

# Sostenibilità, Economia Circolare e Transizione Ecologica

*Roma, 01/10/2024*

*Ing. Marco Tammaro, PhD - Responsabile del Laboratorio Tecnologie per Rifiuti e Materie Prime Seconde*

*ENEA*



# Presentazione

## **I parte**

- **Sostenibilità, economia circolare e transizione ecologica**

## **II parte**

- **Il recupero del plasmix**
- **Il recupero di materiali dai rifiuti fotovoltaici**

# Sviluppo Sostenibile

La definizione oggi ampiamente condivisa di Sviluppo Sostenibile è quella contenuta nel rapporto Brundtland, elaborato nel 1987 dalla Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo e che prende il nome dall'allora premier norvegese Gro Harlem Brundtland, che presiedeva tale commissione:

*«Lo sviluppo sostenibile (...) è un processo di cambiamento tale per cui lo sfruttamento delle risorse, la direzione degli investimenti, l'orientamento dello sviluppo tecnologico e i cambiamenti istituzionali siano resi coerenti con i bisogni futuri oltre che con gli attuali»*

# Sviluppo Sostenibile

Nel rapporto viene sottolineata la tutela dei bisogni di tutti gli individui, in un'ottica di legittimità universale ad aspirare a migliori condizioni di vita; così come viene sottolineata la necessità e l'importanza di una maggiore partecipazione dei cittadini, per attuare un processo che contribuisca alle scelte a livello internazionale.

*«Lo sviluppo sostenibile impone di soddisfare i bisogni fondamentali di tutti e di estendere a tutti la possibilità di attuare le proprie aspirazioni ad una vita migliore (...)»*

# Sviluppo Sostenibile

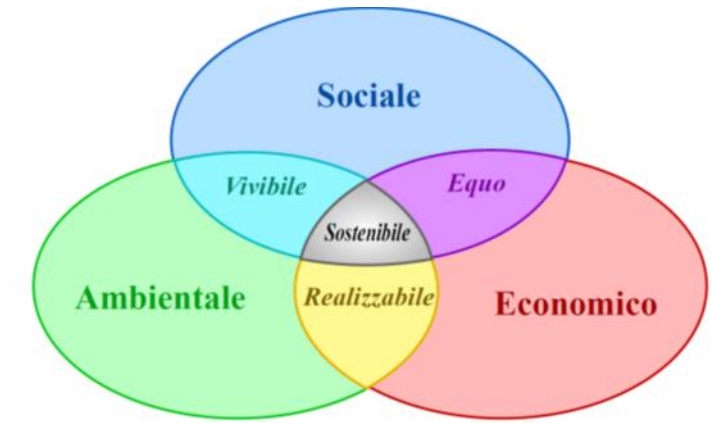
La sostenibilità ruota attorno a tre componenti fondamentali:

- ✓ Sostenibilità economica: intesa come capacità di generare reddito e lavoro per il sostentamento della popolazione.
- ✓ Sostenibilità sociale: intesa come capacità di garantire condizioni di benessere umano (sicurezza, salute, istruzione, democrazia, partecipazione, giustizia) equamente distribuite per classi e genere.
- ✓ Sostenibilità ambientale: intesa come capacità di mantenere qualità e riproducibilità delle risorse naturali.

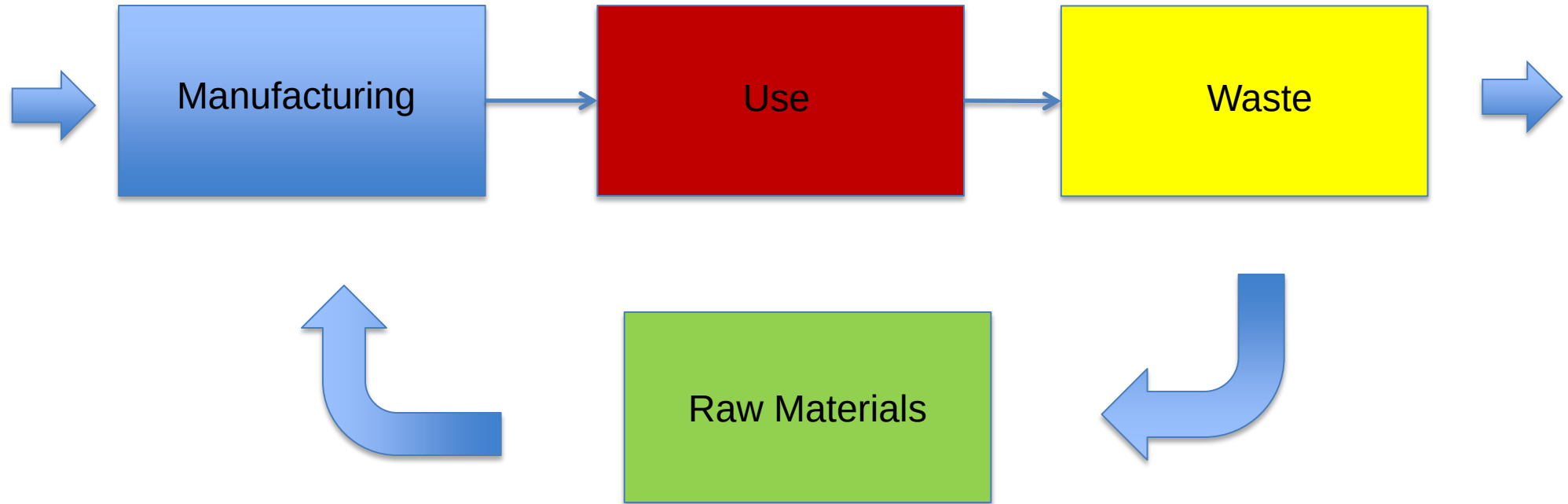
# Sviluppo Sostenibile

L'area risultante dall'intersezione delle tre componenti, coincide idealmente con lo sviluppo sostenibile.

Le intersezioni intermedie tra le componenti, dove vengono indicate le parole Vivibile, Equo, Realizzabile, si possono leggere come delle indicazioni di tipo operativo o di verifica.



