

The logo for ENEA, featuring the word "ENEA" in a bold, white, sans-serif font. The letters are set against a dark blue background that includes a stylized sunburst or energy symbol on the left side.

AGENZIA NAZIONALE  
PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA  
E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

# Le materie prime seconde e la valorizzazione dei rifiuti

**Ing. Antonella Luciano**

ENEA – Unità Tecnica Tecnologie Ambientali  
Reggio Calabria, 27 novembre 2014

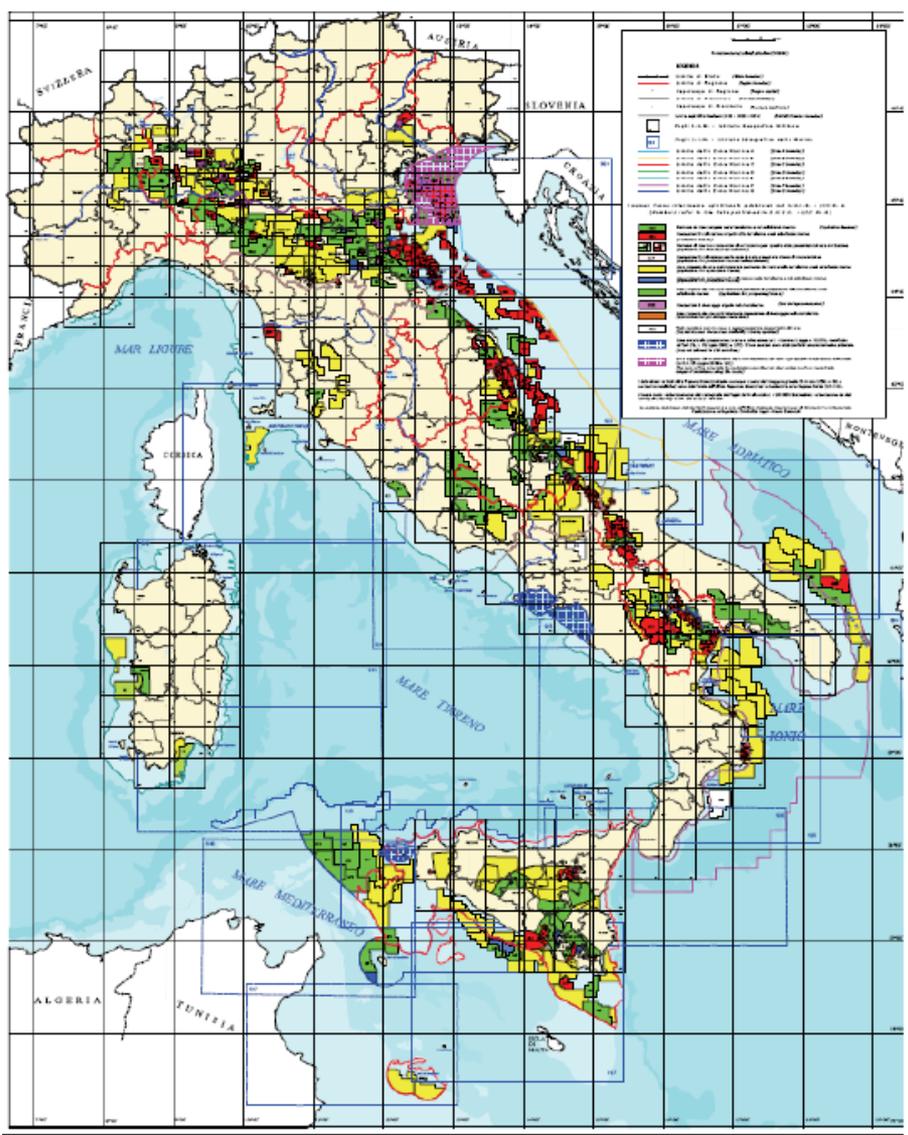
# Le materie prime in Europa

**Domestic Material Autonomy (DMA) =  
Domestic Extraction (DE) / Domestic Consumption (DC), Confronto Italia – EU 15**

L'Europa dipende dal resto del mondo per molte risorse, quali i combustibili e le *materie prime*. La scarsità di risorse e la volatilità dei prezzi delle materie prime potrebbero essere causa di instabilità in molte regioni del mondo.

	1980	1990	2000	2005
<b>Italy</b>				
Food	0,93	0,91	0,94	0,92
<b>Wood</b>	<b>0,4</b>	<b>0,35</b>	<b>0,34</b>	<b>0,3</b>
Const. Minerals	1,01	1	1,01	0,99
Indust. Minerals	0,83	0,75	0,54	0,53
<b>Metals</b>	<b>0,07</b>	<b>0,03</b>	<b>0</b>	<b>0,01</b>
<b>Fossil fuels</b>	<b>0,12</b>	<b>0,17</b>	<b>0,16</b>	<b>0,15</b>
<b>Total</b>	<b>0,74</b>	<b>0,73</b>	<b>0,69</b>	<b>0,72</b>
<b>EU/UE-15</b>				
Food	0,94	0,97	0,98	0,95
Wood	0,85	0,86	0,85	0,9
Const. Minerals	1,01	1	1	1
Indust. Minerals	0,89	0,82	0,79	0,88
<b>Metals</b>	<b>0,52</b>	<b>0,33</b>	<b>0,19</b>	<b>0,23</b>
<b>Fossil fuels</b>	<b>0,6</b>	<b>0,59</b>	<b>0,52</b>	<b>0,43</b>
<b>Total</b>	<b>0,85</b>	<b>0,85</b>	<b>0,84</b>	<b>0,81</b>

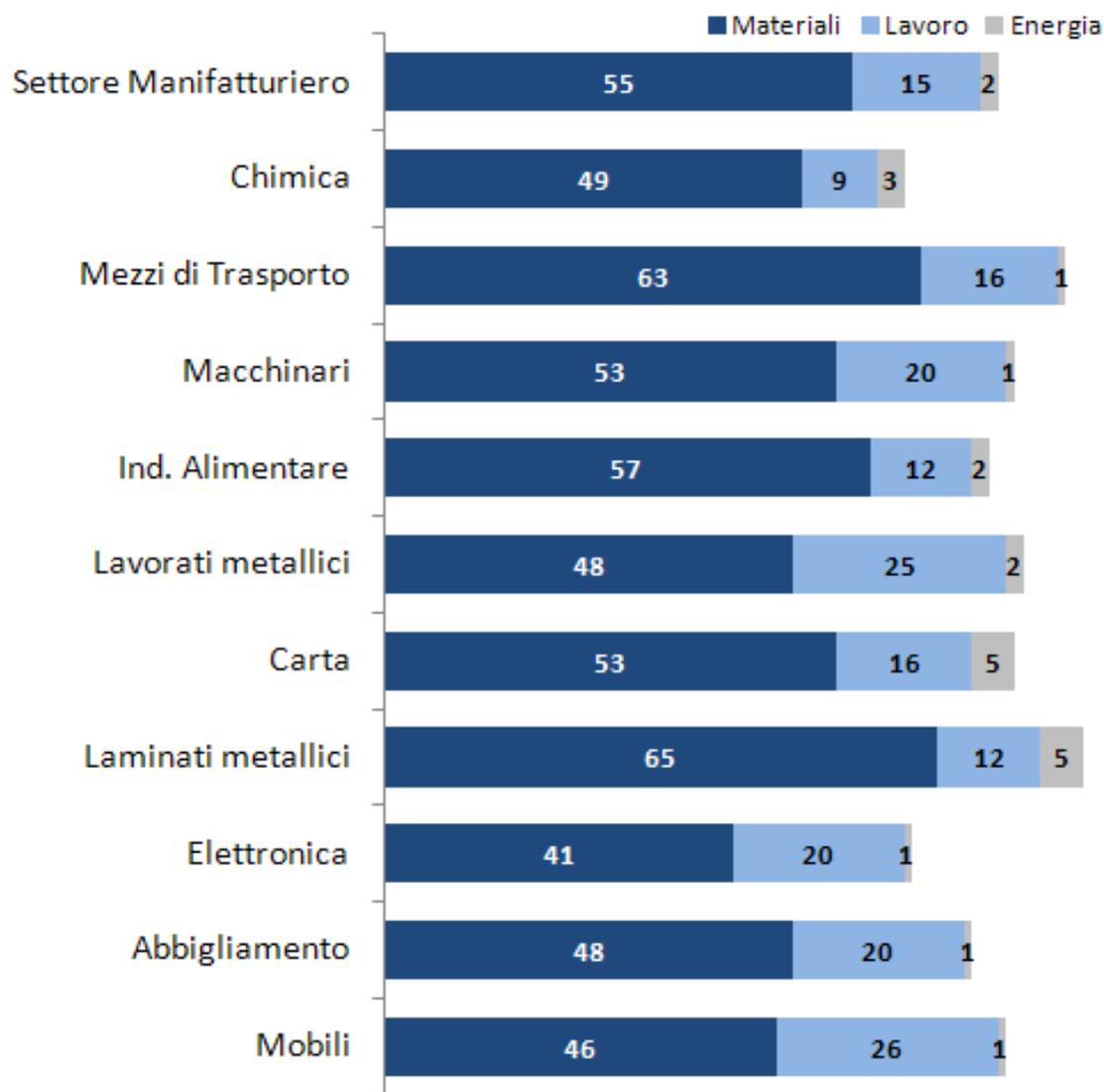
# Il settore minerario in Italia



Carta dei Titoli Minerari

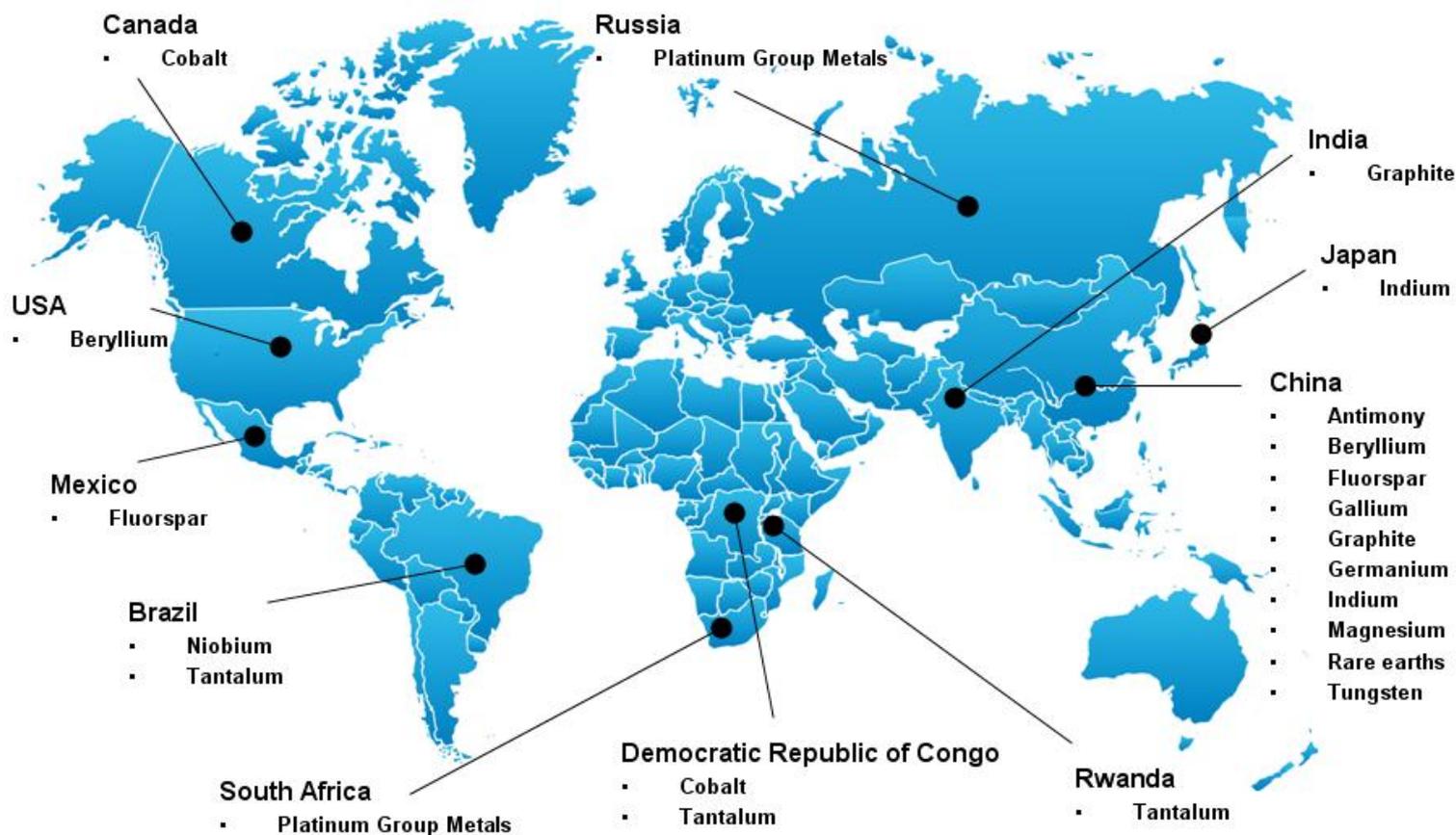
- L'Italia è estremamente povera di materie prime con l'eccezione dei minerali non ferrosi quali il feldspato, bentonite, pietra naturale
  - L'Italia è quasi totalmente dipendente dalle importazioni di risorse energetiche
  - L'Italia non ha giacimenti significativi di minerali metalliferi
  - Nonostante la presenza di alcuni giacimenti di minerali non metalliferi l'Italia dipende dalle importazione estere anche per queste risorse
- In Italia vi sono circa 5.000 siti estrattivi, il 54% di questi è localizzato in poche regioni:
  - Le miniere (escludendo le acque minerali/termali e le risorse energetiche fluide) sono in Piemonte (17,1%), Sardegna (16,6%), Veneto (13,6%), Toscana (12,1%) e Lombardia (11,1%), Tali giacimenti sono relativi a minerali ceramici, marna da cemento e minerali per l'industria
  - Le cave sono presenti principalmente in Sicilia, Veneto, Puglia, Toscana, Lombardia e Sardegna
- In Italia i grandi gruppi industriali si sono disimpegnati dal settore estrattivo delle materie prime non energetiche

# Percentuale dei costi sul prezzo di vendita dei prodotti

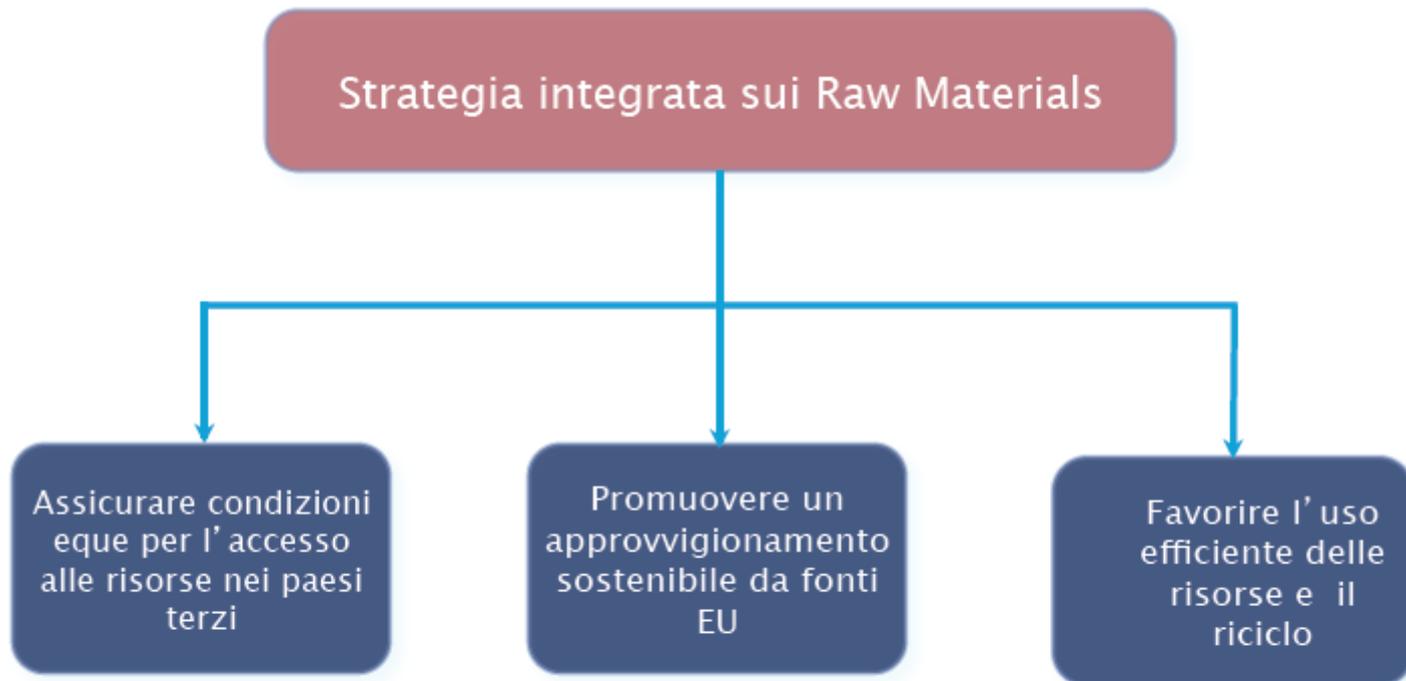


# Critical Raw Materials

## Production concentration of critical raw mineral materials



# Strategia europea sui Raw Materials e uso efficiente delle risorse



Comunicazione COM(2008) 699

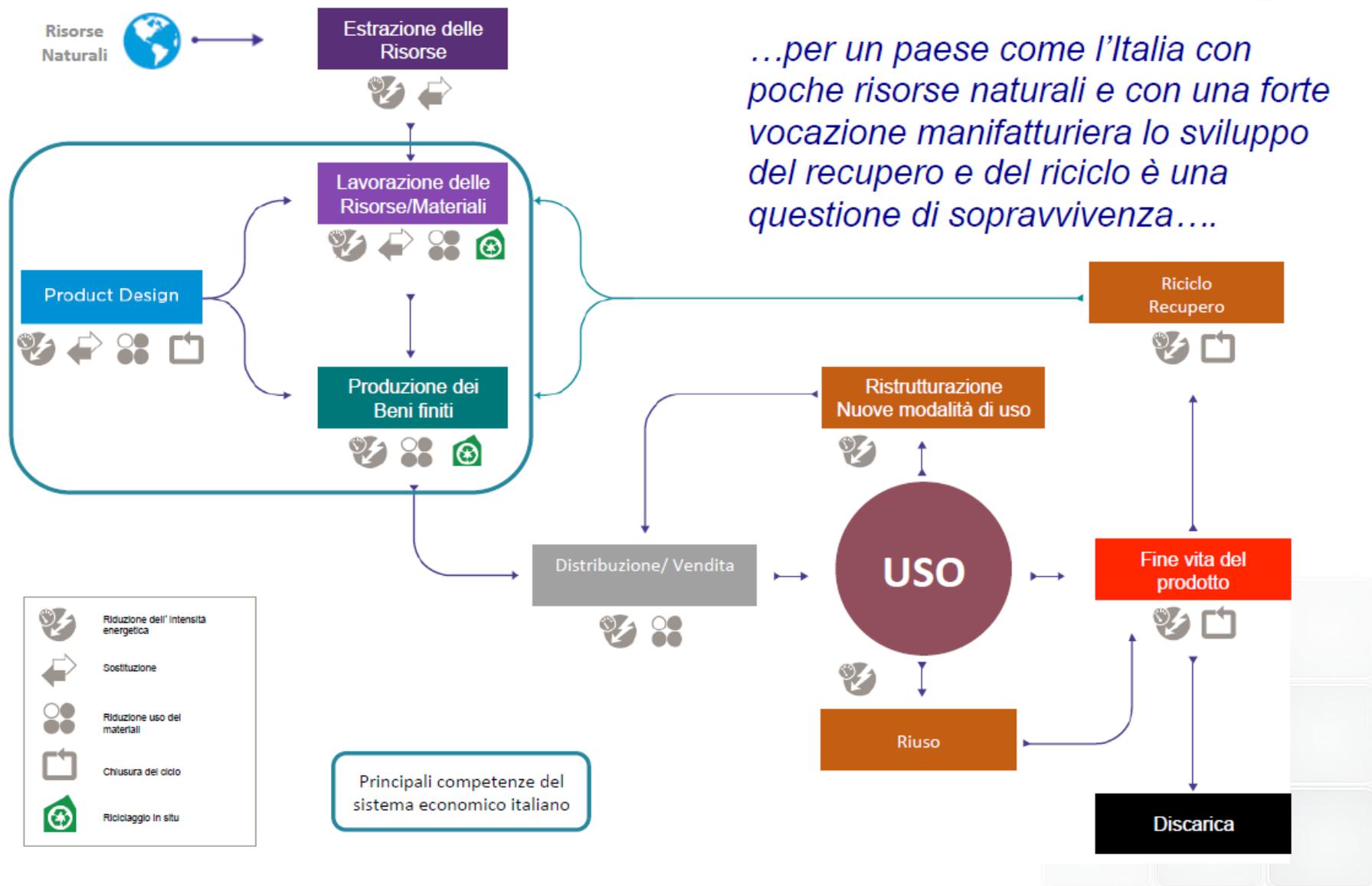
Iniziativa Raw Materials - Rispondere ai nostri bisogni fondamentali per garantire la crescita e creare posti di lavoro in Europa

Comunicazione COM(2011) 25

Affrontare le sfide relative ai mercati dei prodotti di base e alle Raw Materials

**L'uso più efficiente delle risorse** è una componente essenziale di Europa 2020, la strategia dell'Unione europea (UE) che intende promuovere una crescita economica che sia **intelligente** (basata sulla conoscenza e l'innovazione), **sostenibile** (una crescita verde è più sostenibile nel lungo periodo) e **inclusiva** (un tasso elevato di occupazione crea una maggiore coesione sociale e territoriale).

