

# **Tecnologie di Recupero e Riciclo dei Materiali**

Alberto Simboli

## **Produzione e Recupero-Riciclo**

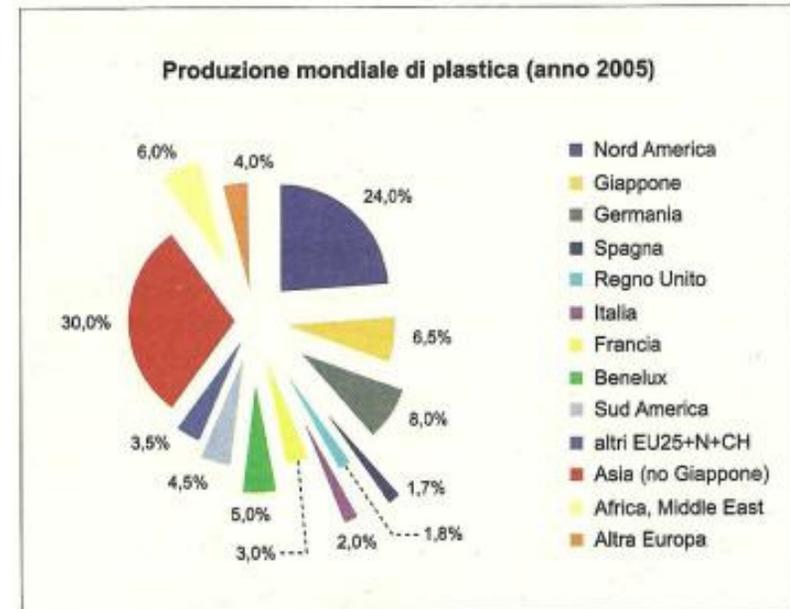
**- LE MATERIE PLASTICHE -**

# Le plastiche

Le plastiche sono polimeri a cui vengono aggiunte sostanze ausiliarie (additivi, plastificanti, coloranti, antiossidanti, lubrificanti) in funzione dell'applicazione cui la materia plastica è destinata.

La materia prima sono i derivati del Petrolio, la cui quotazione, incide molto sul valore di mercato dei materiali plastici.

- **SETTORI D'IMPIEGO:** Industrie edile, degli imballaggi alimentari, Automotive, Elettronica, Farmaceutica ecc.
- **RICICLABILITA':** Non sempre possibile. I materiali secondari riciclabili saranno selezionati, ridotti dimensionalmente, lavati ed essiccati, riestrusi ed infine riformati.

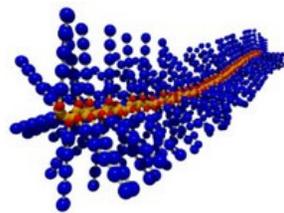


BIANCHI, Il Riciclo ecoefficiente Pag.72

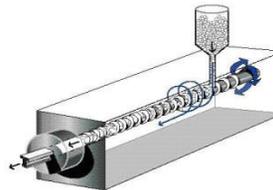
## LE FASI GENERICHE DI PRODUZIONE DELLA PLASTICA



1. ESTRAZIONE E RAFFINAZIONE DEL PETROLIO



2. PROCESSO DI POLIMERIZZAZIONE



3. ESTRUSIONE E LAVORAZIONE



4. FORMATURA TRAMITE SOFFIAGGIO, STAMPAGGIO O ALTRO



# Generalità

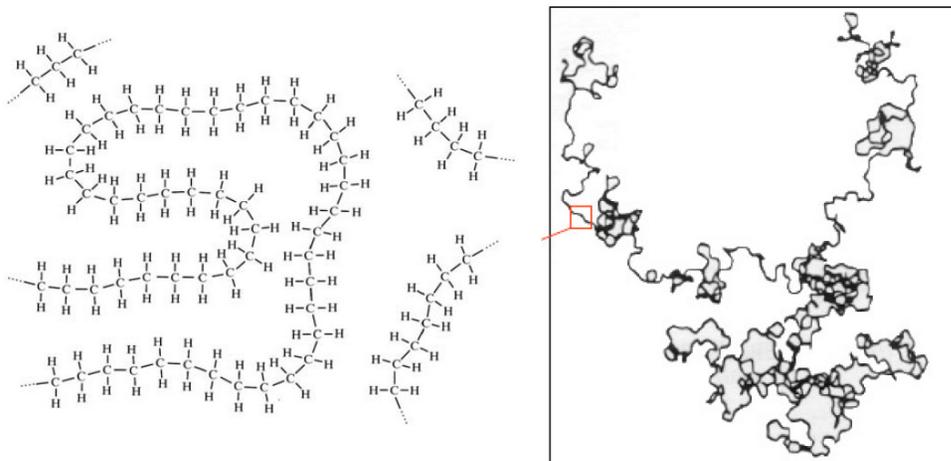
Le materie plastiche sono **macromolecole organiche** di elevato peso molecolare. Tali macromolecole sono formate da sequenze di atomi di carbonio (talvolta anche di ossigeno, azoto e silicio) uniti l'uno all'altro da legami covalenti in modo da formare catene più o meno lunghe.

Le catene possono essere lineari, ramificate o reticolate (quando le catene sono legate fra loro da legami covalenti trasversali. In questo caso si costituisce una macromolecola tridimensionale). La lunghezza delle catene polimeriche è controllabile attraverso le variabili di processo (temperatura, pressione, catalizzatore, ecc.). Molte proprietà dei polimeri e, quindi, i diversi campi di applicazione, dipendono dalla lunghezza media delle catene polimeriche.

La lunghezza media delle catene può subire modifiche sia durante la trasformazione del materiale da granulo a manufatto, sia durante la vita d'uso, per cui prima di procedere ad un processo di riciclo è necessario valutare il peso molecolare medio o il MFI del prodotto da riciclare.

# Le materie plastiche (segue)

Un polimero sintetico si ottiene per **poliaddizione** (polimerizzazione per addizione) da una sostanza a basso peso molecolare (monomero) che contiene almeno un doppio legame. L'apertura del doppio legame e successiva addizione di molecole uguali porta alla formazione della macromolecola polimerica:



# Principali proprietà meccaniche

- **rigidità:** resistenza alla deformazione. Espressa attraverso una proprietà definita modulo (elastico, a taglio, .. in base al tipo di sollecitazione) misurato in Pascal ( $\text{Pa}=\text{N}/\text{m}^2$ ). Il valore del modulo dei plastomeri rigidi è di pochi GPa, quello di un elastomero di pochi MPa.
- **resistenza:** massima tensione (forza /superficie) che il materiale può sopportare senza rompersi quando è sottoposto ad un carico crescente. Si misura in Pa, e la resistenza tipica delle materie plastiche varia da pochi a qualche decina di MPa.
- **tenacità o la duttilità:** capacità di deformarsi molto prima di rompersi; è espressa in allungamento % al momento della rottura (allungamento a rottura), rispetto alla lunghezza iniziale. Materiali molto duttili come PE o PP possono arrivare anche a 700-800% di allungamento a rottura.
- **resistenza all'urto:** espressa in  $\text{J}/\text{m}^2$ , rappresenta l'energia che un materiale può dissipare prima di rompersi sotto l'azione di un carico impulsivo (elevato e veloce).

*Queste proprietà descrivono le caratteristiche meccaniche dei materiali plastici. Nei processi di riciclo è importante verificare se e come esse sono variate rispetto a quelle iniziali. Infatti, in conseguenza dei fenomeni degradativi derivanti dall'uso o ai trattamenti a cui il materiale è sottoposto prima del riciclo, si possono avere delle modifiche nella struttura molecolare che si riflettono in primo luogo sulle proprietà meccaniche. I maggiori effetti in genere si riscontrano per allungamento a rottura e per la resistenza meccanica (sia all'urto che non).*

# Materiali termoplastici e termoindurenti

Si definiscono **termoplastici** quei materiali che per riscaldamento rammolliscono fino a diventare fluidi viscosi a cui può essere facilmente impartita una forma, anche complessa, che si consolida per raffreddamento.

**Un manufatto in materiale termoplastico può essere riciclato per riscaldamento fino allo stato liquido viscoso, rimodellato in una qualsiasi forma e consolidato per raffreddamento.**

Un materiale termoplastico mantiene le sue caratteristiche per un numero illimitato di cicli riscaldamento-raffreddamento; in realtà ogni volta che un materiale termoplastico è sottoposto ad un ciclo di riscaldamento-modellazione di forma-raffreddamento avvengono fenomeni degradativi che determinano una progressiva variazione della struttura molecolare (spesso di peso molecolare), e che quindi modificano le proprietà del materiale.

Di fatto il numero di ricicli a cui il materiale può essere sottoposto è limitato a poche unità (3-4 volte). Sono materiali termoplastici il maggior numero di materie plastiche come ad esempio il **polietilene (PE)**, il **polipropilene (PP)**, il **PET**, il **PVC**, il **polistirene (PS)**, il **PMMA**, ecc..

# Materiali termoplastici e termoindurenti

Un materiale **termoindurente** viene formato durante il processo di polimerizzazione e se dopo formatura lo si sottopone ad un riscaldamento progressivo il materiale non raggiunge mai la condizione di fluido viscoso rimodellabile, ma a temperature molto elevate inizia a carbonizzare.

Un manufatto in materiale termoindurente può essere riciclato attraverso processi specifici. Appartengono a questa classe le **resine epossidiche, i poliesteri insaturi, le gomme vulcanizzate, le resine fenoliche e melamminiche, alcuni tipi di poliuretani.**

# Classificazione in base alla natura chimica

**-Poliolefine:** derivate da idrocarburi insaturi (olefine) comprendono PE e PP e loro copolimeri, materiali di basso costo e di largo impiego per fare film (per shoppers o teli utilizzati in agricoltura), tubi, bottiglie, contenitori vari (soprattutto PE), usi in campo biomedicale, ma anche per cassette, paraurti, accessori per la casa, ecc..

**-Polistirene e copolimeri:** usato nella forma espansa per fare bicchieri, vassoi per alimenti, scatole, lastre, oppure in forma trasparente per fare bicchieri, posate, piatti, scatole, ecc.

**-PVC:** è un materiale di basso costo usato nella forma rigida per tubi (canaline per cavi elettrici, scarichi, ...) e per oggetti vari, e in forma flessibile, per fare tubi flessibili, rivestimento di cavi elettrici, in campo biomedicale, per bottiglie, pavimenti, ecc.

**-Poliesteri:** il più utilizzato è il PET, usato per fibre tessili, film (supporto per nastri magnetici e fotografici), bottiglie.

**-Poliammidi:** usate per applicazioni strutturali, come componenti di macchine, per arredamento, ma anche fibre, film, ecc..

**- Poliuretani:** (espansi e non, rigidi ed elastomerici) hanno campi di applicazione (imbottiture di poltrone e sedili, sottofondi di tappeti, isolanti per tubazioni e veicoli frigo, elettrodomestici, soles di scarpe, ecc).

# Classificazione in base alla natura chimica (segue)

-**Polimetilmetacrilato (Plexiglas):** PMMA, utilizzato per la sua trasparenza in varie applicazioni.