# CIRCOLARE VS LINEARE



Il modello economico lineare: "take-make-use-dispose"

# ECONOMIA CIRCOLARE

In the “circular economy” model products maintain their added value for as long as possible with a "zero waste" objective.

For the transition we need:

- Increasing efficiency in the use of resources and a minimization of waste production.
- Eco-innovation in production cycles (more sustainable technologies, new materials, recycling chains ).
- Development of new sustainable treatments of wastes in order to recovery all materials as possible.
- Formation and information for citizens.



*It's a simple concept but in real-world application there are many technical and regulatory constraints!*

# ECONOMIA CIRCOLARE

## Product Eco-Innovation

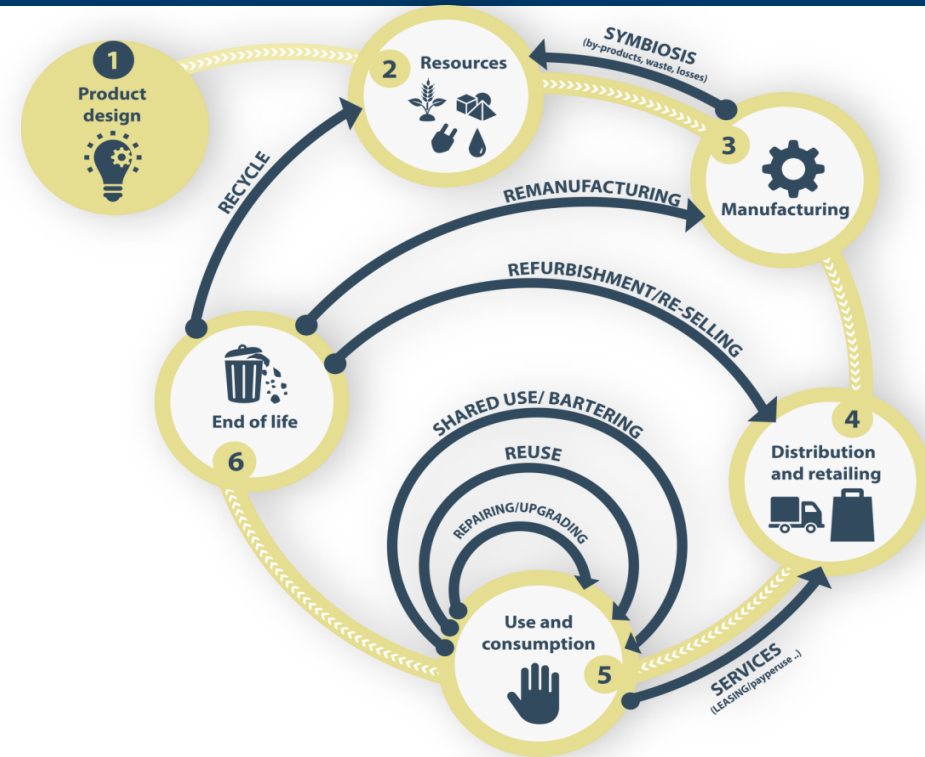
- Eco-design
- Life Cycle Thinking (LCT, LCA,...)
- Recyclability, durability, easy disassembly
- Raw Materials: nanomaterials, biomaterial, recycled materials, critical and hazardous raw materials substitution

## Process Eco-Innovation

- Low resource consumption
- Low energy consumption
- Low emissions
- Clean technologies

## System Eco-Innovation

- Industrial symbiosis
- Waste management
- Urban mining/landfill mining
- Reuse/Remanufacture/Recycling



As can be seen, the symbol is more complicated because we are taking into account other aspects of the Circular Economy. We could continue, but we stop here!

## European Circular Economy Stakeholder Platform

A joint initiative by the European Commission and the European Economic and Social Committee



The C. E. is not only technologies. But also procedures, ways of thinking and acting.

ENEA is the Italian member of the ECESP platform, created in 2017.

It brings together all the stakeholders of the circular economy around the same table.

### ECESP tasks:

- ✓ promote the dissemination of knowledge
- ✓ foster dialogue and identification of possible synergies
- ✓ map good circular economy practices



# Italian Circular Economy Platform - ICESP

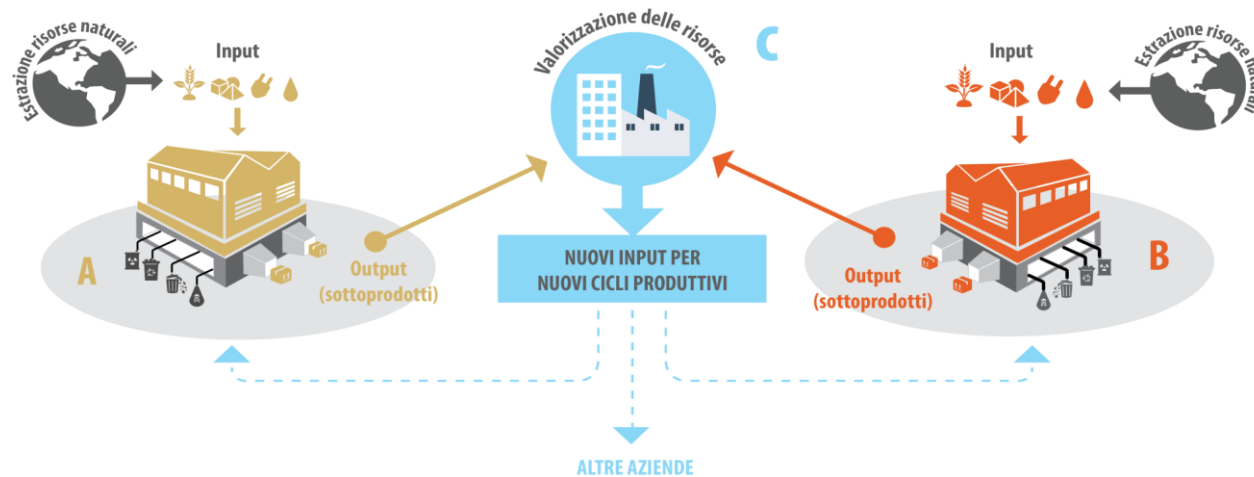
The Italian Circular Economy Platform (ICESP), created and coordinated by ENEA, was born in May 2018 as **ECESP mirror**, after selection of ENEA in ECESP Coordination Group.