# Da un'economia lineare ad un'economia circolare



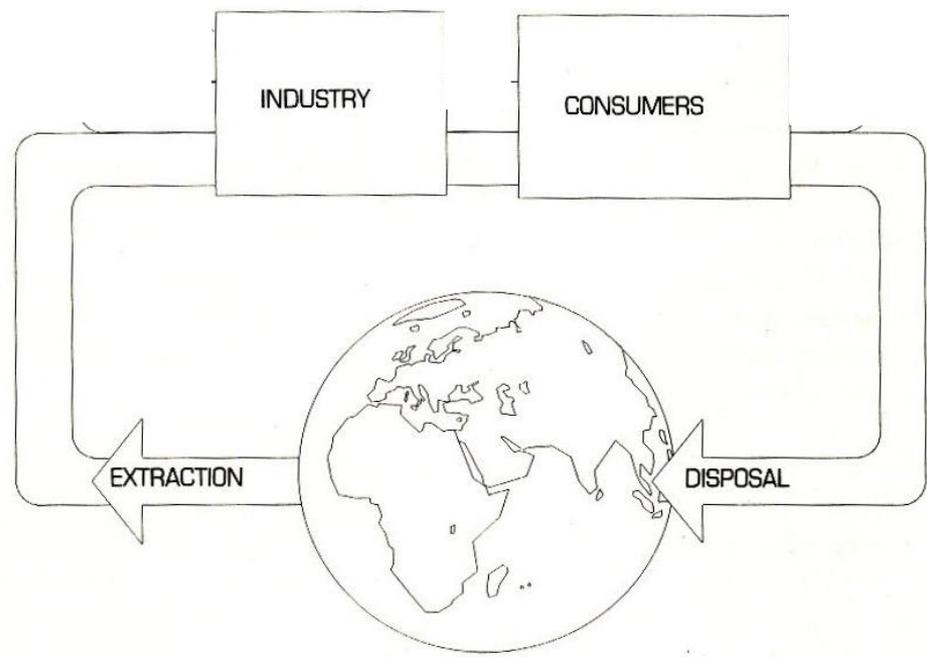
# Urban Mining

Recupero delle materie prime da prodotti (RAEE), edifici, e rifiuti (MSW) presenti nelle città e nelle aree metropolitane.



- (1) Recupero di materia (waste-to-materials) o di energia (waste-to-energy)
- (2) Riduzione dello smaltimento in discarica e dei rifiuti esportati
- (3) Creare nuovi mercati ed opportunità di lavoro.

# Produzione di rifiuti: da un problema ad un'opportunità



# Criteri di priorità nella gestione dei rifiuti



- **La riduzione alla fonte** della produzione dei rifiuti, agendo su progettazione, produzione e commercializzazione dei beni, diminuendo le quantità di rifiuto da destinare allo smaltimento finale.
- Il **recupero di materia e/o di energia** e il **riutilizzo degli scarti**.
- Il corretto smaltimento dei rifiuti non recuperabili (pericolosi, contenenti sostanze tossiche, nocive, ecc.)
- Il miglioramento degli altri sistemi di trattamento e/o smaltimento, come ad esempio inceneritori, impianti di compostaggio e discariche.

# I residui di produzione: regime giuridico

Non tutti i residui di produzione sono giuridicamente "rifiuti". Infatti, alcuni di essi non acquistano mai la natura di rifiuto, altri invece la perdono all'esito di un procedimento di recupero.

In particolare, non costituiscono ai sensi della vigente normativa dei "rifiuti" e godono (di conseguenza) di un regime di favore per la loro gestione:

1) i **sottoprodotti**, ossia i residui originati da un processo di produzione il cui scopo primario non è la loro produzione e rispondenti alle ulteriori particolari caratteristiche previste dalla vigente normativa. Tali residui costituiscono dei "non rifiuti" fin dalla loro nascita;

2) i **residui di produzione** che (invece) perdono la qualifica di "rifiuti" solo all'esito di operazioni di recupero. Le norme sul recupero dei residui sono attualmente oggetto di una evoluzione giuridica che si sposta dalla vecchia disciplina relativa alla produzione delle "materie prime secondarie" alla nuova logica di matrice comunitaria dell' "end of waste" (ossia della "cessazione della qualifica di rifiuto").

# Definizione di rifiuto

D.Lgs. 152/06, Art. 183, comma 1, lettera a):

*"Qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l'intensione o abbia l'obbligo di disfarsi"*

## DIVERSI PROBLEMI INTERPRETATIVI

circolare del Min Ambiente del 28/06/99, ripresa dal D.L. n. 138/2002 (Convertito nella L. n. 178/2002)

1. **"si disfi"**: qualsiasi comportamento atto ad avviare un materiale o una sostanza ad attività di smaltimento o di recupero
2. **"abbia deciso"**: volontà di destinare ad operazioni di smaltimento e di recupero
3. **"abbia obbligo di disfarsi"**: l'obbligo di avviare un materiale, una sostanza o un bene ad operazione di recupero o di smaltimento stabilito da leggi o da provvedimenti pubblici (es. ordinanza) o imposto dalla natura della sostanza (es. olio usato, batterie esauste, materiale putrescibile, ecc.)

# Definizioni

D.Lgs. 152/06, Art. 183, comma 1, lettera a):

**riutilizzo:** qualsiasi operazione attraverso la quale prodotti o componenti che non sono rifiuti sono reimpiegati per la stessa finalità per la quale erano stati concepiti

**trattamento:** operazioni di recupero o smaltimento, inclusa la preparazione prima del recupero o dello smaltimento

**recupero:** qualsiasi operazione il cui principale risultato sia di permettere ai rifiuti di svolgere un ruolo utile, sostituendo altri materiali che sarebbero stati altrimenti utilizzati per assolvere una particolare funzione o di prepararli ad assolvere tale funzione, all'interno dell'impianto o nell'economia in generale. L'allegato C della Parte IV del presente decreto riporta un elenco non esaustivo di operazioni di recupero

**riciclaggio:** qualsiasi operazione di recupero attraverso cui i rifiuti sono trattati per ottenere prodotti, materiali o sostanze da utilizzare per la loro funzione originaria o per altri fini. Include il trattamento di materiale organico ma non il recupero di energia né il ritrattamento per ottenere materiali da utilizzare quali combustibili o in operazioni di riempimento;

**smaltimento:** qualsiasi operazione diversa dal recupero anche quando l'operazione ha come conseguenza secondaria il recupero di sostanze o di energia. L'allegato B alla Parte IV del presente decreto riporta un elenco non esaustivo delle operazioni di smaltimento;

## Allegato C: Operazioni di recupero

- R1 Utilizzazione principale come combustibile o come altro mezzo per produrre energia
- R2 Rigenerazione/recupero di solventi
- R3 Riciclo/recupero delle sostanze organiche non utilizzate come solventi (comprese le operazioni di compostaggio e altre trasformazioni biologiche)
- R4 Riciclo/recupero dei metalli e dei composti metallici
- R5 Riciclo/recupero di altre sostanze inorganiche
- R6 Rigenerazione degli acidi o delle basi
- R7 Recupero dei prodotti che servono a captare gli inquinanti
- R8 Recupero dei prodotti provenienti dai catalizzatori
- R9 Rigenerazione o altri reimpieghi degli oli
- R10 Spandimento sul suolo a beneficio dell'agricoltura o dell'ecologia
- R11 Utilizzazione di rifiuti ottenuti da una delle operazioni indicate da R1 a R10
- R12 Scambio di rifiuti per sottoporli a una delle operazioni indicate da R1 a R11
- R13 Messa in riserva di rifiuti per sottoporli a una delle operazioni indicate nei punti da R1 a R12 (escluso il deposito temporaneo, prima della raccolta, nel luogo in cui sono prodotti)

## Rifiuti urbani

- **Rifiuti domestici** anche ingombranti provenienti da locali e luoghi adibiti ad uso di civile abitazione
- Rifiuti **non pericolosi** provenienti da locali e luoghi adibiti ad usi diversi dai precedenti (...)
- Rifiuti provenienti dallo spazzamento delle strade
- Rifiuti di qualunque natura e provenienza giacenti sulle strade ed aree pubbliche o sulle strade ed aree private comunque soggette ad uso pubblico o sulle spiagge marittime e lacuali e sulle rive dei corsi d'acqua
- Rifiuti vegetali provenienti da aree verdi quali giardini, parchi e aree cimiteriali

## Rifiuti speciali

- Rifiuti da attività agricole e agro-industriali
- Rifiuti derivanti da attività di demolizione, costruzione, nonché i rifiuti pericolosi che derivano da attività di scavo
- Rifiuti da lavorazioni industriali
- Rifiuti da lavorazioni artigianali
- Rifiuti da attività commerciali
- Rifiuti da attività di servizio
- Rifiuti derivanti dalle attività di recupero e smaltimento di rifiuti, i fanghi prodotti dalla potabilizzazione e da altri trattamenti delle acque e dalla depurazione delle acque reflue e da abbattimento di fumi
- Rifiuti derivanti da attività sanitarie
- Macchinari e apparecchiature deteriorati e obsoleti
- Veicoli a motore, rimorchi e simili fuori uso e loro parti
- Combustibile derivato da rifiuti
- Rifiuti derivati dalle attività di selezione meccanica dei rifiuti solidi urbani

# La classificazione dei rifiuti

## Categorie particolari di rifiuti

- Imballaggi e rifiuti di imballaggio
- Rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE)
- Rifiuti sanitari
- Veicoli fuori uso
- Prodotti contenenti amianto
- Pneumatici fuori uso
- CDR (combustibile da rifiuti) e CDR-Q (combustibile da rifiuti di qualità elevata)
- Rifiuti derivanti da attività di manutenzione delle infrastrutture
- Rifiuti prodotti dalle navi e residui di scarico
- Rifiuti di origine animale
- Oli usati
- Fanghi provenienti da processi di depurazione di acque reflue

## 184-bis. Sottoprodotto

### Comma 1

È un sottoprodotto e non un rifiuto ... qualsiasi sostanza od oggetto che soddisfa tutte le seguenti condizioni:

- a) la sostanza o l'oggetto è originato da un processo di produzione, di cui costituisce parte integrante, e il cui scopo primario non è la produzione di tale sostanza od oggetto;
- b) è certo che la sostanza o l'oggetto sarà utilizzato, nel corso dello stesso o di un successivo processo di produzione o di utilizzazione, da parte del produttore o di terzi;
- c) la sostanza o l'oggetto può essere utilizzato direttamente senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;
- d) l'ulteriore utilizzo è legale, ossia la sostanza o l'oggetto soddisfa, per l'utilizzo specifico, tutti i requisiti pertinenti riguardanti i prodotti e la protezione della salute e dell'ambiente e non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o la salute umana.

## 184-ter. Cessazione della qualifica di rifiuto

### Comma 1

- Un rifiuto cessa di essere tale, quando è stato sottoposto a un'operazione di recupero, incluso il riciclaggio e la preparazione per il riutilizzo, e soddisfa i criteri specifici, da adottare nel rispetto delle seguenti condizioni:
- a) la sostanza o l'oggetto è comunemente utilizzato per scopi specifici;
- b) esiste un mercato o una domanda per tale sostanza od oggetto;
- c) la sostanza o l'oggetto soddisfa i requisiti tecnici per gli scopi specifici e rispetta la normativa e gli standard esistenti applicabili ai prodotti;
- d) l'utilizzo della sostanza o dell'oggetto non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o sulla salute umana.

## 184-ter. Cessazione della qualifica di rifiuto

### Comma 2

- L'operazione di recupero può consistere semplicemente nel controllare i rifiuti per verificare se soddisfano i criteri elaborati conformemente alle predette condizioni. I criteri di cui al comma 1 sono adottati in conformità a quanto stabilito dalla disciplina comunitaria ovvero, in mancanza di criteri comunitari, caso per caso per specifiche tipologie di rifiuto attraverso uno o più decreti del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, ai sensi dell'articolo 17, comma 3, della legge 23 agosto 1988, n. 400. I criteri includono, se necessario, valori limite per le sostanze inquinanti e tengono conto di tutti i possibili effetti negativi sull'ambiente della sostanza o dell'oggetto.

### Comma 3

- Nelle more dell'adozione di uno o più decreti di cui al comma 2, continuano ad applicarsi le disposizioni di cui ai decreti del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio in data 5 febbraio 1998, 12 giugno 2002, n. 161, e 17 novembre 2005, n. 269 e l'art. 9-bis, lett. a) e b), del decreto-legge 6 novembre 2008, n. 172, convertito, con modificazioni, dalla legge 30 dicembre 2008, n. 210

## Regolamenti UE

I regolamenti devono riguardare almeno i flussi di rifiuti relativi agli aggregati, la carta, il vetro, i metalli, la plastica, gli pneumatici e i rifiuti tessili, a cui si devono aggiungere i rifiuti da costruzione e demolizione, alcune ceneri e scorie e il compost.

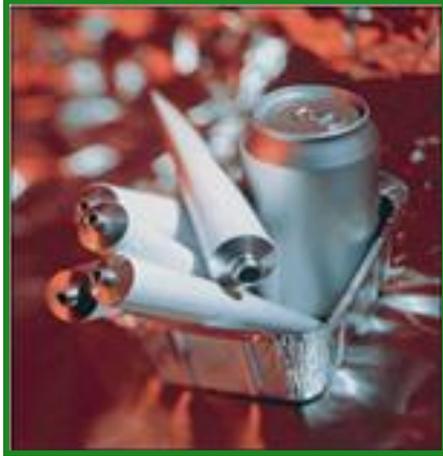
A oggi sono stati approvati tre Regolamenti:

- il n. 333/2011 riguardante **ferro, acciaio e alluminio**,
- il n. 1179/2012, riguardante il **vetro**
- il n. 715/2013 riguardante il **rame**

## Esempi di materiali che possono essere riciclati:

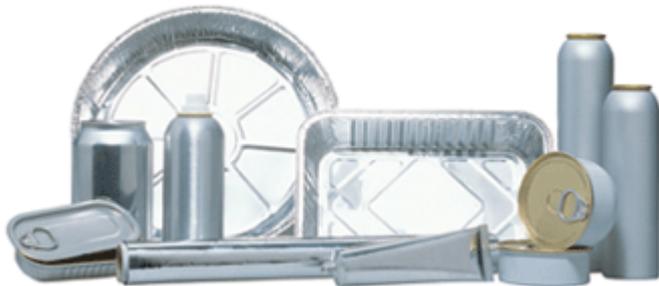
- Carta e Cartone
- Vetro
- Alluminio
- Plastica
- Materiali ferrosi
- Materiale Organico
- Inerti misti da costruzione
- Beni durevoli
- Legno
- Batterie per auto trazione
- Pile scariche
- Oli usati
- PNEUMATICI

# Alluminio



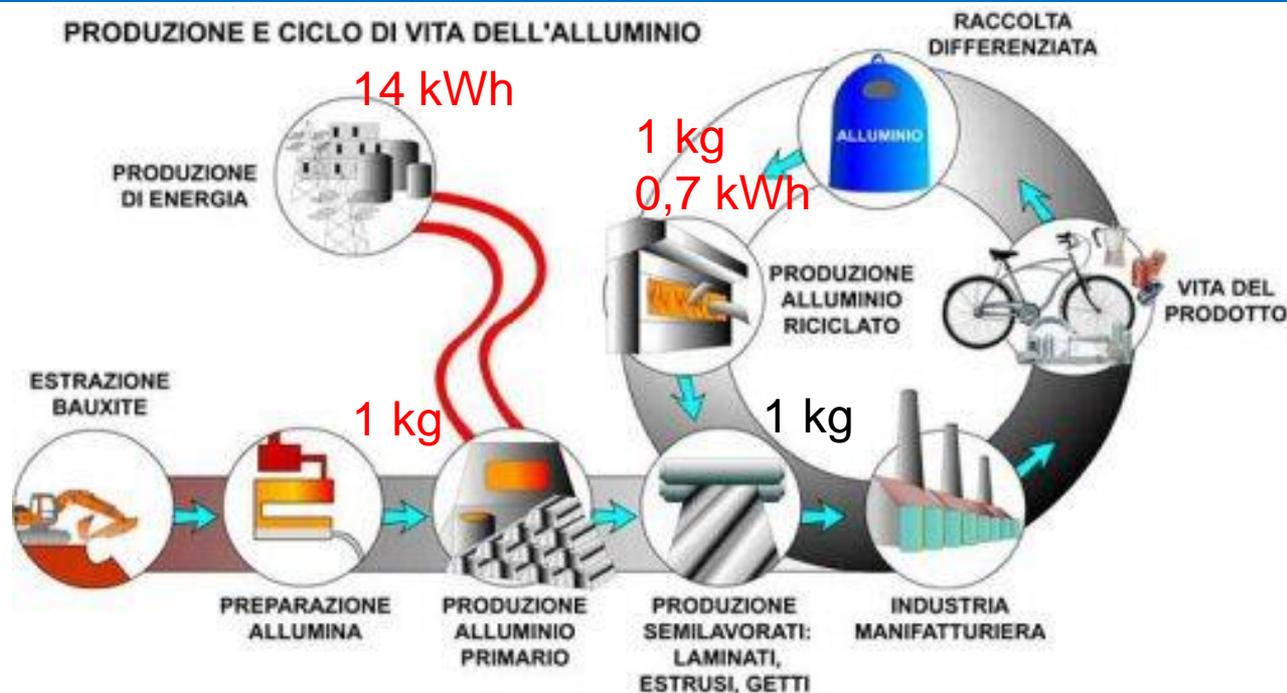
L'**alluminio** è uno dei materiali più abbondanti in natura e possiede una serie di caratteristiche che lo rendono particolarmente adatto alla produzione di imballaggi:

- è impermeabile,
- non lascia passare la luce,
- non altera il gusto del contenuto
- può essere riciclato un numero infinito di volte senza perdere le sue qualità originali.



Il **grande vantaggio** del riciclo dell'alluminio risiede nel risparmio energetico: fino al 95% dell'energia necessaria ad estrarre alluminio vergine dai minerali (ad esempio la bauxite).

## La catena del valore dell'alluminio e il ciclo di vita



Il riciclo fa risparmiare il

**95 %**

dell'energia richiesta per produrre l'alluminio primario.

