con strette tolleranze dimensionali (come per i prodotti medicali).

Per lo stampaggio a iniezione si usano macchine idrauliche o elettriche. Quelle elettriche presentano vantaggi rispetto alle prime in termini di peso, di precisione e di minore rumorosità.

Gli estrusori per stampaggio a iniezione sono macchine che hanno un costo molto elevato e tale investimento si giustifica in presenza di grandi volumi di produzione, come succede ad esempio con le attrezzature per la pressocolata nella lavorazione dei materiali metallici.

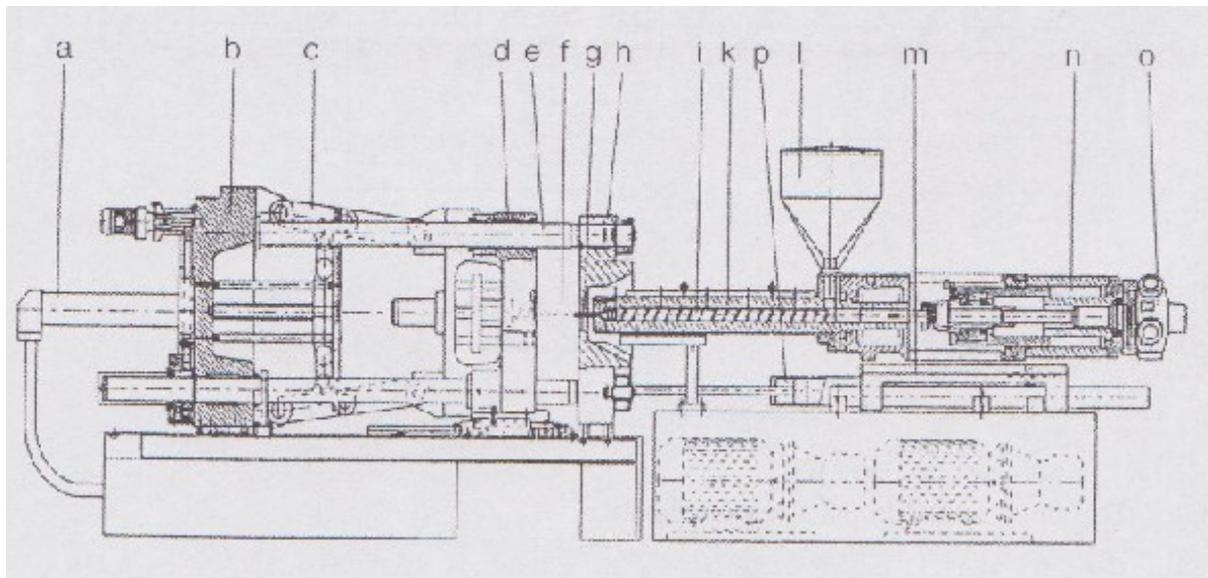


Fig.7 Macchina per stampaggio a iniezione

Fonte: H.Saechtling, 2006, *Manuale delle materie plastiche*

a) cilindro idraulico per ginocchiera b) piano portante esterno, c) ginocchiera, d) piano portastampi mobile, e) colonna dell'unità di chiusura, f) zona installazione stampo, g) ugello, h) piano portastampi fisso, i) vite, k) cilindro, l) tramoggia, m) guida gruppo iniezione, n) motore idraulico per rotazione vite, o) cilindro idraulico per iniezione p) cilindro per gruppo di iniezione; tratteggiate) motori elettrici e pompe idrauliche.

3. Stampaggio rotazionale

E' un processo che consente di produrre pezzi cavi, anche di grandi dimensioni. La macchina è costituita da un grande contenitore di metallo che ha la possibilità di ruotare attorno a due assi perpendicolari fra loro. In questo contenitore vengono inserite delle polveri polimeriche, che, facendo ruotare lo stampo cavo, grazie alla forza centrifuga, aderiscono in modo omogeneo alla forma del recipiente metallico. Quest'ultimo viene riscaldato durante il processo di lavorazione in modo che il

polimero possa reticolare sulle sue pareti interne.

Si possono ottenere in questo modo forme abbastanza complesse con spessori comunque molto limitati (0,4 mm).

Questa tecnologia non richiede un investimento elevato come per le precedenti.

4. Calandratura

La calandratura (fig.8) è un processo produttivo che lavora per lo più film di PVC. E' considerato l'impianto che richiede il maggior investimento rispetto a quelli prima esaminati. Tale impiego di mezzi finanziari però è giustificato da cadenze produttive che arrivano a toccare anche diverse tonnellate/ora di materiale lavorato.

L'impianto a monte prevede organi dedicati alla preparazione del materiale e alla miscelazione: come estrusori, mescolatori interni o cilindrici. La linea di lavorazione prosegue verso la calandra che è composta da rulli nei quali passa il materiale. I rulli in questione possono avere molte configurazioni e il loro numero può variare. Tale scelta dipende dalle caratteristiche e dallo spessore che si vuole imprimere al film.

L'impianto a valle presenta organi addetti al raffreddamento dei materiali lavorati, alla stiratura, alla goffratura, al taglio dei bordi e infine all'avvolgimento dei film in bobine.

I rulli come detto possono variare la loro disposizione e il loro numero, possono inoltre essere raffreddati e bombati per evitare l'imbarillimento, fenomeno di flessione dei rulli provocato dalle forze in gioco, come avviene per esempio durante la laminazione dei metalli.

Si possono ottenere anche film multistrato, dello stesso materiale o di materiali diversi, utilizzando coppie di rulli correttamente disposte.