The main ICESP objective is reinforce the role of Italy in promotion, implementation and dissemination of circular strategy, enhancing the Italian weight in international community.



# Industrial symbiosis

That for Industry A is a waste, could be a resource for Industry B!



## Economic benefits

1. Reduced costs for raw materials supply and for waste disposal and management
2. New business network
3. New market opportunities

## Environmental benefits

1. Optimisation of resources use
2. Mitigation of environmental impacts and emissions
3. Reduction of the quantity of waste landfilled

## Social benefits

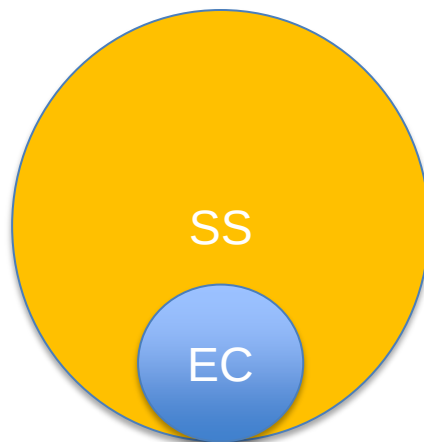
1. Job (so called «green jobs»)
2. Cultural shift (sharing economy)

# Sostenibilità ed Economia Circolare

I termini "sostenibilità" ed "economia circolare" spesso vengono impropriamente usati come sinonimi.

La sostenibilità è un concetto più ampio.

Non tutto ciò che è sostenibile può essere definito come circolare, ma sicuramente tutto ciò che rientra nell'economia circolare partecipa alla transizione verso lo sviluppo sostenibile.



# Sostenibilità ed Economia Circolare

Gli obiettivi delle azioni di sostenibilità sono, ad esempio, ridurre le emissioni di gas a effetto serra o le risorse utilizzate.

L'obiettivo dell'economia circolare è di slegare lo sviluppo economico di imprese e territori dal consumo di risorse naturali finite. Ciò è possibile ripensando e riprogettando prodotti, processi e servizi.

Secondo la Ellen MacArthur Foundation l'economia circolare si basa su 3 principi:

- ✓ Progettazione a zero rifiuti e inquinamento;
- ✓ Mantenimento in uso di prodotti e materiali estendendone il più possibile il ciclo di vita;
- ✓ Rigenerazione dei sistemi naturali.

# Sostenibilità ed Economia Circolare

A differenza dell'approccio alla sostenibilità, l'economia circolare si pone l'obiettivo di avere un impatto positivo sull'ambiente e non meno negativo, attraverso azioni di rethink-reuse-regenerate.

Lo SS mitiga i sintomi, l'EC punta a risolvere le cause dei problemi alla fonte.

Sostenibilità ed economia circolare, dunque, non sono sinonimi, ma rappresentano due approcci differenti per affrontare le problematiche ambientali generate dal modello economico lineare.

# Transizione Ecologica

La transizione ecologica indica un *processo di cambiamento e trasformazione della società e dell'economia verso obiettivi di sviluppo sostenibili e decarbonizzazione*.

Si parla anche di rivoluzione verde o green transition, ponendo l'accento, appunto, su come diminuire l'impatto delle attività umane sull'ambiente circostante.

Volendo dare una definizione, la transizione ecologica è “quel processo di innovazione tecnologica e rivoluzione ambientale volto a favorire l'economia e lo sviluppo nel rispetto dell'ambiente e della sua sostenibilità”.

# Transizione Ecologica

La transizione ecologica si concentra su alcuni aspetti chiave che possono essere riassunti nei seguenti punti:

- ✓ economia circolare;
- ✓ agricoltura responsabile, con attenzione alla gestione del suolo;
- ✓ **transizione energetica e quindi il passaggio alle fonti rinnovabili di energia;**
- ✓ efficienza energetica degli edifici;
- ✓ inquinamento atmosferico;
- ✓ gestione dei rifiuti, con l'aumento delle percentuali di riciclo e riuso;
- ✓ gestione delle risorse idriche, per eliminare ogni forma di spreco e inefficienza e ammodernare le infrastrutture idriche;
- ✓ tutela della biodiversità, animale e vegetale;
- ✓ mobilità sostenibile, per un passaggio alla mobilità elettrica o alla mobilità dolce, un maggiore utilizzo dei mezzi di trasporto e forme di car sharing.