-**Elastomeri:** caratterizzati dalla capacità di essere facilmente deformabili sotto l'azione di una sollecitazione, e di recuperare velocemente la forma originale al momento del rilascio della sollecitazione. In genere sono materiali termoindurenti, ma per la maggior facilità di riciclo stanno diffondendosi gli elastomeri termoplastici.

-**Miscela polimeriche:** sono materiali plastici ottenuti mescolando due o più polimeri diversi. Se i polimeri mescolati sono tra loro termodinamicamente miscibili (si sciolgono l'uno nell'altro) si parla di miscele omogenee, mentre se sono dispersi in fasi di differente composizione si parla di miscele eterogenee. Molte plastiche in commercio sono delle miscele polimeriche (più frequentemente eterogenee).

- **Poliaccoppiati:** costituiti da diversi materiali polimerici stratificati. Un tipico impiego è nel settore dell'imballaggio alimentare, per ottenere film con proprietà barriera. Materiali plastici accoppiati si hanno nel rivestimento di cavi, in bottiglie, in componenti di auto. L'accoppiamento di diversi materiali crea problemi per il riciclo.



# Le plastiche più diffuse sono:

- **Polietilene (PE):** E' il più diffuso, economico e versatile. Ha buona permeabilità al vapore, alti requisiti meccanici, atossicità, flessibilità nella lavorazione. Si usa per la fabbricazione di sacchetti in plastica, teloni agricoli, sacchi per la spazzatura, sacchi industriali, bottiglie per il latte, fusti, taniche, cassette, tappi, contenitori per pitture, casalinghi, cappucci spray, nastri adesivi, materiali da imbottitura. Con la sigla LDPE si intende il polietilene a bassa densità, mentre con HDPE quello ad alta densità (usato per le superfici impermeabilizzanti delle discariche controllate).

- **Cloruro di polivinile (PVC):** insieme al PVDC (cloruro di polivinilidene), per la maggiore impermeabilità al vapore acqueo e all'ossigeno, è impiegato soprattutto per le bottiglie per acque minerali non gassate, pellicole per film, bottiglie e flaconi per detersivi, shampoo e cosmetici, sacchetti, alveoli per frutta, uova, cioccolatini, fiale, corde. E' trasparente e ha ottime proprietà meccaniche. I bassi costi lo hanno reso vantaggioso per la produzione in larga scala.

- **Polietilentereftalato (PET):** introdotto sul mercato negli anni '50, è stato usato prima nel campo delle fibre sintetiche, poi nel settore dell'imballaggio (bottiglie per bevande gasate e contenitori trasparenti).

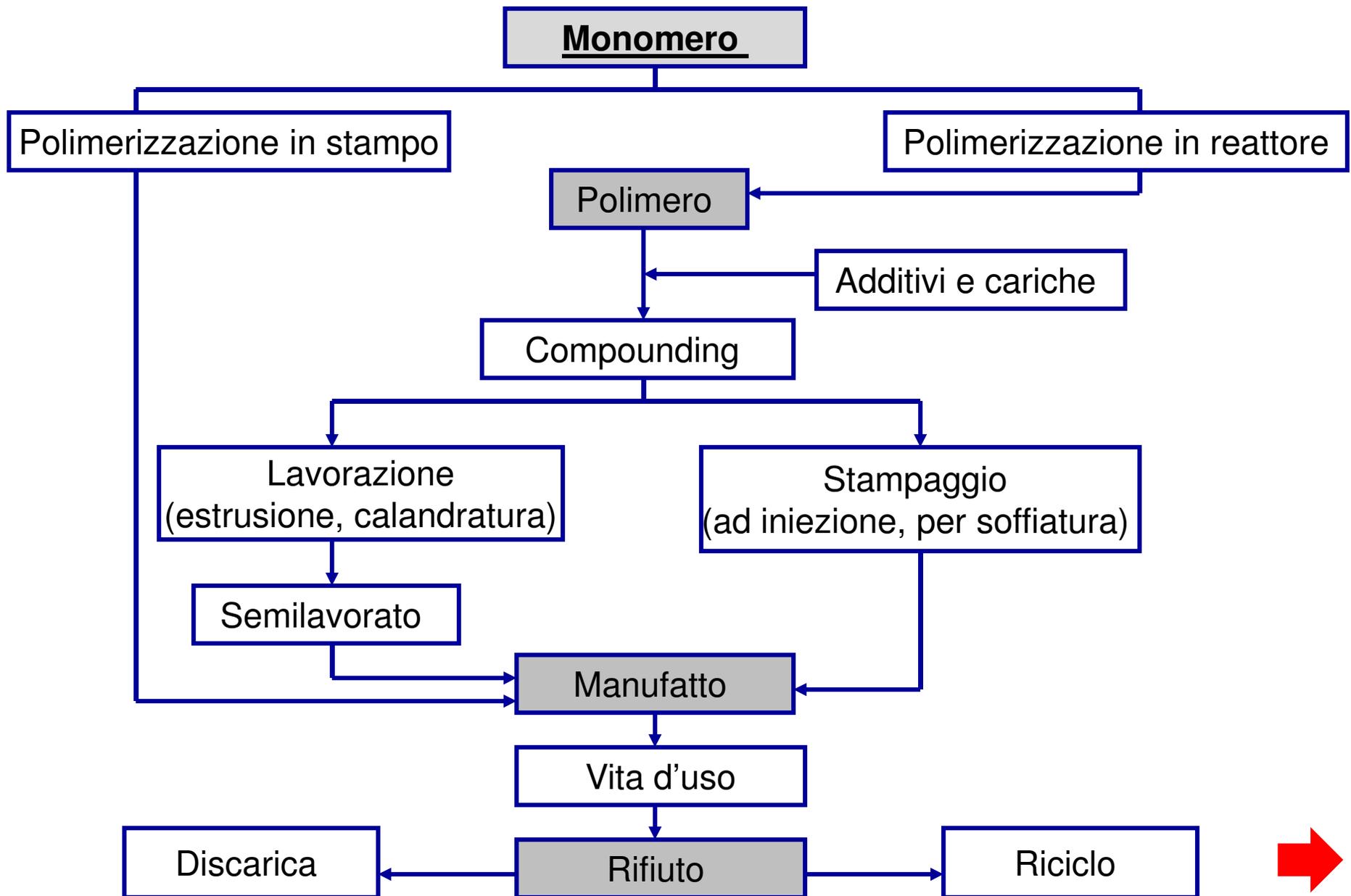
Il PET si presenta in tre forme diverse:

- A-PET, trasparente ma con scarsa resistenza termica;
- C-PET, resistente alla surgelazione fino a -40 °C e al riscaldamento in forno tradizionale (fino a +200 °C). E' inodore, insapore, e con proprietà di barriera all'acqua, all'O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>;
- PET bi-orientato, più rigido degli altri, con un'elevata resistenza agli urti.

# Le plastiche più diffuse sono:

- **Polipropilene (PP):** per le sue proprietà (leggerezza, atossicità, impermeabilità, inerzia chimica e rigidità, resistenza alle trazioni) è usato per stoviglie, confezioni per gelato e yogurt, siringhe monouso, secchi per vernici e spazzatura, film, sacchi industriali.
- **Polistirolo (PS):** ha ottime qualità estetiche, facilità di decorazione, buona trasparenza, bassa permeabilità all'acqua; è usato per bicchieri, posate, coppette per gelato e yogurt, tappi, chiusure e cappucci spray e, nella sua forma espansa, per imballaggi protettivi di oggetti. E' però caratterizzato da un'elevata fragilità, un rapido invecchiamento e una bassa resistenza al calore.
- **Poliuretano (PUR):** utilizzato nell'industria automobilistica per i paraurti e come gommapiuma nell'arredamento.
- **Poliammidi (PA):** il prodotto più noto è il nylon, resistenza alla trazione meccanica.

# Principali fasi della vita dei manufatti in plastica



RECUPERO E  
RICICLO DELLE  
MATERIE  
PLASTICHE

# Origine del rifiuto

Classificazione dei rifiuti in base al tipo di flusso da cui derivano

**Rifiuti plastici pre-consumo (Scrap Plastics):** sono i rifiuti plastici industriali (RPI) costituiti dalla frazione di materie plastiche, in genere di pezzatura grossolana (scarti di lavorazione, sfridi, materiale raccolto nella fase di avvio o di arresto degli impianti di produzione). Essendo di natura chimica ben definita e, di solito, non sono contaminati da altre sostanze, possono essere riciclati con processi di lavorazione standard (esclusi il riciclo chimico e per combustione)

**Rifiuti plastici post-consumo (Waste Plastics):** sono costituiti dalla frazione di materie plastiche che dei rifiuti solidi che deve essere recuperata, riciclata, bruciata o smaltita in altro modo. Per i rifiuti plastici da RSU, derivanti da una raccolta indifferenziata, la separazione e il riciclo è un processo non sempre economico, infatti, nella composizione tipica dei RSU la % in peso di plastica è inferiore all'8% (ma è del 20-30% in volume). Se la plastica proviene dalla raccolta differenziata si ha che oltre il 90% dei rifiuti raccolti è plastica. In genere, questi rifiuti, sono contaminati da sostanze di varia natura (ad es. le bottiglie possono essere state utilizzate per contenere sostanze tossiche, oppure i teli per uso agricolo, possono essere contaminati da terra, da pesticidi e fertilizzanti), per cui richiedono trattamenti di lavaggio prima del riciclo. La raccolta selezionata in base all'uso, permette di ottenere di rifiuti post-consumo più omogenei (es. teli per uso agricolo, carcasse di batterie per auto, vassoi e stoviglie dei self-service, carcasse dei televisori, ecc.). Ciò semplifica i trattamenti e riduce i costi.

# Riciclo delle materie plastiche (segue)

Il riciclo comprende le seguenti fasi: **raccolta, stoccaggio, separazione, trattamenti di purificazione, rigranulazione** ed ottenimento di nuovi prodotti.

***Il riciclo si distingue in:***

- ***Riciclo Primario*** (meccanico) permette la trasformazione di ‘rifiuti pre-consumo’ in prodotti con prestazioni uguali a quelle dei prodotti ottenuti con i materiali vergini da cui gli scarti derivano.

- ***Riciclo secondario*** (meccanico) permette la trasformazione di tutti i rifiuti plastici in prodotti che richiedono prestazioni inferiori a quelle dei prodotti da cui derivano.

- ***Riciclo terziario*** (chimico) permette la trasformazione di tutti i rifiuti plastici mediante uno o più processi che consentono di ottenere prodotti chimici ben definiti (ad esempio monomeri) o combustibili.

- ***Riciclo quaternario / Recupero energetico*** (per combustione) che consentono il recupero di energia dai rifiuti plastici mediante combustione.

# Materie plastiche: riciclo meccanico

Consiste nella lavorazione meccanica dei rifiuti di plastica per trasformarli in materia prima-seconda per la produzione di nuovi manufatti.

Dal riciclo meccanico, in base alla tipologia del materiale plastico recuperato, si possono ottenere: **polimeri termoplastici macinati** (granuli e scaglie) adatti alla realizzazione di nuovi manufatti; oppure **polimeri termoindurenti macinati**, utilizzabili come cariche inerti nella lavorazione di termoindurenti e termoplastici vergini o riempitivi per altri prodotti poiché non possono essere rilavorati essendo infusibili.