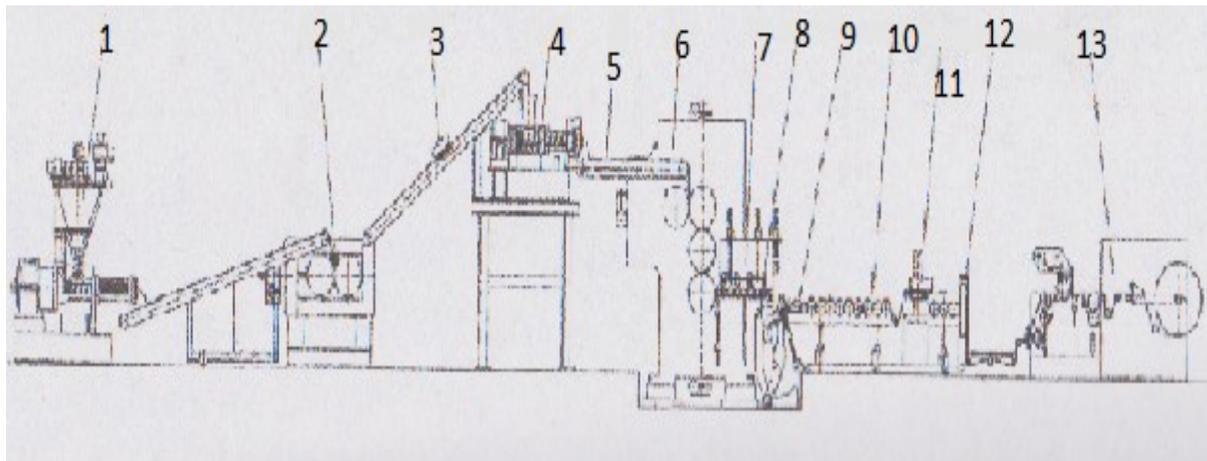


Fig. 8 Impianto per Calandratura

Fonte: H.Saechtling, 2006, *Manuale delle materie plastiche*

1) estrusione a cilindri, 2) laminatoio con miscelazione, 3) apparecchio ricerca frammenti metallici, 4) strainer, 5) alimentatore orientabile, 6) calandra, 7) traino a più cilindri, 8) goffratura, 9) dispositivo di collaudo, 10) raffreddamento, 11) misura peso, 12) video, 13) avvolgitore doppio.

5. Stampaggio mediante soffiatura

Lo stampaggio mediante soffiatura è una tecnologia usata principalmente nel settore dell'imballaggio, esempio tipico ne sono le bottiglie in polietilene.

Servendosi di una macchina per lo stampaggio a iniezione si preforma la plastica a cilindro già filettato. Successivamente il componente viene soffiato con aria a pressioni molto elevate (da 350 a

750 kPa) in modo che il pezzo possa aderire bene allo stampo il quale presenta la forma finale del componente. Si possono ottenere recipienti con capienze dell'ordine dei 10.000 litri. Non è raro trovare l'applicazione di questa tecnologia anche per la costruzione di serbatoi per automobili.

6.Espansione

Gli espansi da materiali polimerici, come il polistirolo espanso (PS-E), vengono ottenuti:

- aggiungendo al polimero un agente espansore, e innalzando la temperatura;
- reticolando il materiale che liberando gas causa l'espansione.

Per i materiali termoplastici questo processo viene innescato aumentando la temperatura, infatti come agenti di espansione vengono usati materiali o idrocarburi che volatilizzano a temperature non elevate (per esempio si usa il tricloroetilene caratterizzato da un punto di ebollizione di 87°C).

La massa di materiale viene fatta espandere liberamente oppure in uno stampo.

L'utilizzo del fluoro-clorurato, materiale particolarmente adatto a tale processo, è stato sospeso a causa dei danni che provoca all'ozono della stratosfera.

7.Termoformatura

Con il processo di termoformatura si deformano film o fogli di materiale plastico. Il polimero è portato in un forno dove raggiunge la propria temperatura di rammollimento. Successivamente con l'ausilio di una pressione indotta o del vuoto, il materiale si adagia sullo stampo posto sotto di esso, prendendone la forma.

Dal momento che il materiale in questo processo viene stirato, esso deve avere le caratteristiche fisiche che permettono che ciò avvenga. In caso contrario si creano difetti nel componente dovuti ad una non omogenea deformazione del materiale. Tipici difetti nei componenti sono rappresentati da strappi e spessori non uniformi, che si accentuano nella formatura sotto pressione.

La termoformatura sotto pressione viene eseguita con l'ausilio di un pistone.

Questa tecnologia non richiede elevati investimenti, infatti gli stampi vengono costruiti in alluminio, perché non sono richieste resistenze elevate.

Tipiche applicazioni della termoformatura sono: imballaggi e contenitori per elettrodomestici.

8.Colata

La colata consiste nel versare il materiale plastico fuso in uno stampo. Con questo processo è possibile anche ottenere componenti ricoperti da plastica, ma con all'interno un'anima composta da altro materiale.

In questo processo non c'è l'ausilio della pressione, viene utilizzata la forza di gravità, o in alternativa la forza centrifuga, nel caso che si utilizzino tamburi rotanti.

La colata viene tipicamente impiegata per produrre semilavorati massicci come tubi e lastre.

Interessante è la variante slush casting usata anche per i materiali metallici. Il fuso viene versato in uno stampo e comincia a solidificare nell'interfaccia dello stampo stesso a causa di una temperatura inferiore. Quando lo spessore del pezzo ha raggiunto il valore ottimale, il materiale presente nello stampo non ancora solidificato viene espulso.

CAPITOLO 3

Il riciclaggio delle materie plastiche

Considerati gli alti volumi di produzione di materiale plastico, quantificabili sui 250 milioni di tonnellate annue, e il conseguente impatto negativo sull'ambiente, il riciclaggio di queste materie, è da considerarsi oggi come una scelta non eludibile. D'altra parte il riciclaggio si sta rivelando una grande opportunità a livello economico-industriale.

Le principali tecniche di riciclaggio delle materie plastiche sono tre:

- riciclo meccanico;
- riciclo chimico;
- termovalorizzazione.

1. Il riciclo meccanico

Il riciclo meccanico rappresenta un insieme di tecnologie quali la separazione e la selezione dei rifiuti, la triturazione, il lavaggio, la macinazione e l'essiccamento.

Le proprietà del prodotto finale sono direttamente proporzionali alla qualità delle procedure adottate in fase di separazione e selezione delle plastiche da riciclare. Si cerca infatti di lavorare un materiale che sia il più possibile omogeneo sotto il profilo chimico.

In ambito industriale il riciclo del materiale di scarto delle lavorazioni interne è pratica largamente utilizzata perché si conosce l'effettiva composizione chimica di tale materiale. Il vero problema del riciclaggio dei polimeri emerge quando vi è incertezza sulla composizione del materiale che si va a riciclare e quindi delle proprietà meccaniche, fisiche e chimiche che caratterizzeranno il componente finale.

A tale problema si sta pensando da tempo. Una possibile soluzione potrebbe essere quella adottata dal Consorzio Carpi, che propone un certificato chiamato Plastic Eco Village o PEV. Con il PEV ci si pone l'obiettivo di validare i processi aziendali che attengono al riciclo di materie plastiche, lungo tutta la filiera.

Tale certificato rappresenta un tentativo di valorizzare sotto il profilo della sicurezza e della sostenibilità il recupero, la rigenerazione e il riutilizzo della plastica pre e post-consumo. Il marchio PEV non riguarda solo i produttori ma tutti gli attori della filiera.

I requisiti per ottenere questo marchio sono i seguenti: rispetto delle norme vigenti, conformità del prodotto e del processo ai parametri qualitativi richiesti, impegno costante a diminuire l'impatto ambientale. L'obiettivo del consorzio è giungere ad un riconoscimento del marchio da parte del consumatore finale, in modo che le aziende coinvolte possano trarne un beneficio importante nei confronti di fornitori, amministrazioni pubbliche e clienti.