# Transizione ecologica e Economia Circolare

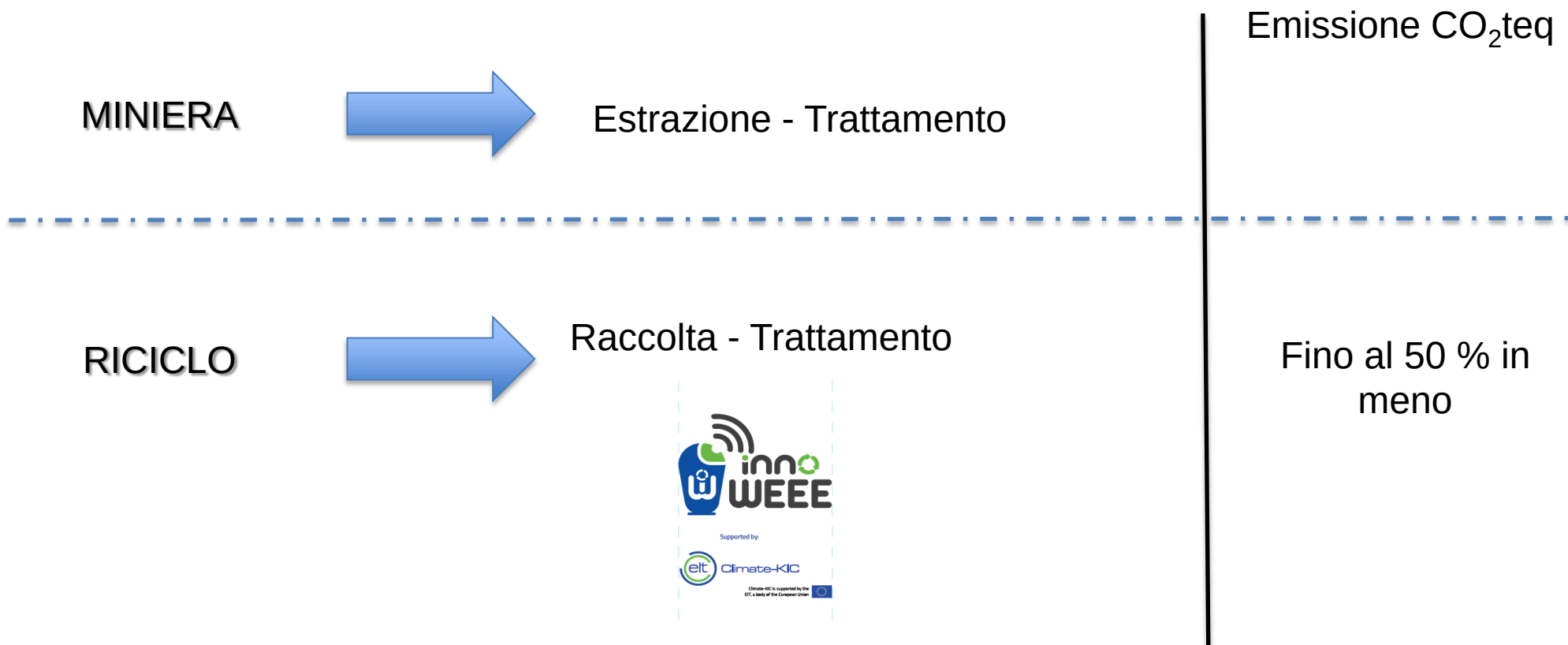
La Transizione Ecologica è uno dei pilastri del PNRR (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza) e del programma europeo Next Generation EU. In Italia, gli obiettivi della rivoluzione verde sono contenuti nella Missione 2 del PNRR, e si concentra su alcune tematiche chiave, come appunto l'economia circolare, la mobilità e il trasporto sostenibili, la decarbonizzazione, la lotta al cambiamento climatico, la gestione delle risorse e l'efficienza energetica.

Molti degli investimenti e dei finanziamenti messi in campo direttamente dal MASE (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica) ex MiTE (Ministero per la Transizione Ecologica) che ha anche il compito di monitorare il raggiungimento dei target e previsti.

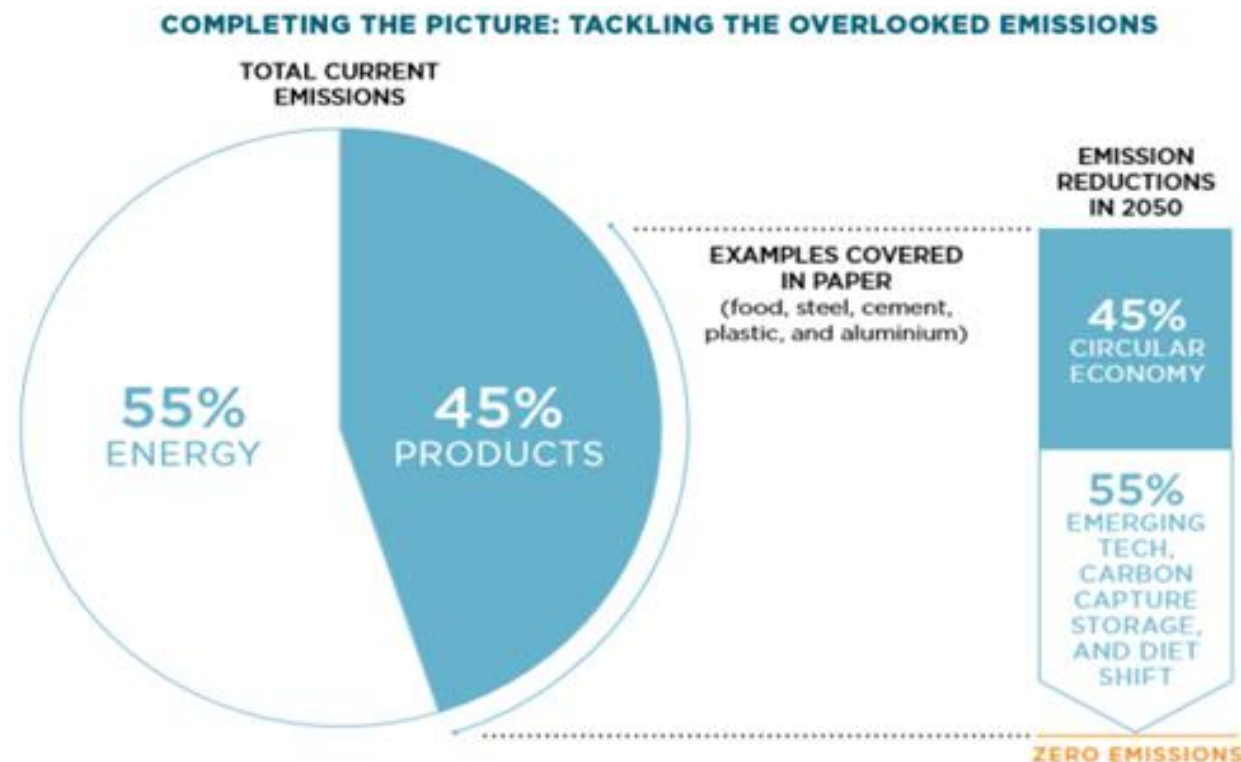
## MISSIONE 2: RIVOLUZIONE VERDE E TRANSIZIONE ECOLOGICA



# Economia Circolare e contrasto ai Cambiamenti Climatici



# Green Deal Europeo: il ruolo dell'economia circolare nella sfida climatica



Gli sforzi compiuti fino ad oggi per contrastare i cambiamenti climatici si sono concentrati soprattutto sul potenziale ruolo delle fonti rinnovabili e delle misure di efficienza energetica. Tuttavia, il raggiungimento degli obiettivi climatici necessita di affrontare anche il rimanente 45% di emissioni associato ai prodotti.