L'alluminio raggiunge alte percentuali di riciclo a fine vita del prodotto

**>90 %**

nell'automotive (automobili e autocarri)

**>90 %**

nelle costruzioni

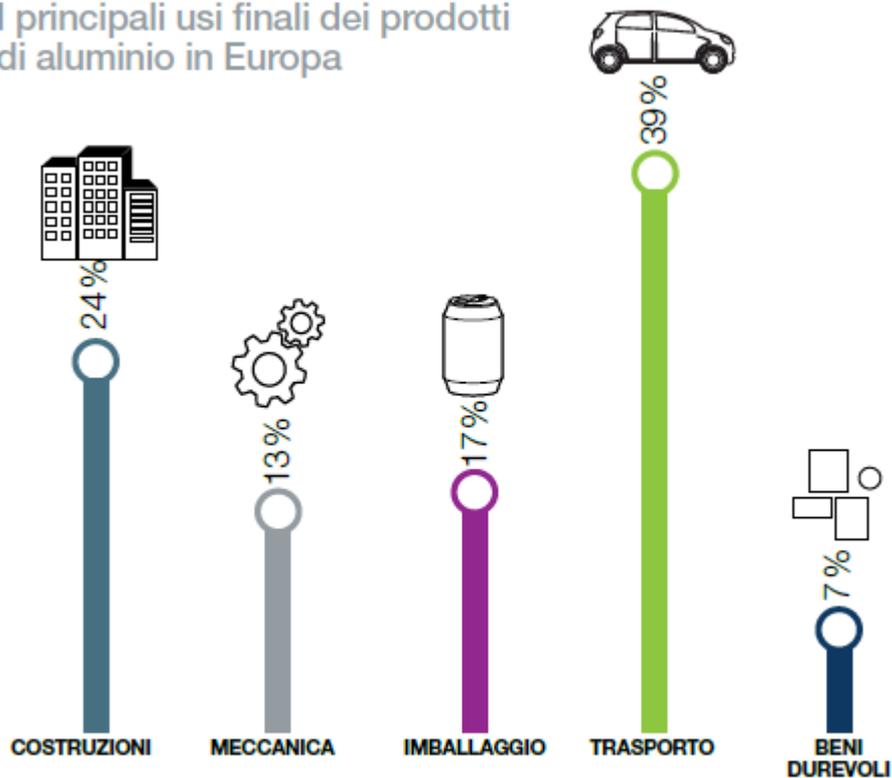
**60 %**

negli imballaggi

Il 75% di tutto l'alluminio prodotto nella storia è ancora in uso

## Indicatori economici

I principali usi finali dei prodotti di alluminio in Europa



**16%**  
della produzione di  
alluminio mondiale,  
metà della quale da  
fonti riciclate

**36,8 miliardi  
di euro**  
di fatturato all'anno

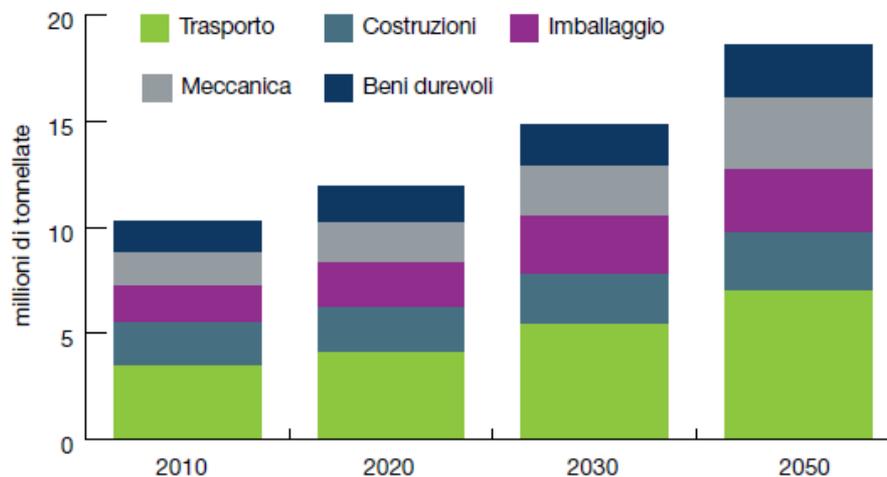
## Indicatori economici

Il consumo di prodotti di alluminio è direttamente collegato al livello di benessere e allo sviluppo dell'economia.

Nel 2012 ogni cittadino europeo ha usato in media

**22 kg di alluminio**

Consumo europeo di alluminio per settore di mercato (previsione)



## Fasi di utilizzo e riciclo



L'alluminio nelle automobili consente riduzioni di peso di circa il

**50 %**

rispetto ai materiali concorrenti e aiuta a **ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>**\*

Il risparmio di peso realizzato consente in media un risparmio annuale di carburante di

**65 litri per auto.**

Il contenuto di alluminio per auto prodotta in Europa è quasi triplicato dal 1990 e raggiunge oggi i 140 kg.

L'alluminio rende le auto più efficienti



L'alluminio aumenta l'efficienza energetica degli edifici e permette costruzioni più leggere e innovative. Facciate intelligenti che incorporano sistemi in alluminio possono **diminuire il consumo di energia fino al 50%**. Ma il suo impiego migliora le prestazioni energetiche anche degli edifici esistenti, **con un periodo di ritorno della maggiore emissione iniziale di CO<sub>2</sub> che va da uno a cinque anni**<sup>2</sup>.

## Alcuni numeri

- 1) Italia 2° in Europa e 3° al mondo per il riciclo dell'alluminio
- 2) 211 imprese consorziate con 35 mila dipendenti promuovono la raccolta differenziata.
- 3) La raccolta differenziata nel 2010 ha segnato la cifra record di oltre 46.500 tonnellate pari al 72,4% dell'immesso sul mercato.



= 800 lattine.



= 37 lattine.



= 3 lattine.

## Il riciclo dell'alluminio



Le lattine, le bombolette spray e gli altri contenitori in alluminio da raccolta differenziata sono trasportati a impianti dedicati al riciclaggio dell'alluminio.

Dopo aver eliminato eventuali corpi estranei, i rifiuti vengono fusi per ricavare lingotti di alluminio puro.

I lingotti sono poi lavorati per ottenere delle lamine da utilizzare per la produzione di nuovi contenitori o altri oggetti.

In Italia il C.I.A.L. è il consorzio che si occupa dell'avvio al riciclaggio dei rifiuti in alluminio.

## Catena di produzione secondaria dell'alluminio

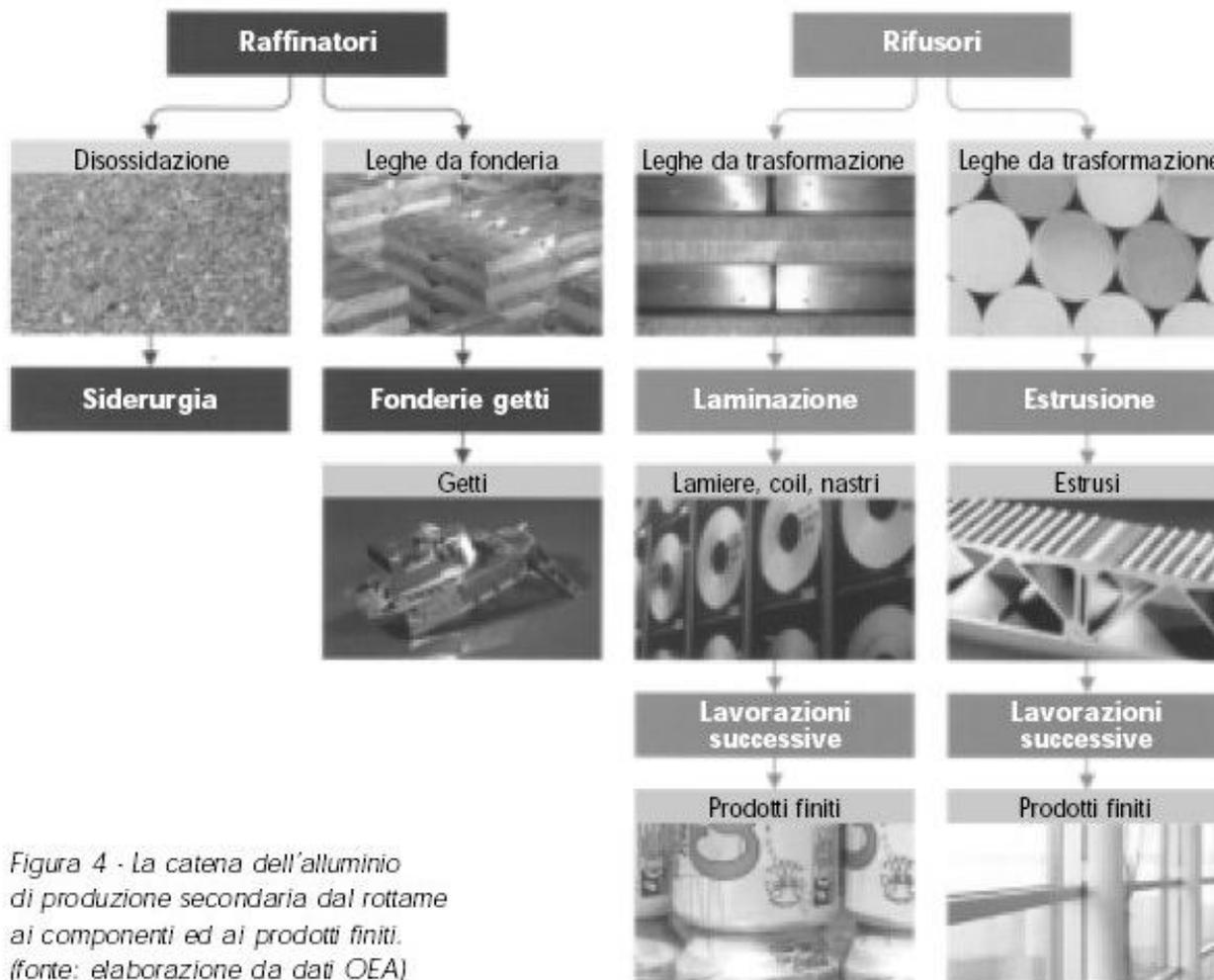


Figura 4 - La catena dell'alluminio di produzione secondaria dal rottame ai componenti ed ai prodotti finiti. (fonte: elaborazione da dati OEA)



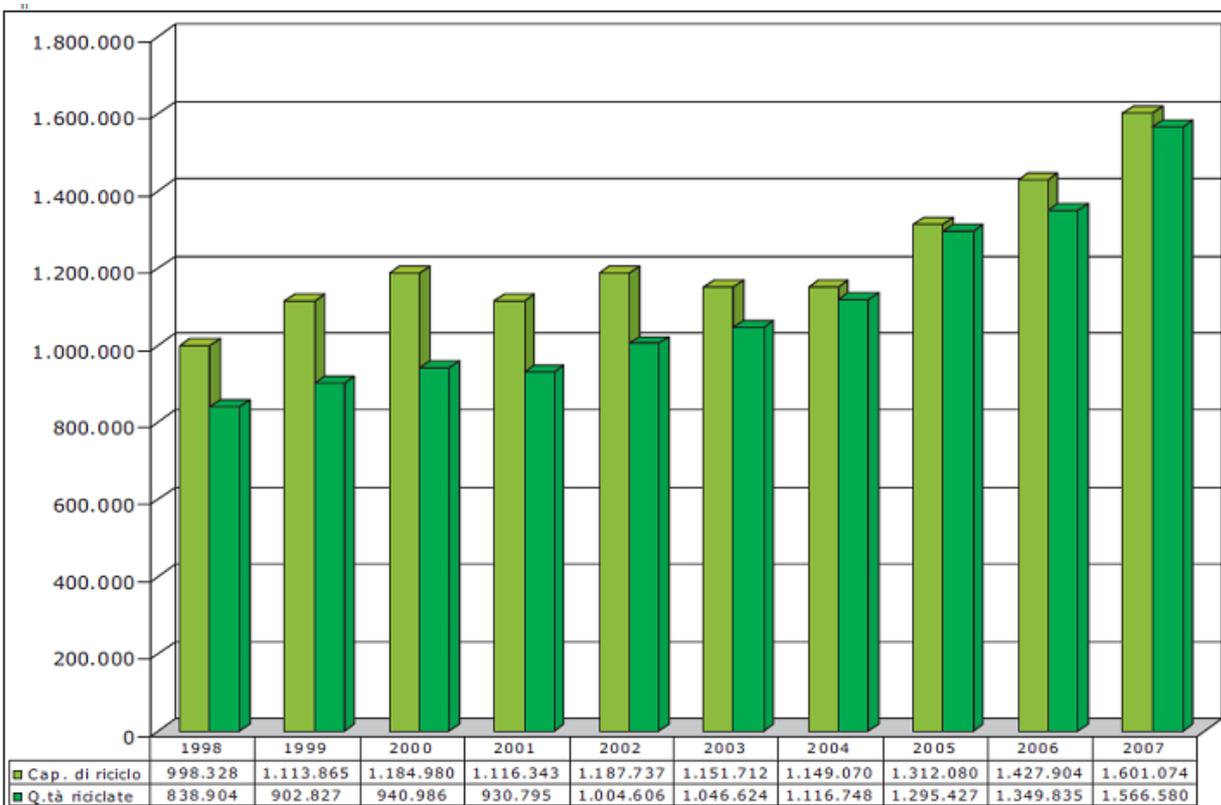
Il riciclaggio dei materiali plastici assume un'importanza primaria se si considera che la plastica è ottenuta attraverso **la raffinazione del petrolio**.



**L'esauribilità di questa risorsa e il suo alto costo di estrazione** rendono necessario uno sforzo comune per aumentare sensibilmente la quota di plastica ottenuta dal processo di riciclaggio.

Nel corso degli ultimi anni, i quantitativi degli scarti polimerici riciclati sono pressoché raddoppiati, raggiungendo quasi il 1.600.000 tonnellate, peraltro con un grado di sfruttamento degli impianti prossimo al 100%

Il continuo aumento del prezzo del greggio e dunque della virgin nafta ha determinato un rialzo delle quotazioni delle materie plastiche e dunque la **crescita della domanda dei materiali rigenerati.**



## Tipologie



### PET (polietilentereftalato)

Questo polimero presenta:

- elevate proprietà meccaniche,
- buona tenacità,
- buona resistenza termica e chimica,
- ottima trasparenza e brillantezza.

Viene utilizzato per la produzione di:

- bottiglie per acqua e bibite,
- flaconi per detersivi domestici,
- vassoi e blister termoformati,
- film di supporto per termoaccoppiati
- fibre (per abbigliamento, arredamento, imbottiture, cordami, uso geotessile, ecc.),
- film per effetti decorativi e arti grafiche;
- lastre fotografiche e radiografiche;
- nastri audio e video.

Il PET riciclato viene utilizzato per la produzione di nuovi contenitori, oppure, nel campo di applicazione delle fibre, si ottengono imbottiture, maglioni, "pile", moquette, interni per auto, blister e reggette.

## Tipologie



### PP (polipropilene)

Le sue caratteristiche sono:

- buone proprietà meccaniche,
- buona resistenza chimica,
- elevata impermeabilità al vapore acqueo.

Sono numerosi i settori di applicazione di questo polimero:

- flaconi per detersivi e cosmetica,
- cassette,
- film orientati in sostituzione del cellophane,
- sacchi industriali,
- mobili da giardino,
- fibre (corde e sacchi),
- articoli casalinghi,
- batterie
- paraurti auto.

## Tipologie



**HDPE**



**LDPE**

### PE (polietilene)

Le sue caratteristiche sono:

- buona resistenza meccanica e rigidità,
- resistenza agli acidi, alcali, soluzioni saline e vari solventi organici (es. oli e benzine),
- scarsa trasparenza (opaco).

Viene utilizzato per la fabbricazione di:

- bottiglie e flaconi per alimenti,
- detergenti e agenti chimici,
- cassette e fusti,
- film di vari spessori per uso agricolo, industriale, edile.

Il PE riciclato, viene reimpiegato per la realizzazione di nuovi contenitori per detergenti, oppure sacchi della spazzatura, film per imballaggio, manufatti per l'industria.

## Tipologie



### PVC (cloruro di polivinile)

Le sue caratteristiche sono:

- buona resistenza meccanica e chimica,
- elevata impermeabilità al vapore acqueo.

Sono numerosi i settori di applicazione di questo polimero:

- bottiglie e flaconi (circa il 6% della produzione di bottiglie per acque minerali non gasate),
- blister termoformati,
- film flessibili,
- tubi,
- telai di finestre,
- tapparelle,
- guaine per cavi elettrici,
- finte pelli,
- giocattoli,
- parti di automobili e
- accessori biomedicali.

Il PVC riciclato, viene riutilizzato soprattutto nel settore edile per la produzione di tubi, scarichi per l'acqua piovana, raccordi, passacavi.

## Tipologie



### PS (polistirene)

Le sue caratteristiche sono:

- elevata rigidità e trasparenza,
- buona resistenza all'urto,
- leggerezza,
- buon isolamento termico ed acustico.

Sono numerosi i settori di applicazione di questo polimero:

- scatole trasparenti,
- flaconi per medicinali e cosmetica,
- vaschette per yogurt e formaggi molli,
- imballaggi per alimenti (vaschette) ed industriali (protezione interna),
- mobili,
- piatti e bicchieri monouso,
- pannelli isolanti e
- giocattoli.

## Il riciclo dei polimeri

**I polimeri termoplastici**, se sottoposti a calore, possono essere rimodellati e successivamente, diminuendone la temperatura, possono essere riportati allo stato solido senza modificarne la struttura chimica, per tale motivo, quindi sono facilmente riciclabili anche se è stato dimostrato che tale procedimento non può essere effettuato un numero elevato di volte a causa della progressiva riduzione delle caratteristiche fisico-meccaniche durante il ripetersi del processo) a differenza delle proprietà reologiche che rimangono immutate.

**I polimeri termoindurenti**, invece, se sottoposti a calore, dopo una fase iniziale di rammollimento, subiscono una carbonizzazione dei legami che modifica radicalmente ed in maniera irreversibile la struttura chimica degli stessi, e successivamente, se sottoposti a raffreddamento, assunta la forma definitiva, non possono più essere modificati né attraverso calore né attraverso pressione. Queste caratteristiche ne rendono difficile il loro reimpiego.

## Il riciclo dei polimeri

Polimeri termoplastici	Polimeri termoindurenti
Acrilonitrile-butadiene-stirene - ABS	Poliesteri insaturi – UP Scafi, imbarcazioni, parti di aerei ed elicotteri a schermi radar, articoli sportivi.
Poliacetali - POM	
Poliammidi - PA	
Polibutilentereftalato - PBT	Poliuretani - PU Finte pelli, soles e tacchi da scarpe, film per isolamento elettrico, articoli per lo sport.
Policarbonato - PC	
Polifenilossido - PPO	Resine alchiliche Utilizzati nel settore delle pitture e vernici, come resine da stampaggio, e anche dove siano richieste caratteristiche elettriche.
<b>Polietilene o politene - PE</b>	
Polifenilsolfuro - PPS	
<b>Polietilentereftalato - PET</b>	Resine alliliche - DAP Isolatori elettrici, articoli tecnici per calcolatori, circuiti stampati, parti per aerospaziale, lastre rinforzate, tubi.
Poliisobutilene - PIB	
Polivinilidencloruro - PVDC	Resine epossidiche - EP Vernici, adesivi, laminati, isolatori elettronici. Si usa anche rinforzata con fibre di vetro e di carbonio.
Polimetilmetacrilato - PMMA	
Etilenvinil acetato - EVA	
<b>Polipropilene - PP</b>	Resine fenoliche - fenoplasti - PF Laminati, adesivi, componenti elettrici e motoristici.
Polivinilidenfluoruro – PVDF	
Polisolfone - PSU	Resine furaniche Rivestimenti anticorrosivi nell'industria chimica anche sotto forma di laminati.
<b>Polistirene o polistirolo - PS</b>	
Polistirene espanso - EPS	Resina melaminica - MF Laminati, di stoviglie e negli isolanti elettrici.
Polivinilacetati - PVA	
<b>Polivinilcloruro - PVC</b>	
Poliuretani - PU	Resina ureica – UR Pannelli truciolati.
Acetato di cellulosa - CA	
Stirene - acrilonitrile - SAN	Politetrafluoroetilene- PTFE (teflon) Rivestimenti antiaderenti resistenti ad alte temperature, per isolamento elettrico, per protezione dagli agenti acidi.
Polivinilidencloruro clorurato - CPVDC	
Acrilonitrile - stirene - estere acrilico - ASA	
Metilmetacrilato butadiene stirene - MBS	

## Il riciclo dei polimeri

La difficoltà maggiormente riscontrata dagli operatori del settore è infatti il progressivo peggioramento qualitativo dei materiali provenienti dai rifiuti solidi urbani (RSU), resi inseparabili dalla raccolta promiscua e dalle successive pressature effettuate, che rendono difficili e in alcuni casi impossibili le operazioni di riciclo.

Va sottolineato, infine, che il riciclaggio delle materie plastiche richiede processi ed impianti del tutto differenti da quelli che caratterizzano il settore di produzione primario (industria petrolchimica), a differenza di quei materiali, come carta, vetro e metalli, che necessitano, per essere riciclati, di sole operazioni di cernita/selezione, adeguamento volumetrico e/o altre operazioni accessorie.

Nonostante questi fattori negativi riscontrati, negli ultimi anni si è comunque assistito ad un crescente interesse per il recupero delle materie plastiche, dovuto proprio allo sviluppo di una normativa più severa rispetto allo smaltimento di tali materiali ed all'aumento, già accennato, del prezzo delle materie prime che fanno intravedere concrete opportunità di una economia futura legata ai materiali riciclati.

## Il riciclo dei polimeri: tipologie di polimeri riciclabili

A causa della varietà delle materie plastiche è veramente difficile stabilire uno standard qualitativo con il quale si possano confrontare le diverse materie ottenibili dal riciclo

Si può affermare, però, che in genere alcuni materiali termoplastici presentano caratteristiche prestazionali di reimpiego migliori ([Cemal Meran et al., 2008](#)) come, ad esempio, le poliolefine (HDPE, LDPE), il polietilentereftalato (PET), il polipropilene (PP), il polivinilcloruro (PVC) o il polistirolo (PS)



PE (polietilene)  
Usi: materiali elettrici, involucri per prodotti alimentari, tubi, flaconi di shampoo, porta uova e detersivi.



PET (polietilentereftalato)  
Usi: bottiglie d'acqua minerale e bevande.