1.1. La raccolta

La raccolta di materiale riciclabile può avvenire secondo diverse modalità:

- raccolta di un singolo materiale;
- raccolta di una famiglia di materiali;
- raccolta indifferenziata;

In base anche alla scelta della modalità di raccolta varierà la qualità del prodotto riciclato.

In ambito urbano la raccolta differenziata è un tema sempre attuale e molto rilevante per i numeri che entrano in gioco.

L'Istituto di ricerca Smart Research ha svolto una ricerca a livello nazionale su questo tema. Il campione della ricerca era costituito per il 40,4% da uomini e per il 59,6% da donne, distribuiti in

modo abbastanza omogeneo sul territorio nazionale. Da questa ricerca traspare una situazione abbastanza preoccupante, soprattutto causata dalla scarsa conoscenza delle sigle che contraddistinguono i materiali. Infatti solo due fra i materiali plastici si sono verificati realmente conosciuti: PET e PVC, mentre per esempio il tetrapack genera perplessità sul suo smaltimento. Un altro caso riguarda per esempio i bicchieri di plastica che possono essere riciclati solo se portano la sigla PS e solo se sono stati lavati.

1.2. La selezione

La selezione permette di separare le diverse componenti del materiale da riciclare: vengono eliminati materiali non plastici, come alluminio o carta, ma anche si separano fra loro a vari polimeri.

La separazione può avvenire a mano o tramite macchinari.

Nel primo caso il materiale viene fatto scorrere su dei nastri per agevolare il lavoro degli operatori.

Il secondo caso è più complesso e si serve di più tecnologie quali:

- magneti industriali e separatori galvanici a corrente parassita, che vengono usati per eliminare eventuali residui ferromagnetici. Tali processi sfruttano le leggi sull'elettromagnetismo per cui un materiale ferromagnetico investito da un campo magnetico viene attratto o respinto;

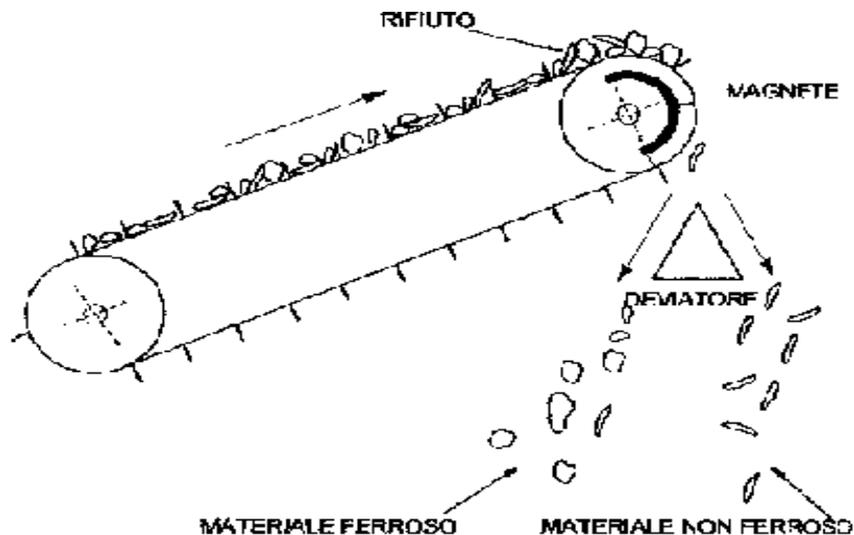


Fig.7 Magnete per la selezione dei materiali

- vagli a tamburo, vagli a disco o vibrovagli: consentono di dividere il materiale in base alla propria grandezza grazie a dei filtri opportunamente dimensionati;

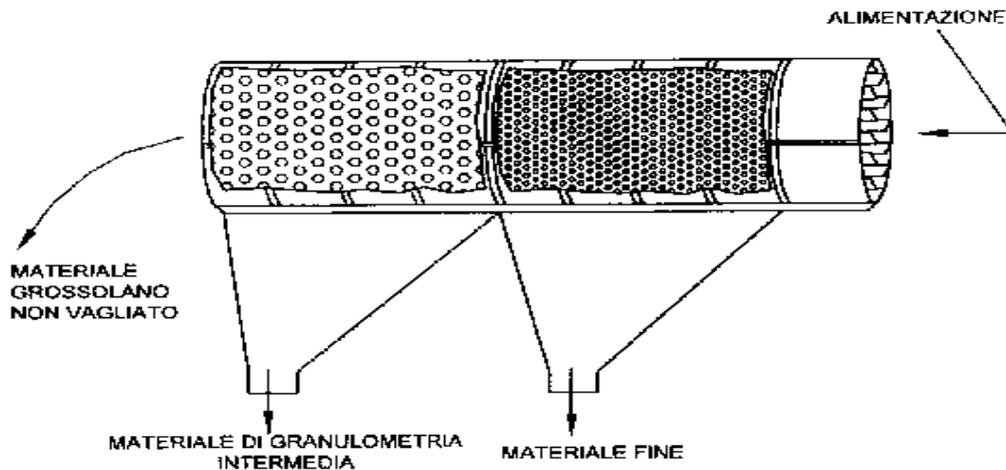


Fig.8 Vaglio a tamburo

- sistemi ottico-elettronici in grado di riconoscere i diversi materiali;
- separatori balistici: si sfrutta il principio per cui i diversi materiali, se lanciati ad alta velocità grazie ad un rotore, compiono diverse traiettorie. Così facendo i materiali più leggeri saranno raccolti in tramogge vicine, quelli più pesanti invece in tramogge lontane.

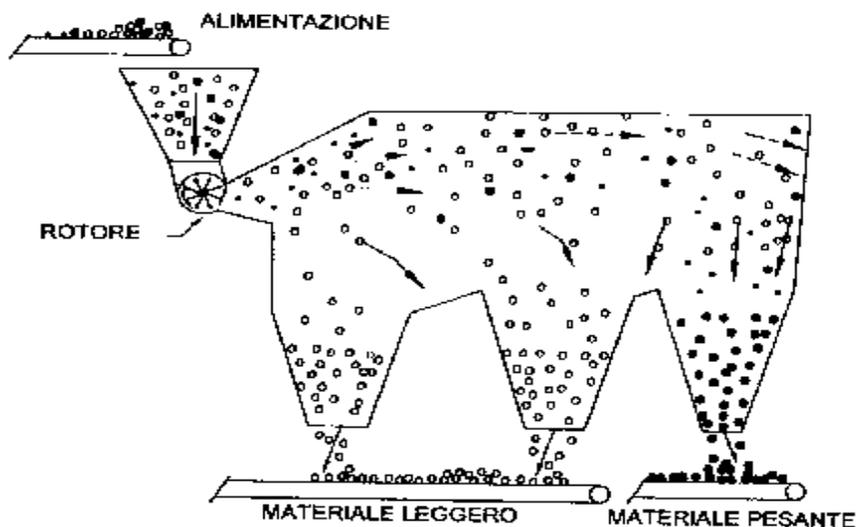


Fig.9 Separatore balistico

Alcuni di questi metodi di selezione possono essere eseguiti a secco o ad umido. Se vengono eseguiti a secco è richiesta meno energia e l'impatto ambientale è minore. Se vengono eseguiti ad umido il materiale risulta più pulito e uniforme.