Le fasi del riciclo meccanico sono:

Raccolta: attività di recupero dei materiali che si può distinguere in:

- *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 materiale recuperato da avviare al riciclo.

# Materie plastiche: riciclo meccanico

**Selezione:** la qualità dei prodotti ottenuti dipende dalla selezione del materiale di riciclo. Il miglioramento delle tecniche di selezione, in particolare dei prodotti post-consumo, permette di ottenere frazioni sempre più "pulite" di materiali omogenei. L'attività di selezione permette di eliminare eventuali frazioni estranee (vetro, carta, alluminio) dagli imballaggi in plastica e di suddividere quest'ultimi secondo la tipologia del polimero.

**A) Il riciclo omogeneo:** si applica alle plastiche selezionate e permette di ottenere delle materie plastiche pure, essendo il materiale finale corrispondente al materiale iniziale. Successivamente alla fase di raccolta e separazione da altri materiali, la plastica viene accuratamente selezionata per tipologia di polimero. Le metodologie applicate sono:

- 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 fasi successive.

# Materie plastiche: riciclo meccanico

**B) Il riciclo eterogeneo:** si applica alle plastiche non selezionate e permette di ottenere materie plastiche aventi una qualità inferiore ma con elevata resistenza (impiegata nei manufatti per l'arredo urbano, per la cartellonistica, ecc...). Il materiale misto in genere contiene manufatti in PE, PP, PS, PVC (film, taniche, vaschette, big bags, barattoli, reggette e retine) e, in minima parte, PET (contenitori per liquidi), inerti, metalli, altri imballaggi, metalli.

La prima fase è la **separazione** (prima morfologica e dimensionale e poi magnetica) di eventuali frazioni estranee che potrebbero creare problemi in fase di lavorazione. Successivamente il riciclo procede secondo tre fasi:

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

*Le differenti temperature di lavorazione dei polimeri miscelati esclude la possibilità d'impiego di plastiche eterogenee per la realizzazione di prodotti di forma complessa e che presentano spessori minimi ma, poiché presentano una elevata resistenza, ottime proprietà meccaniche e buone caratteristiche estetiche, risultano particolarmente idonee ad applicazioni nell'arredo urbano, pavimentazioni da esterni e manufatti per l'edilizia.*

# Materie plastiche: riciclo meccanico

- **Triturazione:** in questa fase avviene la frantumazione grossolana del materiale, ciò facilita la lavorabilità della macchine che stanno a valle dell'impianto. Il punto critico di questa fase è l'alimentazione dell'impianto. Infatti, se il sistema di caricamento è costituito da un ragno prensile (o da un nastro trasportatore) i manufatti rigidi possono non essere "agganciati". In questo caso la produttività del trituratore si abbassa. Per i materiali morbidi ed elastici, come film e teloni, l'alimentazione e quindi la produttività del trituratore, risulta pressoché costante. Le tecnologie oggi disponibili sul mercato consentono di macinare pressoché tutti i tipi di manufatti (film, bottiglie, pezzi stampati di grosse dimensioni).
- **Lavaggio:** si applica sul triturato per separare le parti che potrebbero essere dannose alla successiva fase di trasformazione. I sistemi di lavaggio differiscono in base alle tipologia del materiale. Così per i polimeri a densità inferiore dell'acqua, in prevalenza poliolefine, il triturato viene inviato nella vasca di lavaggio e trascinato dalla corrente d'acqua verso l'uscita della vasca. I materiali con densità maggiore dell'acqua (es. terra, parti metalliche o altri polimeri) si depositano sul fondo. Per gli altri polimeri il lavaggio avviene facendo passare il materiale su un nastro trasportatore sul quale viene spruzzata acqua. Per alcuni prodotti, come parti di bottiglia o manufatti stampati, contenenti etichette adesive, si ricorre al trattamento con soluzioni basiche che agevolano la separazione dell'etichetta e della colla.

# Materie plastiche: riciclo meccanico

- **Macinazione:** Il materiale lavato viene convogliato in un mulino macinatore al fine di ridurre ulteriormente la pezzatura del materiale. Questa operazione viene eseguita di solito per i manufatti rigidi (stampati). Per manufatti morbidi (film e fogli) la macinazione avviene dopo l'essiccamento. E' importante che il prodotto proveniente dal lavaggio non contenga parti metalliche o altro materiale che possa compromettere l'efficacia del mulino.
- **Essiccamento:** Il macinato, dopo lavaggio, viene inviato in un sistema di presse o centrifugato per eliminare da tutta l'acqua libera. L'umidità residua viene eliminata in corrente d'aria calda in essiccatori verticali (a zig-zag o centrifughi) per raggiungere il livello residuo di acqua del 2-3% compatibile con la lavorazione di estrusione e degasaggio. Il materiale essiccato viene inviato al silos di stoccaggio che, in genere, sono forniti di agitatori al fine di omogeneizzare il prodotto.
- **Granulazione:** è la fase finale del processo dalla quale ottiene il granulo. Il materiale prelevato dai silos viene inviato in un estrusore munito di una piastra forata con fori del diametro finale di 2-4 mm. Il polimero fuso che esce dalla filiera può essere tagliato a freddo con una taglierina trasversale (dopo raffreddamento dei fili estrusi in vasca ad acqua) distante dalla filiera, o tagliati a caldo con un sistema di coltelli rotanti a contatto della filiera stessa, in ambiente ad acqua nebulizzata.

*I materiali riciclati, ottenuti per via meccanica, sono impiegati prevalentemente in edilizia, agricoltura e per la produzione di beni durevoli. In genere sostituiscono (o vengono miscelati) con le materie plastiche vergini corrispondenti.*

# Il riciclo chimico

Si realizza attraverso **processi di depolimerizzazione che decompongono il polimero nei monomeri d'origine** (della stessa qualità di quelli vergini), da utilizzare di nuovo nella produzione. I processi chimici di decomposizione delle materie plastiche sono trattamenti termici grazie ai quali avviene il cracking delle catene polimeriche e permettono di ottenere **combustibili e prodotti chimici alternativi** a quelli derivati dai combustibili fossili, con vantaggi per l'ambiente (il risparmio di fonti non rinnovabili, la riduzione di emissioni di CO<sub>2</sub>, la riduzione dello smaltimento in discarica).

I polimeri di policondensazione quali il polietilentereftalato (PET), le poliammidi PA (Nylon), e i poliuretani (PUR), per loro natura chimica, sono maggiormente adatti a subire il processo di depolimerizzazione.

I processi di decomposizione chimica variano in relazione al reattore o al metodo utilizzato per la depolimerizzazione, ovvero al trattamento termico necessario per conseguire il cracking della catena polimerica.

# Il riciclo chimico

- **Pirolisi:** può avvenire a bassa temperatura (450-500°C), o ad alta temperatura (650-850°C) e permette di scomporre le macromolecole, per riscaldamento sotto vuoto, ottenendo una miscela di idrocarburi liquidi e gassosi simili al petrolio. Questa miscela può essere addizionata al petrolio grezzo e quindi tornare in ciclo. La pirolisi di rifiuti plastici omogenei o di scarti industriali, consente l'utilizzo dei prodotti ottenuti come feedstock nell'industria petrolchimica per la produzione di miscele di idrocarburi o di poliolefine.

- **Idrogenazione:** permette di trasformare, attraverso un processo di degradazione dei polimeri, a caldo ed in presenza di idrogeno, a idrocarburi liquidi dai quali si può ricavare nuovamente polietilene, PVC, polipropilene e gomma sintetica. Le materie plastiche miste possono essere sottoposte a cracking (come la virgin nafta) per produrre le olefine dalle quali si può ricavare nuovamente polietilene, polipropilene, PVC, gomma sintetica.

- **Gassificazione:** permette di ottenere, mediante un processo ad alta temperatura (800-1600°C) in assenza di aria, una miscela di idrogeno e ossido di carbonio che può essere utilizzata come combustibile, per le sintesi di prodotti chimici (come il metanolo) o può essere utile nella lavorazione di altre materie.

- **Chemiolisi:** permette di processare le singole plastiche dismesse per trasformarle nelle materie prime di origine.

- **Glicolisi (o Alcolisi), Metanolisi, Ammonolisi:** permette di riportare i policondensati (PET, PA e PUR) separati preventivamente dalle altre plastiche, allo stato di precursori intermedi. In questi processi di depolimerizzazione si utilizzano reagenti che innescano la depolimerizzazione. Questo processo è applicabile solo ai policondensati che devono essere preventivamente separati dalle altre plastiche.

# Riciclo energetico

***Riciclaggio energetico:*** dalla combustione si ottiene energia termica ed elettrica. La plastica ha un potere calorifico uguale a quello del carbone e, sebbene in peso costituisca il 7% dei rifiuti, produce il 50% di tutta l'energia generata durante la combustione. Il recupero di questa energia ed il suo utilizzo a fini civili e industriali può essere attuato attraverso:

***a - la combustione diretta dei rifiuti*** produce energia per riscaldamento e illuminazione. In Europa si bruciano attualmente circa 27 milioni di rifiuti (il 16% del totale), se si tutti i rifiuti fossero bruciati per generare energia, si coprirebbe quasi il 4% del fabbisogno di energia elettrica per usi domestici.

***b - trasformazione in Package Derived Fuel (PDF)*** degli imballaggi contenuti nei rifiuti solidi urbani (RSU). E' stato dimostrato che se tutti gli imballaggi di plastica fossero trasformati in PDF si potrebbero risparmiare 14 milioni di t/anno di combustibile.

# IL RECUPERO DELLE PLASTICHE

## (aspetti tecnici ed economico/commerciali)

Il riciclo delle plastiche non è sempre possibile. Le plastiche riciclabili sono generalmente le termoplastiche, che hanno la capacità di essere riestruse per riprendere forma in nuovi manufatti. Tra le principali ricordiamo: PET, PVC, PE, HDPE, LDPE, PP, ABS, PS, PC.

In tal caso però accade quanto segue:

- Un materiale termoplastico può essere riciclato un limitato numero di volte
- In ogni fase di riciclo, il materiale perde parte delle proprie caratteristiche fisiche.
- La plastica secondaria generalmente non può essere impiegata per lo stesso prodotto di partenza.
- Le plastiche non riciclabili potrebbero essere Riutilizzate come inerti edili oppure come combustibile per termovalorizzazione.