PP (polipropilene)  
Usi: bicchieri per gelati, bicchieri per yogurt, nastri adesivi, vassoi espansi, secchi o barattoli per vernici



PVC (polivinilcloruro)  
Usi: tubi, porta uova, valvole, lastre e bottiglie per liquidi.



PS (polistirolo)  
Usi: fabbricazione di mobili, radio, televisioni, frigoriferi, piatti e posate.

## Il riciclo dei polimeri: HDPE

La **materia prima-seconda** si ottiene dal riciclo di scarti di produzione e da sfridi di lavorazione (se di pre-consumo) o da imballaggi, tubi, pallets, cassette e contenitori (se di post-consumo).

L'HDPE riciclato ha proprietà tecniche molto buone paragonabili a quelle del prodotto vergine

### Caratteristiche tecniche dell'HDPE riciclato:

CARATTERISTICHE			
Densità	0,94 ÷ 0,96	g/cm <sup>3</sup>	
Temperatura d'esercizio	50 ÷ 120	°C	
Temperatura di rammollimento	60 ÷ 70	°C	
Coefficiente di espansione termica	200	1/K * 10 <sup>-6</sup>	
Resistenza alla trazione	18 ÷ 35	N/mm <sup>2</sup>	
Modulo di trazione	700 ÷ 1400	N/mm <sup>2</sup>	
Allungamento	100 ÷ 1000	%	
Resistenza all'urto	-	kJ/m <sup>2</sup> senza ntaglio	
	-	kJ/m <sup>2</sup> con intaglio	
Assorbimento d'acqua (24h)	< 0,01	%	
COMPATIBILITA'			
Ottima	-		
Buona	polimeri stirenici - poliolefine		
Non compatibile	-		

- un'ottima resistenza chimica nei confronti delle soluzioni acide e basiche,
- assorbimento d'acqua quasi nullo e un basso peso specifico,
- una minor resistenza a trazione di quelli realizzati con materia prima vergine,
- un modulo elastico mediocre ed un'elevata deformazione plastica a carico costante ([Cemal Meran et al., 2008](#)),
- minore è il tempo di estrusione e maggiori sono le proprietà finali dell'HDPE riciclato, anche dopo ripetuti processi ([M.K. Loultcheva et al., 1996](#)).
- si ottengono manufatti migliori se alla componente riciclata viene aggiunta una quantità di HDPE vergine, mentre la degradazione termica che interviene nei processi di riciclo può essere limitata tramite l'aggiunta di vari additivi ([R. Yang et al., 2006](#)).

## Il riciclo dei polimeri: LDPE

La **materia prima-seconda** è utilizzabile senza problemi di fragilità e rotture fino a 80 °C, può essere colorata facilmente, ma perde la trasparenza ottenibile invece con il materiale vergine, ha inoltre proprietà meccaniche molto vicine a quelle del prodotto di partenza, ma risente delle variazioni strutturali subite durante i processi di riciclo e rilavorazione ([W.Nunes dos Santos et al., 2007](#)).

Per i polimeri in polietilene a bassa densità provenienti da settori di applicazione diversi da quello agricolo si ottengono manufatti migliori se alla componente riciclata viene aggiunta una percentuale di LDPE vergine, in maniera analoga al polietilene ad alta densità. Inoltre è stato dimostrato anche per il polietilene a bassa densità ([N. Tzankova Dintcheva et al., 1997](#)) che, aggiungendo degli antiossidanti (phosphite stabilizer, IRG) e dei riempitivi inerti, come carbonato di calcio e silicato di calcio, può essere limitata la degradazione termica che si instaura durante il processo di riciclo.

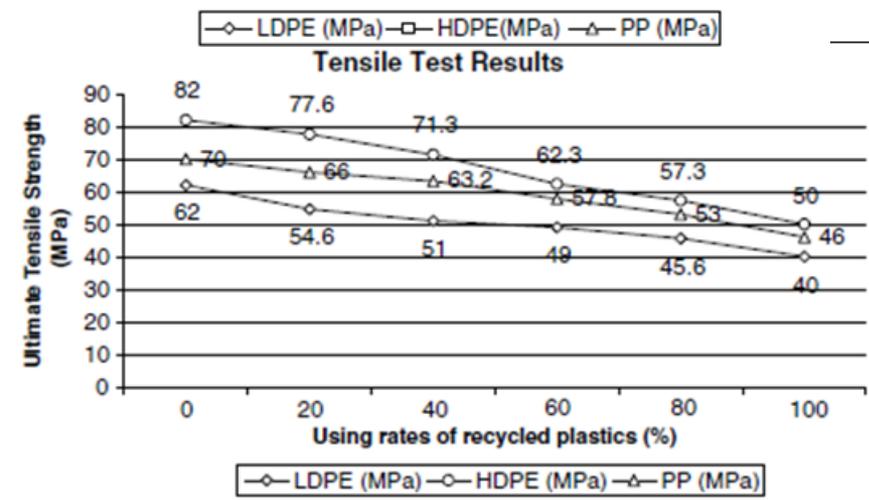
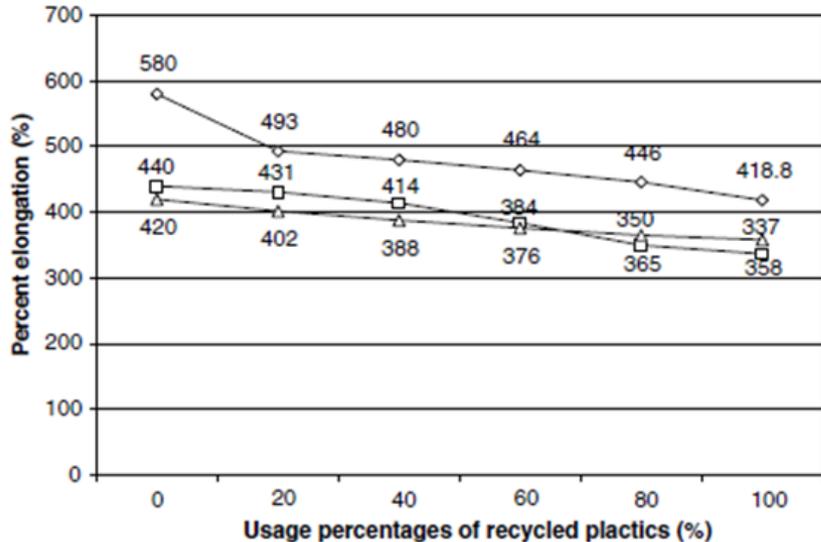
Caratteristiche tecniche dell'HDPE r

CARATTERISTICHE			
Densità	0,92 ÷ 0,93	g/cm <sup>3</sup>	
Temperatura d'esercizio	60 ÷ 70	°C	
Coefficiente di espansione termica	250	1/K * 10 <sup>-6</sup>	
Resistenza alla trazione	8 ÷ 23	N/mm <sup>2</sup>	
Modulo di trazione	200 ÷ 500	N/mm <sup>2</sup>	
Allungamento	300 ÷ 1000	%	
Resistenza all'urto	-	kJ/m <sup>2</sup>	senza intaglio
	-	kJ/m <sup>2</sup>	con intaglio
Assorbimento d'acqua (24h)	0,01 ÷ 0,03	%	
COMPATIBILITA'			
Ottima	-		
Buona	Acrilonitrile-butadiene-stiren, ABS		
Non compatibile	-		

## Il riciclo dei polimeri: PP

CARATTERISTICHE			
Densità	0,9	g/cm <sup>3</sup>	
Temperatura d'esercizio	30 ÷ 120	°C	
Temperatura di rammollimento	85 ÷ 100	°C	
Coefficiente di espansione termica	150	1/K * 10 <sup>-6</sup>	
Resistenza alla trazione	21 ÷ 37	N/mm <sup>2</sup>	
Modulo di trazione	1300 ÷ 5000	N/mm <sup>2</sup>	
Allungamento	20 ÷ 800	%	
Resistenza all'urto	- 13 ÷ 17	kJ/m <sup>2</sup> kJ/m <sup>2</sup>	senza intaglio con intaglio
Assorbimento d'acqua (24h)	0,01 ÷ 0,03	%	
COMPATIBILITA'			
Ottima	Acrilonitrile-butadiene-stiren, ABS, policarbonato PC		
Buona	-		
Non compatibile	Polivinilcloruro PVC, poliammide PA6, polietilene PE		

## Caratteristiche tecniche dei polimeri (HDPE, LDPE, PP) riciclati

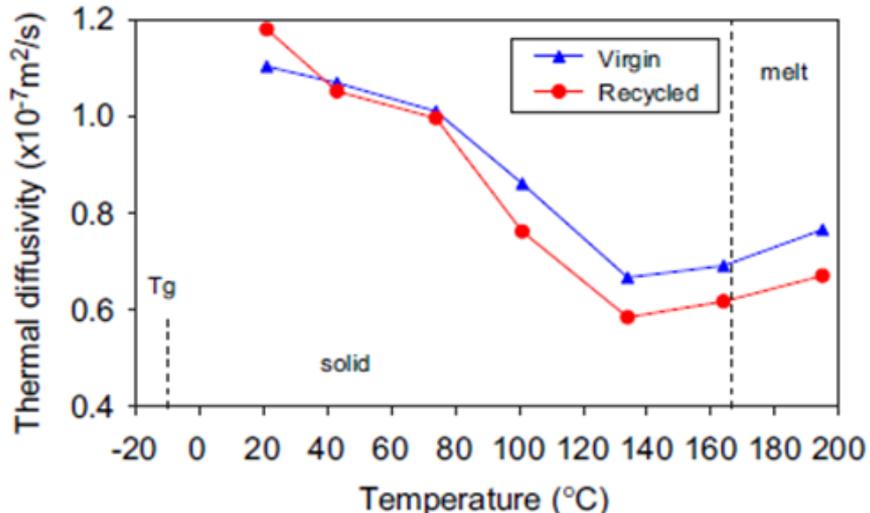
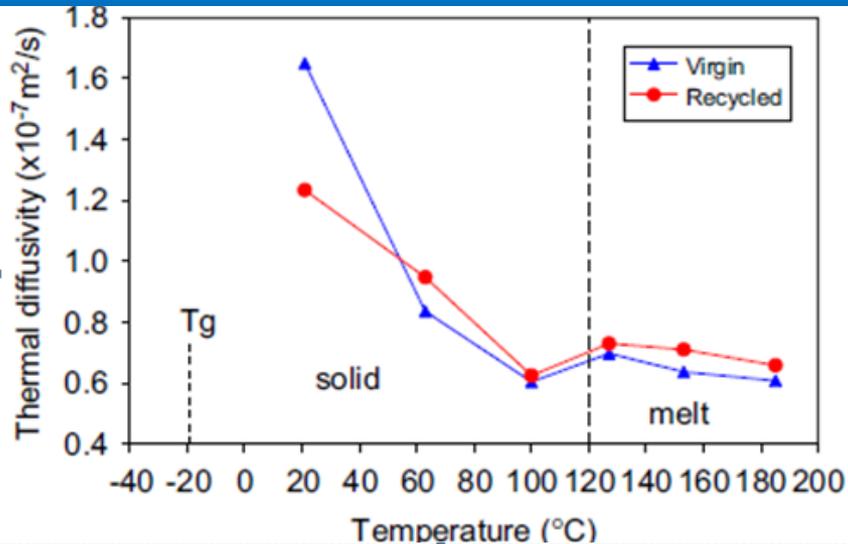


### Caratteristiche meccaniche ([Cemal Meran et al., 2008](#))

il PP riciclato presenta, rispetto allo stesso materiale vergine, una diminuzione della percentuale di allungamento (percent elongation) pari al 15%, nettamente minore rispetto alla diminuzione della percentuale di allungamento che caratterizza il polietilene ad alta densità, 24%, ed il polietilene a bassa densità, 28%.

minore diminuzione della resistenza ultima alla trazione (ultimate tensile strength) del PP interamente riciclato (rispetto a quello vergine), pari al 34%, in confronto all'LDPE riciclato e all'HDPE riciclato i quali hanno presentato una diminuzione (rispetto agli stessi materiali vergini) rispettivamente del 36 e del 40%.

## Caratteristiche tecniche dei polimeri (HDPE, LDPE, PP) riciclati



**Caratteristiche termiche** ([W.Nunes dos Santos et al., 2007](#)).

l'LDPE riciclato presenta differenze di diffusività termica (thermal diffusivity), ovvero caratteristiche strutturali diverse rispetto al materiale vergine, solo a temperature superiori a quella di fusione (melt flow temperature) per l'instaurarsi di probabili fenomeni di degradazione,

il polipropilene riciclato, invece, presenta già a temperature molto inferiori rispetto alla temperatura di fusione (fig.) un andamento diverso della diffusività termica rispetto allo stesso materiale vergine.

## Il riciclo dei polimeri (PET)

Le caratteristiche che determinano la qualità del PET riciclato sono:

- grado di contaminazione, con la quale si determina la purezza e conseguentemente la qualità della materia prima-seconda. Da notare, infatti, che al variare della provenienza, il PET riciclato post-consumo presenta percentuali variabili di contaminanti (poliolefine, PVC, carta, metallo) pari al 35-40%, per materiali provenienti dagli impianti di trattamento e selezione di rifiuti urbani, ed al 18-29% per sistemi di raccolta selettiva di sole bottiglie in PET;
- viscosità ( $\mu$ ), con la quale si indicano le lavorazioni e le applicazioni per cui il materiale è indicato:
  - $0,50 \leq \mu \leq 0,60$  fibra di poliestere
  - $0,60 \leq \mu \leq 0,80$  lastre per termoformatura
  - $0,70 \leq \mu \leq 0,80$  materiale per stampaggio (iniezione e soffiaggio)
  - $0,80 \leq \mu \leq 1,50$  fibre tecniche;
- grado di umidità, importante per scongiurare eventuali problemi in fase di lavorazione; il PET, essendo un materiale igroscopico (una sostanza che assorbe l'acqua dall'ambiente circostante.), deve essere necessariamente sottoposto a deumidificazione, per non compromettere le caratteristiche meccaniche del manufatto finale.

## Il riciclo dei polimeri (PET)

Grado di compatibilità del polietilentereftalato con altri polimeri riciclati

l'acido cloridrico presente anche in piccole quantità di PVC, durante le fasi di lavorazione effettuate ad alte temperature, provoca la scissione delle catene di PET, modificandone la struttura chimica ([M. Paci e F. P. La Mantia, 1999](#)), per tale motivo i due polimeri non sono compatibili e di conseguenza non possono essere miscelati per produrre nuovi materiali.

Nella seguente tabella sono riportati i gradi di compatibilità del PET riciclato con gli altri polimeri.

COMPATIBILITA'	
Ottima	Policarbonato PC
Buona	Polipropilene PP, polietilene ad alta densità HDPE, polietilene a bassa densità LDPE
Non compatibile	Polivinilcloruro PVC, poliammide PA6, polietilene PE, acrilonitrile-butadiene-stiren ABS, resine acetaliche POM, stirene-acrilonitrile SAN, polistirene PS

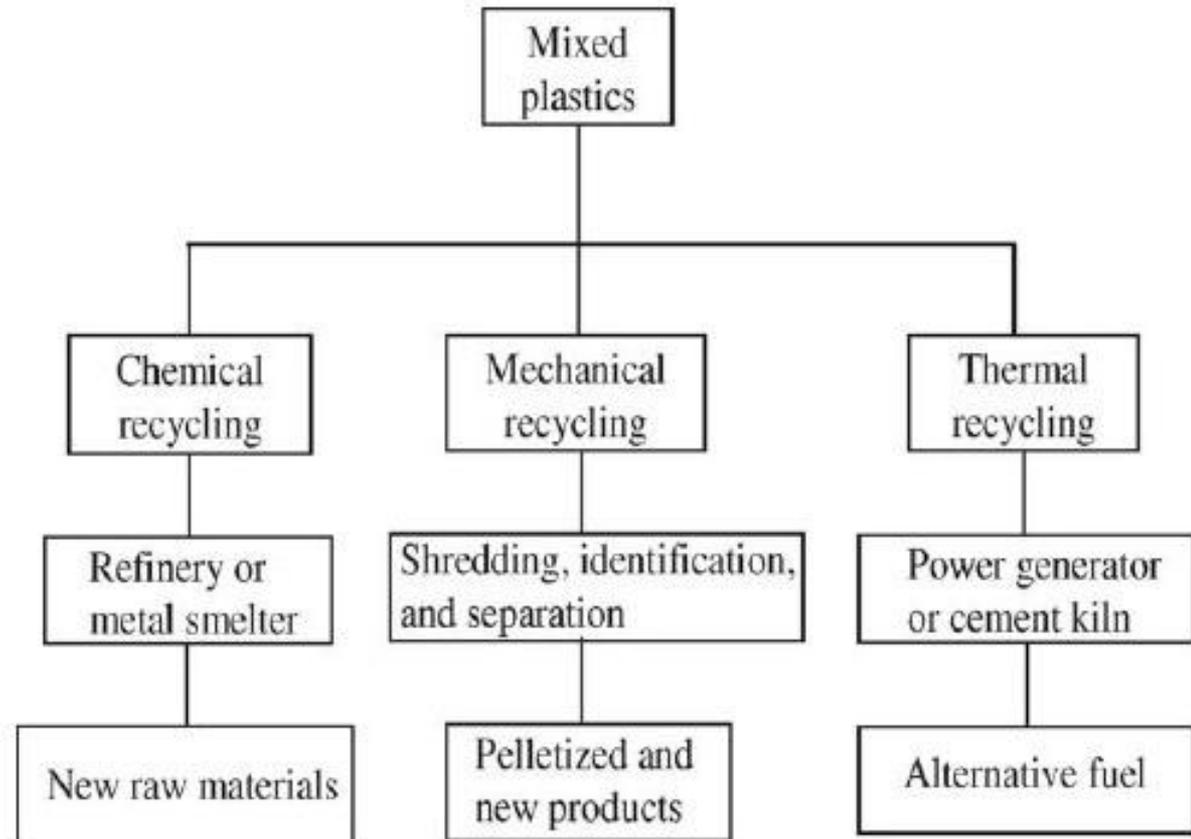
## Il riciclo dei polimeri

Quantitativi riciclati.