La selezione, come già detto, rappresenta il punto più critico del processo di riciclaggio perché una non corretta separazione può generare componenti riciclati scadenti.

1.3. Il lavaggio

Il lavaggio viene effettuato per eliminare le parti che potrebbero essere dannose alle successive lavorazioni. Il processo di lavaggio più utilizzato è costituito da un canale di acqua che scorre a velocità sostenuta, nel quale viene inserito il materiale da lavare. Il diverso peso dei componenti fa sì che i più pesanti si depositino sul fondo mentre i più leggeri proseguano la loro corsa lungo il canale e quindi si abbina al processo di lavaggio anche quello di separazione.

Un'altra tecnica di lavaggio è quella rappresentata dall'eliminazione delle etichette e della colla nelle bottigliette o nei componenti stampati. In questo caso si ricorre all'utilizzo di soluzioni chimiche basiche.

1.4. L'essiccamento

Dopo l'eventuale lavaggio il materiale plastico viene fatto essiccare. Un primo passaggio consiste nel centrifugare il materiale, poi lo si fa passare attraverso un getto di aria calda che permette di abbassare il grado di umidità al 2-3%. Una volta essiccato, il materiale viene portato in silos, muniti di agitatori che hanno il compito di omogeneizzare il prodotto.

1.5. La compattazione

Consiste nel processo di triturazione del materiale da riciclare. La triturazione viene effettuata principalmente per agevolare le fasi successive del ciclo. I macchinari più utilizzati per questo processo sono due:

- il primo è costituito da un cilindro cavo, che presenta sulla sua superficie dei fori dell'ordine dei 2-4 mm. All'interno del cilindro è inserita una pressa che schiaccia il materiale contro le sue pareti triturandolo (fig.10);
- il secondo è rappresentato dall'estrusione in un cilindro da parte di una coclea.

In entrambi i casi il processo causa un aumento della temperatura del polimero che elimina parzialmente l'umidità e garantisce una maggiore coesione dei materiali.

La plastica viene quindi raccolta in balle a forma prismatica per ottimizzare gli spazi e migliorare il loro movimento negli impianti e il loro trasporto per esempio su camion o treni.

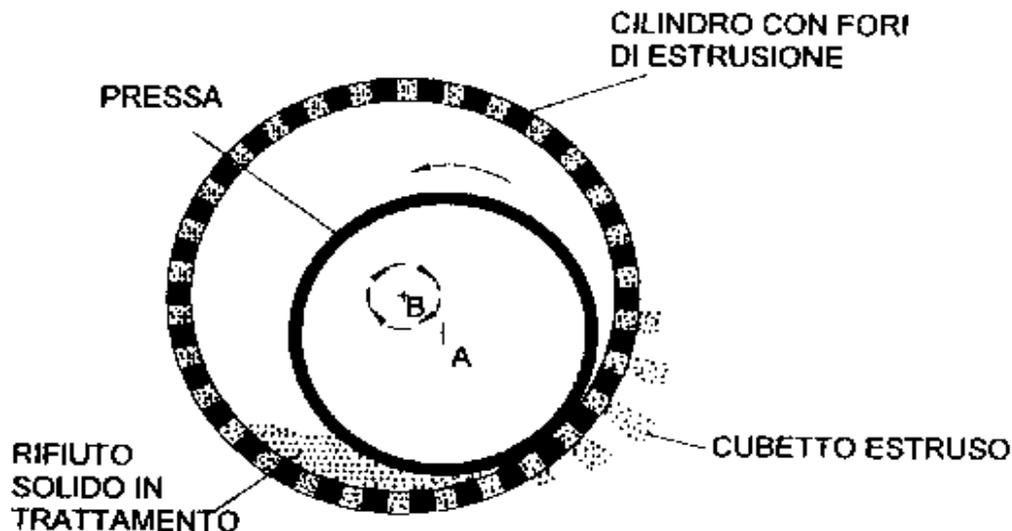


fig.10 Estrusore ad eccentrico

2. Il riciclo chimico

Il riciclo chimico è rappresentato da una serie di processi volti a decomporre il polimero nel monomero di origine.

Il principale scopo di questi processi è di rompere le catene del polimero. Nella maggior parte dei casi si usano trattamenti termici.

2.1. La pirolisi

Il processo consiste nel portare il materiale, sotto vuoto, a temperature di 450-500°C nel caso di pirolisi a basse temperature, oppure a 650-850°C nel caso di pirolisi ad alta temperatura. Si ottengono così dal materiale di partenza degli idrocarburi e dei gas simili al petrolio e che con esso si possono miscelare, ricominciando il loro ciclo.

Questo è il processo più studiato ed economicamente più competitivo, grazie all'elevato valore aggiunto dei prodotti ottenuti.

2.2. L'idrogenazione

Si sfrutta l'azione dell'idrogeno accoppiato al calore che trasforma il materiale polimerico in idrocarburi, come i gas olefinici (etilene, propilene, etc.) dai quali si può nuovamente produrre polietilene, polipropilene, etc.

2.3. La gassificazione

Questo processo viene effettuato in mancanza di aria, a temperature dell'ordine degli 800-1600°C. Il risultato presuppone la formazione di una miscela di idrogeno e ossido di carbonio utilizzata come bruciatore nelle centrali termiche, per la lavorazione di altre materie o per la sintesi di prodotti chimici, come il metanolo.

2.4. La chemiolisi

Lavora gli omopolimeri, cioè materiali composti da un solo tipo di monomero e li trasforma nelle materie prime di origine.

2.5. La glicolisi, la metanolisi e la ammonolisi

Sono processi che utilizzano rispettivamente: glicol tereftalico, metanolo e ammoniaca. Questi reagenti causano la decomposizione dei polimeri, tuttavia non si arriva alla struttura base di partenza ma a stadi intermedi.

3. La termovalorizzazione

È il processo con il quale vengono bruciati in generale i rifiuti, tra cui le plastiche, per produrre energia elettrica.

Con la termovalorizzazione si è in grado di ridurre al minimo il volume dello scarto. Il grosso problema di questa tecnica è rappresentato dalla tossicità dei fumi provocati dalla combustione. Severe norme (allegato 1 del DM 503/97) ne regolamentano le quantità massime. Le materie plastiche come del resto alcuni metalli contribuiscono ad innalzare notevolmente il livello di tossicità dei fumi.

