

una valorizzazione. Il percorso intrapreso dal Consorzio per l'ottenimento di frazioni omogenee riciclabili consiste in una diminuzione delle quantità richieste ed il passaggio da una valorizzazione del prodotto collocato (MPO), ad una contribuzione da parte del Consorzio per l'avvio a riciclo (per MPO e PLA-SMIX) (tabella 3.4)<sup>62</sup>.

Dalle materie in plastica in entrata alla piattaforma di selezione, previa eliminazione della frazione di PET e PP/HDPE, si ottiene uno scarto che viene sottoposto al riciclo meccanico che si compone delle seguenti fasi:

- Selezione;
- Triturazione;
- Lavaggio;
- Macinazione;
- Essiccazione;
- Granulazione.

Come prodotto di questo processo, si ottiene il Plasmix, miscela di poliolefine costituita in diverse percentuali da LDPE, HDPE, PP.

Le scaglie e i granuli prodotti vengono utilizzati come materia prima per "riprodotti" in plastica, profili e pallets, attrezzature per parchi e giardini o avviarlo ad altre destinazioni come ad esempio pannelli fonoassorbenti, materiale per auto motive, articoli per la casa, profilati cavi per pavimentazioni per prefabbricati.

Formulazioni contenenti significative quantità di Plasmix sono state messe a punto da Piaggio e REVET in Toscana per applicazioni nel settore due ruote.

Un altro esempio molto interessante è fornito dagli articoli per la casa prodotti utilizzando Plasmix. La linea Utiligreen include secchi, cestini, vasi e sottovasi, fioriere, scope per la casa, palette raccogli rifiuti.

## CAPITOLO 5

### PLASTICHE DA VEICOLI A FINE VITA (ELV)

Quando un veicolo non è più in grado di circolare, occorre disfarsene in modo adeguato. La demolizione dei veicoli costituisce uno dei maggiori problemi a livello ambientale, al momento.

Tra l'altro è importante demolire in modo razionale i veicoli fuori uso (VFU) o End Life Vehicles (ELV).

Infatti tre quarti delle materie prime (soprattutto metalliche) sono riciclabili, riutilizzabili o recuperabili, mentre un quarto di queste (materie plastiche per la maggior parte) non è riciclabile. La plastica, che viene utilizzata sempre più spesso in sostituzione del metallo, perché riduce il peso dell'automobile e quindi i consumi, è però molto più difficile da riciclare.

Le dimensioni del problema sono enormi: sono in circolazione in Europa 160 milioni di automobili [in Italia 34 milioni circa di autovetture – *dati APAT 2004, Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici*].

Ogni anno, in Europa, vengono rottamati circa 15 milioni di veicoli (solo in Italia, nel 2008, circa 1.500.000-2.000.000 unità).

Equivalgono a 2 milioni di tonnellate di rifiuti, il 15-20% del totale dei rifiuti prodotti in Europa.

#### 5.1 Aspetti normativi

Il D.Lgs 209/2003 e il D.Lgs 149/2006 (disposizioni correttive e integrative al precedente decreto) di recepimento della direttiva 2000/53/CE in materia di veicoli fuori uso hanno introdotto significative modifiche per modernizzare la filiera di trattamento dei veicoli a fine vita in modo tale da adeguarsi a specifici requisiti tecnici ed assicurare un funzionamento efficiente razionale ed economicamente sostenibile.

Nel corso del 2000 l'UE ha adottato una direttiva europea (2000/53/CE) sui veicoli da rottamare che mira ad incrementare al massimo la percentuale di riciclo e riutilizzo delle componenti del veicolo, a tutela dell'ambiente e per una riduzione dell'inquinamento.

Quali sono le finalità del D.Lgs. 209/2003 + D.Lgs 149/2006?

1. Riduzione dell'impatto generato sull'ambiente dalla gestione dei veicoli fuori uso (ELV)
2. Creazione dei presupposti e delle condizioni per garantire un sistema efficiente, razionale ed economicamente sostenibile nella raccolta, recupero e riciclaggio degli ELV
3. Corretto funzionamento del mercato interno evitando distorsioni della concorrenza
4. Sviluppo delle attività legate al recupero e al riciclaggio dei materiali provenienti dai veicoli

Per attuare gli obiettivi generali, secondo il principio della "responsabilità condivisa", viene previsto il coinvolgimento nella gestione dei veicoli fuori uso di tutti gli operatori interessati:

- Produttori di veicoli e componenti
- Concessionari
- Operatori addetti alla raccolta
- Imprese di demolizione, di frantumazione, di recupero e di riciclaggio

All'interno di questo Decreto Legge sono innanzitutto previsti comportamenti rigorosi da parte dei produttori:

- Maggiore cura nella progettazione dei veicoli in vista del loro riciclaggio e recupero
- Sostenere, totalmente o in misura significativa, i costi del fine vita
- I produttori provvedono a ritirare i veicoli fuori uso organizzando una rete di centri di raccolta
- Dal 1° Luglio 2007 la rottamazione dell'intero parco circolante è a carico delle Case produttrici
- Dal 1° Gennaio 2015 dovrà essere recuperato il 95% e riciclato l'85% del peso medio del veicolo per anno

A partire dal 1° Gennaio 2009 il D.Lgs. 36/2003 prevede il divieto di smaltimento in discarica di rifiuti con PCI (potere calorifero inferiore) > 13.000 kJ/kg

Per l'anno corrente l'Italia ha chiesto una deroga anche per il 2012 e quindi molto del materiale proveniente dalla rottamazione delle auto continuerà ad andare direttamente in discarica.