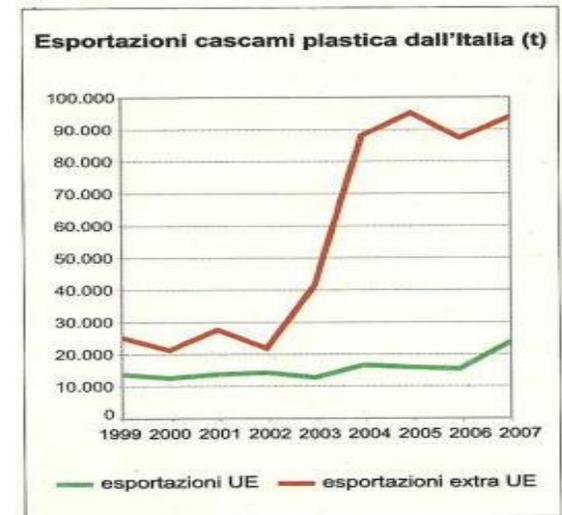
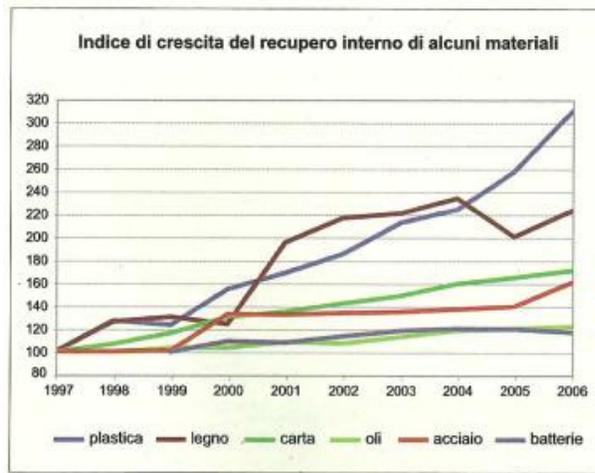


FIGURA 4 - FONTE: ISTITUTO COMMERCIO ESTERO, SISTEMA INFORMATIVO NAZIONALE PER IL COMMERCIO ESTERO, 2008.

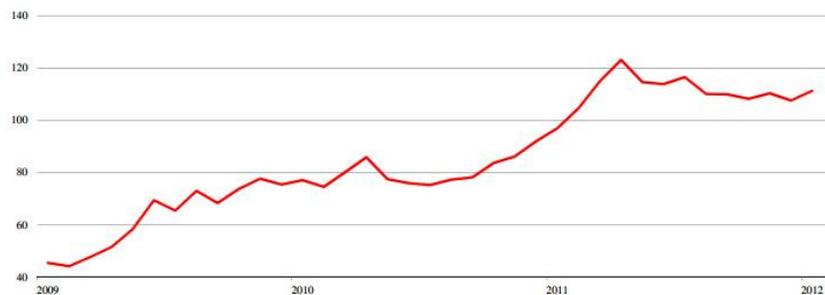


PLASTICA					
	2002	2006		2002	2006
IMPORTAZIONI	TONNELLATE	TONNELLATE	ESPORTAZIONI	TONNELLATE	TONNELLATE
FRANCIA	45.693	67.759	CINA, HONG KONG	7.640	68.072
GERMANIA	31.831	36.551	USA	10.687	9.502
BELGIO	3.786	21.185	FRANCIA	5.611	7.255
SVIZZERA	5.950	8.285	GERMANIA	3.739	3.935
AUSTRIA	4.968	6.291	MAROCCO	391	2.431
<b>MONDO</b>	<b>121.774</b>	<b>172.604</b>	<b>MONDO</b>	<b>35.495</b>	<b>102.083</b>

# Plastica secondaria: quotazioni di mercato

ULTIME OFFERTE DI MERCATO REGISTRATE		
DATI: 01/05/2012 ( <a href="http://www.alibaba.com">www.alibaba.com</a> )		
TIPOLOGIA	PREZZO	NAZ.
Scarto PVC CAVI elettrici (nuovo)	660/665 \$/T	Pakistan
Scarto PVC TUBI (nuovo)	700/1300 \$/T	CINA
Scarto PVC TUBI (post consumer)	360 \$/T	Indonesia
ABS Grigio da Monitor (usato)	340 \$/T	Italia
Scarto di PC da DVD e CD	1200/1400 \$/T	Pakistan
LDPE imballaggi da supermercato puliti	600/700 \$/T	Romania
PA66, PC, PET, PP, LDPE (scarti nuovi)	1000/2000 \$/T	USA (California)

Le quotazioni del petrolio



Varietà Brent; prezzo in dollari al barile



# Plastica secondaria: quotazioni di mercato

ULTIME OFFERTE DI MERCATO REGISTRATE		
DATI: 01/05/2012 ( <a href="http://www.alibaba.com">www.alibaba.com</a> )		
TIPOLOGIA	PREZZO	NAZ.
PET (scarti bianchi usati)	500/700 EUR/T	Pakistan
PET (scarti misti colorati usati)	580/600 EUR/T	UK
PET (scarto vergine)	1200/2200 EUR/T	Tianjin
SCARTI DI PLASTICA AUTOMOBILISTICA (HDPE, PP, OCC usati)	180/250 \$/T	Slovacchia
PA 66 NYLON (scarto nuovo)	2500/2800 \$/T	Spagna
HDPE e LDPE (scarto puro)	400/500 \$/T	Nigeria
PE (scarto puro)	540/590 \$/T	Cina
VETRORESINA (scarto di fibre nuovo)	FINO A 260/270 EUR	Taiwan



# Fattori di riciclabilità

Fattori di ***riciclabilità***:

## ***1. tecnici:***

- qualità del riciclato;
- composizione del materiale da riciclare;

## ***2. economici:***

- prezzo del polimero vergine (0,5 - 0,8 €/kg);
- costo complessivo dell' operazione;
- concorrenza di metodi alternativi di trattamento dei rifiuti;

## ***3. ambientali:***

- risparmio di risorse
- riduzione di emissioni nocive per uomo ed ecosistemi;

## ***4. normativi:***

- regolamentazione della materia, e accordi volontari.

# PVC

(polivinilcloruro)

# Processi di trasformazione del PVC

Le tecniche di trasformazione del PVC sono diverse: il loro impiego dipende dalla tipologia di manufatto ottenibile.

I manufatti di PVC si possono ottenere per:

**1 - Estrusione**

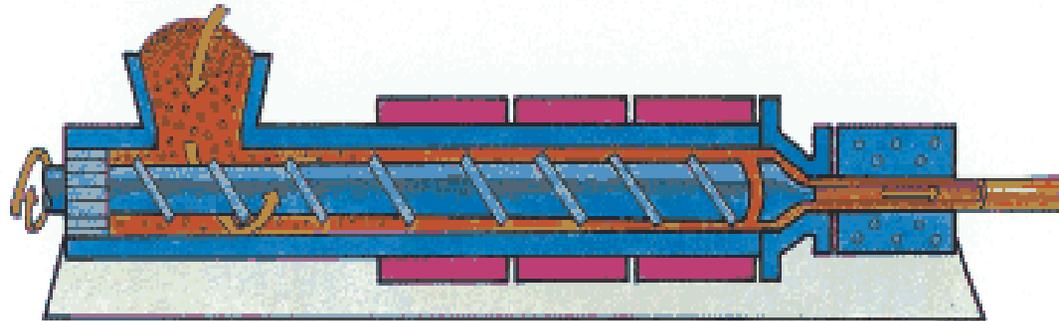
**2 - Iniezione**

**3 - Calandratura**

**4 - Spalmatura**

**5 - Stampaggio**

# Estrusione

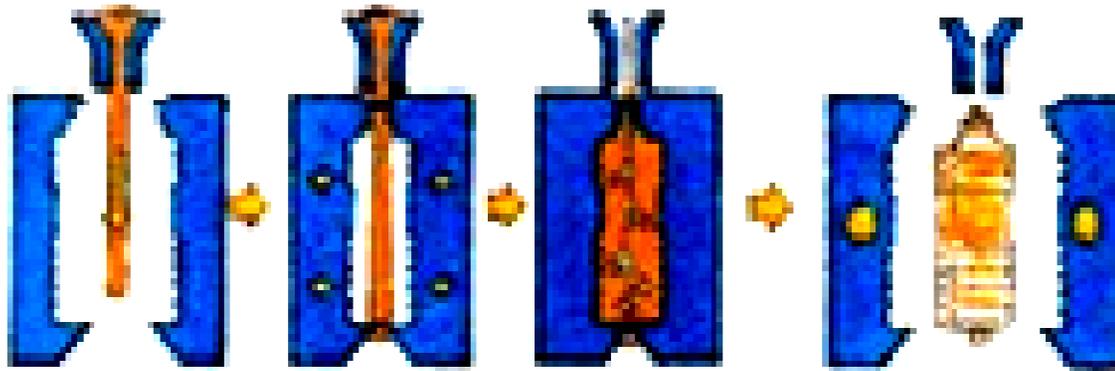


L'impianto è costituito da una vite continua, che ruota in un cilindro riscaldato, comprimendo il materiale plastico conducendolo alla fine del cilindro stesso dal quale esce il materiale modellato.

Questo tipo di lavorazione consente la produzione di articoli sia flessibili che rigidi come tubi, rivestimenti continui, cavi e fili.

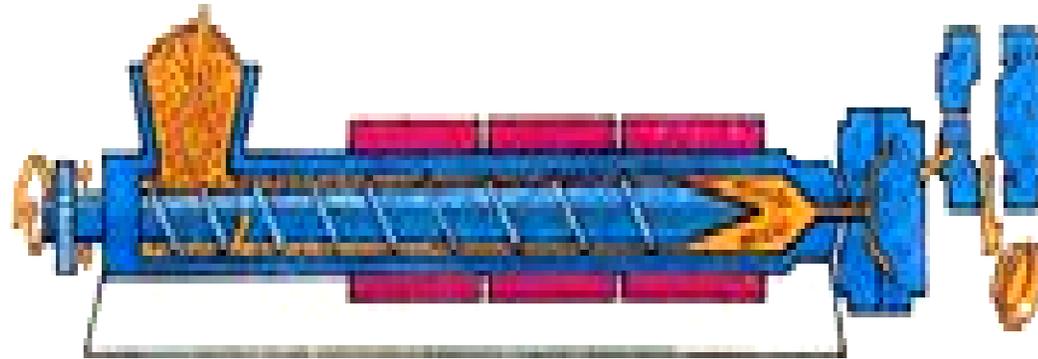
E' impiegata prevalentemente per la produzione di manufatti continui come tubi, profilati, film sottili, rivestimenti continui, cavi e fili.

# Estrusione a soffiaggio



Per produrre oggetti cavi a corpo unico, come bottiglie e flaconi, in una infinita gamma di dimensioni, forme e colori, trasparenze e opacità, si utilizza la tecnica di estrusione e soffiaggio.

# Iniezione

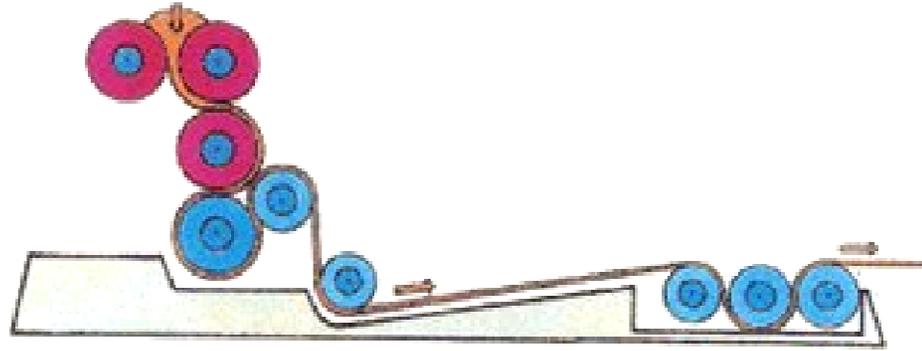


Il procedimento è simile a quello dell'estrusione, con la differenza che la vite rotante spinge il materiale all'interno di uno stampo.