L'economia circolare offre un approccio sistemico ed efficace di affrontare questa sfida.

# Critical Raw Materials

*“Without critical raw materials, there is no green transition and digital transition”.* **Ursula von der Leyen**

L'accesso alle risorse costituisce una questione di sicurezza. La nuova strategia industriale per l'Europa propone di rafforzare l'autonomia strategica dell'Europa avvertendo che, con la transizione ecologica, la dipendenza attuale dai combustibili fossili potrebbe essere sostituita da una dipendenza dalle materie prime, molte delle quali provenienti dall'estero e per le quali la concorrenza mondiale diventa più intensa

# Critical Raw Materials Act



**Almeno il 10%** delle materie prime critiche consumate dovrà essere estratto in Europa, così come dovrà avvenire entro i confini europei **almeno il 40%** della lavorazione. **Almeno il 15%** delle materie prime critiche dovrà arrivare da attività di recupero e riciclo. **Massimo il 65%** da unico Paese terzo.

## Obiettivi 2030



### European Critical Raw Materials Act

2030 benchmarks for strategic raw materials:



#### EU EXTRACTION

At least **10%** of the EU's annual consumption for extraction



#### EU PROCESSING

At least **40%** of the EU's annual consumption for processing



#### EU RECYCLING

At least **15%** of the EU's annual consumption for recycling



#### EXTERNAL SOURCES

Not more than **65%** of the EU's annual consumption of **each strategic raw material at any relevant stage of processing** from a single third country



European  
Commission

Critical Raw Materials Act (16/03/23 proposta di regolamento, approvata il 07/12/2023):

***“Entro il 2030 non più del 65 per cento del consumo annuale dell’Unione di ciascuna materia prima strategica in ogni fase di lavorazione pertinente deve provenire da un unico Paese terzo”***

L’Unione Europea dovrà essere in grado di mettere in piedi nei prossimi anni un sistema capace di estrarre almeno il 10 per cento del proprio consumo annuale di materie prime critiche, di lavorarne almeno il 40 per cento e di riciclarne almeno il 15 per cento

# PERCHE' CRM?

It is important to note that these materials are not classified as 'critical' because are considered scarce, rather they are classified as 'critical' because:

- ✓ They have a **significant economic importance for key sectors in the European economy.**
- ✓ They have a **high-supply risk** due to the very-high import dependence and high level of concentration of set critical raw materials in particular countries

Lastly, there is a **lack of (viable) substitutes**, due to the very unique and reliable properties of these materials for existing, as well as future applications

# Critical - Strategic Raw Materials

2023 CRMs vs. 2020 CRMs

|                   |                  |                |                           |
|-------------------|------------------|----------------|---------------------------|
| aluminium/bauxite | gallium          | phosphate rock | vanadium                  |
| antimony          | germanium        | phosphorus     | arsenic                   |
| baryte            | hafnium          | PGM            | feldspar                  |
| beryllium         | HREE             | scandium       | helium                    |
| bismuth           | lithium          | silicon metal  | manganese                 |
| borate            | LREE             | strontium      | copper                    |
| cobalt            | magnesium        | tantalum       | nickel                    |
| coking coal       | natural graphite | titanium metal | <del>indium</del>         |
| fluorspar         | niobium          | tungsten       | <del>natural rubber</del> |

**Le materie prime critiche identificate sono 34, il documento annesso alla CRM Act ne evidenzia in particolare 16 strategiche:**

- ✓ bismuto,
- ✓ boro (grado metallurgico)
- ✓ cobalto
- ✓ rame
- ✓ gallio
- ✓ germanio
- ✓ litio (grado batteria)
- ✓ magnesio metallico