	Polimeri riciclati					
	LDPE [t]	HDPE [t]	PET [t]	PP [t]	PVC [t]	PS [t]
<b>2002</b>	255.583	89.054	128.753	267.764	96.161	33.745
<b>2003</b>	270.912	104.362	146.472	268.204	90.375	37.109
<b>2004</b>	288.747	114.055	153.112	287.151	101.113	38.444
<b>2005</b>	322.006	156.452	174.718	325.345	116.465	40.147
<b>2006</b>	354.667	178.848	166.770	321.375	113.132	32.024
<b>2007</b>	411.011	21.804	188.654	366.222	130.734	34.617

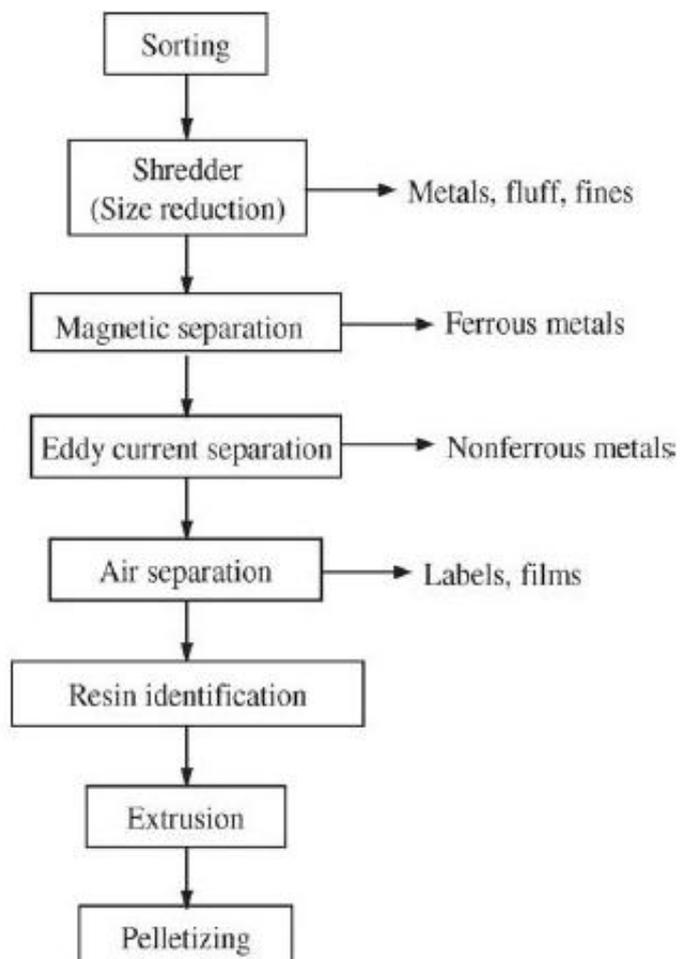
## Tipologie di recupero dei polimeri

- *Riciclo meccanico*
- *Riciclo chimico*
- *Recupero per combustione*

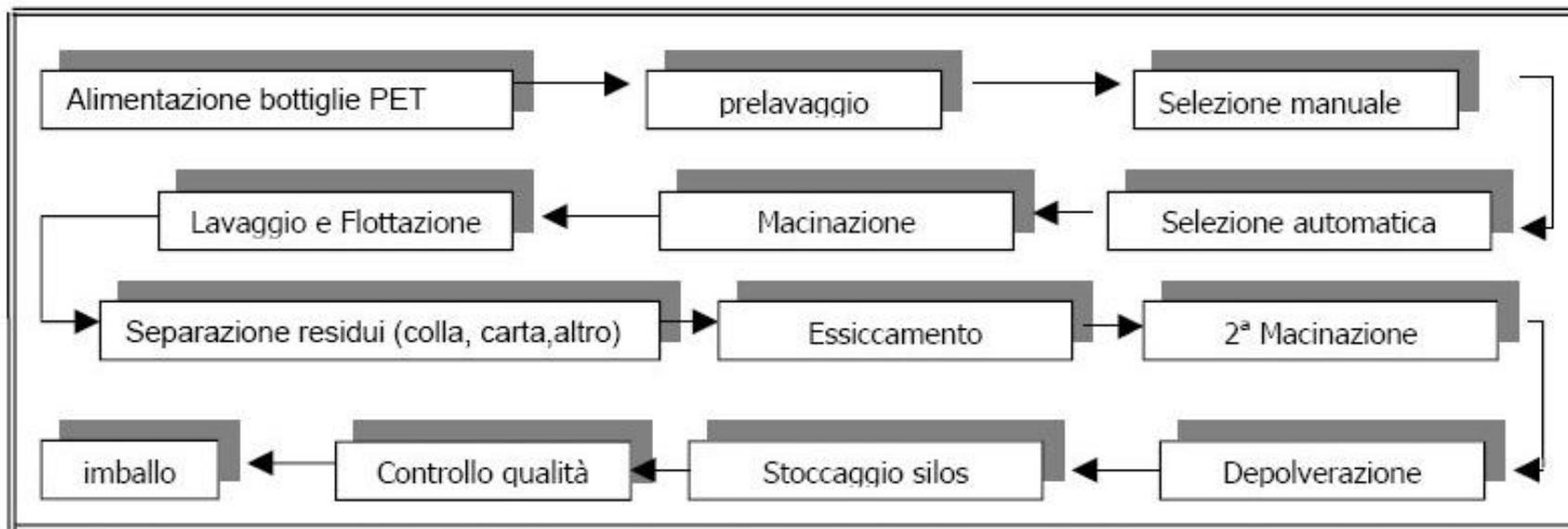


## Tipologie di recupero dei polimeri

### *Schema riciclo meccanico della plastica*

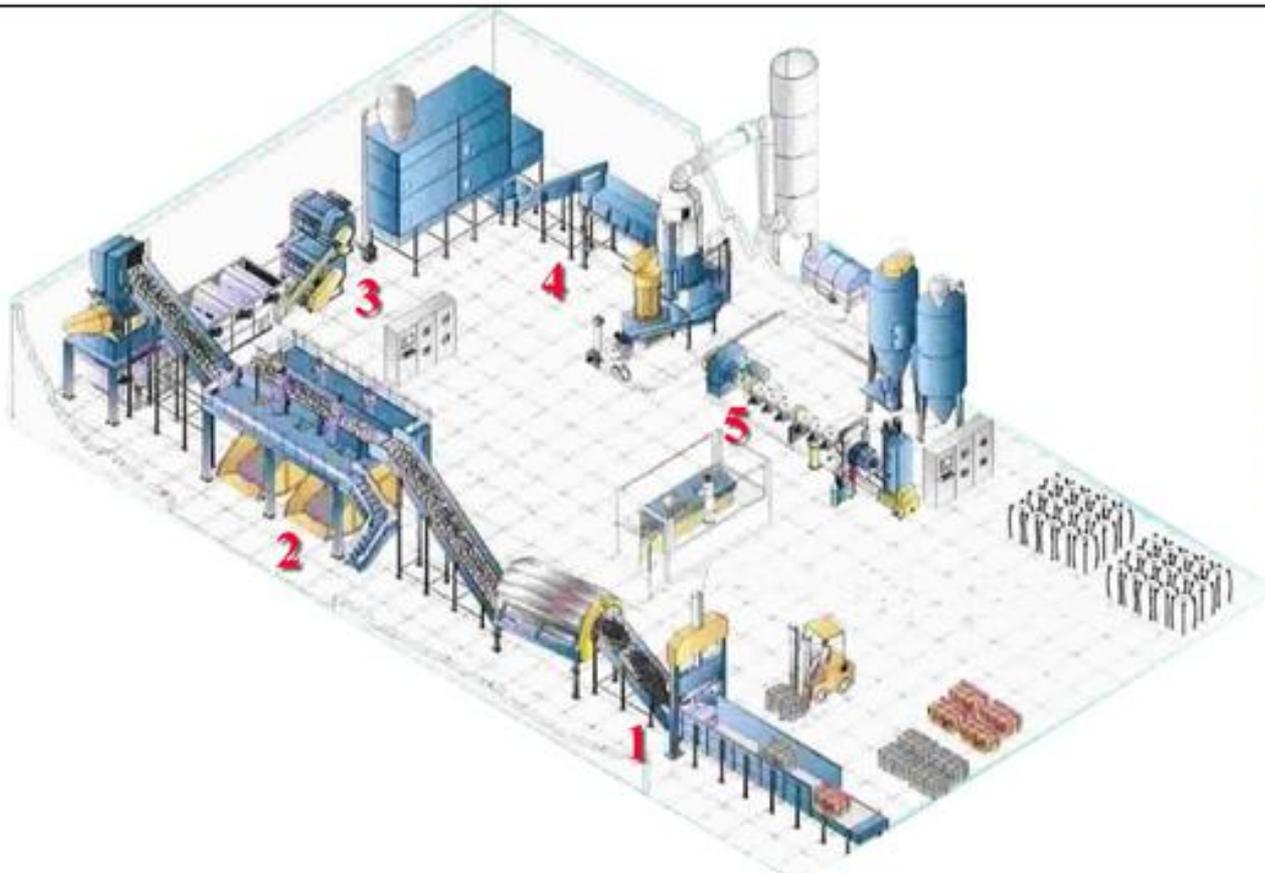


## *Schema impianto riciclo del PET*



## Riciclo meccanico

### Impianto di selezione lavaggio dei rifiuti plastici



#### Sezioni impianto:

1. Conferimento
2. Selezione
3. Triturazione
4. Lavaggio
5. Essiccamento

## Tipologie di recupero dei polimeri

- *Riciclo meccanico;*

A seconda della tipologia di rifiuto plastico trattato, si possono ottenere differenti **materie prime-seconde** destinate a diverse applicazioni: i polimeri termoplastici macinati vengono, infatti, solitamente trasformati in granuli o scaglie per la produzione di nuovi manufatti, mentre dal recupero dei polimeri termoindurenti si ottengono frazioni di materiale utilizzabili come cariche inerti nella lavorazione di altri polimeri vergini (sia termoindurenti che termoplastici) oppure come riempitivi per la realizzazione di altri prodotti. Il processo di riciclo meccanico è caratterizzato da fasi ben distinte descritte di seguito.

Gli investimenti principali dell'industria di questo settore sono orientati verso il miglioramento delle tecniche di selezione dei materiali di riciclo con l'obiettivo di ottenere frazioni sempre più omogenee e libere da materiali inquinanti. La qualità dei prodotti ottenuti infatti, specialmente nel caso di materie plastiche post-consumo, è fortemente condizionata dal livello di "inquinamento" da materiali estranei o da tipologie di plastiche non compatibili.

## Tipologie di recupero dei polimeri

- *Riciclo meccanico omogeneo;*

Successivamente alla fase di raccolta, e separazione da altri materiali, la plastica viene accuratamente selezionata per tipologia di polimero.

Le metodologie di separazione che si possono effettuare sono diverse:

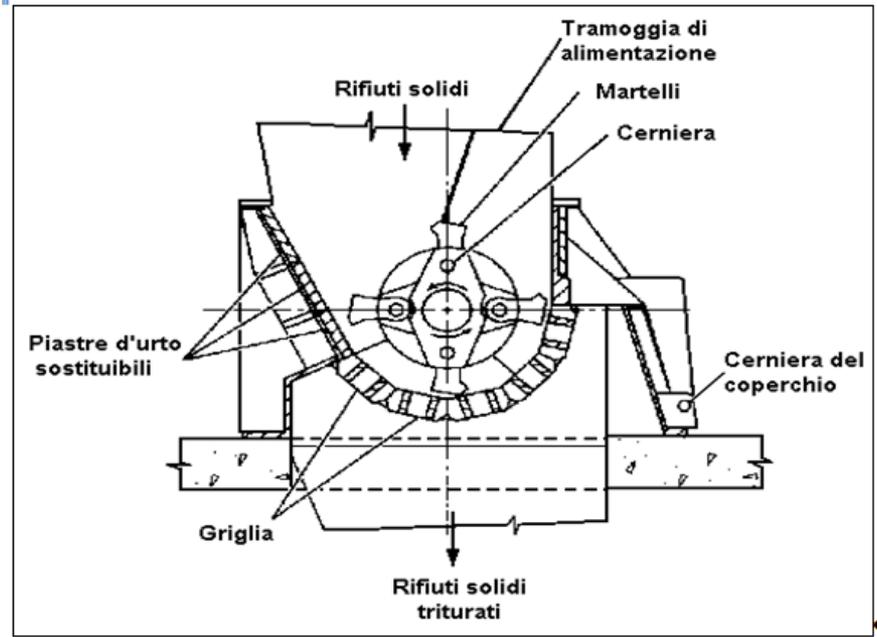
- separazione magnetica;
- separazione per flottazione
- separazione per densità;
- separazione per galleggiamento;
- separazione per proprietà aerodinamiche;
- setaccio tramite soffio d'aria;
- separazione elettrostatica.

## Tipologie di recupero dei polimeri

- *Riciclo meccanico;*

Una volta separati, i diversi polimeri vengono avviati alla fase successiva della triturazione, tramite appositi mulini "a martelli" (fig.), "a coltelli" o "ad effetto di taglio", consistente nella frantumazione grossolana del materiale e nella sua conseguente riduzione volumetrica con produzione di scaglie dalla forma irregolare, ma dalle dimensioni omogenee, che garantisca, al materiale trattato, la successiva processabilità attraverso le macchine che operano a valle dell'impianto.

### Mulino a martello



## Tipologie di recupero dei polimeri

- *Riciclo meccanico;*

Per eliminare frazioni dannose, il prodotto ottenuto a seguito della triturazione viene sottoposto alla fase del lavaggio, effettuabile tramite differenti sistemi in base alle caratteristiche del polimero da trattare e al settore di provenienza.

- Tra questi, il sistema più diffuso (utilizzato soprattutto per il trattamento delle poliolefine e in generale per i polimeri con densità inferiore a 1 g/cc) è quello che prevede il passaggio del materiale triturato in una vasca, con all'interno una corrente d'acqua costante, in cui avviene la separazione delle varie frazioni grazie alle diverse densità dei materiali (le poliolefine rimangono a galla ed escono dalla vasca trascinate dalla corrente mentre sul fondo vengono raccolti i materiali che hanno una densità maggiore dell'acqua quali ad esempio terra, parti metalliche o altri polimeri).
- Un altro sistema, invece, consiste nel passaggio del materiale su un nastro trasportatore sul quale viene spruzzata acqua, pura o con aggiunta di additivi. Dopo questa prima fase di lavaggio, in genere è predisposta anche una seconda vasca all'interno della quale i materiali sono trattati con soluzioni basiche per l'eliminazione della colla e delle etichette presenti, materiali incompatibili con i polimeri trattati.

## Tipologie di recupero dei polimeri

- *Riciclo meccanico*

Dopo essere stato sottoposto alla fase del lavaggio, la frazione di macinato viene convogliata in un sistema di presse a vite oppure viene centrifugata per essere separata da tutta l'acqua presente. Successivamente, la stessa frazione viene sottoposta ad essiccamento tramite l'apporto di correnti d'aria calda, riducendo al 2-3% del totale il residuo di acqua e rendendo quindi il materiale idoneo per l'estrusione

Avvenuto l'essiccamento, le fasi finali del riciclo consistono nella macinazione, durante la quale il materiale, non contenente alcuna parte metallica, viene condotto in un ulteriore mulino per ridurre ulteriormente la dimensione delle scaglie e nella granulazione finale, effettuata mediante un estrusore con il quale all'interno si fonde il polimero che poi fuoriesce attraverso fori delle dimensioni di 2÷4 mm sotto forma di lunghi filamenti i quali vengono tagliati a caldo (immediatamente dopo l'estrusione) oppure a freddo (effettuando il raffreddamento ad acqua del polimero estruso).

## Tipologie di recupero dei polimeri

- *Riciclo meccanico;*

La qualità del riciclato dipende fortemente dal grado di omogeneità degli scarti di partenza e dalla loro "storia" termica (esposizione alla luce e al calore). Elevate percentuali di materiali estranei (metalli, carta, etc.), e di polimeri incompatibili e/o estremamente degradati, abbassano le prestazioni dei rigenerati ottenuti.

Il riciclo meccanico omogeneo del materiale è preferibile rispetto alle altre alternative perché richiede poca energia e lascia intatta la possibilità di un successivo riciclo energetico. Non chiude però perfettamente il cerchio perché il materiale polimerico è soggetto a processi di degradazione termica e meccanica che possono influire caratteristiche del riciclato.

Le prestazioni finali dei manufatti plastici riciclati differiscono quindi da quelle del materiale vergine, in misura tanto maggiore quanto più elevato è il numero di rilavorazioni effettuate. Anche la lavorabilità viene profondamente modificata in seguito alle mutazioni morfologiche, strutturali e chimiche subite dal materiale polimerico. Di conseguenza, i prodotti ottenuti dopo le operazioni di riciclo vengono generalmente destinati ad impieghi di basso valore.

## Tipologie di recupero dei polimeri

- *Riciclo meccanico eterogeneo*

Si applica alle plastiche non selezionate e permette di ottenere materie plastiche aventi una qualità inferiore ma una grande resistenza. Il riciclo eterogeneo viene effettuato attraverso la lavorazione di un materiale misto contenente PE, PP, PS, PVC (film in PE alta e bassa densità, film in PP, taniche, vaschette, big bags e barattoli) e, in quantità minime, PET (contenitori per liquidi), inerti, altri imballaggi, metalli.

In questo processo vi è una prima separazione morfologica e dimensionale seguita da una magnetica per separare eventuali frazioni estranee che potrebbero creare problemi in fase di lavorazione. Queste tre separazioni vengono eseguite in base alla lavorazione e al prodotto che si vuole realizzare.

Successivamente il riciclo procede secondo tre fasi:

- triturazione e frantumazione grossolana del materiale, con i quali il materiale eterogeneo viene ridotto a scaglie dalle dimensioni pressoché costanti;
- densificazione (aggregazione e omogeneizzazione della miscela plastica mediante l'applicazione di forze di trazione e compressione);
- estrusione.

## Tipologie di recupero dei polimeri

- *Riciclo meccanico eterogeneo;*

Questo processo è utilizzato largamente per la triturazione di bottiglie di PET+PE+PVC tutte insieme. Le scaglie sono utilizzate direttamente per stampare oggetti come panchine, fioriere e strutture per parchi giochi.

Tale tipo di riciclo presenta però maggiori problemi di gestione dovuti alle diverse temperature di fusione e, quindi, di lavorazione dei polimeri stessi che danno luogo a rigenerati “più poveri” di quelli ottenuti con il riciclo omogeneo, inoltre, tali manufatti, difficilmente possono sostituire le materie plastiche vergini. Sono invece ottimi sostituti del legno e del cemento.

Occorre notare infine che talvolta il prodotto ottenuto con materia prima-seconda eterogenea ha caratteristiche così ridotte che il riciclo non è conveniente. Necessita quindi valutare, in funzione delle prestazioni finali richieste, le caratteristiche tecniche minime garantite dai diversi prodotti riciclati.

## Tipologie di recupero dei polimeri

- *Riciclo chimico;*

Il riciclo chimico è rappresentato da una serie di processi chimici che decompongono il polimero nei monomeri d'origine. ([D.S. Achilias et al., 2007](#), [A.A. Garforth et al., 2004](#). Alcune plastiche (polimeri di policondensazione), per loro natura chimica, si prestano meglio a questo genere di trattamento

- polietilentereftalato (PET);
- poliammidi (PA) comunemente identificate come "nylon" ;
- poliuretani (PU).

### **I vantaggi**

- Elevata tolleranza rispetto al contenuto in contaminanti (separazione a monte) non necessaria)
- prodotti di elevata purezza, con qualità costante e, di conseguenza, facilmente collocabili nel mercato.

### **Problemi**

- applicazione solo su un limitato numero di polimeri
- alti costi di investimento iniziale e di gestione, che rendono necessario il trattamento di grandi volumi di rifiuti. I processi di depolimerizzazione, impiegati su scala industriale, non sono ancora molto numerosi.

## Tipologie di recupero dei polimeri

- *Riciclo chimico;*

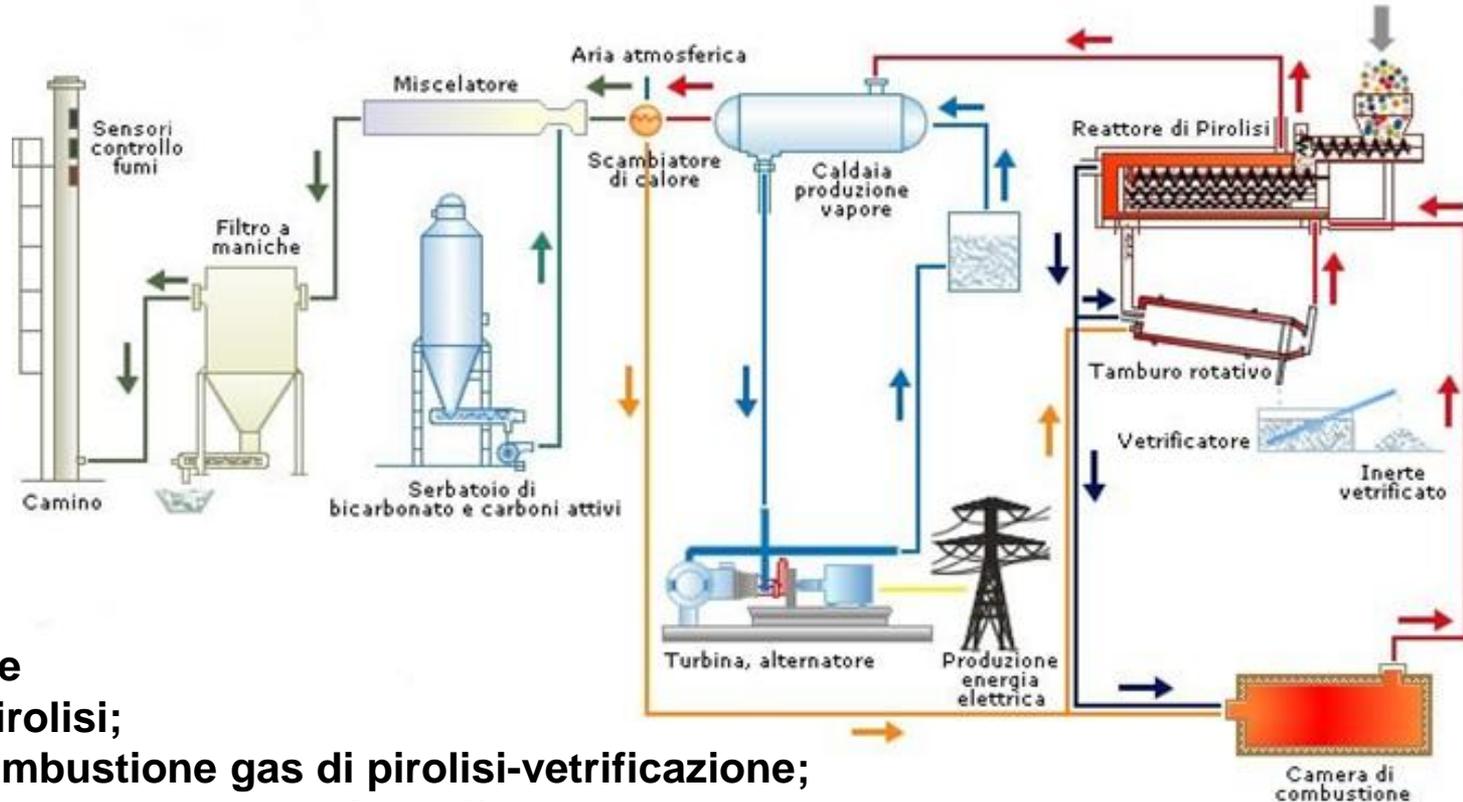
A seconda del tipo di reattore o del metodo utilizzato per la depolimerizzazione si hanno diversi tipi di processi di decomposizione chimica, tra questi il più utilizzato è quello mediante **pirolisi**, appartenente ai processi termochimici.