In questo caso si possono realizzare anche prodotti composti da due diversi materiali.

E' un processo discontinuo applicato per la produzione di oggetti di forma complessa (ad es. corpo dei calcolatori, scatole di derivazione elettriche)

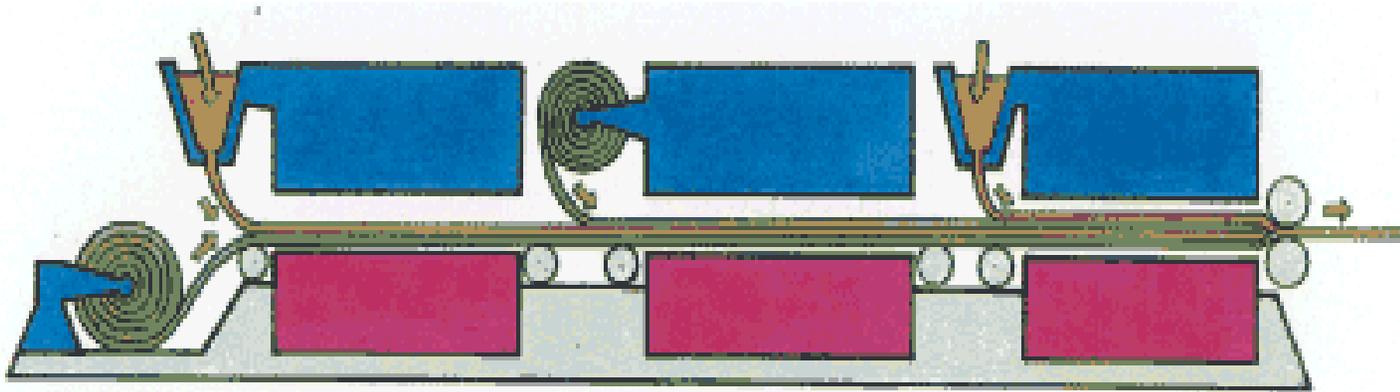
# Calandratura



E' un processo mediante il quale la plastica viene fatta passare attraverso cilindri metallici riscaldati e viene laminata in un film continuo di varia larghezza e spessore, con un'ampia gamma di finiture superficiali.

E' utilizzato per la produzione di imballaggi (ad es. vaschette termoformate per alimenti e blister per farmaceutici), carte di credito, tovaglie, accessori per l'abbigliamento e per l'arredamento, i rivestimenti murali e decorativi, cartotecnica (i raccoglitori ad anelli), le foglie di impermeabilizzazione per gallerie, coperture, bacini idrici, piscine etc.

# Spalmatura



E' un'operazione che consiste nello spalmare con uno strato di PVC molto fluido (plastisol) un supporto di carta, stoffa o tessuto per poi farlo solidificare in forno. Questa è la tecnica più utilizzata per produrre, ad es., le finte pelli.

Per proteggere dalla corrosione gli oggetti di metallo si ricorre, invece, alla deposizione in letto fluido di uno strato di PVC. Stivali, guanti, manopole vengono infine prodotti per immersione in plastisol.

# Stampaggio

- a - Per colata (cast moulding):** utilizzato per produrre raccordi, tappi e rulli per stampa.
  
- b - A rifiuto (slush moulding):** utilizzato per produrre articoli con estremità aperte come per esempio giocattoli.
  
- c - Rotazionale:** la materia plastica viene introdotta in uno stampo chiuso riscaldato, posto in rotazione, che aderendo alle pareti dello stampo grazie alla forza centrifuga, fonde formando il manufatto desiderato. E' impiegato per oggetti dalle forme complesse come, ad es., bambole, palloni e cruscotti per auto.

# Contenimento delle emissioni

In tutte le fasi di produzione e lavorazione del PVC vengono poste in essere operazioni mirate al **recupero dei prodotti e sottoprodotti di reazione** e al **trattamento dei reflui liquidi e gassosi**.

Così:

- le **acque di processo** vengono inviate all'impianto di trattamento biologico;
- le **frazioni organiche** clorurate vengono inviate alla termodistruzione con recupero di acido cloridrico,
- i **reflui gassosi** vengono inviati alla termodistruzione ad eccezione dell'aria calda di essiccamento.

L'insieme dei trattamenti abbassa la concentrazione degli inquinanti immessi nell'ambiente molto al di sotto dei limiti di legge. Questo è valido soprattutto per i composti organici (anche clorurati), per l'acido cloridrico, per le polveri e le diossine totali.

# Il riciclo meccanico del PVC

Il PVC viene separato dai diversi materiali, lavato e depurato dai residui e dalle eventuali contaminazioni ed è pronto per essere riutilizzato.

Il PVC riciclato conserva intatte molte delle sue caratteristiche fisiche e meccaniche.

E' possibile, inoltre, ottenere nuovi prodotti anche dai manufatti che nella fase del riciclo non riescono a staccarsi dal PVC.

I prodotti ottenuti dal riciclo sono destinati ad un vero e proprio mercato.

# Riciclaggio di prodotti contenenti **solo PVC**

## **Prodotti a fine vita**

- Bottiglie
- Tubi
- Membrane/coperture tetti
- Profili finestre

## **Nuovi utilizzi**

- Bottiglie/flaconi per non alimenti, tubi, profili, raccordi, soles, maglieria
- Tubi
- Membrane impermeabili
- Profili finestre

# Riciclaggio di prodotti contenenti **PVC ed altri materiali**

## **Prodotti a fine vita**

- Cavi
- Finte pelli
- Pavimenti

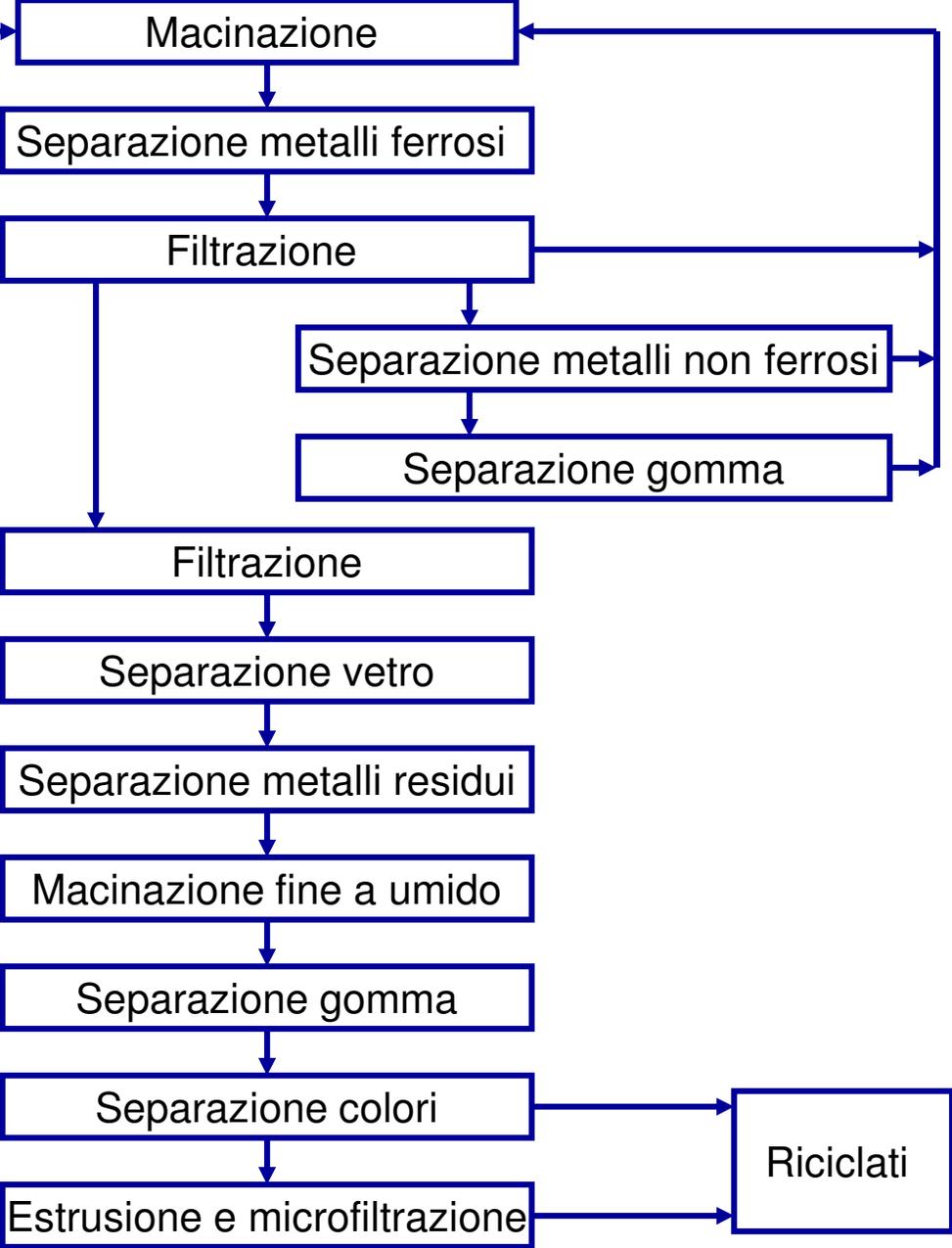
## **Nuovi utilizzi**

- Pavimenti industriali, compound
- Tappeti stampati, supporto di tappeti
- Pavimenti