I forni termovalorizzatori più utilizzati e più efficienti sono i forni a griglia mobile, che sono composti da una camera refrattaria nella quale è presente un suolo di combustione formato da griglie a gradini mobili. Uno spintore fa sì che il materiale avanzi verso i gradini inferiori mentre l'aria necessaria a

completare il processo di combustione viene iniettata sia nel sottogriglia che nella camera di combustione.

Le griglie presentano un' inclinazione solitamente comprese fra i 10-20 gradi e possono essere costituite anche da sei gradini. Vengono costruite in una speciale lega di acciaio al nichel-cromo capaci di sopportare temperature di esercizio che toccano i 1100°C.

Le cadenze produttive di questi forni sono molto elevate, infatti negli impianti più estesi si può arrivare a bruciare fino a 1000 tonnellate al giorno di materiale, con una potenza elettrica che arriva anche a 450 KWh per ogni tonnellata incenerita.

Le scorie, che rappresentano il 10-12% in volume e il 15-20% in peso dei materiali pre-combustione, vengono portate in discarica oppure, se rese inerti, come avviene in alcuni Paesi, vengono riutilizzate per usi civili come per esempio per i fondi delle strade.

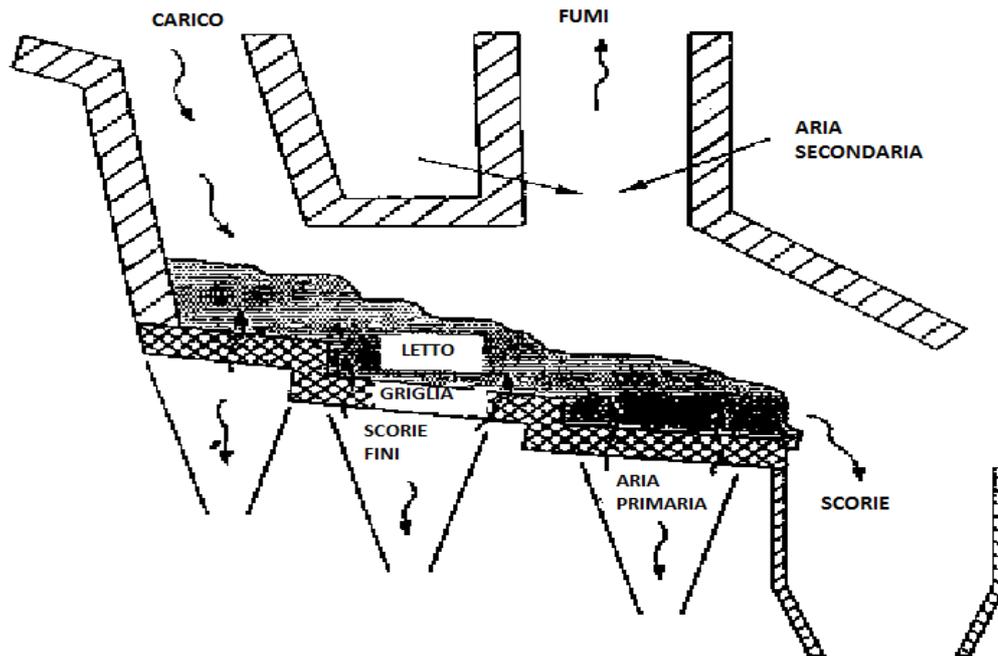


Fig.11 Forno a griglia mobile

Il processo di termovalorizzazione si adatta bene a tutti i materiali, ma in particolar modo alle materie plastiche per il loro elevato potere calorifero, che in alcuni casi può eguagliare quello del petrolio. Infatti i polimeri rappresentano una valida alternativa al petrolio.

Di seguito viene riportata una tabella che mette a confronto i poteri caloriferi di vari materiali, per evidenziare come le materie plastiche in questo settore siano molto competitive. Come si evince dalla tabella solo il metano e il gas naturale sono in grado di produrre un potere calorifero molto più elevato di alcuni tipi di plastica.

MATERIALE	POTERE CALORIFERO MJ/Kg
PE	46
PP	46
PS	41
PVC	20
Carbone	21 – 32
Petrolio	42 – 46
Gas naturale	52
Metano	54
Lana	20
Legno secco	18,9 – 20,6
Carta	15,5 – 18,5

Tab.6 Poteri caloriferi

CAPITOLO 4

Situazione italiana ed europea sullo smaltimento dei rifiuti e delle plastiche

1. Raccolta differenziata in Italia

L'Italia come del resto tutti i Paesi europei sta prendendo consapevolezza dell'importanza del riciclo. A testimonianza di ciò di seguito è riportata la tabella numero 7 che illustra l'evoluzione del riciclaggio di rifiuti dal 2004 al 2008. Risulta netto il trend di crescita: si passa da un totale del 22,7% del 2004 al 30,6% del 2008. A fare da traino a questi dati è sicuramente l'Italia del Nord con percentuali che hanno toccato il 45% nel 2008. Le province più virtuose risultano (dato 2008): Treviso con il 66,9% del totale dei rifiuti riciclati, seguita da Novara con il 66,4% e Rovigo con il 59,7%, mentre le più carenti risultano le province siciliane di Enna (4,8%), Messina (4,7%), Siracusa (4%). La regione più virtuosa risulta il Trentino Alto Adige con il 59,8%, seguita dal Veneto (52,9%). La regione meno attiva nella raccolta differenziata è invece il Molise con il 6,5%, seguito dalla Sicilia con il solo 6,7% di rifiuti differenziati. Il 16 aprile 2010 il Consiglio dei Ministri ha approvato il decreto legislativo che recepisce la Direttiva europea 2008/98/CE sui rifiuti. Per quanto concerne il recupero, viene fissata al 2020 una soglia tassativa minima del 50% per plastica, vetro, carta e metalli, obiettivo che imporrà la necessità di potenziare la raccolta differenziata sull'intero territorio nazionale.

AREA	2004	2005	2006	2007	2008
Nord	4974,0 (35,5%)	5378,0 (37,9%)	5827,1 (39,9%)	6204,4 (42,4%)	6747,1 (45,5%)
Centro	1269,8 (18,3%)	1388,2 (19,2%)	1471,6 (20,0%)	1529,9 (20,8%)	1673,2 (22,9%)
Sud	823,0 (8,1%)	905,8 (8,8%)	1077,2 (10,2%)	1225,7 (11,6%)	1516,9 (14,7%)
Italia	7066,8 (22,7%)	7672,0 (24,2%)	8375,9 (25,8%)	8960,0 (27,5%)	9937,2 (30,6%)

Tab.7 Valori della raccolta differenziata in Italia

La situazione della plastica è analoga a quella precedentemente descritta. La raccolta differenziata ha subito un incremento sostanziale nel quinquennio 2004-2008 passando dalle 336.200 tonnellate del 2004 alle 502.000 tonnellate del 2008 con un incremento del 149% (tab.8).