Con l'aumento di temperatura, che varia nell'ordine di  $300\div 850^{\circ}\text{C}$ , si avvia quindi il "cracking" delle molecole degli idrocarburi mediante reazioni a catena consistenti nella generazione di radicali instabili (a causa della perdita di atomi d'idrogeno), che si scindono, a loro volta, in molecole più piccole, stabili, ed altri radicali instabili, con la formazione di prodotti a basso peso molecolari e gassosi ([B. Saha e A.K. Goshal, 2005](#)).

## Tipologie di recupero dei polimeri

- *Riciclo chimico;*

Un impianto per la **pirolisi** (K.M. Zia et al., 2007) è costituito dalle seguenti fasi

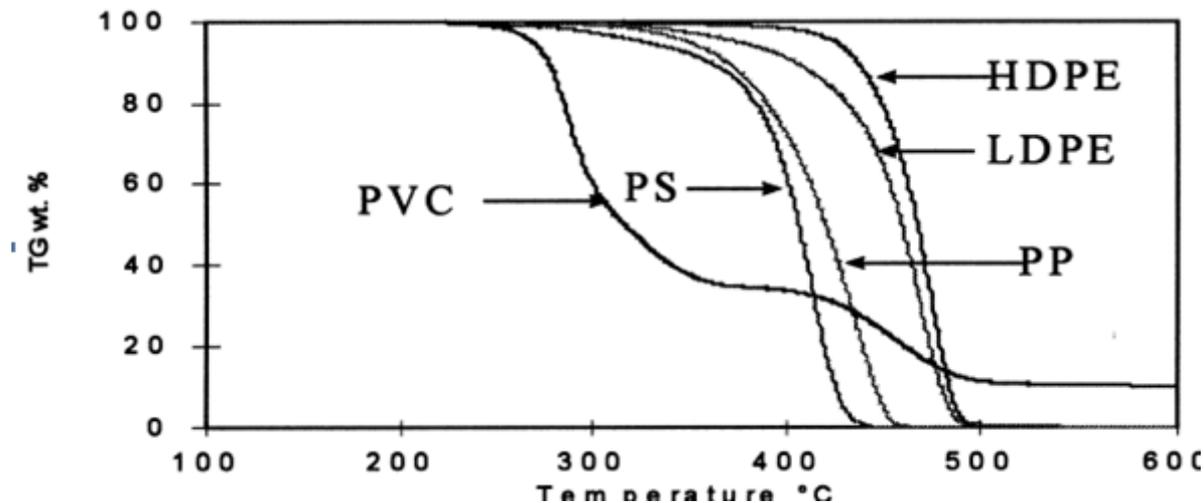


- Alimentazione
- Reattore di pirolisi;
- Camera di combustione gas di pirolisi-vevificazione;
- Caldaia a recupero per produzione di vapore;
- Unità di trattamento fumi;
- Produzione di energia elettrica.

## Tipologie di recupero dei polimeri

- *Riciclo chimico;*

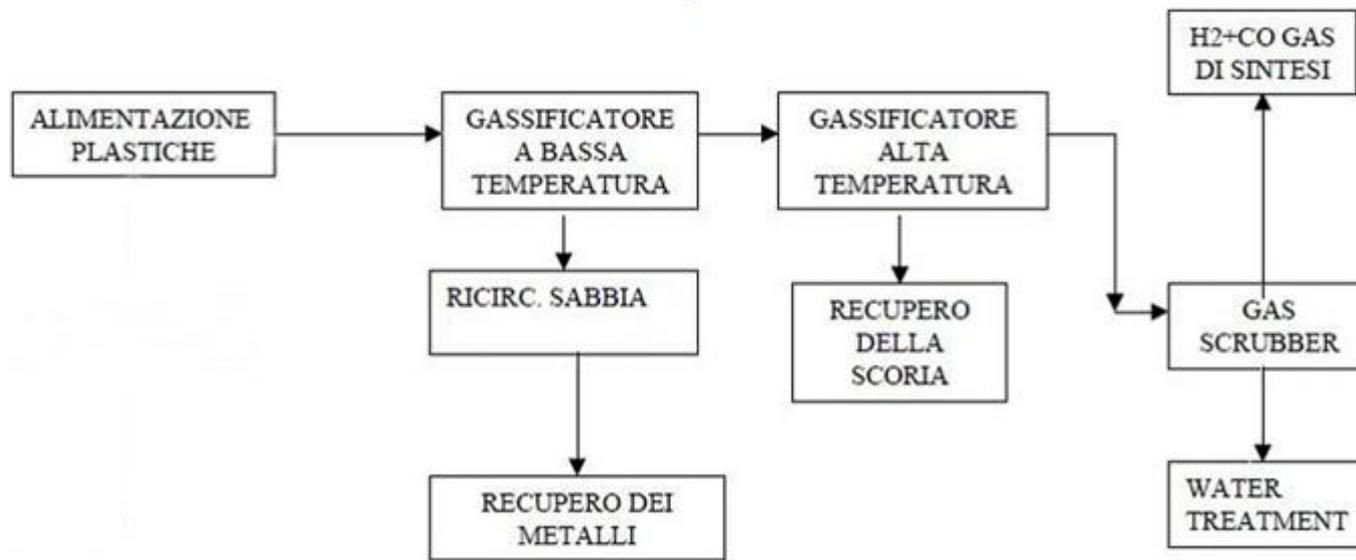
**La pirolisi** generalmente comporta la frammentazione delle strutture polimeriche con formazione eventuale di residui solidi carboniosi, ma soprattutto di gas leggeri, oligomeri condensabili e gas non combustibili i quali se si opera in ambiente privo d'aria, dovendo quindi fornire calore al sistema, risultano ottimi combustibili oppure possono essere utilizzate per ulteriori trasformazioni chimiche, se invece nell'atmosfera circostante è presente aria, i prodotti più leggeri evaporati dalla fase pirolitica reagiscono con l'ossigeno generando una fiamma. Occorre inoltre considerare la peculiarità del degrado termico di ciascun polimero, è stato dimostrato infatti ([R. Miranda et al., 2001](#)) come ciascun di essi presenti un certo intervallo di temperatura in cui avviene il processo e che esistono almeno due differenti tipologie del fenomeno: alcuni polimeri, come PE, PP e PS, volatilizzano in un unico stadio raggiungendo una conversione completa, mentre altri, come il PVC, hanno un degrado in due stadi producendo un residuo carbonioso.



## Tipologie di recupero dei polimeri

- *Riciclo chimico*

Per quanto riguarda i processi di riciclo termochimici, ve ne sono anche altri come, ad esempio, la cosiddetta **gassificazione** consistente in un processo esotermico che converte quasi il 98% del prodotto di partenza (il restante 2% è costituito da ceneri) in una miscela di sintesi (syngas) contenente H<sub>2</sub> e CO utilizzabile come combustibile nelle centrali, o come materiale utile per la sintesi di prodotti chimici (come il metanolo) o per la lavorazione di altre materie. Il processo necessita che l'ossigeno sia mantenuto a temperature intorno ai 1200÷1500°C ed a una pressione di 80 bar con un tempo di residenza di alcuni secondi ([K.M. Zia et al., 2007](#)).



## Tipologie di recupero dei polimeri

- *Riciclo chimico*

Un'ulteriore tipologia di riciclo termochimico consiste nella cosiddetta **idrogenazione**, che può essere considerata come un compromesso tra pirolisi e gassificazione, infatti è un trattamento di degradazione a base di idrogeno ad alta pressione e calore, in cui i polimeri si trasformano in idrocarburi liquidi.

Attraverso l'idrogenazione, infatti, si possono ottenere alcuni gas olefinici (etilene, propilene, butadiene, ecc.) da cui si ricavano nuovamente polietilene, polipropilene, PVC e gomma sintetica. Il successo di questo processo dipende però da due fattori principali: la purezza dei prodotti ottenuti ed i costi associati alla loro produzione.

Oltre ai processi termochimici, per il recupero dei materiali plastici, sono utilizzati anche vari altri processi chimici, i quali però non producono i polimeri di partenza bensì i loro precursori intermedi ([K.M. Zia et al., 2007](#)).

## Tipologie di recupero dei polimeri

- *Riciclo chimico*

### Vantaggi

- il livello di separazione dei contaminanti può essere meno spinto rispetto al caso di riciclo secondario di plastiche omogenee post-consumo;
- in linea di principio è possibile utilizzare il riciclo chimico anche con plastiche miste, sfruttando reazioni selettive per un solo tipo di polimero;
- in genere, il ricollocamento del prodotto di riciclo è facile e, a tal proposito, occorre sottolineare che uno stesso tipo di polimero può consentire di produrre diversi tipi di intermedi chimici, in relazione al tipo di reagenti utilizzati e alle condizioni di reazione. Sfruttando quindi in modo opportuno la scelta dei reagenti e delle condizioni di reazione, si può pensare di ottenere un'ampia gamma di prodotti utilizzabili in processi produttivi diversi dal più ovvio reimpiego nella produzione dello stesso polimero riciclato;
- rispetto alla pirolisi ed alla combustione, la quantità di valore recuperato è superiore.

## Tipologie di recupero dei polimeri

- *Riciclo chimico;*

### **Svantaggi**

- il numero di polimeri da cui è possibile ottenere prodotti di valore in alta resa è limitato;
- rispetto al riciclo meccanico, il valore del prodotto recuperato è inferiore (si perde il “valore” associato allo stadio di polimerizzazione)
- quando per la depolimerizzazione sono richiesti acidi o basi forti, i costi relativi ai materiali speciali con cui devono essere costruiti gli impianti ed i costi associati alla neutralizzazione ed al recupero/smaltimento dei Sali residui possono diventare alti in maniera inaccettabile;
- le operazioni di purificazione possono richiedere elevati costi di investimento e di gestione;
- il trattamento ed il recupero dei solventi e dei reagenti usati nel processo e lo smaltimento dei sottoprodotti di reazione, nel caso di basse rese, possono diventare eccessivamente costosi.
- per ridurre i costi di gestione occorrerebbe costruire impianti di grandi dimensioni, ma questo può comportare elevati costi di investimento e la necessità di disporre di elevate quantità di rifiuti (con conseguente aumento dei costi di trasporto).

## Tipologie di recupero dei polimeri

- *Termovalorizzazione*

Il rifiuto plastico può essere sottoposto a termovalorizzazione con recupero energetico in quanto, in generale, i polimeri presentano poteri calorifici tali da renderli ottimi combustibili.

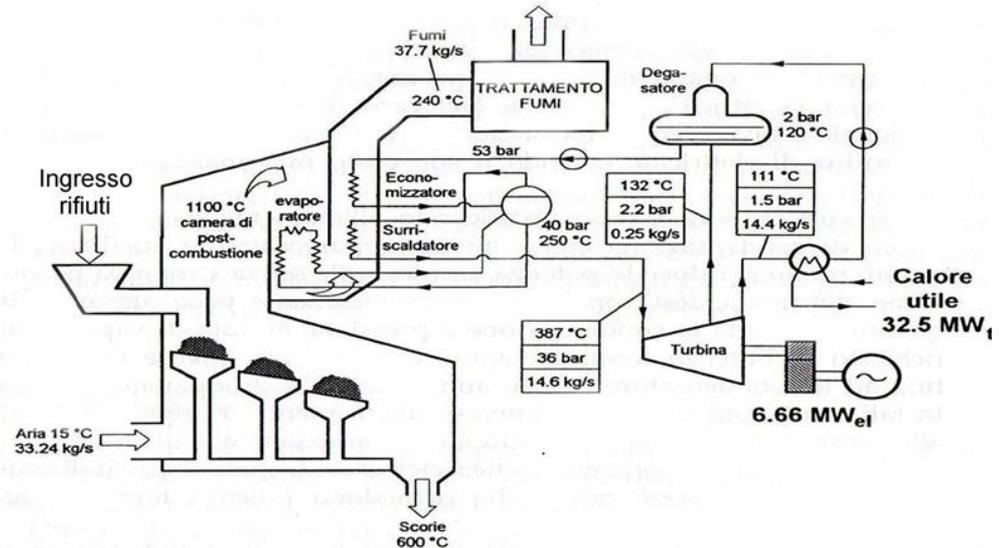
Materie plastiche	Poteri calorifici MJ/kg
PA	19,0 ÷ 37,0
PMMA	25,1
PVC	20,0
PE	46,0
PP	46,0
PS	41,0
PC	29,3
PET	33,4
Combustibili	Poteri calorifici MJ/kg
Carbone	21,0 ÷ 31,6
Petrolio	42,0 ÷ 46,0
Gas naturale	52,0
Metano	54,0
Altre sostanze	Poteri calorifici MJ/kg
Legno secco	18,9 ÷ 20,6
Cellulosa	18,8
Cuoi	16,7
Lana	20,0
Carta, cartone	15,5 ÷ 18,5

## Tipologie di recupero dei polimeri

### • *Termovalorizzazione*

Ogni impianto di combustione dei rifiuti (fig.) è costituito da cinque sezioni principali che consentono, rispettivamente:

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



L'energia contenuta nel vapore può essere utilizzata come energia termica, ovvero energia elettrica impiegabile anche per autoalimentare l'impianto. All'uscita dalla caldaia i fumi raffreddati vengono immessi nel circuito dei diversi sistemi di depurazione che consentono l'abbattimento delle diverse tipologie di sostanze inquinanti.

Dalla combustione dei rifiuti alla fine restano, come residui, scorie che rappresentano il 10-12% in volume ed il 15-20% in peso dei rifiuti stessi e ceneri pari al 5%. Le scorie vengono avviate in discarica oppure (se opportunamente rese inerti) utilizzate come materiale per fondi stradali ed altri usi civili.

# Materiali ferrosi



I rifiuti raccolti sono conferiti alle fonderie ed alle acciaierie consociate nel per essere trasformate in nuovi prodotti.

A partire dai rifiuti in metallo si possono produrre binari ferroviari, parti meccaniche, paratie navali, biciclette, ecc.

In Italia il Consorzio che si occupa di questi materiali è il C.N.A. (Consorzio Nazionale Acciaio)

# Inerti misti da costruzione



I rifiuti inerti sono prodotti nel settore dell'edilizia durante la demolizione di edifici o di pareti, solai, muri di cinta ecc.

Il riciclaggio dei rifiuti inerti riguarda sia la cosiddetta frazione lapidea, ossia quella composta da mattoni, malte e calcestruzzi; sia i singoli materiali contenuti nei rifiuti come residui ferrosi (travi in acciaio, tondini in ferro dolce, tubature, ecc.), legnosi (parti di persiane, finestre, porte, travi in legno ecc.).

# Inerti misti da costruzione



La **frazione lapidea** può essere impiegata in sostituzione degli inerti naturali come materiale di riempimento durante la preparazione e l'esercizio delle discariche, in opere di ripristino ambientale, per sottofondi stradali, riempimenti cioè in usi "meno nobili" che richiedono materiali di qualità inferiore.

I **materiali ferrosi, legnosi** e di altro tipo sono invece inviati alle rispettive filiere di riciclaggio.



# Inerti misti da costruzione



(a) The c



(a) Waste bricks



(b) The waste bricks were applied in new buildings

# Inerti misti da costruzione



**(a) The produ**



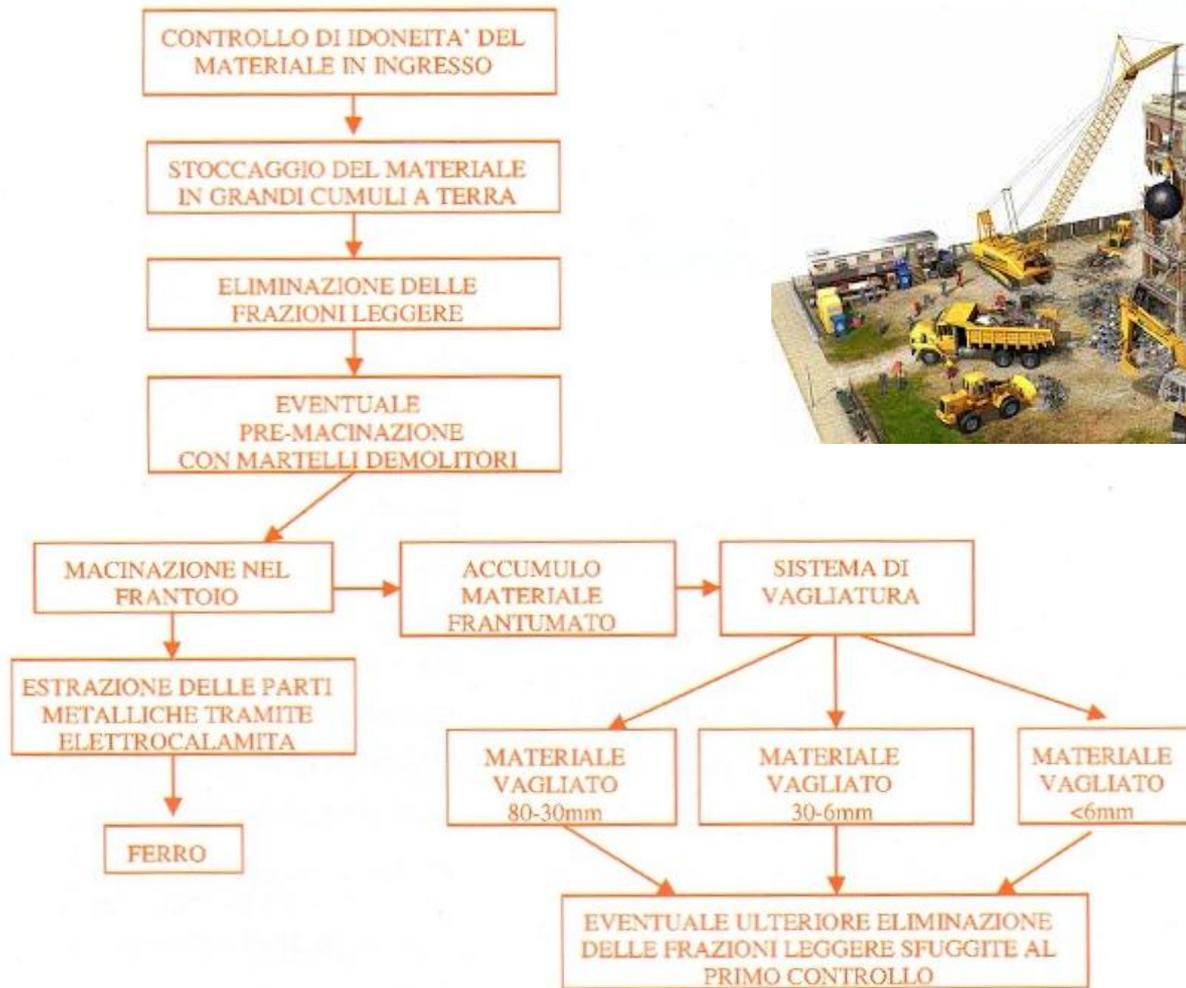
**(b) Recycled coarse aggregate for concrete**



**(c) Recycled fine aggregate for bricks**

# Inerti misti da costruzione

## Diagramma di flusso impianto recupero



# Inerti misti da costruzione

## Summary on the experiences on technology of material recycling practices

C&D materials	Recycling technology	Recycled product
Asphalt	Cold recycling	Recycled asphalt
	Heat generation	Asphalt aggregate
	Minnesota process	
	Parallel drum process	
	Elongated drum	
	Microwave asphalt recycling system	
	Finfalt	
	Surface regeneration	
Brick	Burn to ash	Slime burnt ash
	Crush into aggregate	Filling material
		Hardcore
Concrete	Crush into aggregate	Recycled aggregate
		Cement replacement (replace the cement by the fine portion of demolished concrete)
		Protection of levee
		Backfilling
		Filler

# Inerti misti da costruzione



<u>C&amp;D material</u>	<u>Recycling technology</u>	<u>Recycled product</u>
Ferrous metal	Melt Reuse directly	Recycled steel scrap
Glass	Reuse directly Grind to powder Polishing Crush into aggregate Burn to ash	Recycled window unit Glass fibre Filling material Tile Paving block Asphalt Recycled aggregate Cement replacement Man-made soil
Masonry	Crush into aggregate Heat to 900 °C to ash	Thermal insulating concrete Traditional clay brick Sodium silicate brick
Non-ferrous metal	Melt	Recycled metal
Paper and cardboard	Purification	Recycled paper

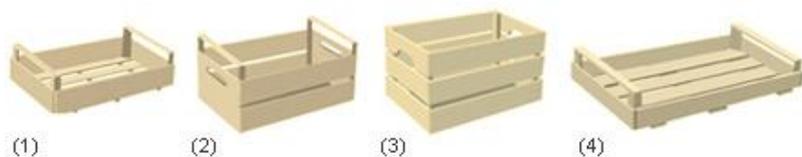
# Inerti misti da costruzione

<u>C&amp;D materials</u>	<u>Recycling technology</u>	<u>Recycled product</u>
Plastic	Convert to powder by cryogenic milling	Panel
	Clipping	Recycled plastic
	Crush into aggregate	Plastic lumber
	Burn to ash	Recycled aggregate
		Landfill drainage
		Asphalt
		Man-made soil
Timber	Reuse directly	Whole timber
	Cut into aggregate	Furniture and kitchen utensils
	Blast furnace deoxidization	Lightweight recycled aggregate
	Gasification or pyrolysis	Source of energy
	Chipping	Chemical production
	Molding by pressurizing timber chip under steam and water	Wood-based panel
		Plastic lumber
		Geofibre
		Insulation board

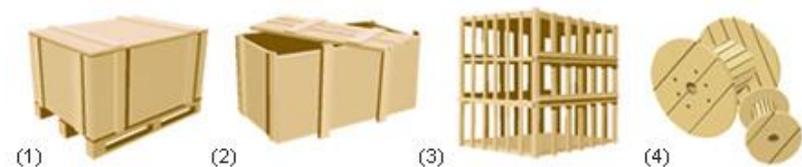


I **rifiuti legnosi**, raccolti in modo differenziato, sono **triturati e pressati** in modo grossolano per essere condotti in modo pratico ed economico agli **impianti di riciclaggio**.