Obiettivi di recupero stabiliti dall'art.7 del D.Lgs. 209/2003:

- Entro il 1° Gennaio 2006: 85% di recupero, 80% riciclaggio e reimpiego
- Entro il 1° Gennaio 2015: 95% di recupero, 85% riciclaggio e reimpiego

Per raggiungere entro il 2015 l'obiettivo del recupero/riciclaggio del 95% del peso di tutti i veicoli fuori uso sarà necessario un impegno straordinario da parte dei costruttori di automobili e di tutti gli operatori del settore. Oltre a innovare, essi dovranno dedicare molta attenzione ai problemi di riciclaggio nel corso della fase progettuale delle nuove automobili:

- contrassegnare le singole componenti in modo da renderne possibile l'identificazione;
- rendere più semplici le operazioni di smontaggio delle componenti;
- utilizzare materiale riciclabile.

Ne nascerà dunque un nuovo settore, con i centri di trattamento dei veicoli da rottamare, le reti di riciclaggio, demolizione e selezione che utilizzeranno tecnologie d'avanguardia. Mediante i Programmi quadro per la ricerca e lo sviluppo tecnologico, la Commissione Europea continuerà ad aiutare l'industria e la società a trovare soluzioni valide dal punto di vista ambientale ed economico.

L'analisi dei dati relativi all'anno 2008, mostra livelli di riciclaggio/recupero soddisfacenti e in continua crescita rispetto agli anni precedenti. La percentuale di reimpiego e riciclaggio raggiunge l'84,3% del peso medio del veicolo superando, anche se con due anni di ritardo rispetto all'obiettivo previsto per il 2006, il target dell'80% previsto dall'articolo 7, comma 2, del D.Lgs. 209/2003. Anche il recupero totale, comprensivo della quota avviata al recupero di energia, che si attesta all'87,1% del peso medio del veicolo, risulta al di sopra dell'obiettivo (85%) previsto per il 2006 <sup>52</sup>.

## 5.2 Materiali nell'auto

Mediamente una autovettura è costituita per il 75% del suo peso da materiali metallici ferrosi e non, il restante 25% risulta composto da materiali organici e vetri (Figura 4.1).

L'impiego di materiali plastici nel settore 2, 3, 4 ruote è sempre maggiore. Infatti i materiali plastici sono insostituibili se si pensa al rapporto tra prestazioni e peso specifico.

Come possiamo vedere dalla tabella 5.1 i materiali polimerici sono ormai indispensabili per la costruzione delle automobili.

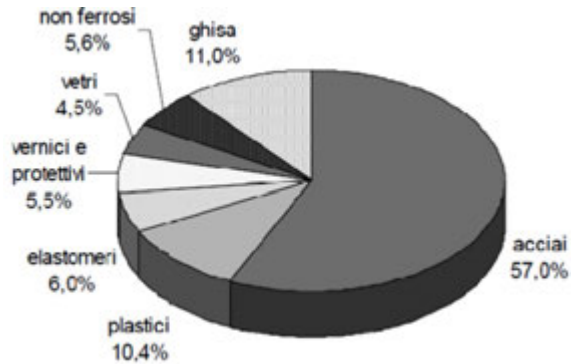


Figura 5.1. Percentuale dei diversi materiali nelle auto

Tabella 5.1. Materiali polimerici utilizzati nell'automobile

Componente	Principali tipi di plastiche	Peso medio nel veicolo al termine del ciclo di vita (ELV) (Kg)
Paraurti	PP, PP+EPM	10.4
Sedili	PU, PP, PA, PVC, ABS	18.4
Plancia	PP, SMA, ABS, PC, PVC, PU	21.3
Circuito del combustibile	PE, POM, PA	8.6
Pannelli e componenti telaio	PP, PPE, UP	10.8
Componenti sotto cofano	PA, PPE, UP	13.8
Rifiniture interne	PP, ABS, POM, PVC, PU	31
Componenti elettrici	PP, PVC, PA, PBT, PE	10.3
Rifiniture esterne	ABS, PA, PP, PBT, ASA	5.1
Fanaleria	PP, PC, ABS, PMMA, UP	5.6
Tappetzeria	PU, PP, PVC	6.8
Altri serbatoi	PP, PE, PA	1.5
<b>TOTALE</b>		<b>143.4</b>

In sintesi queste sono le parti dell'auto messe a punto con materiali polimerici:

- Cruscotto: Polipropilene (PP)+ additivi e cariche
- Interni in pelle sintetica: Polivinilcloruro (PVC) + additivi
- Fanali: policarbonato
- Tappeti e tessuti: Poliammide, PP
- Paraurti: Polipropilene (PP) e copolimero etilene propilene con distribuzione random dei due comonomeri (EPM)
- Pneumatici: Gomme di diverso tipo (SBR, BR, NR)

I materiali plastici sono circa il 12% del peso complessivo del veicolo, ma appartengono a circa 10 famiglie polimeriche. I materiali plastici più rappresentativi sono termoplastici. In prevalenza sono poliolefine PP e PE.

Gli elastomeri costituiscono il 5% in peso del veicolo. Gli elastomeri più rappresentativi sono SBR per gli pneumatici e EPDM per le guarnizioni. Sono presenti, in quantità minime, anche altri elastomeri.