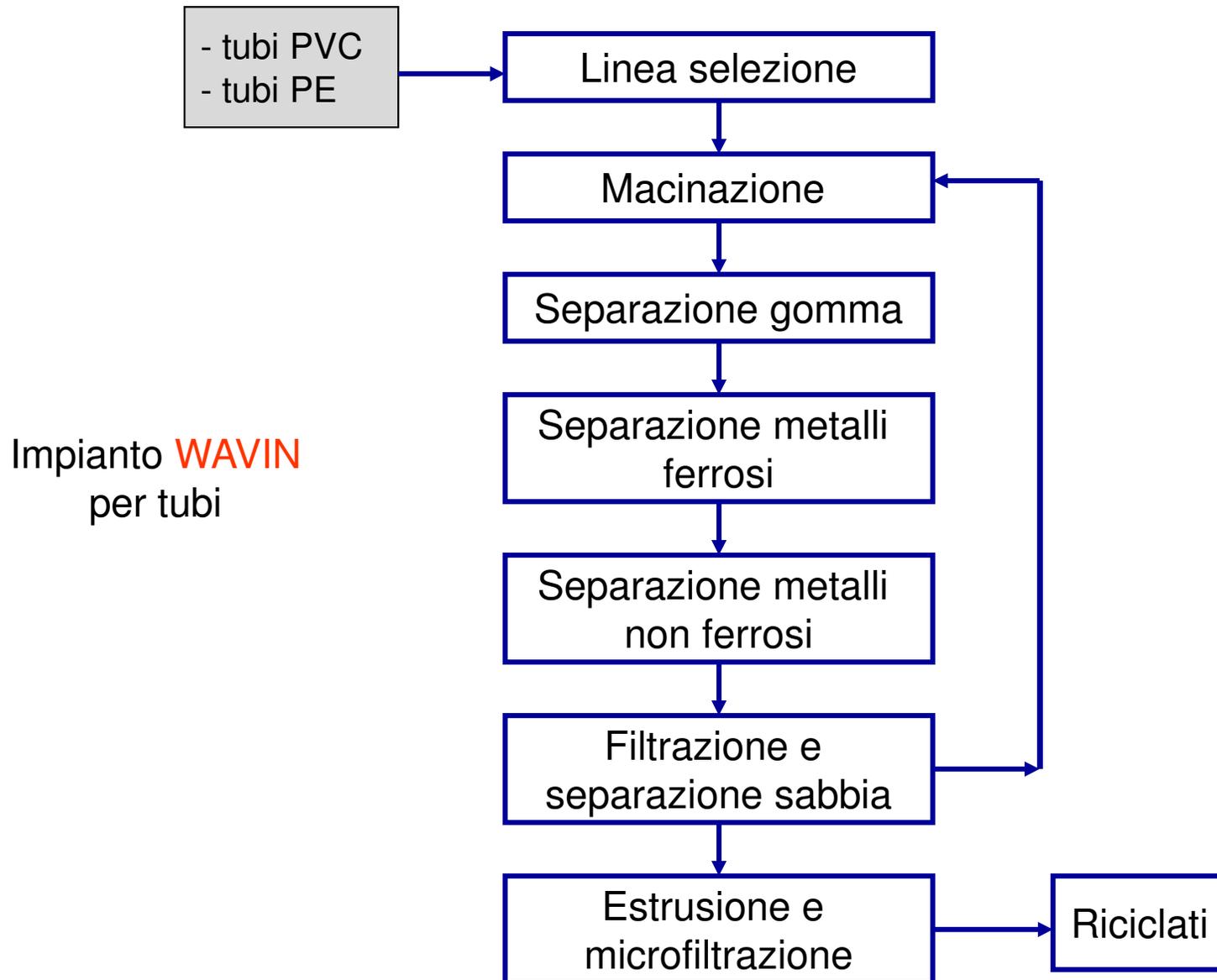
## Esempi di riciclaggio meccanico (finestre, tubi, pavimenti)

- **Germania:** è il maggior produttore di **finestre** in PVC; da anni è qui iniziato il riciclo delle stesse. Il sistema presentato è adottato nell' impianto *Veka* presso Behringen
- **Olanda:** il riciclaggio di **tubi** in PVC risale agli inizi degli anni '90. Il sistema presentato è relativo al produttore *Wavin*
- **Germania:** L' organizzazione *AgPr* ricicla **pavimenti** in PVC adottando il sistema qui presentato

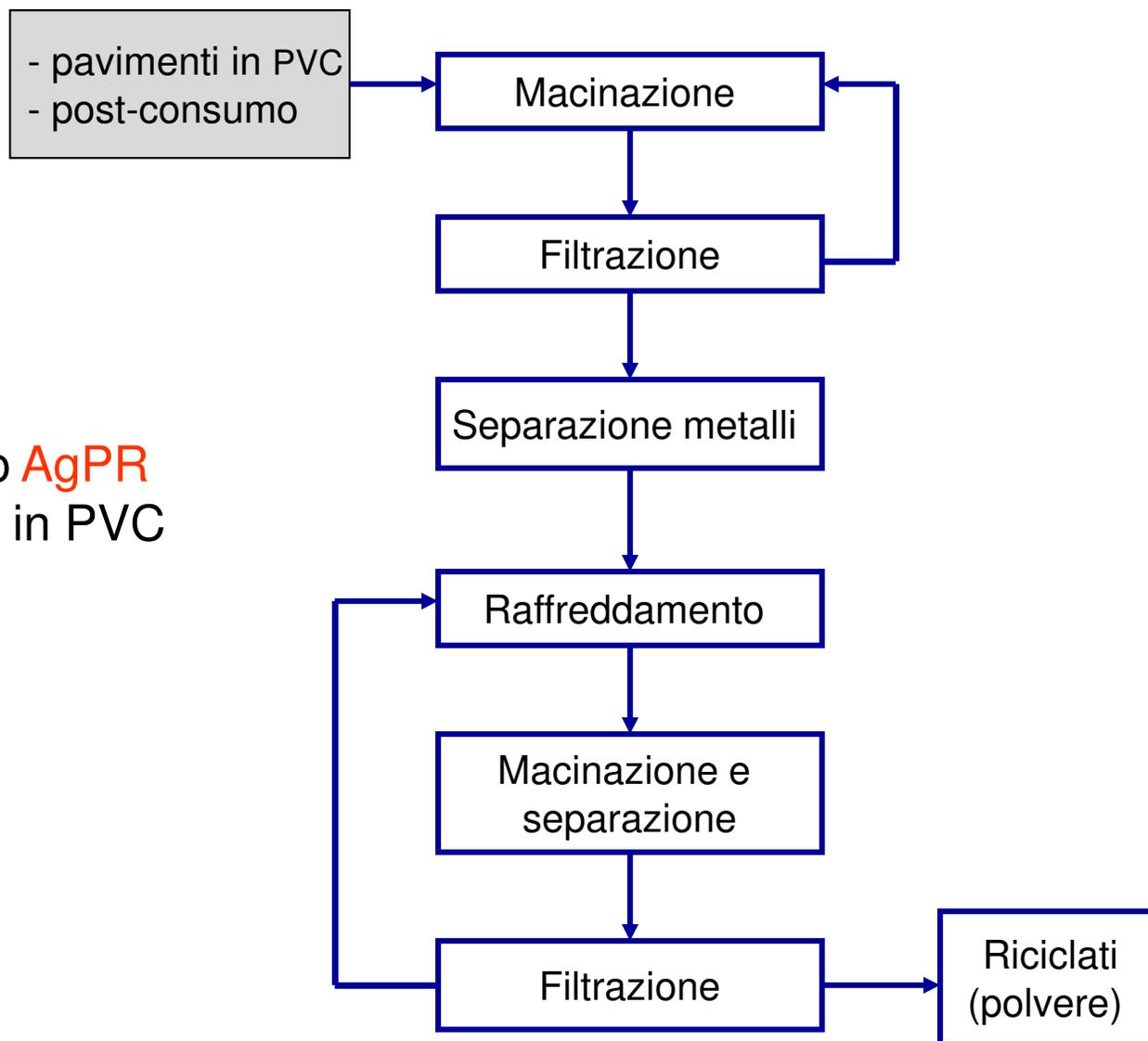
- scarti pre-consumo  
- finestre fine-vita



Impianto **VEKA**  
per profili finestre



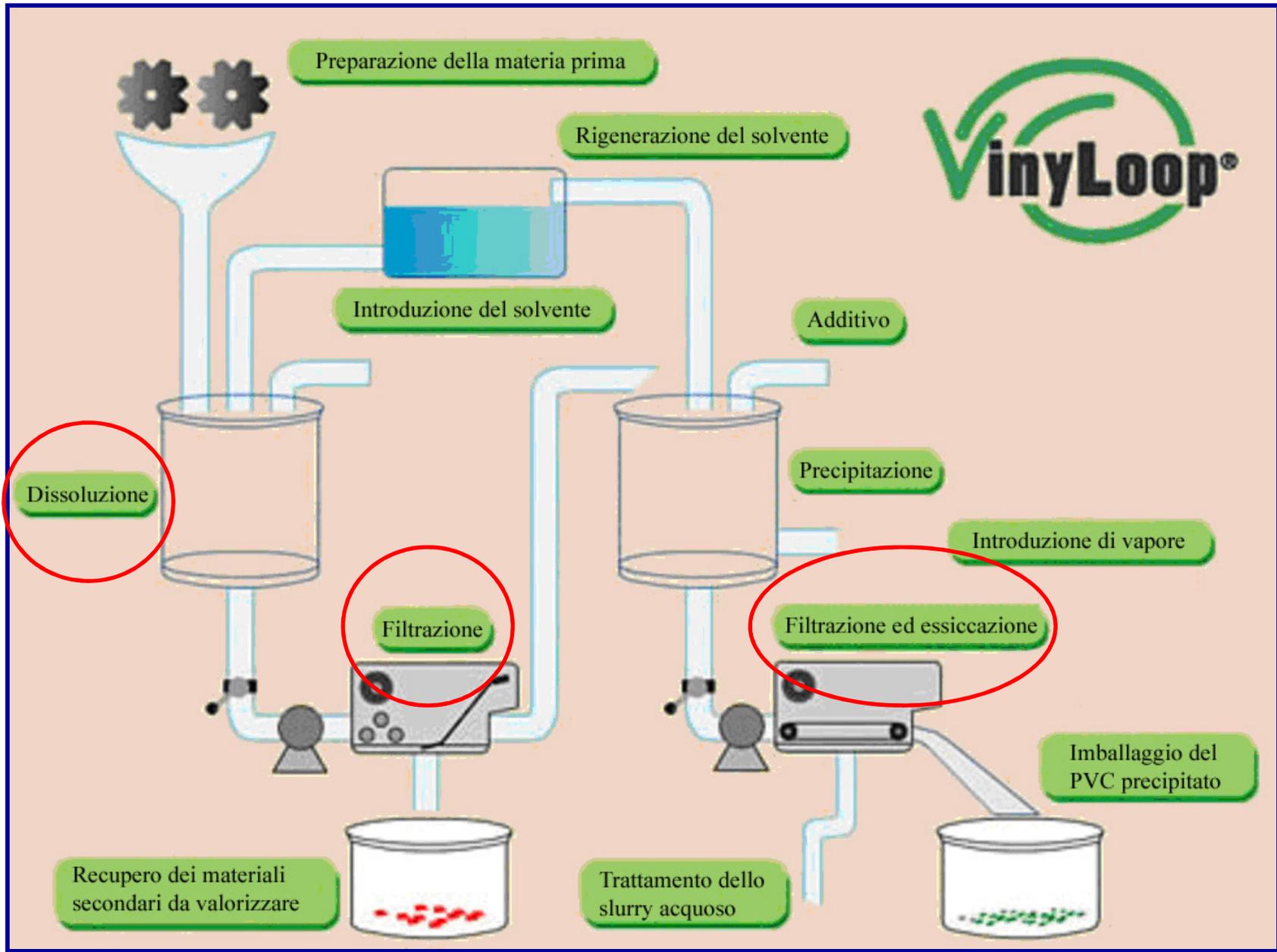
Processo **AgPR**  
pavimenti in PVC



# Processo “Vinyloop”

È un processo che permette di ottenere PVC rigenerato di qualità paragonabile a quello ottenibile da materiali vergini. La rigenerazione del PVC avviene tramite la *dissoluzione selettiva* del materiale, la separazione dei composti non solubili e la loro precipitazione.