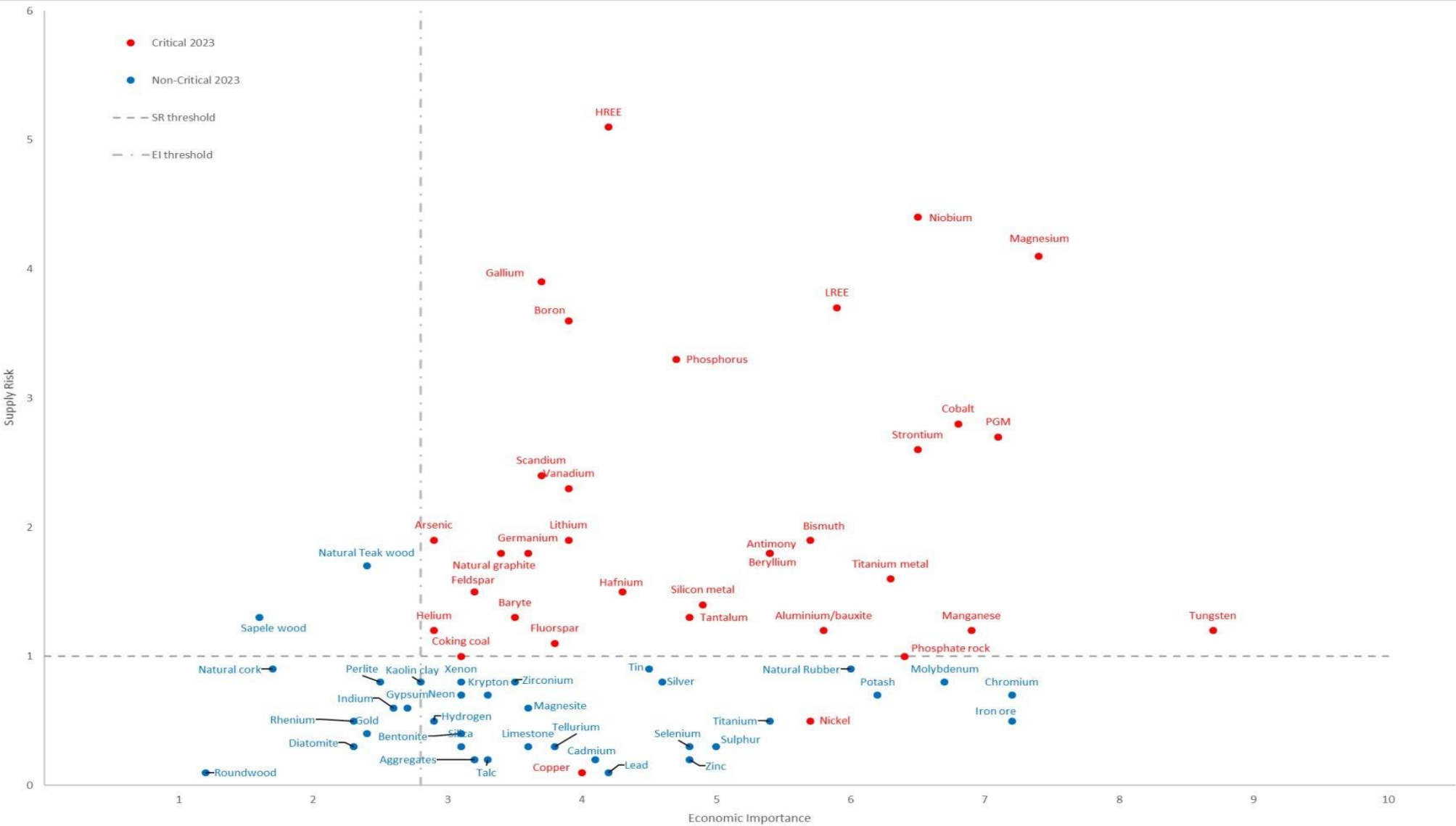
- ✓ manganese (grado batteria)
- ✓ grafite naturale (grado batterie)
- ✓ nichel (grado batterie)
- ✓ metalli del gruppo del platino (PGM)
- ✓ silicio metallico,
- ✓ titanio metallico,
- ✓ tungsteno
- ✓ ed elementi delle **terre rare** per magneti: **neodimio (Nd), praseodimio (Pr), terbio (Tb), disprosio (Dy), gadolinio (Gd), samario (Sm) e cerio (Ce).**

## Materie Prime Strategiche

→ materie prime che, indipendentemente dalla loro criticità, sono indispensabili alla transizione ecologica e digitale e/o per la difesa e l'aerospazio

\*rame e nichel non raggiungono i limiti per CRM, ma sono inclusi come materie prime strategiche

# Critical Raw Materials List 2023



Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023' 16 marzo 2023

<https://single-market-economy.ec.europa.eu/system/files/2023-03/Study%202023%20CRM%20Assessment.pdf>

# LE MATERIE PRIME CRITICHE E STRATEGICHE

## Settori strategici in cui vengono impiegate

### ICT

Elettronica portatile (tablet, laptop, cellulari)  
Data storage e servers  
Reti di trasmissione dati

### RINNOVABILI

Batterie agli ioni di litio  
Pale eoliche  
Pannelli fotovoltaici  
Elettrolizzatori  
Pompe di calore

### DIFESA E AEROSPAZIO

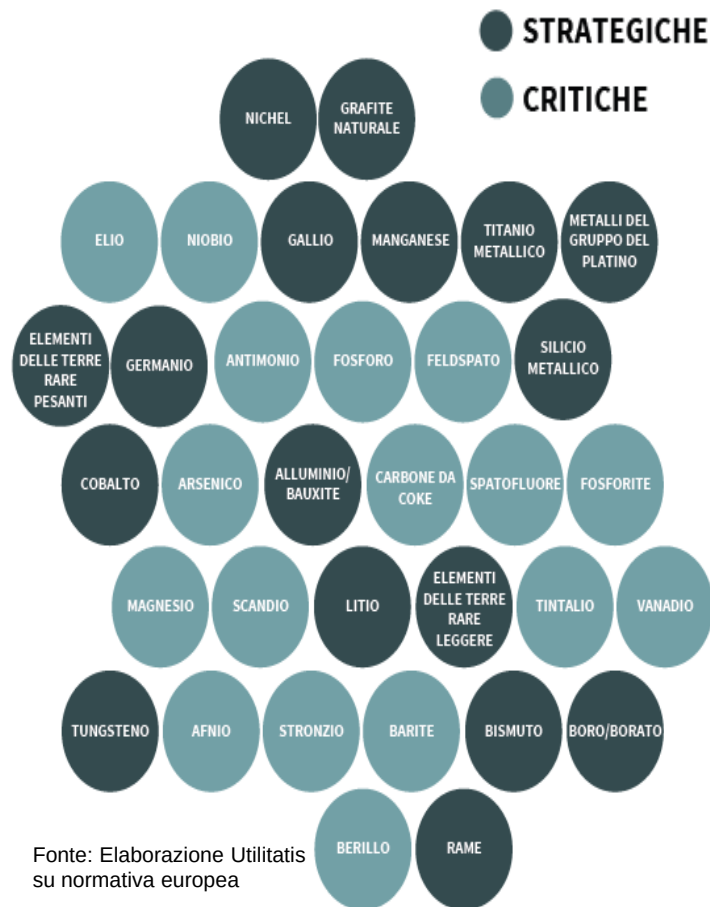
Droni  
Lanciatori spaziali e satelliti  
Robotica  
Stampa 3D