### 5.3 La filiera di trattamento degli ELV

Possiamo ora considerare i vari aspetti della filiera di trattamento degli ELV (o VFU):

- Costruttori di veicoli: rappresentano il primo anello della gestione ELV in quanto possono rendere i veicoli facili da smontare per recuperare le diverse parti, possono contrassegnare con simboli le diverse parti per indicare i materiali di cui sono costituite e scegliere i materiali in funzione del loro possibile recupero e riciclo.
- Bonificatori: sono costituiti dai rivenditori e dalle officine meccaniche e di riparazione di autoveicoli, preposte alla sostituzione di carburante, batterie, condensatori, liquido freni, liquido refrigerante, liquido di condizionamento aria, olio motore, air bag.
- Demolitori: sono impianti in cui gli ELV vengono sottoposti ad operazioni di messa in sicurezza consistenti nella rimozione dei componenti ambientalmente critici e di quelli riciclabili e nello smontaggio delle parti di ricambio che possono essere rivendute sul mercato dell'usato. Sono i demolitori che trattano gli pneumatici, i carburatori, i fanali, i paraurti, i motori e componenti vari.
- Rottamatori: i rottamatori si occupano della pressatura delle carcasse delle auto.
- Frantumatori: presso i frantumatori le parti metalliche vengono separate da quelle non metalliche. Le prime vengono riciclate in fonderia; la parte restante è il residuo della frantumazione chiamato CAR FLUFF

Gli ELV vengono dunque consegnati agli impianti di demolizione e sottoposti ad operazioni di messa in sicurezza e smontaggio delle parti di ricambio che possono essere rivendute sul mercato dell'usato. Si stima che i bonificatori e i demolitori gestiscano il 30% del peso dei veicoli.

Le rimanenti carcasse vengono pressate ed avviate agli impianti di frantumazione dove le parti metalliche vengono separate da quelle non metalliche.

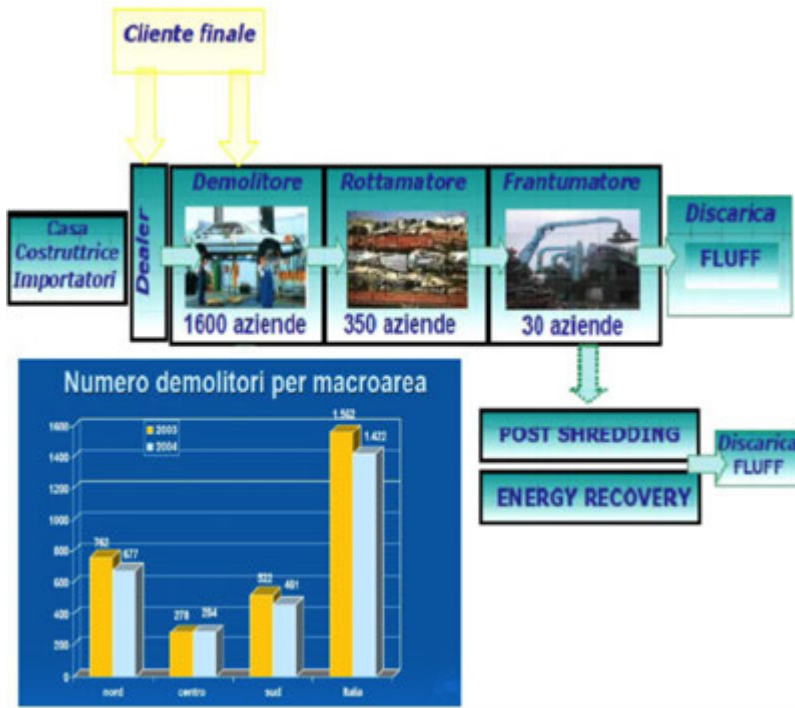


Figura 5.2. Filiera della gestione degli ELV e distribuzione dei demolitori sul territorio italiano per macro-aree

Le prime, che costituiscono circa il 65-70% del peso del veicolo, vengono riciclate in fonderia; il restante 25-30% rappresenta il residuo della frantumazione, il cosiddetto FLUFF.

La frantumazione si realizza con enormi mulini a martelli o con frantumatori meccanici (crushers). I pezzi così frantumati sono convogliati, tramite un nastro trasportatore, all'interno di un separatore ad aria che asporta la frazione più leggera degli ASR (automotive shredder residues), principalmente costituita da pezzi di plastica a bassa densità, imbottiture, rivestimenti, fili di rame, vetro, legno. Sabbia e particelle metalliche fini. Tale frazione è generalmente denominata fluff. La parte più pesante che non è stata asportata dal ciclone è sottoposta a separazione magnetica dei metalli ferrosi dalla restante parte non ferrosa. La frazione ferrosa così ottenuta (proler) viene utilizzata come materia prima seconda per la produzione di nuovo acciaio in forno ad arco elettrico (EAF).

La residua frazione non magnetica, costituita principalmente da plastica ad alta densità e metalli non ferrosi, come alluminio, rame e zinco, viene successivamente separata per induzione (metodo dei separatori ECS): la parte metallica è facilmente riciclabile, mentre la materia organica viene unita alla prima frazione di fluff ottenuta e avviata in discarica.

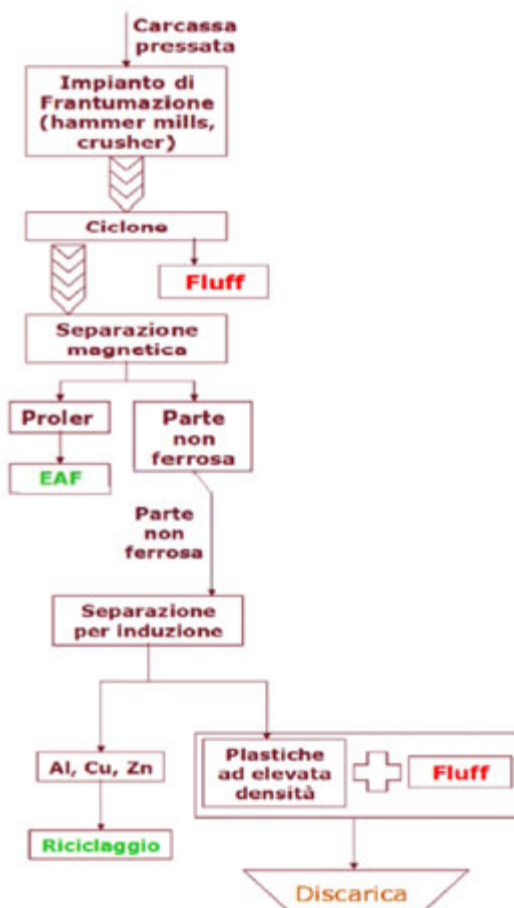


Figura 5.3. Schema di un impianto di frantumazione di carcasse di ELV

Tabella 5.2. Impianti di frantumazione italiani nelle diverse macro-aree

	n. impianti	Veicoli (ton/anno)	Altri rottami	Fluff prodotto (ton/anno)
Nord	17	1.023.705	484.953	398.403
Centro	4	107.221	85.481	54.132
Sud	5	210.064	130.410	118.835
ITALIA	26	1.340.990	700.843	571.370