- 1. Dissoluzione:** in un reattore chiuso i rifiuti contenenti compound di PVC vengono immersi in un solvente selettivo che scioglie completamente la catena polimerica del PVC. Questo comporta la liberazione degli additivi e dei materiali estranei e la loro dispersione nel solvente.
- 2. Separazione:** la soluzione viene poi filtrata e i componenti insolubili (materiali estranei al PVC) separati.
- 3. Precipitazione:** in seguito all'immissione di vapore, il PVC si separa dalla soluzione per precipitazione, mentre gli additivi vengono inglobati nei granuli di compound di PVC che si vanno così formando.
- 4. Essiccazione:** il materiale così ottenuto, detto slurry, (una miscela di particelle di compound di PVC e acqua) viene essiccato.
- 5. Recupero del solvente:** il solvente viene recuperato all'interno di un circuito chiuso e riutilizzato per il successivo procedimento di dissoluzione.



# Il processo Vinyloop (segue)

Il processo è classificato come riciclaggio meccanico

## ***Vantaggi:***

- trattamento con successo di prodotti compositi  
(PVC/poliestere, PVC/polipropilene, PVC/carta, PVC/Al, PVC/tessuti naturali );
- produzione di un compound puro;
- aggiunta di additivi;
- non inquinante.

# PET

(polietilentereftalato)

# Caratteristiche del PET

Il PET è una resina termoplastica trasparente, atossica e chimicamente inerte, appartenente alla famiglia dei poliesteri. Fu sviluppato nel 1941. Nei primi anni '60 il suo impiego si diffuse nell'imballaggio alimentare dove, oltre all'imbottigliamento delle acque minerali, di bevande gassate e soft drinks. Il PET è proposto in due tipi: PET amorfo (cioè non cristallino) adatto solo alla produzione di fogli o fibre e PET in parte cristallino, che può essere impiegato per la produzione di bottiglie.

## II PET

- offre numerose **soluzioni di design**;
- più **leggero e resistente** dei materiali alternativi, in particolare del vetro, è adatto all'impiego nell'industria dell'imballaggio e, soprattutto, nella produzione di bottiglie;
- la sua **trasparenza** migliora la presentazione del prodotto;
- la sua **leggerezza** fa sì che il peso trasportato sia solo quello della bevanda, non del contenitore;
- la sua **resistenza** garantisce confezioni robuste, sicure e praticamente infrangibili;
- ha **proprietà meccaniche** eccellenti;
- è **insipore**;
- funge da **barriera protettiva bidirezionale**, poiché impedisce l'ingresso di ossigeno e, per le bevande gasate, la fuoriuscita di anidride carbonica;
- **riciclabile** al 100%

Il PET, pertanto, soddisfa le norme più severe sugli imballaggi alimentari.

# Il ciclo di vita della bottiglia di PET



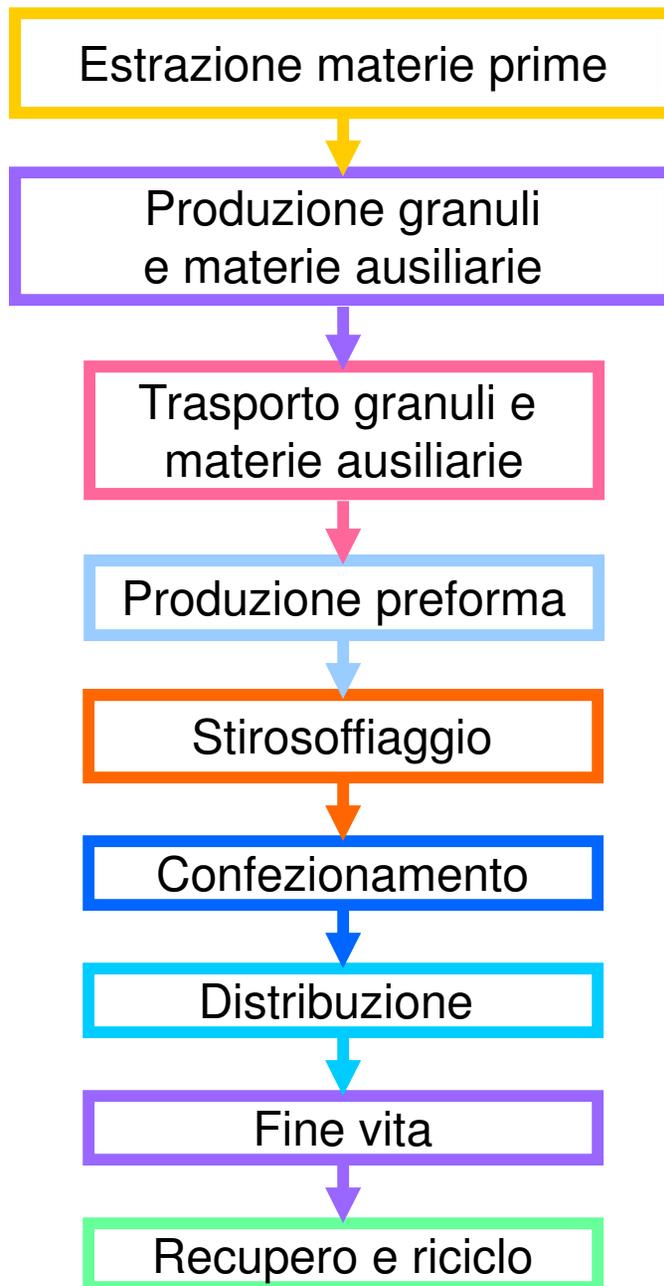
Una bottiglia di PET da un litro è costituita da: bottiglia vera e propria in PET (26g); tappo in HDPE (3.5g), etichetta (0.77g).

Le fasi sopra descritte possono essere riassunte e generalizzate in quattro fasi:

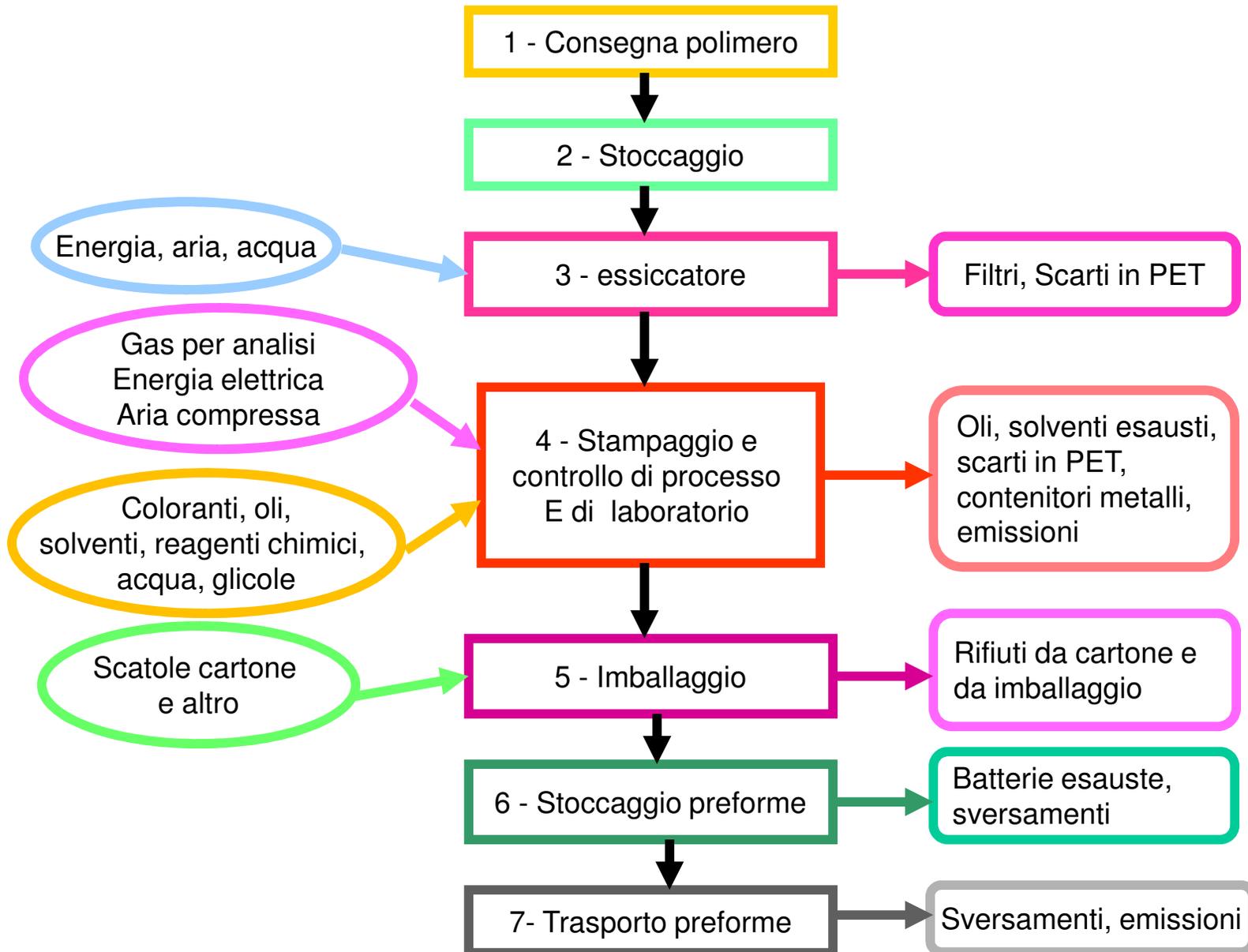
- **Produzione della bottiglia stessa;**
- **Confezionamento: riempimento, con acqua o latte;**
- **Distribuzione;**
- **Fine vita: recupero e riciclo.**

La prima fase è l'estrazione delle risorse naturali (petrolio, cellulosa e gas) che vengono trasportate nelle sedi di produzione di materiali di base (polietilentereftalato e coloranti), e dei materiali ausiliari (oli, solventi, grassi e imballaggi di ogni genere) insieme con la produzione e il trasporto dell'energia che successivamente verrà utilizzata. I materiali di base e ausiliari verranno trasportati nel medesimo sito di produzione della preforma in PET. La preforma finita verrà inviata allo stirosoffiaggio che permette di ottenere la bottiglia della forma desiderata e, quindi, al confezionamento (le due fasi generalmente avvengono nello stesso sito produttivo).

## Il ciclo di vita della bottiglia in PET



# Produzione delle preforme



# Il recupero ed il riciclo delle bottiglie di PET

Il settore che ha tratto maggiori benefici dall'impiego del PET è quello dell'imballaggio alimentare. In particolare i film trasparenti che consentono di realizzare imballaggi alimentari flessibili, vaschette termoformate, trasparenti ed opache resistenti nei forni tradizionali e microonde (per surgelati, salumi, formaggio, latticini, paste fresche, monoporzioni per ristorazione collettiva ecc.) e soprattutto contenitori soffiati (bottiglie) per bevande ed acque minerali gassate e non. Ciò è dovuto al fatto che tali contenitori rispondono pertanto al meglio alle diversificate esigenze dei produttori, distributori e consumatori.

La fase di fine vita comprende: raccolta e selezione; riciclo meccanico; recupero energetico; discarica;

Nell'industria del recupero e riciclo la tecnica più utilizzata è quella meccanica poiché permette di ottenere direttamente i granuli di PET.