ANNO	IMBALLAGGI	ALTRI MATERIALI PLASTICI
2004	336,2	16,9
2005	398,7	10,5
2006	442,1	16,4
2007	484,5	15,8
2008	502	75,4

Tab.8 Valori della raccolta differenziata di plastica in Italia

Di seguito nella tabella numero 9 sono riportate le tonnellate di plastica che è stata differenziata nelle singole regioni nell'anno 2008. Anche in questo caso il Nord fa da traino con il 72,% di plastica riciclata sul totale nazionale. Questo dato è influenzato anche dal fatto che nelle regioni Settentrionali c'è un maggior consumo di materiali e di prodotti, dovuto ad una maggiore densità demografica.

REGIONE	PLASTICA RICICLATA (tonnellate)
Piemonte	93435
Valle d'Aosta	2719
Lombardia	144647
Trentino Alto Adige	10650
Veneto	50672
Friuli Venezia Giulia	17568
Liguria	11478
Emilia Romagna	84980
<u>Nord</u>	<u>416150</u>
Toscana	40557
Umbria	8665
Marche	13742
Lazio	17005
<u>Centro</u>	<u>79968</u>
Abruzzo	6518
Molise	991
Campania	19742
Puglia	22561
Basilicata	1658
Calabria	4015
Sicilia	11867
Sardegna	13908
<u>Sud</u>	<u>81261</u>
<u>Italia</u>	<u>577378</u>

Tab.9 Valori della raccolta differenziata della plastica per Regione

2.Incenerimento dei rifiuti in Italia

Con la sigla CDR si intende il Combustibile Derivato dai Rifiuti. Esso viene ottenuto eliminando i materiali non combustibili come il vetro e il metallo. Fanno parte del CDR le materie plastiche , per il loro già citato buon potere calorifero. La normativa vigente tuttavia limita la combustione di materiali

potenzialmente riciclabili. La percentuale deve essere inferiore al 50% del quantitativo totale di combustibile. Un esempio è il polietilene.

Plastiche o materiali che contengono il cloro non possono essere bruciati per evitare che durante la combustione si generi la diossina, agente chimico molto tossico.

Il CDR è usato prevalentemente per la produzione di energia elettrica o termica. La permanenza dell'alta temperatura negli inceneritori, per un lungo periodo, permette la distruzione totale delle sostanze organiche inquinanti.

In Italia nel 2008 circa il 10,9% dei rifiuti è stato incenerito. Il nostro Paese conta 64 inceneritori con una potenzialità autorizzata di 6.742.800 tonnellate annue così distribuite per Regioni:

REGIONE	NUMERO IMPIANTI	POTENZIALITA' AUTORIZZATA (t/a)
Piemonte	8	491 220
Valle d'Aosta	0	-
Lombardia	8	803 000
Trentino Alto Adige	0	-
Veneto	6	620 800
Friuli Venezia Giulia	2	168 600
Liguria	1	96 000
Emilia Romagna	2	270 000
Toscana	11	1 189 050
Umbria	1	110 000
Marche	2	165 000
Lazio	9	1 763 830
Abruzzo	0	-
Molise	1	36 500
Campania	0	-
Puglia	2	280 000
Basilicata	0	-
Calabria	7	475 000
Sicilia	2	110 000
Sardegna	2	163 000
Italia	64	6 742 800

Tab.10 Distribuzione degli inceneritori in Italia

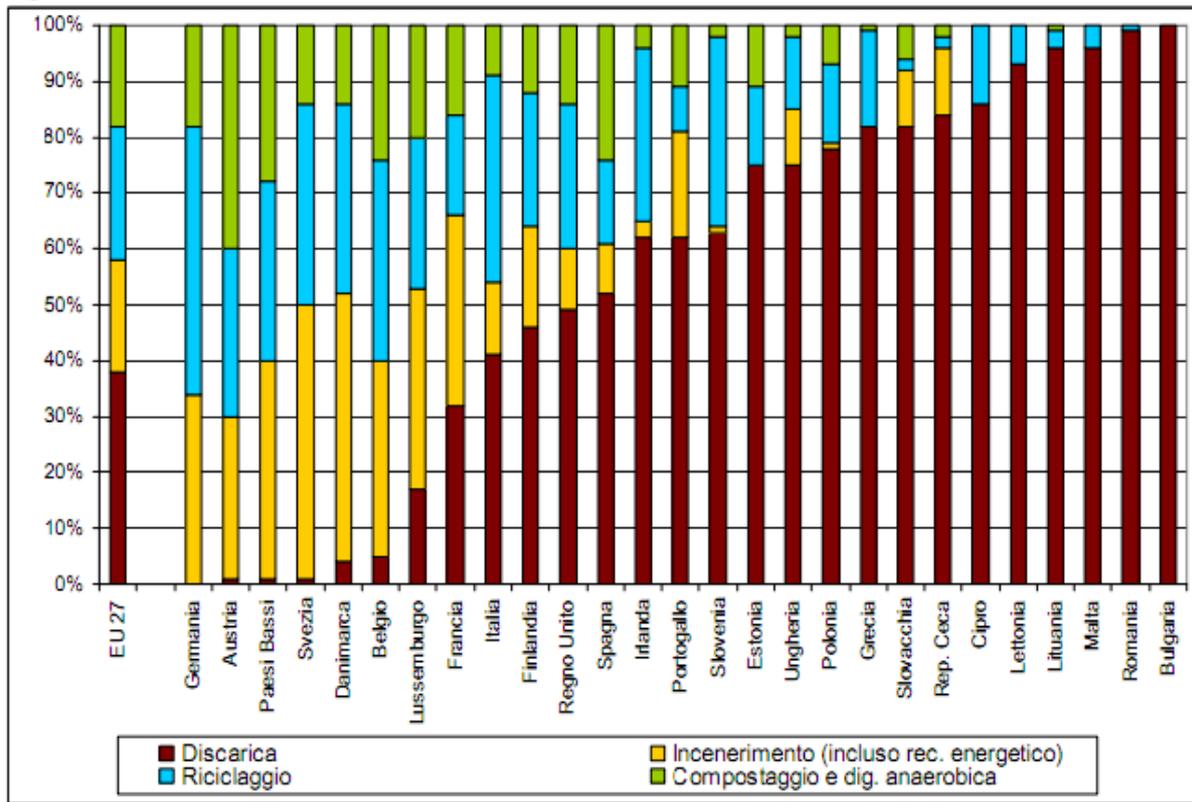
3.Smaltimento dei rifiuti nei Paesi UE

Le scelte fatte dai Paesi europei come si può osservare dalla tabella numero 11 sono molto diverse. Gli Stati maggiormente virtuosi sono distribuiti nell'area dell'Europa centrale e del nord Europa. In primis la Germania che ricorre allo stoccaggio dei rifiuti in discarica in percentuali molto ridotte. E' da sottolineare che anche altri Stati come Austria, Paesi Bassi, Svezia, Danimarca e Belgio ricorrono alla discarica per un quantitativo inferiore al 5% del totale dei loro rifiuti.