\*Dati APAT-2004

64% rottami provenienti dalla messa in sicurezza dei veicoli

Le aziende che esercitano la frantumazione dei veicoli fuori uso e altri rottami metallici, in Italia, fanno capo all'Associazione Industriale Riciclatori Auto (AIRA). Il comparto produce circa 2 milioni di tonnellate annue di rottami ferrosi, pari ad



oltre il 15% del fabbisogno delle acciaierie italiane. Gli impianti di frantumazione non sono diffusi in maniera capillare sul territorio, ma maggiormente concentrati in alcuni contesti territoriali in vicinanza degli impianti di recupero del rottame ferroso e nelle zone in cui il tessuto industriale è più strutturato.

#### 5.4 Le attuali problematiche di smaltimento del car-fluff

Il fluff è un materiale eterogeneo generato negli impianti di frantumazione contenente plastiche, imbottiture, gomma, vetro, metalli, tessuti, vernici ed adesivi, materiali isolanti e guarnizioni. Esso presenta diverse problematiche, la principale delle quali è legata alla sua intrinseca eterogeneità. L'elevata variabilità del fluff (composizione, densità e presenza di sostanze pericolose) dipende da:

- Le caratteristiche del rifiuto in ingresso agli impianti di frantumazione
- Dall'anno di costruzione dei veicoli stessi
- Dalle operazioni di demolizione e di promozione del riciclaggio cui è sottoposto il veicolo prima della frantumazione

Tabella 5.3. Composizione e caratteristiche del car fluff

Categorie	Materiali	Contenuto (%)
Plastiche	PE, PVC, PP	20-30
Elastomeri	Gomma, cloroprene, ABS	15-20
Resine	PU, PA, epossidi, composti stirolici	8-10
Cellulosa	Tessile, carta, legno	7-10
Metalli	Cu, Fe, altri metalli	1-5
Altro	Vetro, vernici, materiali ceramici, altro	25-30

Densità: 405 Kg/m<sup>3</sup>

Umidità: 6%

P.c.i. 13000 Kj/Kg

CER 191004

CER 191003\*

Nel nostro Paese, una sola discarica è abilitata alla ricezione del car-fluff per conto terzi. E ciò, comunque, sarà possibile sino all'entrata in vigore del divieto di immissione del car-fluff in discarica (D.Lgs. 36/2003) il cui termine, già

previsto per il 1° Gennaio 2007, è stato prorogato al 31 Dicembre 2009 e poi al 31 Marzo 2011. Il D.Lgs. 36/2003 introduce il divieto di smaltire in discarica i rifiuti con “PCI” maggiore di 13.000 kJ/kg. Tale disposizione, per lo smaltimento del car-fluff, ha imposto la ricerca e l’attuazione di forme alternative di recupero.

I termovalorizzatori oggi operanti sul territorio nazionale sono progettati per i seguenti PCI in funzione delle tecnologie utilizzate:

- 12,5-14,6 MJ/kg presso termovalorizzatori di nuova generazione (ad es. letti fluidi);
- 8,3-10,5 MJ/kg presso termovalorizzatori di vecchia generazione (ad es. forni a griglia)

Da questo si evince che il car fluff è adatto ad essere termovalorizzato in impianti del primo tipo.

La decisione della Commissione Europea 2000/532/CE e successive modifiche istituisce il nuovo CER. Ai fini della classificazione del fluff si ha l’attribuzione di due diversi codici CER (Direttiva 09 aprile 2002):

- 19 10 03\* pericoloso
- 19 10 04 non pericoloso

In funzione della concentrazione di sostanze pericolose in esso contenute.

Da una caratterizzazione del fluff effettuata dall’ANPA in due stadi (2002 o 2006) si evince come vengono rispettati tutti i limiti per rifiuti non pericolosi ad eccezione di:

- carbonio organico disciolto (DOC) – (ca. 160 mg/l >> 80 mg/l) che risulta nettamente al di sopra del limite previsto sia per i rifiuti non pericolosi che per rifiuti pericolosi.
- policlorobifenili (PCB) – (9 – 91 mg/kg > 10 mg/kg)
- oli minerali (1,54 – 2,37% > 0,1%)

Mentre però i PCB e gli oli possono essere abbattuti operando correttamente la fase di bonifica, per il DOC non è possibile risalire ai componenti che ne determinano l’elevata concentrazione vista l’eterogeneità del rifiuto.

La pericolosità del fluff una volta depositato in discarica è dunque legata alla possibile dispersione in falda dei metalli pesanti ed eventualmente di tutte quelle sostanze che non siano state preventivamente eliminate in seguito alla bonifica del veicolo.