# Il recupero ed il riciclo delle bottiglie di PET

Il riciclo meccanico permette di ritornare ai granuli di PET senza che ci sia interazione con altre risorse naturali, se non quelle utili per la produzione di energia. Il successo del riciclo e la qualità del prodotto ottenuto sarà in funzione della selezione operata sul prodotto di riciclo. I rifiuti plastici possono essere raccolti attraverso “campane” con l’utilizzo di camion, o con il metodo “porta a porta”. Il consumo energetico è dovuto all’utilizzo di autocarri ed energia combustibile.

Attraverso la selezione vengono separati gli imballaggi plastici per tipologia, ossia bottiglie, flaconi e altri contenitori che devono essere mandati in macchinari diversi.

I consumi sono quelli delle macchine: pressa, nastri, tramogge, compressori e muletti.

# Il recupero ed il riciclo delle bottiglie di PET

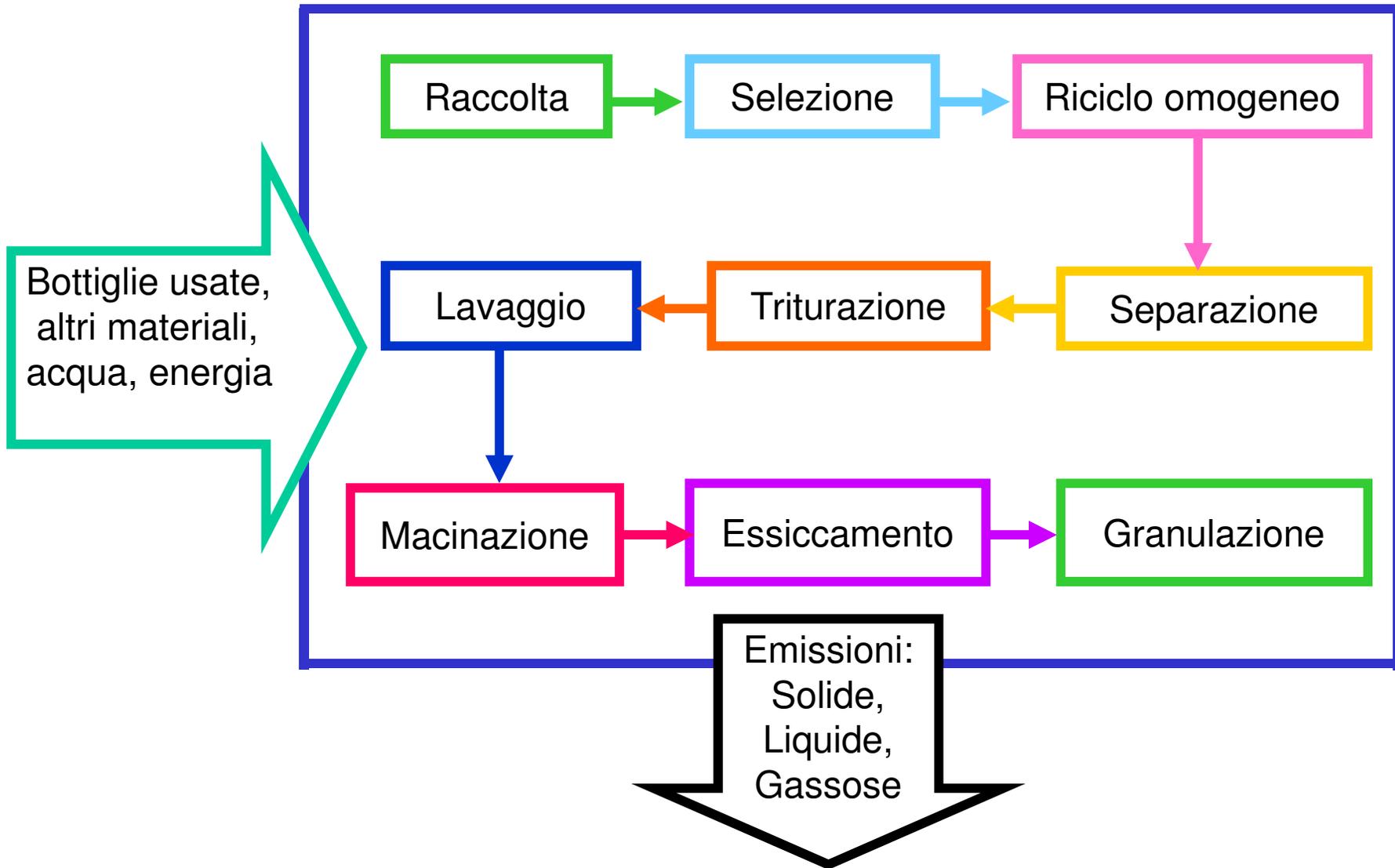
Il riciclo meccanico (processo Erreplast per ottenere scaglie di PET di alta qualità) ha inizio con la sbollatura ad umido delle balle in un cilindro vaglio e lavaggio con acqua calda per una prima separazione delle etichette; alimentazione bottiglie PET; prelavaggio; selezione manuale ed automatica; macinazione, lavaggio e flottazione; separazione residui (colla, carta e altro); essiccamento; seconda macinazione; depolverazione; stoccaggio in silos; controllo di qualità; imballo.

# Il recupero ed il riciclo delle bottiglie di PET

Le bottiglie vengono selezionate, per consentire la separazione dagli altri contenitori non-PET (PVC, PE, PP, PS, ecc) e dalle frazioni residue diverse dalla plastica, sia manualmente che in automatico, mediante detectors a raggi x, ad infrarossi e metaldetector. Vengono macinate e ridotte in scaglie che sono poi separate per flottazione dai materiali poliolefinici residui. Successivamente lavate e sottoposte ad una energica azione di frizione ad alta temperatura e quindi sottoposte a risciacquo per essere “purificate” da colle, etichette ed altre sostanze estranee. Le scaglie così ottenute, dopo essiccamento, vengono macinate finemente, depolverate ed inviate alle stazioni di omogeneizzazione e stoccaggio.

L'intero impianto, controllato da un sistema computerizzato, è dotato di un complesso sistema di riciclo delle acque di processo (fino al limite di salinità, COD e BOD) che riduce i consumi di acqua e di prodotti chimici.

# Riciclo meccanico



# Applicazioni del PET riciclato

L'Italia è il primo riciclatore di PET in Europa, secondo al mondo solo agli Stati Uniti.

Le principali applicazioni del PET riciclato nel nostro paese sono:

- fabbricazione di tappetini per auto;
- imbottiture;
- applicazioni nell'industria tessile.

Il PET riciclato può essere suddiviso in:

1. materiale con peso molecolare elevato (viscosità  $> 0.65$ );
2. materiale con peso molecolare basso (viscosità  $< 0.60$ ).

Il 55% del mercato del PET riciclato è costituito dall'industria delle fibre in PET che possono essere lavorate in fiocchi, filamenti, non tessuti (tappetini) e riempimento (con viscosità  $> 0.65$ ). Il 45% invece è costituito da fogli o granuli di PET amorfo.

# Applicazioni del PET riciclato (segue)

L'adozione di un sistema di marcatura, da applicare nella fase di riempimento, attribuirebbe agli imballaggi di plastica una “patente” di riciclabilità e consentirebbe la selezione automatica degli imballaggi dopo la raccolta.

Ciò porterebbe all'aumento delle quantità di imballaggi da riciclare e all'avviamento di un processo di prevenzione, basato sul principio di concedere il marchio solo agli imballaggi effettivamente riciclabili.

Tale esigenza risponde al bisogno di poter accelerare la fase di selezione e separazione dei vari polimeri che costituiscono i diversi imballaggi e di ridurre i costi complessivi.

Un altro metodo che si sta facendo strada è quello basato sul riconoscimento ai raggi X dei polimeri.

# Analisi ambientale della produzione di PET

## (1)

- **fabbisogno di energia:** l'80% è assorbita dalla fase di produzione. Di questo il 98% è imputabile alla produzione della preforma. A sua volta l'87% circa del fabbisogno energetico è assorbito dalla produzione dei granuli in PET.
- **consumo di combustibile fossile:** circa l'89% è imputabile alla fase di produzione dei granuli di PET, il 10% è utilizzato per l'energia elettrica e solo l'1% è attribuibile agli altri processi.
- **consumo di petrolio:** circa il 53% è energia da feedstock e solo il 27,5% dell'energia da petrolio estratto è bruciata come combustibile nei vari processi. Il 19,5% è impiegato nella produzione di combustibile e nei trasporti. Il 19,1% dell'energia da feedstock deriva dal gas naturale e serve per produrre il dimetiltereftalano
- **rifiuti solidi:** sul totale di quelli che scaturiscono dalla produzione, il 20% sono costituiti da scarti della produzione di granuli di PET, mentre l'80% deriva dalla produzione degli imballaggi.
- **emissioni di CO<sub>2</sub>:** il 57% proviene dalla fase di produzione. Di questo: il 30% deriva dall'utilizzo di energia termoelettrica, il 34% da petrolio, il 36% da gas naturale. Il 42% deriva dalla produzione di questi combustibili. Solo l'1% dell'anidride carbonica proviene direttamente dai processi e di questo il 98% deriva dalla produzione di granuli di PET.

# Analisi ambientale riciclo meccanico (2)

- **Energia recuperata** nella fase di riciclo: il 54% rimane energia contenuta nel materiale; solo la parte rimanente è energia diretta risparmiata dalla evitata produzione di PET vergine.
- **Credito di CO<sub>2</sub>** (entità che si evita di emettere): costituito per il 36,3% dalla evitata produzione di combustibili per la produzione del PET e per il 100% dalla evitata combustione di questi per la stessa fase del processo.
- **Emissioni di SO<sub>x</sub>**: nella produzione e trasporto di combustibile viene prodotta per l'80%. Di questo il 45% è dato dalla produzione dei granuli.
- **Credito di SO<sub>x</sub>**: il riciclaggio evita l'emissione nell'aria della SO<sub>x</sub> e in particolar: il 56% dalla evitata produzione di PET vergine e il 44% dalla evitata produzione di fibre poliestere vergini.
- **Emissioni di NO<sub>x</sub>** - produzione e trasporto combustibili: il 61% è imputabile alla produzione di granuli. Da utilizzo dei combustibili: il 98% proviene dalla produzione. Nel riciclo si azzerano le emissioni.
- **Consumo della risorsa petrolio**: l'86% è dato dalla fase di produzione. Di questo il 97% è dato dalla produzione della preforma e a sua volta il 90% dalla produzione di granuli. Nel riciclo la quota di petrolio risparmiata è totale, tolta una quota derivante dalle fasi di raccolta e selezione.
- **Impoverimento della risorsa gas naturale**: estratto per l'86,5% in fase di produzione di cui il 90% dalla produzione di granuli. La quasi totalità viene risparmiata nella fase di riciclo.

# Conclusione

Dal punto di vista della sostenibilità ambientale dei processi descritti, si può rilevare che:

- la produzione delle bottiglie in PET ha un elevato impatto ambientale.
- il recupero e il riciclo permette di ridurre gli impatti ambientali sia attraverso il risparmio di risorse non rinnovabili che e limitando notevolmente le emissioni.
- il risultato è una riduzione dei costi di produzione per effetto di un minor costo d'acquisto dei granuli da riciclo rispetto a quelli vergini: in media costa circa il 60% in meno.
- Gli impianti sono di meno e meno costosi, i processi più semplici.