### INDUSTRIA

Produzione acciai  
Pompe di calore

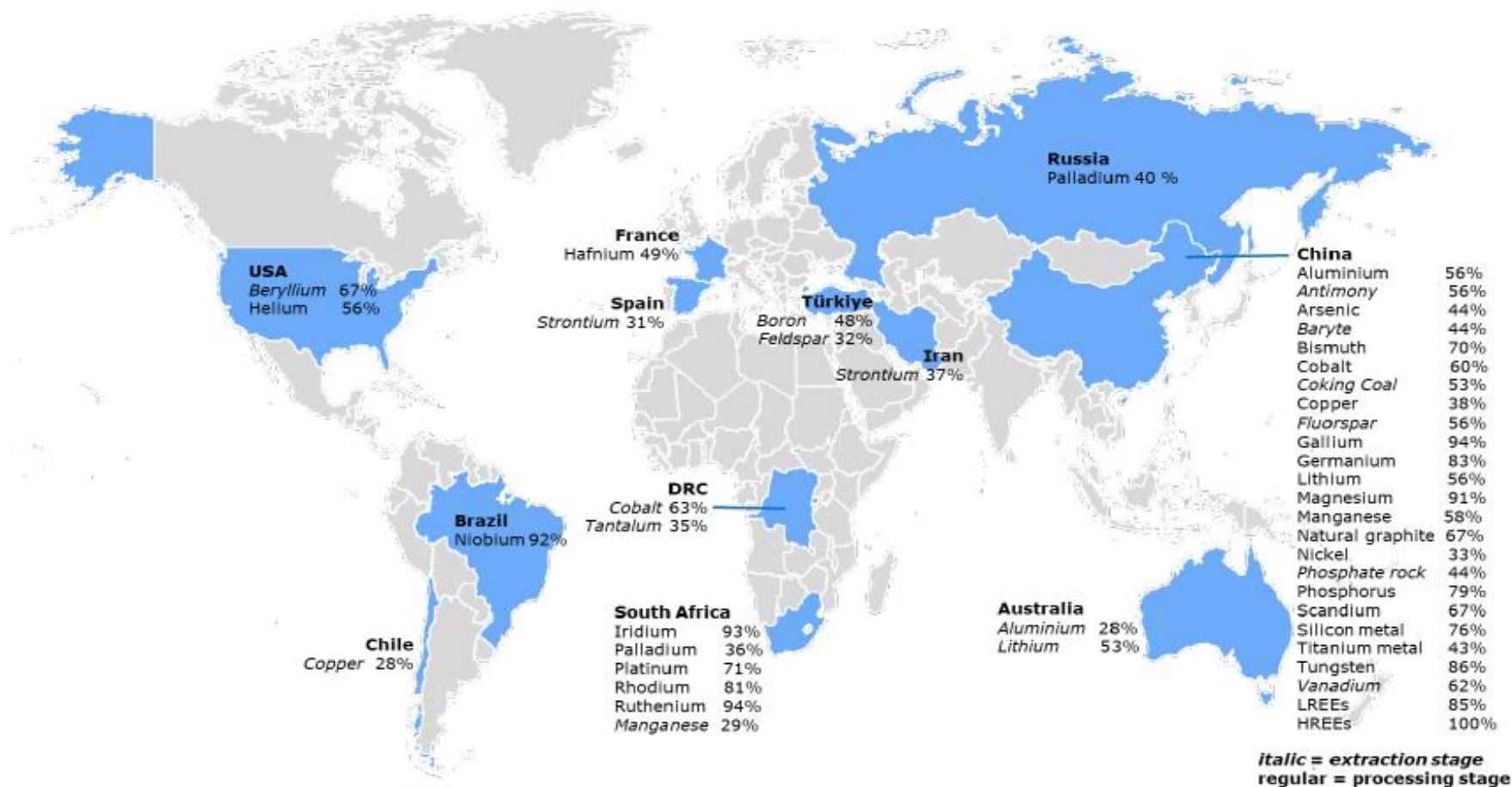
### MOBILITA' ELETTRICA

Batterie agli ioni di litio  
Motore a trazione  
Celle a combustibile



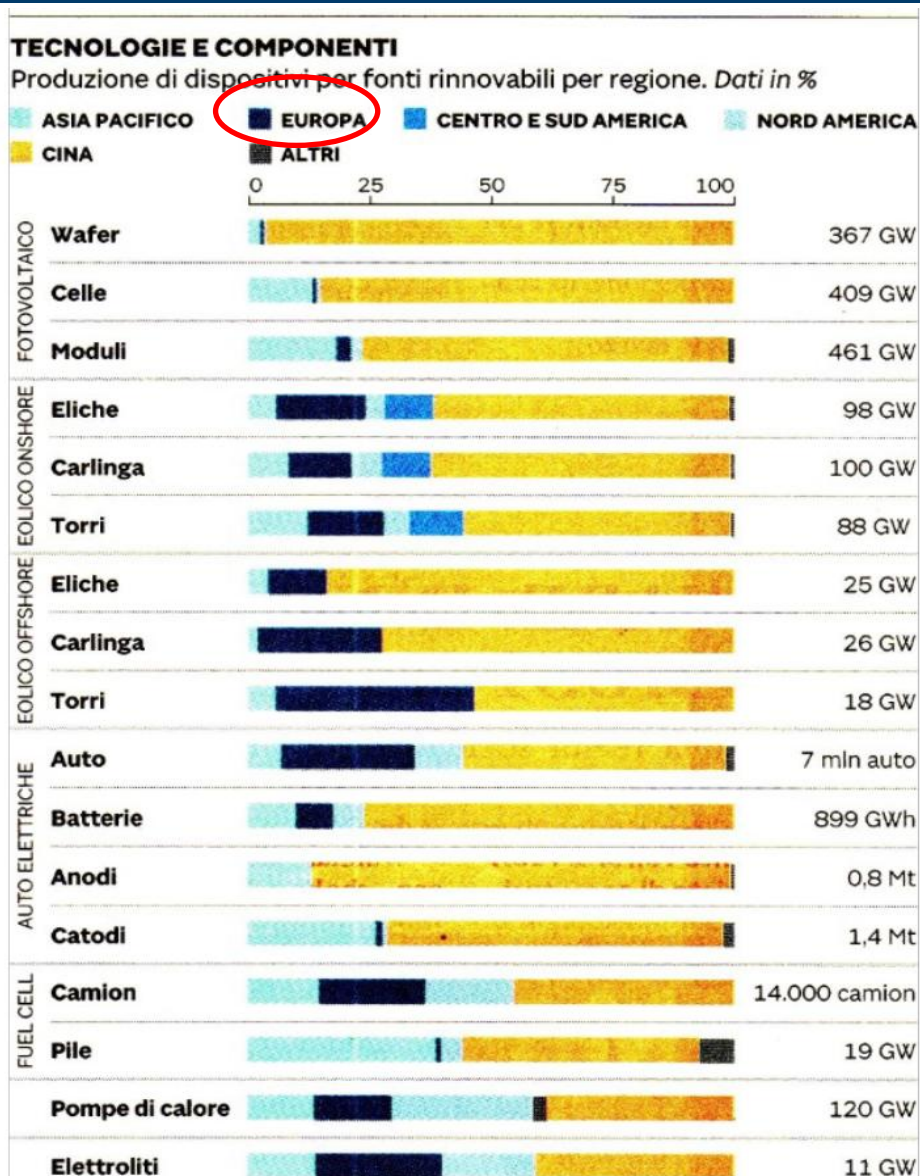
# CRM MINIERE NEL MONDO (2023)