Le disposizioni introdotte dal D.Lgs 205/2010 in materia di classificazione dei rifiuti prevedono di prendere in considerazione anche le classi di pericolo H1, H2, H9, H12, H13 e H14 precedentemente escluse in quanto mancavano i criteri di riferimento sia a livello comunitario che nazionale. Risulta necessario definire come attribuire queste classi di pericolo ai rifiuti. C’è necessità di an-

dare a stabilire uniformemente l'insieme di metodologie analitiche ed i valori limite da applicarsi per la determinazione della pericolosità. In assenza di un quadro chiaro infatti l'applicazione dei principi cautelativi sta generando un incremento sostanziale di rifiuti classificati come pericolosi con le conseguenti ricadute negative a livello di possibilità di gestione (carenza di impianti) e aggravio dei costi. Il car fluff, con queste recenti modifiche, si troverebbe a essere classificato completamente come pericoloso (CER 19 10 03\*).

Anche in ambito europeo l'incertezza è elevata e gli Stati membri, in cui già viene effettuata tale determinazione, hanno adottato modalità applicative "personalizzate" e non uniformi.

Il caso del car fluff merita di essere studiato approfonditamente per individuare metodi adeguati per il suo recupero, riciclo o valorizzazione energetica. In particolare le possibilità potrebbero essere:

- Recupero materiali: polimeri riciclabili (separazione aerodinamica o flottazione, uso di sensori ottici, etc.)
- Utilizzo in materiali da costruzione: cemento portland
- Pirolisi: gas, olio (combustibili alternativi), scorie (recupero metalli e smaltimento in discarica)
- Termovalorizzazione: si ottiene calore, energia elettrica, gas (emessi in atmosfera), scorie (smaltite in discarica)

L'8 maggio 2008 a Roma, presso il Ministero dell'Ambiente, presenti il Ministero dello Sviluppo Economico e 32 responsabili delle Associazioni interessate, è stato firmato l'Accordo di programma Quadro sugli ELV. Per quanto riguarda il problema del car fluff nell'ambito di questo Accordo si è stabilito di promuovere e sostenere il progetto TARGET FLUFF, che prevede la realizzazione di impianti prototipo per il trattamento del car fluff proveniente da veicoli a fine vita attraverso tecnologie ad alta efficienza. I partner del progetto hanno sperimentato varie tecnologie di separazione dei materiali dal fluff per successivo riciclaggio e di preparazione del Combustibile Solido Secondario (CSS) per il successivo recupero energetico ad alta efficienza. La sperimentazione si è concentrata in particolare sulle tecnologie di pirolisi e gassificazione.

Un caso interessante è quello di GreenFluff, l'unico impianto italiano ad essere autorizzato per il trattamento di 125.000 tonnellate l'anno di fluff, anche quello classificato come pericoloso. Nell'impianto si disgrega il fluff con un processo meccanico a freddo selezionando e recuperando tutti i materiali ancora utilizzabili separando i metalli dai materiali plastici attraverso flottazione. In questo modo si recupera circa l'80% del materiale. L'intero processo avviene a freddo e senza combustione o aggiunta di agenti chimici. L'impianto fornisce una serie di materie prime/secondarie riutilizzabili. Inoltre si ottiene un altro prodotto, valorizzabile come combustibile, che rappresenta tra il 20 e il 30%

del fluff, inerte, non pericoloso e ad alto potere calorifico, depurato da metalli pesanti e idrocarburi, abbattuti di circa 100 volte.

## 5.5 Il problema degli pneumatici a fine vita

Gli pneumatici sono essenzialmente costituiti da gomma reticolata (vulcanizzata) che, unitamente a materiali di rinforzo, quali fibre tessili, cariche e metalli intimamente legati alla gomma, conferisce agli stessi le proprietà meccaniche richieste sebbene tale struttura renda questi manufatti incapaci di fondere o di dissolversi limitando significativamente le forme di recupero. Lo pneumatico nuovo (pesa circa 6 kg) è costituito per circa il 72% del suo peso da gomma naturale e sintetica, carbon black e silice, mentre per il restante 28% da maglia di acciaio, fibra sintetica ed altre componenti. Queste proporzioni cambiano a seguito dell'uso poiché il 30-50% in peso della gomma viene perso.

Ogni anno nella sola Unione Europea vengono generati circa 220 milioni di pneumatici usati corrispondenti a circa 3 milioni di tonnellate di carcasse da smaltire o riciclare (<http://www.asso-airp.it/>). Si tratta di una quantità enorme di gomme che, poste una accanto all'altra, potrebbero completare quattro volte il giro del mondo intorno all'equatore. Se poi si considera la produzione totale nel mondo il numero degli pneumatici usati sale a circa 9.000.000 di tonnellate che si producono per effetto della sostituzione di circa 450 milioni di pneumatici per autovettura e 270 milioni di pneumatici per autocarro ed altri tipi industriali.

La gestione dello pneumatico a fine vita presenta diverse implicazioni ecologiche:

- una volta posto in discarica è resistente all'azione dei microrganismi (si valuta in circa 100 anni il tempo che impiega a degradarsi, quando interrato);
- a causa della sua forma e massa volumetrica (circa 160 chili per metro cubo) tende a galleggiare;
- può favorire lo sviluppo di incendi;
- è di difficile compattazione e, se posto in discarica, favorisce la formazione di sacche di biogas le quali aumentano il pericolo di esplosioni;
- crea instabilità meccanica all'interno della massa di rifiuti stoccata a causa delle cavità dello pneumatico e della sua relativa elasticità;
- può produrre lo sviluppo di malattie, specie nelle zone dove il clima è caldo-umido, per la presenza di insetti che si sviluppano nell'acqua contenuta nelle carcasse.

Per quanto riguarda il problema del riciclo devono essere valutati i vantaggi energetici ed ecologici (per la collettività) ed economici (per il singolo)¶

La composizione e le proprietà generali degli pneumatici nuovi determinano i trattamenti che possono essere fatti sullo pneumatico al termine del suo ciclo di vita su strada e le possibili applicazioni dei prodotti che si ottengono.