Un'ulteriore lavorazione, permette poi di produrre scagliette di legno pronte all'uso (i cosiddetti "**chips**"), la cui qualità è garantita dall'alto livello tecnologico raggiunto dai processi di lavorazione industriale e dalla bontà della materia prima.



Cassette accatastabili mono (1) e multistrato (2), casse e aras (3), sovrainballaggi per minicontenitori (4).



Casse (1) e (2), gabbia (3), bobine (4), piccoli imballaggi da vendita (5), selle (6), tappi di sughero (7).

I **chips** trovano utilizzo in numerose filiere:

- in **pannelli truciolati** adatti all'industria del mobile e dei complementi d'arredo;
- possono essere trasformati in **pasta cellulosa**, utile alle cartiere per produrre carta riciclata;
- possono entrare a far parte del **compost**, da cui si ottengono ammendanti e concimi naturali per l'agricoltura.



Gli scarti di produzione di tutte le fasi del processo di riciclaggio del legno possono essere recuperati attraverso la **produzione di combustibile** derivato da rifiuti (il cosiddetto **CDR**) ed utilizzati negli **impianti di termovalorizzazione** per la produzione di energia elettrica.

## *Lo smaltimento problematico*

- I PFU e i rifiuti composti in generale venivano smaltiti in discariche, abbandonati illegalmente nell'ambiente o bruciati, causando spesso gravi problemi ambientali.
- Il D.Lgs. 152/2006 vieta lo smaltimento in discarica di pneumatici fuori uso interi o triturati



# Pneumatici



# Pneumatici



## Caratteristiche pneumatici

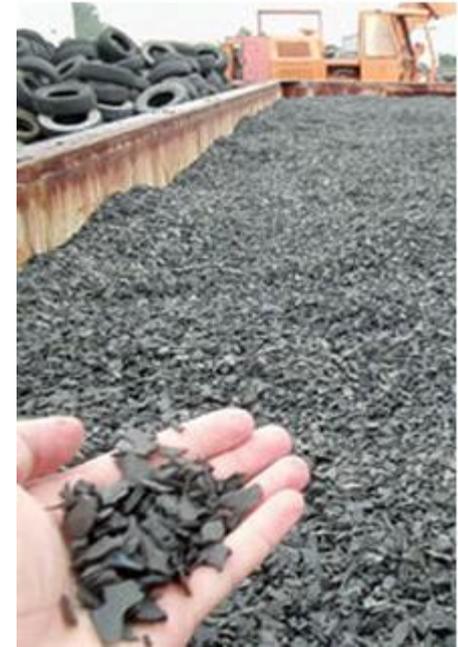
- Gli pneumatici sono costituiti per la maggior parte materiali polimerici (49%), metallo (15%), fibra tessile (5%) e nerofumo (22%);
- L'elevata concentrazione di sostanza organica ridotta rende i pneumatici un substrato ossidabile nonché suscettibile di combustione. Il potere calorifero legato alla loro combustione è relativamente elevato (circa 8500 kcal/kg), in pratica 1 kg di pneumatici sviluppa la stessa quantità di calore di circa 0,7 kg di olio combustibile.

Parametro	Pneumatici usati nelle autovetture	Pneumatici usati nei camion	Carbone	Coke di petrolio
Biomassa	17-20.3% (mediamente 18.3%)	28.6-29.7% (29.1 %)	0%	0%
Carbonio	67.5 – 70.1% (mediamente 69.0%)	59.7-62.6% (61.1%)	64-68%	84-97%
Valore calorifico netto (MJ/Kg)	29.5 – 30.6 (mediamente 30.2)	26.1 – 26.7 (26.4)	26	32

## Caratteristiche pneumatici

- Grazie al loro elevato potere calorifico, gli scarti di pneumatici costituiscono un buon carburante alternativo per le industrie che effettuano processi ad alta intensità energetica, come ad esempio i cementifici, gli impianti di generazione di energia elettrica e le cartiere. Secondo la US Environmental Protection Agency, una volta bruciati gli pneumatici producono la stessa quantità di energia del petrolio, il 25-50% di energia in più rispetto al carbone e il 100-200% di energia in più rispetto al legno.

Tuttavia la tossicità dei prodotti della loro combustione, ha certamente contribuito ad una più ridotta diffusione dei pneumatici come combustibile.



## Riciclo pneumatici

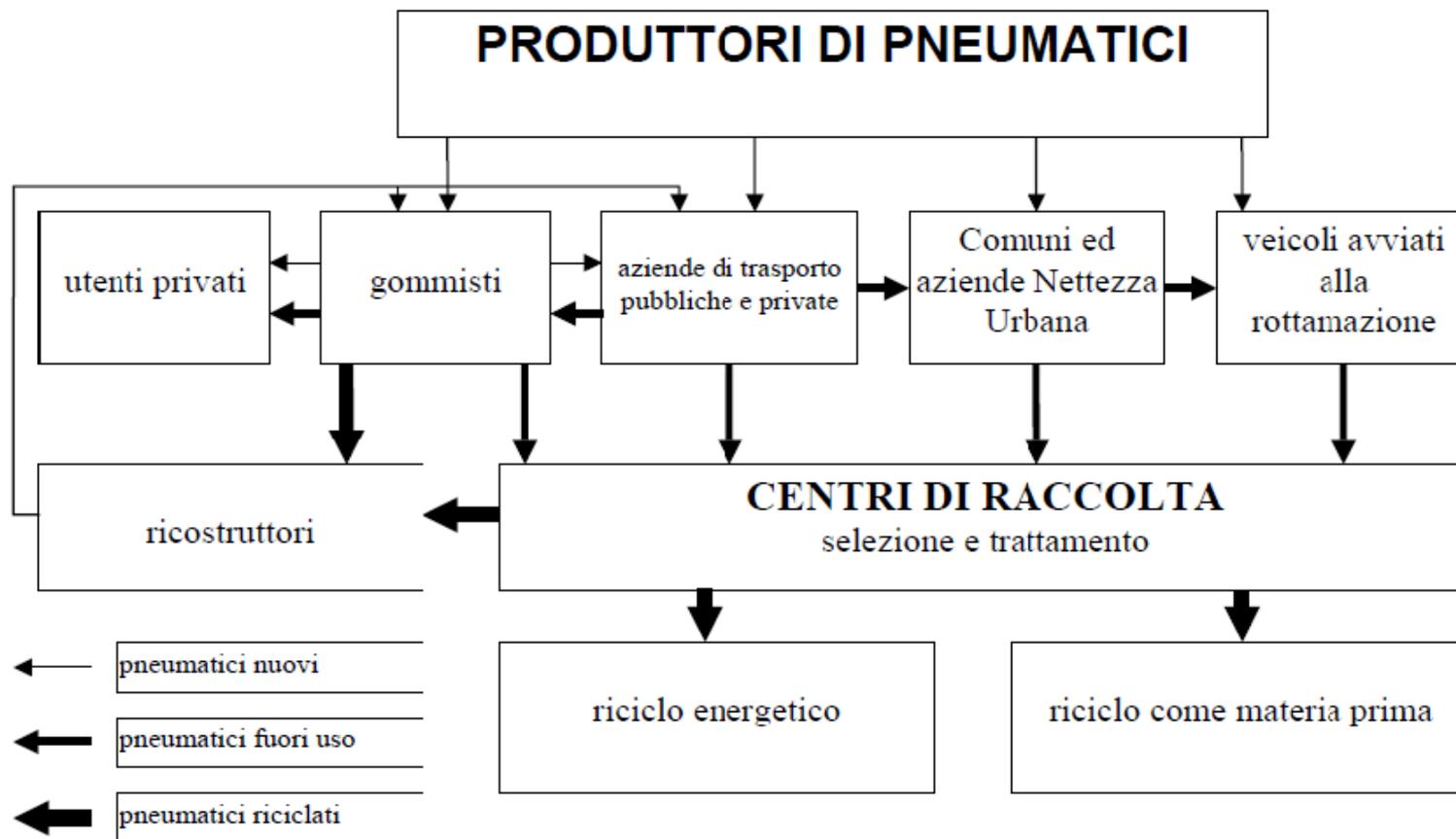


Tabella 1 - Flusso dei pneumatici

## Riciclo pneumatici

Le **materie prime seconde**, si ottengono attraverso processi di lacerazione del PFU che consentono di ottenere

- **gomma granulata** di svariate granulometrie, che va dal "triturato" (tra i 300 e i 100 mm) al "polverino" (di dimensioni inferiori a 1 mm), separata ovviamente
- dall'**acciaio**, buono per le fonderie,
- e dalla **fibra tessile** che, se compattata, diviene un discreto combustibile.



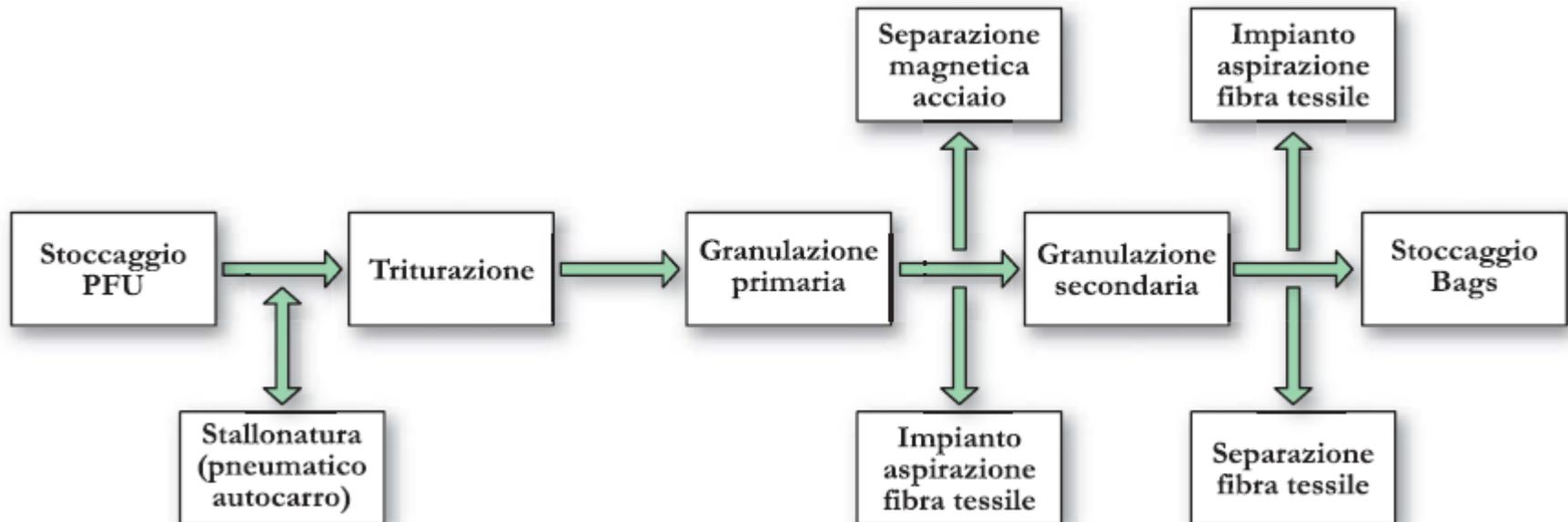
- Prodotti di pirolisi,
- combustibile per la generazione di energia

## Tecnologie riciclo

Le tecnologie principali per ottenere materia prima secondaria sono due:

**granulazione criogenica**, che consiste nel raffreddamento dello pneumatico a  $-80^{\circ}$  mediante l'uso di azoto (che rende la gomma molto fragile) e la successiva triturazione,

**granulazione meccanica**, che invece adopera una triturazione a temperatura ambiente previo passaggio del PFU in stazioni di lavorazione successive



## Riciclo pneumatici

I granuli ed il polverino vengono utilizzati per numerose applicazioni:

### 1) Asfalti modificati

Il polverino di gomma che si ricava dalla frantumazione dei PFU viene utilizzato in tutto il mondo per la produzione di asfalti modificati: l'aggiunta di gomma all'asfalto permette la realizzazione di pavimentazioni caratterizzate da elevata durabilità, silenziosità ed aderenza in frenata. Si calcola inoltre che se tutta la gomma contenuta nei PFU italiani fosse utilizzata per produrre asfalti gommati, sarebbe possibile pavimentare quasi 19.000 Km di strade ogni anno.



## Riciclo pneumatici

### 2) Superfici sportive

Una volta ridotta in granuli la gomma dei Pneumatici Fuori Uso può essere utilizzata come materiale da intaso per campi in erba artificiale, piste da atletica, pavimentazioni antitrauma e superfici equestri.

Le proprietà drenanti del materiale, unite alla capacità elastica di assorbire gli urti rendono il granulo di PFU particolarmente adatto a tali impieghi.



## Riciclo pneumatici

### 3) Materiali per l'isolamento acustico

La gomma dei PFU, una volta ridotta in granuli, viene comunemente utilizzata per produrre pannelli insonorizzanti, tappetini anti-calpestio, membrane impermeabilizzanti, materiali anti-vibranti e anti-sismici particolarmente apprezzati per le proprietà elastiche del materiale di cui sono fatte e per garantire protezione anti-infortunistica.



## Riciclo pneumatici

### **4) Opere di ingegneria civile**

PFU frantumati possono essere utilizzati, al posto di altri materiali, per la realizzazione di rilevati stradali/ferroviari alleggeriti (ponti e gallerie) e bacini di ritenzione delle acque piovane. Le proprietà drenanti, immarcescibili, antivibranti, termoisolanti e il basso peso specifico dei materiali derivati dai PFU ne rendono l'applicazione in questo tipo di impieghi particolarmente vantaggiosa.

## Riciclo pneumatici

### 3) Arredo urbano

Cordoli, spartitraffico, rallentatori e delimitatori di corsie sono solo alcuni esempi dell'uso della gomma da PFU (granulo di gomma, legato con resine poliuretatiche o in combinazione con altri polimeri termoplastici) nel settore dell'arredo urbano.



## Riciclo pneumatici

### **6) Materiale per pacciamatura**

Il cippato rivestito con resine poliuretatiche e colorato in diverse tonalità ha trovato larga applicazione in sostituzione alla corteccia di conifere per la pacciamatura di giardini pubblici e privati, aiuole spartitraffico, rotatorie ecc. In Italia è un'applicazione non ancora diffusa.

### **7) Riutilizzo in mescola**

I polverini di gomma sono riciclati nelle nuove mescole per la produzione di articoli tecnici in quantità percentuali variabili in funzione delle prestazioni richieste al prodotto finale e, in minima parte, nelle mescole degli pneumatici.

### **8) De-vulcanizzazione (Rigenerazione)**

I polverini e granuli di gomma, se sottoposti ad azione meccanica, termica o irradiati di ultrasuoni, subiscono un processo di devulcanizzazione. Il prodotto finale è particolarmente idoneo al reimpiego in nuove mescole di gomma anche in percentuali elevate

## Recupero energetico e di materia

		Recupero energetico: tipologia pezzature/destinazioni					
Destinazione	Industria	Ciabattato	Cippato	PFU interi	Taglio primario	Fibre tessili	Totale
Italia	Cemento	37.955	21.063				<b>59.018</b>
Estero	Cemento	29.816	7.195	3.095	97	6.610	<b>46.814</b>
Italia	Recupero energetico per elettricità	2.243		43.977			<b>46.220</b>
<b>Totale</b>		<b>70.014</b>	<b>28.259</b>	<b>47.072</b>	<b>97</b>	<b>6.610</b>	<b>152.052</b>

Tabella 1 - Totale prodotti a recupero energetico.

		Recupero di materiale: tipologia pezzature/destinazioni			
Produzione	Acciaio	Granulo e polverino di gomma	Ciabattato e taglio primario per infrastrutture		Totale
Italia	21.529	55.080	2.105		<b>78.714</b>
Estero	1.598	6.617			<b>8.215</b>
<b>Totale</b>	<b>23.127</b>	<b>61.697</b>	<b>2.105</b>		<b>86.929</b>

Molti beni di consumo sono costituiti da combinazioni complesse di diversi materiali, difficilmente separabili tra loro.

Ad esempio:

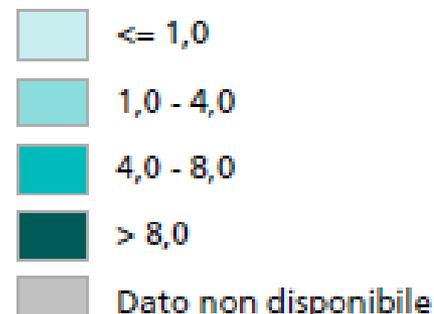
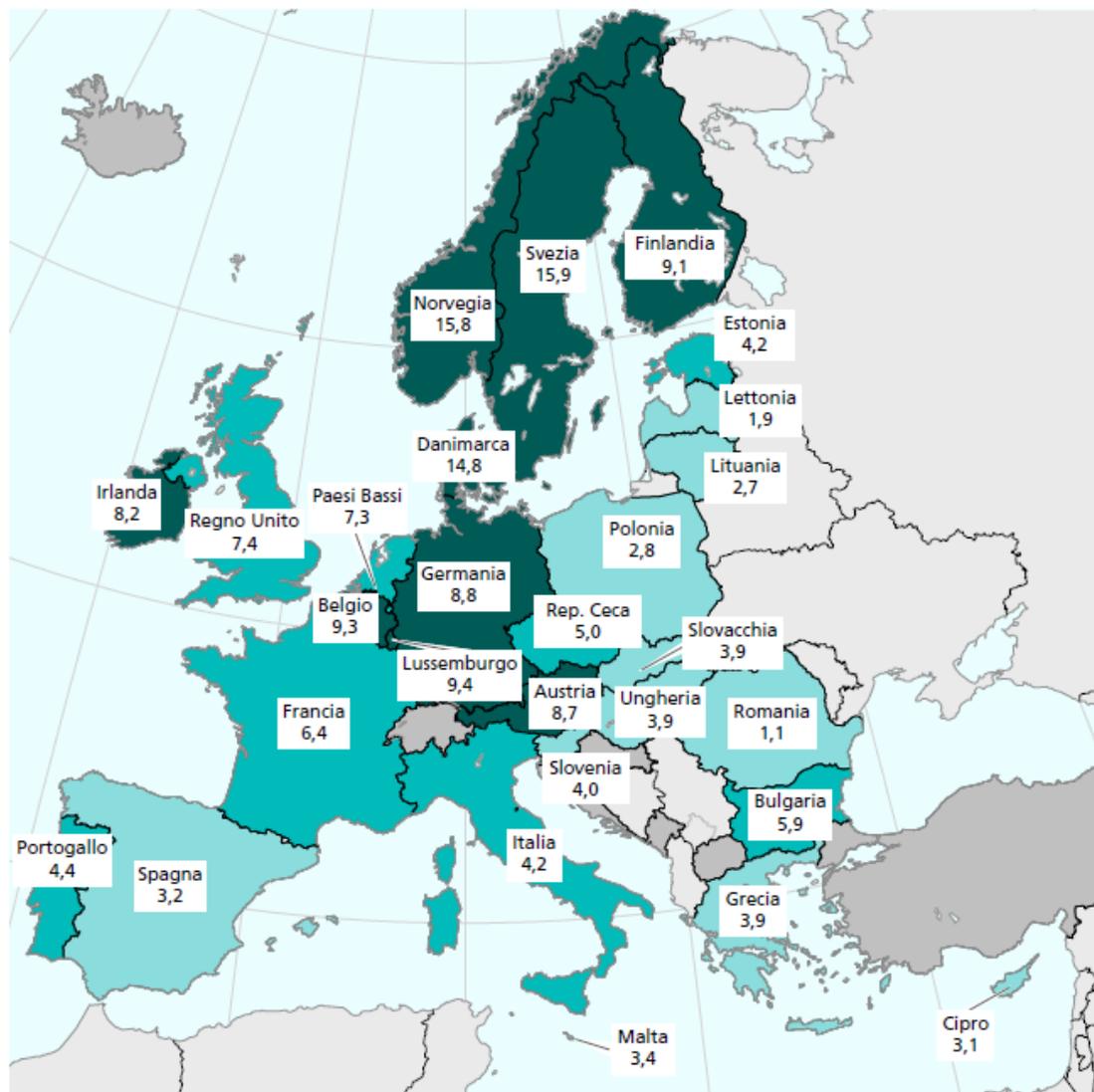
- **Autoveicoli**, che sono fabbricati con differenti materiali (metalli, materie plastiche, gomma, ecc.)
- **Apparecchiature elettriche ed elettroniche (AEE)**