I Paesi che mostrano le difficoltà più elevate nel riutilizzo dei rifiuti sono la Bulgaria, la Romania,

Malta, la Lituania e la Lettonia. Questi Paesi non sono economicamente competitivi come quelli elencati in precedenza, e trovano grosse difficoltà nell'investire in impianti che possano favorire il riutilizzo dei loro rifiuti.

In questo contesto l'Italia si pone in una posizione intermedia, e segue le maggiori potenze economiche europee, ad eccezione fatta per il Regno Unito che risulta meno virtuoso del nostro Paese.



Tab.11 Smaltimento rifiuti paesi EU 27

4.Processi di riciclaggio di materie organiche

4.1.Compostaggio

Il compostaggio è una tecnica in cui viene controllato, migliorato e accelerato il processo naturale di decomposizione a cui va incontro qualsiasi sostanza organica per effetto della flora microbica naturalmente presente nell'ambiente. In questo processo è molto importante che il materiale che subisce il compostaggio sia a stretto contatto con l'aria che trasporta la flora microbica. Il prodotto di questo processo si chiama compost, un materiale di alta qualità e per questo è molto usato in ambito agricolo.

La base di partenza del compost è un materiale completamente organico, come ad esempio erba tagliata e residui di patatura.

4.2.Digestione anaerobica

La digestione anaerobica si differenzia dal compostaggio per il fatto che è un processo che si realizza in assenza di aria. Il materiale sottoposto a tale processo è organico, come nel caso del compostaggio. Per la digestione anaerobica vengono utilizzati due tipi di batteri:

- Batteri mesofili che operano a temperature comprese fra i 20°C e i 40°C;
- Batteri termofili che operano a temperature che possono toccare i 70°C.

Il processo presenta tempi di durata differenti, in relazione al tipo di batteri e alle temperature che si utilizzano. Infatti nel caso in cui vengano impiegati i batteri termofili, grazie alle elevate temperature necessarie, il processo presenta una durata inferiore rispetto all'uso di batteri mesofili. Quest'ultimi sono però più utilizzati, perché favoriscono un buon risparmio energetico conseguente appunto ad una minor temperatura di processo.

Il prodotto della digestione anaerobica è un fango non completamente stabilizzato, cioè la parte organica non è completamente degradata. Per stabilizzare lo scarto bisogna dapprima disidratare il fango mediante presse a vite e centrifughe. In seguito il fango disidratato viene sottoposto a compostaggio degradando l'ultima parte organica residua.

I sottoprodotti della digestione anaerobica sono

- Biogas: è una miscela gassosa composta principalmente da anidride carbonica e metano, che può essere bruciato per produrre energia elettrica;
- Digestato acidogenico: è un materiale composto principalmente da lignina e cellulosa e può essere usato in ambito edilizio;
- Digestato metanogenico: è usato come ottimo fertilizzante, la sua qualità però è molto soggetta alla composizione del materiale che si fa digerire.

4.3. Trattamento meccanico-biologico

Lo scopo di questo processo è quello di estrarre la parte organica da rifiuti che non sono stati differenziati.

Con l'applicazione della direttiva discariche 99/31 (D.lgs 13 gennaio 2003 n. 3), che prevede la progressiva riduzione della percentuale di sostanza organica presente nei rifiuti da smaltire, questo processo ha subito un forte incremento a livello nazionale ed europeo.

Il trattamento meccanico-biologico, come suggerisce il nome, si suddivide in due distinte fasi.

La prima è la fase meccanica, nella quale i rifiuti vengono separati e selezionati con tecniche precedentemente illustrate, quali: vagli a tamburo, vibrovagli, separatori galvanici, magneti e macchine spezzatrici. L'obiettivo di questa prima fase è di eliminare le sostanze non organiche.

La seconda, invece, è la fase biologica nella quale il compostaggio e la digestione anaerobica provocano la scissione della parte biodegradabile da quella non degradabile.

Il risultato del trattamento meccanico-biologico è una sostanza chiamata biostabilizzato. Essa rispetto al compost ha una qualità inferiore, cosa dovuta principalmente al fatto che il biostabilizzato è prodotto da materiale non selezionato al contrario del compost.

Appunto per la sua scarsa qualità il biostabilizzato non è usato in ambito agricolo, ma viene utilizzato soprattutto per scopi paesaggistici, come per la rivalorizzazione delle cave o meglio per la ricopertura delle discariche. E' da sottolineare che, Per questo suo ultimo utilizzo, il biostabilizzato, è un materiale particolarmente adatto perché non sprigiona metano.

5. Nuove tecnologie di riciclaggio

5.1. Polyfem (Polymer Fillers Emulsified Materials)

Lo scopo di questa tecnologia è quello di ottenere materiali a matrice termoplastica a elevata carica mediante semplici procedimenti fisico-chimici.

Attraverso Polyfem è possibile produrre materiali stabili, lavorabili in macchine normalmente utilizzate per lo stampaggio a iniezione e a basso costo. I materiali termoplastici ottenibili comprendono più del 60% in peso di carica sul prodotto finale e possono contenere fino a circa il 90% in peso di carica sul materiale composito; la parte restante è costituita da un polimero, anch'esso proveniente dal riciclo di plastiche, a base di polistirene (PS), ABS o polivinidenefluoruro opportunamente emulsionato in un solvente organico atossico e miscibile con acqua. I polimeri usati

come carica hanno in genere una temperatura di transizione vetrosa inferiore rispetto a quella del polistirene e permettono, in aggiunta o in sostituzione all'ABS, di impartire al materiale composito risultante caratteristiche di flessibilità e di tenacità non presenti nel solo PS. Occorre notare che il composito ottenuto con il processo descritto viene in genere estruso o trafilato, e comunque sottoposto a un processo di plastificazione e successiva granulazione, processo che porta a una migliore amalgamazione dei polimeri incompatibili con la base polimerica.

Grazie alla tecnica utilizzata, inoltre, l'elevata quantità di carica viene dispersa in modo uniforme nella base polimerica così da ottenere, in buona sostanza, un'emulsione di particelle, di varia forma e natura, in polimeri termoplastici rigidi o flessibili, il cui legante garantisce l'omogeneità a livello micro e macroscopico. La carica che può essere composta di vari materiali, contribuisce al raggiungimento e al mantenimento delle proprietà tecnologiche. Il procedimento impiegato permette la compatibilizzazione di polimeri diversi, vale a dire la produzione di un materiale omogeneo composto da polimeri diversi, inserendo materiali polimerici nella base di PS e/o ABS in soluzione, sotto forma di carica termoplastica, preferibilmente sotto forma di granulati con dimensioni comprese fra 0,003 mm e 0,5 mm. La lavorazione dei granuli che si ottengono può essere fatta a caldo, ma è importante sottolineare che si possono processare anche a freddo contribuendo decisamente alla riduzione dei costi energetici del manufatto. Questo processo, in generale, non implica cambiamenti rilevanti ai sistemi e ai macchinari tradizionali di stampaggio.