Tuttavia non bisogna dimenticare che le forme di riciclaggio e di trattamento non dipendono unicamente da fattori tecnici, ma sono anche funzione delle politiche nazionali così come dell'economia e del mercato potenziale dei prodotti recuperati.

L'obiettivo è quello di massimizzare il recupero del valore contenuto nello pneumatico attraverso la scelta della migliore tecnologia tra le diverse possibili e questo presuppone un'attenta analisi della natura del rifiuto e la conoscenza del comportamento dei materiali. Per quanto riguarda la struttura, lo pneumatico è un manufatto in materiale composito, di forma toroidale, costituito da una rete di filamenti tessili arrangiati in una configurazione in parallelo ed immersi in una matrice gommosa, la quale è formata da diversi tipi di miscele elastomeriche in funzione della parte dello pneumatico dove vengono applicate.

Le sue funzioni essenziali sono quelle di:

- interagire con la strada sostenendo e movimentando il veicolo,
- fornendo una bassa resistenza al rotolamento,
- garantendo stabilità dimensionale oltre che sicurezza ed un'elevata durata.

Lo pneumatico deve essere sufficientemente rigido per resistere all'abrasione ed alle forze cui è soggetto e nello stesso tempo deformabile per assorbire gli urti. Da qui ne deriva la sua peculiare composizione all'interno della quale si possono distinguere tre componenti principali: la gomma, gli strati di rinforzo (maglia di acciaio e/o tessuto sintetico) ed il cordone in acciaio in corrispondenza del contatto dello pneumatico con il cerchio della ruota.

Nella tabella che segue vengono riportate classiche mescole per lo pneumatico da autovettura e per lo pneumatico da autocarro. Le differenze sostanziali consistono in una percentuale maggiore di gomma naturale (NR) e di carbon black nello pneumatico per autocarro.

Con il generico termine di elastomero si indicano le sostanze naturali o sintetiche che hanno le proprietà tipiche del caucciù (o gomma naturale, *natural rubber* NR), la più evidente delle quali è la capacità di subire grosse deformazioni elastiche, ad esempio il poter essere allungati diverse volte riassumendo la propria dimensione una volta ricreata una situazione di riposo.

La gomma se sottoposta a trazione raggiunge dimensioni molte volte superiori a quella iniziale e può recuperare la stessa in tempi molto brevi alla rimozione del carico applicato poiché ha subito un processo di vulcanizzazione che provvede a vincolare le macromolecole le une alle altre, conferendo all'elastomero caratteristiche di stabilità dimensionale, insolubilità, infusibilità e possibilità di manifestare in modo praticamente irreversibile le proprietà di elasticità nel tempo.

Tabella 5.4. Composizione delle mescole per pneumatici da autovettura e autocarro

Ingredienti	Pneumatico autovettura		Pneumatico autocarro	
<b>Elastomero</b>	48%	SBR: 75% BR: 10% NR: 15%	43%	SBR: 10% BR: 10% NR: 80%
<b>Cariche rinforzanti</b>	carbon black: 35 phr Silice: 35 phr		carbon black: 95 phr Silice: 5 phr	
<b>Vulcanizzanti</b>	3-4 phr		3-4 phr	
<b>Acceleranti</b>	0,5-2 phr		0,5-2 phr	
<b>Attivanti</b>	Acido stearico: 1-2 ZnO: 2-3 phr		Acido stearico: 1-2 ZnO: 2-3 phr	
<b>Antiossidanti</b>	Fenilammine: 1 phr		Fenilammine: 1 phr	
<b>Plastificanti</b>	Oli aromatici ad alta viscosità: 20 phr		Oli aromatici ad alta viscosità: 5 phr	

In natura la gomma è presente come sospensione colloidale nel lattice estratto dalla corteccia dell'*Hevea Brasiliensis*, comunemente chiamato “albero della gomma”. È costituita da macromolecole di *1,4-poliisoprene-cis* (*poli(2-metil 1,3-butadiene)*). Può cristallizzare sotto stiro.

A parte poche eccezioni le gomme impiegate sono polimeri amorfi e la loro temperatura di impiego è sempre al di sopra della temperatura di transizione vetrosa. Le catene macromolecolari sono così libere di muoversi garantendo al materiale un modulo elastico modesto (2-3 MPa).

Il *ritorno elastico* viene conferito alle gomme con un processo lavorativo post-sintetico. In assenza di un simile processo le catene macromolecolari elastomeriche tendono a scorrere fra loro nel momento in cui il materiale viene sottoposto ad uno sforzo a causa della bassa energia d'interazione intermolecolare.

I copolimeri random stirene-butadiene (SBR) contengono tipicamente il 23,5% di stirene e il restante 76,5% di butadiene. Richiedono la vulcanizzazione per avere il ritorno di forma.

La vulcanizzazione della gomma naturale (NR), del polibutadiene (BR) e dell'SBR è un processo ampiamente studiato, è stata inventata da Charles Goodyear nel 1839 consiste nella creazione di ponti di- o polisolfuro fra le catene macromolecolari. Essa viene realizzata, in termini pratici:

- utilizzando l'elastomero (od una miscela di elastomeri),
- una fonte di zolfo,
- additivi vari.

Le cariche rinforzanti sono, dopo gli elastomeri, gli ingredienti presenti in maggiori quantità nelle mescole per pneumatici. Svolgono diverse funzioni tutte mi-

ranti al miglioramento delle caratteristiche meccaniche del prodotto vulcanizzato, quali rigidità, resistenza a trazione, resistenza all'abrasione, aderenza. [Da -20 a 100°C con valori istantanei in frenata di 200°C e 300 milioni di cicli di lavoro].

La carica rinforzante più utilizzata è il nerofumo (CB), il quale fornisce un netto aumento della *resistenza all'invecchiamento*.