Le operazioni di trattamento per il recupero di tali materiali sarebbero facilitate se, già in fase di progettazione, si prevedesse la separabilità delle diverse componenti (Ecodesign)

## RIPARTIZIONE DEI RAEE PER RAGGRUPPAMENTO 2013/2011 (KG)

RAGGRUPPAMENTO	TOTALE 2013	TOTALE 2012	TOTALE 2011	VARIAZIONE 2013/12	VARIAZIONE 2013/11
<b>R1 Freddo e Clima</b>					
frigoriferi, condizionatori, congelatori, ecc.	62.158.612	63.902.813	68.432.178	- 2,73%	-9,17%
<b>R2 Grandi bianchi</b>					
lavatrici, lavastoviglie, cappe, forni, ecc.	56.156.357	57.709.717	66.132.447	- 2,69%	-15,09%
<b>R3 TV e Monitor</b>					
televisori e schermi a tubo catodico, LCD o al plasma, ecc.	68.879.875	76.501.315	84.274.649	- 9,96%	-18,27%
<b>R4 Piccoli elettrodomestici</b>					
telefonini, computer, stampanti, giochi elettronici, apparecchi illuminanti, ventilatori, asciugacapelli, ecc.	37.620.439	38.814.869	40.288.610	- 3,08%	-6,62%
<b>R5 Sorgenti luminose</b>					
lampadine a basso consumo, lampade al neon, lampade fluorescenti, ecc.	1.115.935	1.036.849	962.529	+ 7,63%	15,94%
<b>Totale</b>	<b>225.931.218</b>	<b>237.965.563</b>	<b>260.090.413</b>	<b>- 5,06%</b>	<b>-13,13%</b>

## RACCOLTA PRO CAPITE 2010 IN EUROPA (KG/AB.)



## CENTRI DI CONFERIMENTO PRO CAPITE

REGIONE	CdC	POPOLAZIONE	RACCOLTA TOTALE (KG)	CdC OGNI 100.000 AB.	RACCOLTA PRO CAPITE (KG/AB.)
Abruzzo	38	1.307.309	3.829.310	2,91	2,93
Basilicata	51	578.036	2.274.241	8,82	3,93
Calabria	77	1.959.050	3.404.740	3,93	1,74
Campania	242	5.766.810	13.762.717	4,20	2,39
Emilia Romagna	371	4.342.135	21.786.518	8,54	5,02
Friuli Venezia Giulia	170	1.218.985	6.712.118	13,95	5,51
Lazio	178	5.502.886	13.664.818	3,23	2,48
Liguria	75	1.570.694	8.123.531	4,77	5,17
Lombardia	861	9.704.151	46.495.186	8,87	4,79
Marche	126	1.541.319	7.393.297	8,17	4,80
Molise	28	313.660	793.000	8,93	2,53
Piemonte	301	4.363.916	17.748.441	6,90	4,07
Puglia	135	4.052.566	7.809.538	3,33	1,93
Sardegna	153	1.639.362	8.589.628	9,33	5,24
Sicilia	89	5.002.904	10.954.766	1,78	2,19
Toscana	208	3.672.202	19.850.410	5,66	5,41
Trentino Alto Adige	219	1.029.475	6.978.566	21,27	6,78
Umbria	69	884.268	3.884.906	7,80	4,39
Valle d'Aosta	25	126.806	1.048.097	19,72	8,27
Veneto	484	4.857.210	20.827.391	9,96	4,29
<b>Italia</b>	<b>3900</b>	<b>59.433.744</b>	<b>225.931.218</b>	<b>6,56</b>	<b>3,80</b>

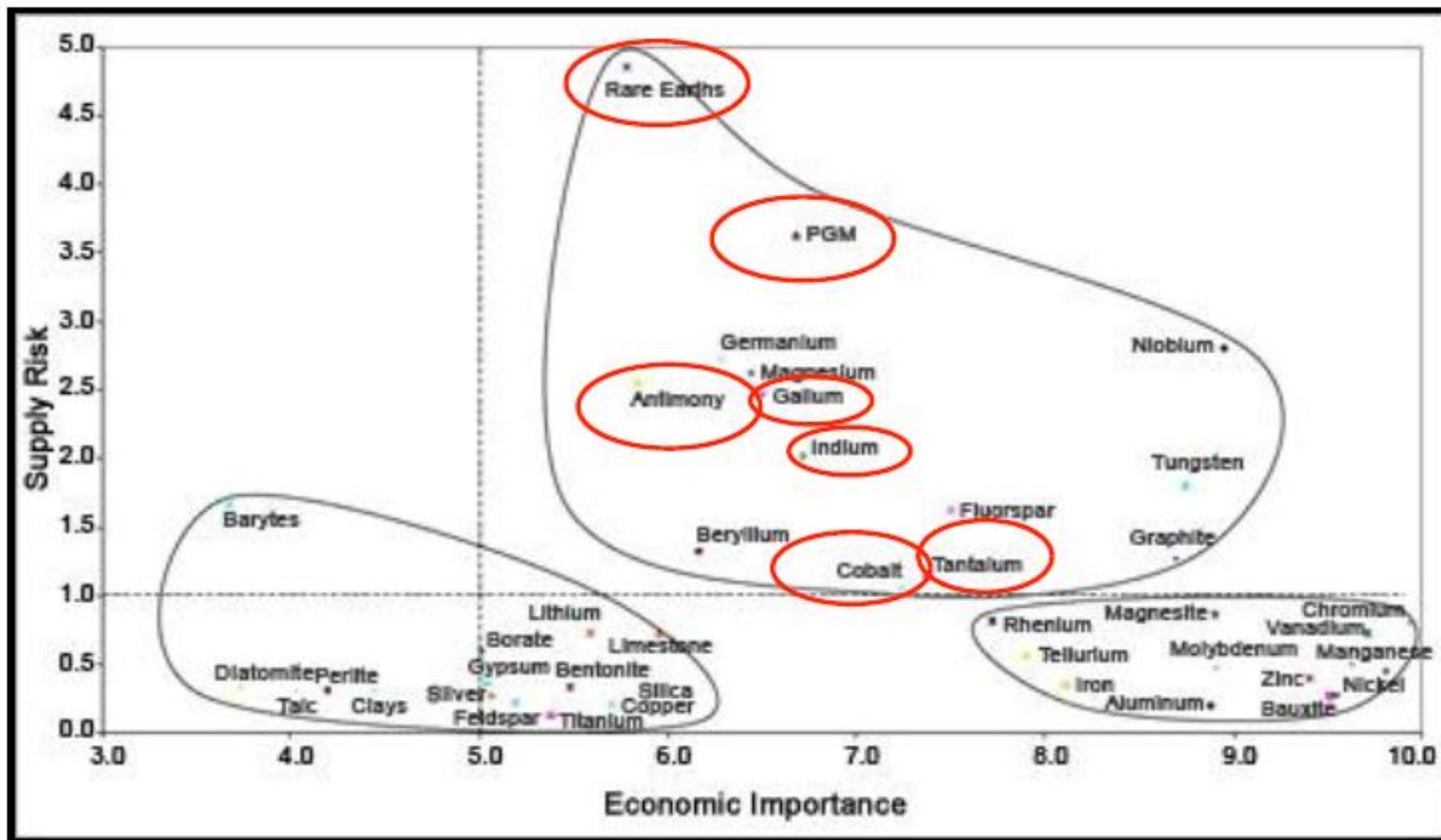
la raccolta pro capite è più alta laddove i cittadini hanno a disposizione un maggior numero di strutture in cui conferire i propri RAEE.

Auspicabile un incremento del numero di Centri di Conferimento in particolare al sud

## TASSO DI RITORNO R1,R2 E R4

	R1	R2	R4	Totale Raggruppamenti
Imnesso al consumo(kg)	138.887.018	279.790.817	274.900.666	746.126.935,2
Raccolta(kg)	62.158.612	56.156.357	37.620.439	225.931.218
Tasso di ritorno	45%	25%	17%	30%

# Elementi critici contenuti nei RAEE



# Cosa si può recuperare dai RAEE

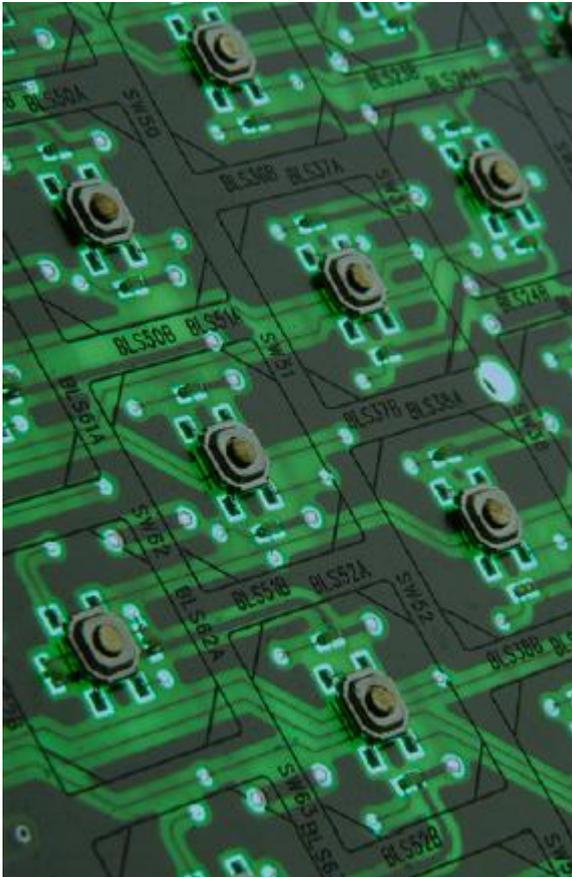


# Cosa si può recuperare dai RAEE



- metalli preziosi quali **platino**, rodio e palladio da marmitte e catalizzatori
- piombo secondario, (plastiche), silice micronizzata da accumulatori al Pb-acido esausti
- **cobalto** e manganese da catalizzatori esausti
- titanio (IV) da ceneri volanti
- vanadio dai residui della gassificazione delle frazioni pesanti del petrolio
- nichel, cadmio, **terre rare**, zinco e manganese da batterie per telefonia mobile esauste
- **metalli ad alto valore aggiunto** da schede elettroniche
- **tantalio** da condensatori
- **antimonio** e manganese da lampade a fluorescenza
- **terre rare** da CRT (Cathode Ray Tubes)

# Composizione dei RAEE



miscela complessa di:

- - **Ag, Au, Pd, ...** (metalli preziosi);
- - **Cu, Al, Ni, Sn, Zn, Fe, ..., In, Sb, Bi;**
- - **Hg, Be, Pb, Cd, As;**
- - alogenuri (**Br, F, Cl, ...**);
- - Plastiche ed altri materiali compositi;
- - Vetro
- - Ceramica

## Schede elettroniche

- Fine vita per circa 3.000 – 4.000 ton/anno in Italia
- La raccolta dei consorzi è a circa il 25%; la maggior parte delle schede elettroniche italiane viene esportata
- Prezzo delle schede elettroniche circa 6.000 €/ton e il valore dei metalli contenuti può essere stimato in circa 9.000 – 10.000 €/ton
- Gli impianti esistenti in Italia sono di tipo pirometallurgico, ideati per il recupero di “rifiuti” provenienti da oreficerie, di piccole dimensioni e dedicati principalmente al recupero di oro e argento
- Gli impianti esistenti in Germania sono di tipo pirometallurgico, di grandi dimensioni e dedicati ai RAEE con recupero di Co, Ag, Au e Pd

# Recupero di materie ed energia dai RAEE

- Produzione pro capite in Europa: 18,3kg di rifiuti hi-tech all'anno
- Produzione mondiale annua: 20-50 tonni di rifiuti hi-tech che contengono 320 tonnellate di oro e 7.200 d'argento per un valore di 21 miliardi di dollari
- Solo il 15% di questi tesori viene recuperato.



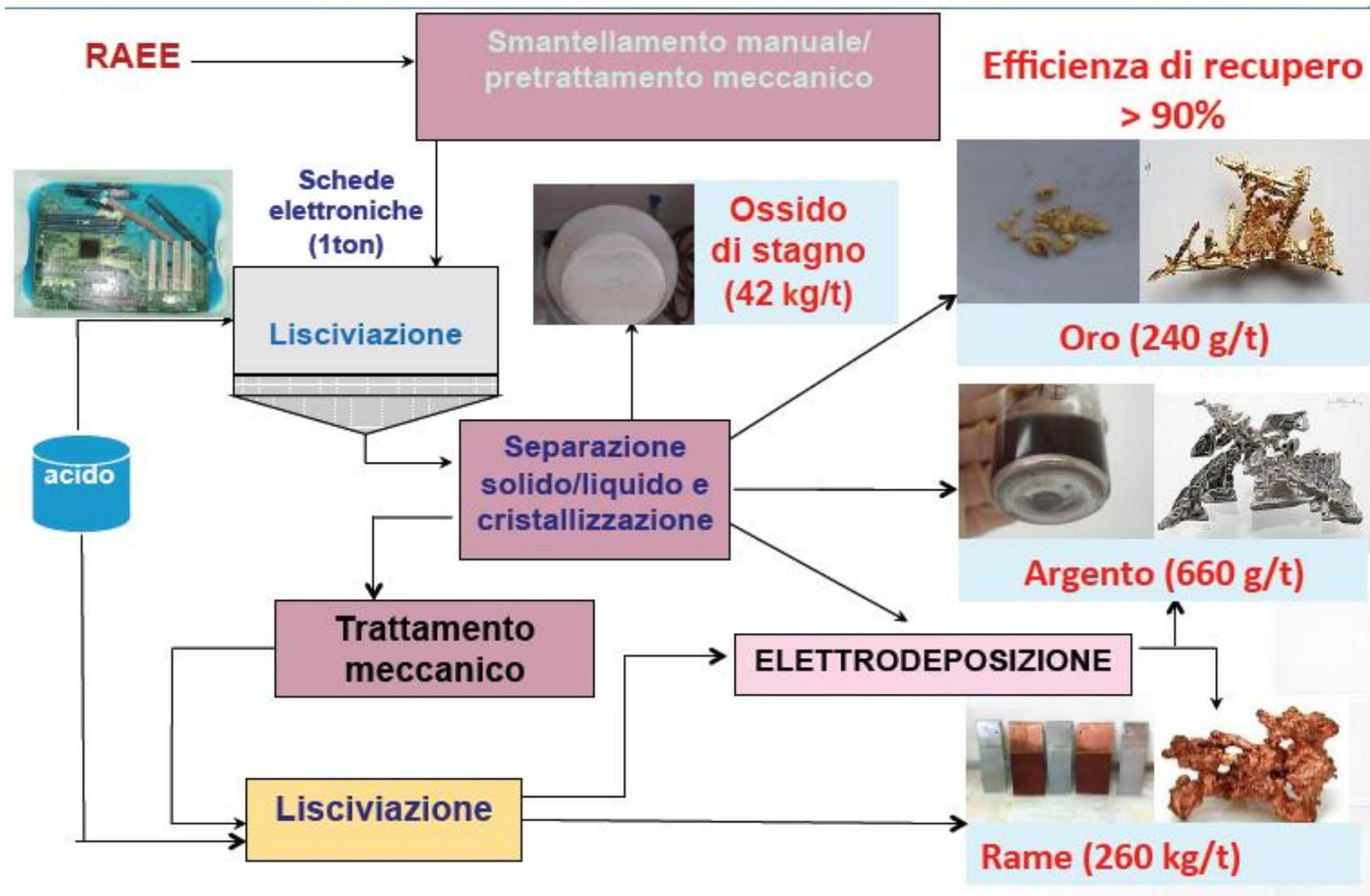
<b>MONITOR (CRT, LCD)</b> - Metalli (In, Sn) - Terre rare Ittrio Europio Lantanio Cerio Terbio	<b>SCHEDE ELETTRONICHE/ BATTERIE</b> -Metalli (Ni, Co, Mn, Cu, Ta) -Metalli preziosi (Ag, Au, Pt, Pd) -Terre rare (La, Ce, Pr, Nd)	<b>PLASTICHE</b> -Materia (Syngas/chemicals, carboni attivi) -Energia (calore, energia elettrica)
---	---	---

# Alcune delle attività di ENEA

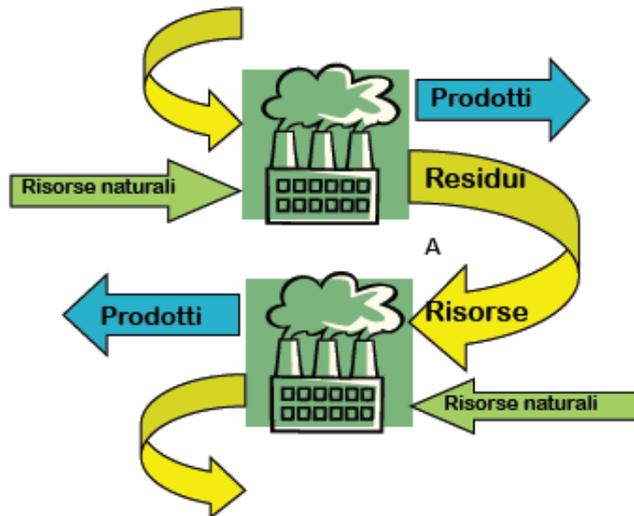
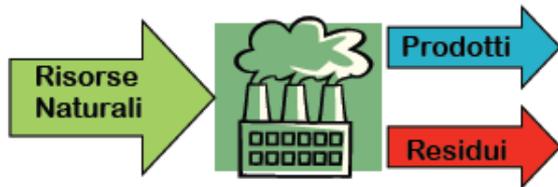


- Recupero di materia ed energia dai RAEE
- Simbiosi industriale

# Recupero metalli ad alto valore aggiunto da schede elettroniche



# Simbiosi industriale



## •Benefici economici

- Riduzione dei costi di approvvigionamento di materie prime ed energia e dei costi di smaltimento dei rifiuti prodotti dalle attività industriali
- Realizzazione di indotto e di sinergie tra imprese

## •Benefici ambientali

- Riduzione del consumo di risorse, di emissioni inquinanti e di rifiuti in discariche e sul territorio



# La piattaforma ENEA in Europa



Citazioni nel documento «Eco-Innovation Observatory- EIO. Country report 2014. Eco-innovation in Italy» (P. Markianidou)

La Piattaforma ENEA di Simbiosi Industriale è citata come esempio di simbiosi industriale in Italia

**Industrial symbiosis Network:** Industrial symbiosis has recently been recognised as part of the European strategy for the efficient use of resources. The term industrial symbiosis is the exchange of resources between two or more different industries, intending "resources" as not only those of a natural material (by-products or waste), but also waste energy, services and expertise. It is a strategy for closing resource cycles and optimising their use in the context of adequate territorial economic revenue. There are many implications resulting from the effective realisation of industrial symbiosis programmes that can affect the possible productive uses of waste and by-products, processes of exploitation and transformation of by-products and waste with a view to re-using them, instruments and data banks, technical-administrative procedure and regulations. In Italy there are examples of industrial symbiosis, including an ENEA initiative for the creation of the first regional platform of industrial symbiosis in Sicily. It is a three-year project as part of the support for the productive development in the regions of southern Italy.<sup>10</sup>

Il progetto «Ecoinnovazione Sicilia» è citato tra gli esempi di «Good practices»

## Eco -innovation Sicily

The project 'Eco -innovation Sicily' started as an initiative of the Italian government aiming at facilitating the promotion of coordinated projects in the field of environmental protection and the development and promotion of innovative methodologies and technologies, in order to enable the industrial development of Southern Italy. The project focuses on some significant sectors of the Sicilian region: 1) the recycling industry, and in particular the field of electronic equipment and plastics, with a pilot project for energy and recovery of valuable raw materials from waste from electrical and electronic equipment (WEEE) and those from plastics, which is also the first application of the principles of the methods and tools of 'industrial symbiosis' in Italy, and 2) sustainable tourism with a pilot project in the Egadi islands, with particular reference to the island of Favignana, developed in a 'Smart Island' perspective.