5.2. Riciclo di imballaggi in poliaccoppiato

Il poliaccoppiato è uno dei materiali per imballaggio più diffuso in Europa. È un materiale resistente, ermetico, protegge i prodotti dall'attacco dell'aria, dalla luce e dai batteri. Inoltre il cartone asettico mantiene il prodotto fresco anche a temperatura ambiente. Un ulteriore vantaggio nell'impiego di tale materiale consiste nel fatto che il contenitore il cui peso oscilla fra i 25 e 28 grammi costituisce solo il 3% del peso di un cartone riempito.

Il poliaccoppiato è costituito da tre strati di materiale diverso: carta, alluminio e polietilene. È da sottolineare che non ci sono collanti ma è lo stesso polietilene che funge da strato adesivo durante la laminazione del poliaccoppiato. Le materie utilizzate sono quindi nobili e perciò riciclabili al 100%.

Attualmente si stanno consolidando due metodi di riciclaggio del poliaccoppiato.

Il primo consiste nel ricavare il Maralhen, composto per il 95% da polietilene. Questo materiale trova in pratica le stesse applicazioni del polietilene vergine.

Il secondo invece consente di ricavare l'Ecolin, prodotto principalmente in Brasile. La sua composizione è per il 75% PE a bassa o media densità, per il 20% alluminio e per il restante 5% di fibra di cellulosa pesante. L'Ecolin è un materiale impermeabile, resistente ai raggi ultravioletti, isolante termico e acustico e autoestinguente.

Questi due processi seppur producano materiali con ottime proprietà, richiedono una linea dedicata per la separazione del poliaccoppiato, quindi tale strategia risulta particolarmente costosa e dunque poco competitiva.

Attualmente si sta sviluppando un'ulteriore tecnologia per il riciclaggio del poliaccoppiato. Tale strategia consiste nell'impiego globale di un cartone poliaccoppiato, proveniente da scarti di produzione industriale, come fonte di fibre cellulosiche, per la realizzazione di materiali multicomponenti a matrice polietilenica (HDPE), polimero come già detto, di largo utilizzo e di facile riciclabilità. Come è noto, la preparazione di un sistema multifasico necessita della messa a punto di una strategia di compatibilizzazione al fine di ottenere materiali caratterizzati da una morfologia regolare e buone proprietà finali. A tale scopo la ricerca è incentrata sull'utilizzo di un opportuno coupling agent, un polietilene a bassa densità (LDPE) modificato con l'1% di anidride maleica.

La struttura del polietilene maleato è tale da ipotizzare un efficace effetto interfacciale. I compositi sono preparati mediante un processo di miscelazione, che consiste nell'aggiunta di diverse percentuali di coupling agent.

Le strategie di riciclo hanno mostrato che tecnologie chimiche e fisiche aprono la strada a nuove

soluzioni, principalmente vantaggiose per il riciclo di materiali altamente eterogenei, oggi normalmente avviati in discarica o all'incenerimento. Il concetto di base è di sviluppare materiali termoplastici, in modo da predisporre la lavorabilità a fine vite. Lo sforzo della ricerca non può solo concentrarsi sulla messa a punto di tecnologie, ma deve estendersi alla valutazione anche degli aspetti economici e di sicurezza dei processi. In questa direzione ulteriori sforzi si stanno compiendo per allungare il ciclo di vita dei prodotti polimerici.

Conclusione

I dati presi in esame rendono evidente quanto l'utilizzo delle materie plastiche rappresenti un settore ancora aperto e in forte evoluzione nella ricerca scientifica. Gli studi realizzati e intrapresi hanno solo in parte portato a risultati certi e soddisfacenti nei confronti di tutti gli ambiti che il prodotto plastica va a toccare, in particolare per quanto riguarda l'inquinamento ambientale. La produzione dei materiali plastici rimane ancora argomento assai dibattuto, estremamente complesso, in continuo cambiamento e che va a coinvolgere interessi molto diffusi, diversi e differenziati.

Obiettivo primario sembra oggi quello di rendere la plastica un materiale che possa interagire in modo più armonioso con l'ambiente.

Da qui il notevole sforzo compiuto dalla ricerca di sganciarsi dalla produzione di plastica di origine fossile. E' da molti anni infatti che si parla di plastica ricavata da patate o da riso e attualmente queste tecnologie stanno maturando. Un contributo a questa causa deve necessariamente essere imposta dai vari Stati. L'Italia ha compiuto al riguardo buoni passi in avanti. Va a tal proposito citata l'introduzione imposta per legge degli "shopper biodegradabili" che sostituiscono i vecchi sacchetti della spesa prodotti con il petrolio.

Per quanto riguarda il riciclo della plastica l'Italia come già detto si colloca nel panorama europeo in una posizione intermedia. I margini di miglioramento sono ampi soprattutto per le regioni meridionali che presentano parametri che si collocano nelle ultime posizioni delle classifiche europee. A testimonianza di ciò basti pensare al recente problema dei rifiuti in Campania. Tale regione risulta sprovvista di inceneritori e quindi anche della possibilità di bruciare rifiuti e di ricavarne energia elettrica.

L'ottimismo è d'obbligo, anche se la congiuntura monetaria mondiale lascia spazi di manovra limitati, e senza alcun dubbio per il ricercatore come per chi si sta affacciando al mondo del lavoro, e ha indirizzato i propri interessi in ambiti scientifici e tecnologici, il settore delle materie plastiche apre ampi campi di studio e di lavoro.

Bibliografia

C. Consiglieri, G. fonseca, R. Jirillo, 1994, *Il riciclaggio delle materie plastiche*, Università di Parma.

Sepore Kalpakjian, Steven R. Schmid, 2008, *Tecnologia meccanica*.

H.Saechtling, 2006, *Manuale delle materie plastiche*.

Encyclopedia of polymer science and technology, third edition, 2007, Concise.

ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, 2009, *Rapporto rifiuti urbani*.

Relazione del professor Adriano Magliocco, *Il riciclo-la plastica*, università di Genova.

Francesco Illariuzzi, Giugno 2011, “*Il PET accelera*”, rivista scientifica Plastix.

Maria E. Errico, Maurizio Avella, Mario Malinconico, Febbraio 2009, “*La compatibilizzazione chimica e fisica*”, rivista scientifica Plastix.

Caterina Bonora, Febbraio 2009, “*Gli errori nella raccolta differenziata*”, rivista scientifica Plastix.

Luigi Rossoni, novembre 2008, “*L'Europa si sveglia*”, rivista scientifica Plastix.

Nicola Flamel, Settembre 2007, “*Compostabili, bioassorbibili o biodegradabili?*”, rivista scientifica Plastix.