Il CB è un agglomerato di particelle carboniose di dimensione particellare ben definita, prodotte durante la combustione quando la quantità di ossigeno è insufficiente a bruciare completamente gli idrocarburi in CO<sub>2</sub> e acqua oppure quando la temperatura di fiamma è bassa.

La SiO<sub>2</sub> viene usata nelle mescole per la fabbricazione di “green tyres” con lo scopo di ridurre il coefficiente di attrito al rotolamento limitando così il consumo di carburante e conferendo maggior resistenza all'usura. Nel caso degli pneumatici per autovettura si mette sul battistrada e migliora anche la tenuta sul bagnato.

Le caratteristiche intrinseche dello pneumatico ne determinano (a fine vita):

- L'impiego come combustibile non convenzionale (il suo potere calorifico è di circa 30.000 kJ/kg)
- Il recupero di gomma sotto forma di granuli e polveri (materia prima-seconda)
- Il recupero di acciaio

Il pneumatico fuori uso è un rifiuto speciale non pericoloso, identificato nell'elenco europeo dei rifiuti con il codice CER 160103, ovvero appartenente alla categoria dei “rifiuti prodotti dallo smantellamento di veicoli fuori uso e dalla manutenzione di veicoli”

Per quanto riguarda la definizione di PFU è importante sottolineare che il pneumatico usato (PU), che può essere sottoposto a ricostruzione, che è considerato un “non rifiuto”, si distingue dal PFU, non più utilizzabile. La normativa vigente, attuazione della Direttiva Europea 31 CE del 26 aprile 1999 (relativa alle discariche) recepita dall'Italia con D. Lgs. 36 del 13 gennaio 2003, ha imposto il divieto di deposito in discarica degli pneumatici tal quali già a partire dal 17 luglio 2003 e dal 17 luglio 2006 tale divieto è stato esteso anche agli pneumatici tritutati, ad eccezione di quelli da bicicletta, quelli con diametro esterno maggiore di 1400 mm e quelli utilizzati come materiale di ingegneria per le discariche. Dal 31 Dicembre 2011 sarà vietato lo smaltimento in discarica di rifiuti con PCI superiore a 13000 KJ/Kg.

Nell'articolo 228 del Testo Unico Ambientale (D.Lgs 152/2006) si assegna ai produttori ed importatori di pneumatici l'obbligo di provvedere, singolarmente o in forma associata e con periodicità almeno annuale, alla gestione dei quantitativi di PFU pari a quelli dei medesimi immessi sul mercato e destinati alla vendita sul territorio nazionale. Il DM 82/2011 rappresenta un decreto attuativo sulla responsabilità estesa dei produttori di pneumatici. Questo decreto, che



vedrà la sua applicazione nei prossimi mesi, contribuirà a consolidare il sistema di gestione dei PFU, che purtroppo ha risentito negativamente della mancanza di definizione delle responsabilità e dei costi nella filiera del recupero dei PFU:

Esiste una corrispondenza nella lista delle priorità individuate dalla “Direttiva Rifiuti” 2008/98/CE che è stata recepita a livello nazionale dal D. Lgs. 205/2010 e che propone la ben nota gerarchia nella gestione dei rifiuti:

- a. **Prevenzione** → riutilizzo di pneumatici usati (PU) in applicazioni meno performanti o con ricostruzione dei pneumatici non divenuti rifiuto.
- b. **Preparazione per il riutilizzo** → ricostruzione di pneumatici usati divenuti rifiuto. Questo processo permette di utilizzare le carcasse, strutturalmente ancora integre, per produrre pneumatici impiegando solo il 30% circa di nuovi polimeri e risparmiando circa il 70% dell’energia di processo. La ricostruzione avviene attraverso molte fasi, tra le quali la raspatura del battistrada e la sua sostituzione con uno nuovo. Il processo è definito dai Regolamenti UN-CE 108 e 109 e può essere generalmente ripetuto più volte sugli pneumatici da autocarro e una volta su quelli da autovettura.
- c. **Riciclaggio** → recupero di materia da PFU attraverso la produzione di granuli e polverini di gomma e rimpiego in diversi settori applicativi.

La riduzione delle dimensioni degli pneumatici avviene attraverso processi di triturazione che comportano l’eliminazione di acciaio e fibre tessili dalla gomma; con l’ottenimento di una granulometria idonea al reimpiego in mescole per la produzione di nuovi manufatti. Il peso specifico del materiale aumenta, limitando così i costi di trasporto e di immagazzinamento. Da questo processo si ottengono granulato e polverino di pneumatico (ground tyre rubber, GTR), fibre tessili e acciaio.

La resa del processo varia a seconda del tipo di pneumatico di partenza (tabella 5.5).

Tabella 5.5. Rese dei prodotti ottenuti dalla lavorazione per frammentazione di diversi tipi di pneumatici a fine vita (Fonte: Reschner, 2003)

<i>Prodotti ottenuti</i>	<i>Pneumatico autovettura</i>	<i>Pneumatico autocarro</i>	<i>Pneumatico movimento terra</i>
<i>Granulato e polverino di pneumatico</i>	70%	70%	78%
<i>Acciaio</i>	15%	27%	15%
<i>Fibra e scarto</i>	15%	3%	7%



Le tipologie di prodotti ottenibili sono definite taglio primario quando la dimensione è superiore ai 300 mm, ciabatta quando è compresa tra 20 e 400 mm, cippato quando è compresa tra 0,8 e 20 mm e polverino quando la dimensione è inferiore a 0,8 mm.

Si distinguono tre tipi di processi di triturazione che permettono di ottenere prodotti con ordine decrescente di dimensione:

- **Triturazione meccanica:** consiste nella frantumazione a scaglie dello pneumatico, che viene successivamente mandato in un tritratore multi-stadio fornito di lame o coltelli rotanti che riduce ulteriormente la granulometria e la rende uniforme (le dimensioni dei granuli possono essere maggiori di 1 mm).
- **Triturazione criogenica:** la gomma viene portata sotto la temperatura di transizione vetrosa per raffreddamento con azoto liquido e quindi successivamente macinata in mulini. Si ottengono in questo modo particelle di piccole dimensioni (minori di 1 mm) a pezzatura controllata.
- **Processo di granulazione “water jet”** o più propriamente Ultra High Pressure Water Jet Blasting prevede la disgregazione dei PFU, ma anche di cingoli gommati, gomme piene, ecc, mediante l’uso di getti d’acqua ad altissima pressione in sostituzione ai sistemi meccanici comunemente in uso. Il getto d’acqua agisce sulla superficie del PFU con una pressione generalmente compresa tra 3.000 e 4.000 bar (sono in corso sperimentazioni per ridurre ad 800 bar tale valore) generando una vera e propria esplosione localizzata della gomma vulcanizzata che, in varia granulometria, viene avviata alla successive fasi di filtrazione ed essiccamento.

A livello internazionale il materiale recuperato, nelle diverse forme è impiegato in diverse applicazioni industriali<sup>63</sup>.

In Ingegneria civile si usano pneumatici interi per barriere insonorizzanti, terrapieni, barriere anti-erosione e drenaggi di base in nuove discariche o in forma di cippato per fondazioni stradali/ferroviarie. Inoltre il granulato di dimensioni comprese fra 0,8 e 20 mm è usato nelle superfici di impianti sportivi. Viene impiegato anche come materiale per isolamento termo-acustico unitamente a resine poliuretaniche per la realizzazione di pannelli, tappeti e rivestimenti.

Il polverino di gomma di dimensioni inferiori agli 0,8 mm viene usato in tutto il mondo per produrre asfalti modificati, con migliorata durabilità e proprietà fono-assorbenti, nonché miglioramento del grip con gli pneumatici (con riduzione dello spazio di frenata!). I polverini con dimensioni più basse sono usati in articoli tecnici generalmente in miscela con polimeri termoplastici. È importanti che questi materiali siano caratterizzati da una migliorata adesione tra carica (polverino) e matrice polimerica. Per questo sono state studiate molte tecnologie per la modifica superficiale del polverino da pneumatico che

hanno portato all'introduzione di gruppi funzionali reattivi o gruppi in gradi di permettere la polimerizzazione di stirene o monomeri acrilici o metacrilici in presenza di polverino con tecniche di polimerizzazione diverse (radicalica classica o controllata –ATRP-) per ottenere materiali con caratteristiche strutturali e funzionali modulabili <sup>64</sup>.

**d. Recupero di altro tipo → recupero di energia da PFU**

I PFU rappresentano un combustibile non tradizionale parzialmente rinnovabile (potere calorifico simile al carbone). PFU interi o frantumati possono essere usati come risorsa energetica secondaria o principale per la produzione di vapore, elettricità, cemento, calce, carta, acciaio, e come attivante della combustione dei rifiuti domestici. Esistono soluzioni impiantistiche mature anche a livello nazionale: termovalorizzatori con forno a tamburo rotante e termovalorizzatori a letto fluido.

La presenza di gomma naturale e di fibre derivate da cellulosa nei PFU permette di ridurre considerevolmente la quantità di CO<sub>2</sub> fossile emessa dagli impianti di combustione che impiegano i PFU in sostituzione dei combustibili fossili.

Il basso contenuto di metalli pesanti e di zolfo nei PFU, in comparazione ai combustibili fossili tradizionali, riduce considerevolmente il tenore dei medesimi nei fumi di combustione, facilitandone quindi il trattamento e confermando di fatto il minore impatto ambientale dato dall'impiego dei PFU.

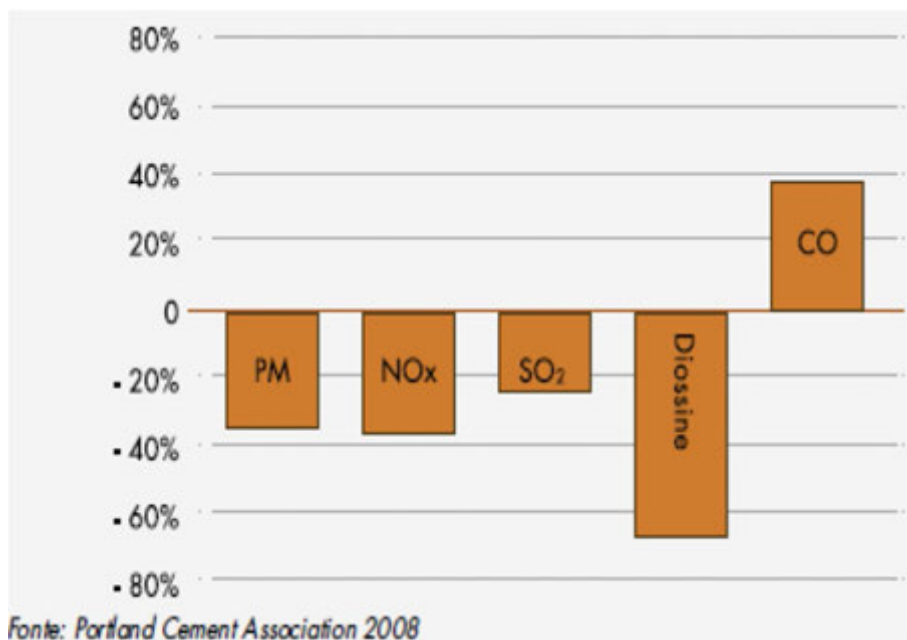


Figura 5.4. Influenza del PFU sulle emissioni in cementificio