**Figure B: Countries accounting for largest share of global supply of CRMs**



In this slide, the map of CRM mines in the world is reported.  
As can be seen, in Europe we have very few mines

# PRODUZIONE DI DISPOSITIVI PER FONTI RINNOVABILI



(Articolo su Sole 24 Ore del 16/02/2023)

# Il parte

- ✓ Il recupero del plasmix
- ✓ Il recupero di materiali dai rifiuti

## fotovoltaici

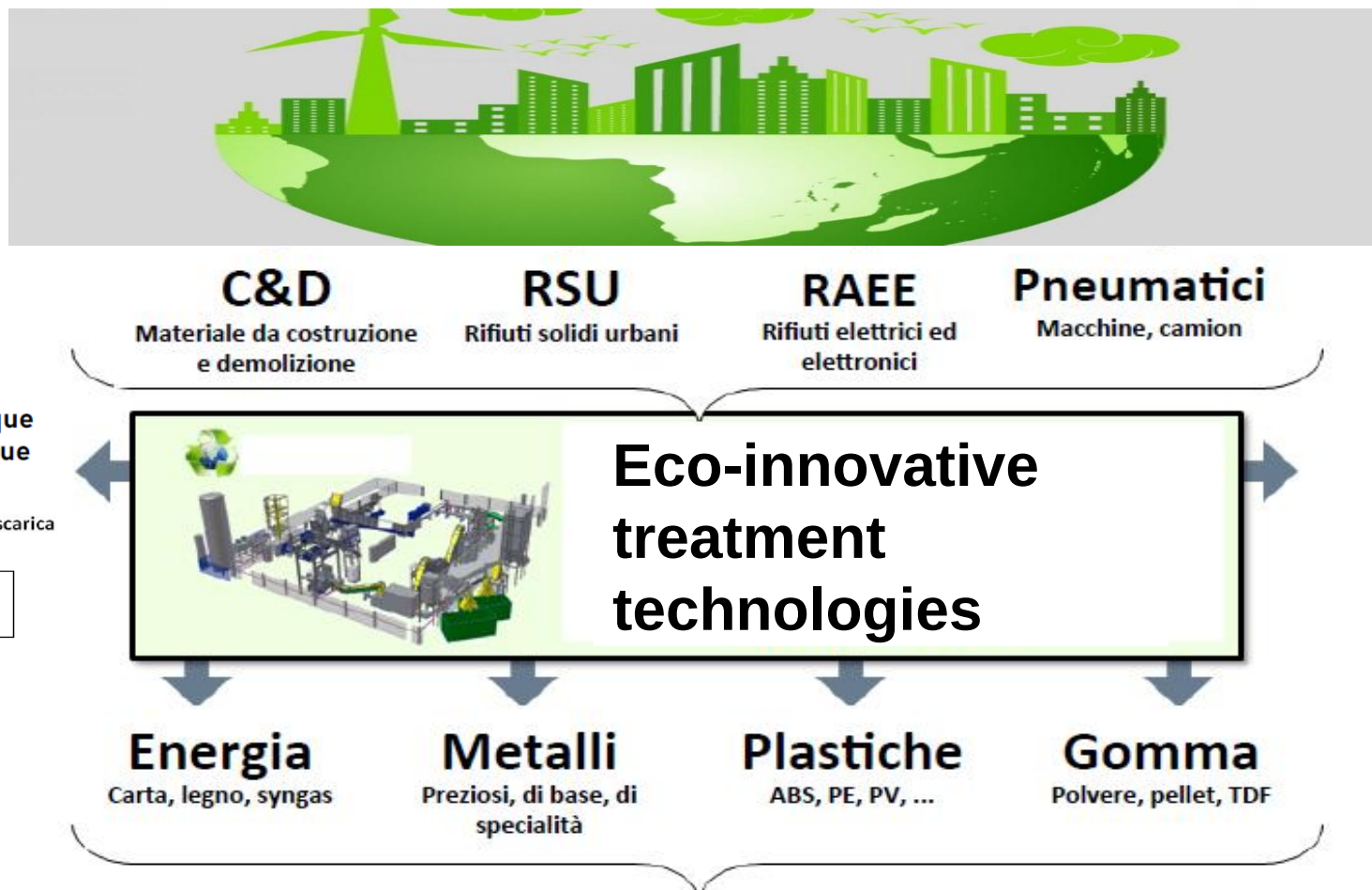
Roma, 01/10/2024

Ing. Marco Tammaro, PhD - Responsabile del Laboratorio Tecnologie per Rifiuti e Materie Prime  
Seconde



# RIFIUTI : URBAN MINING

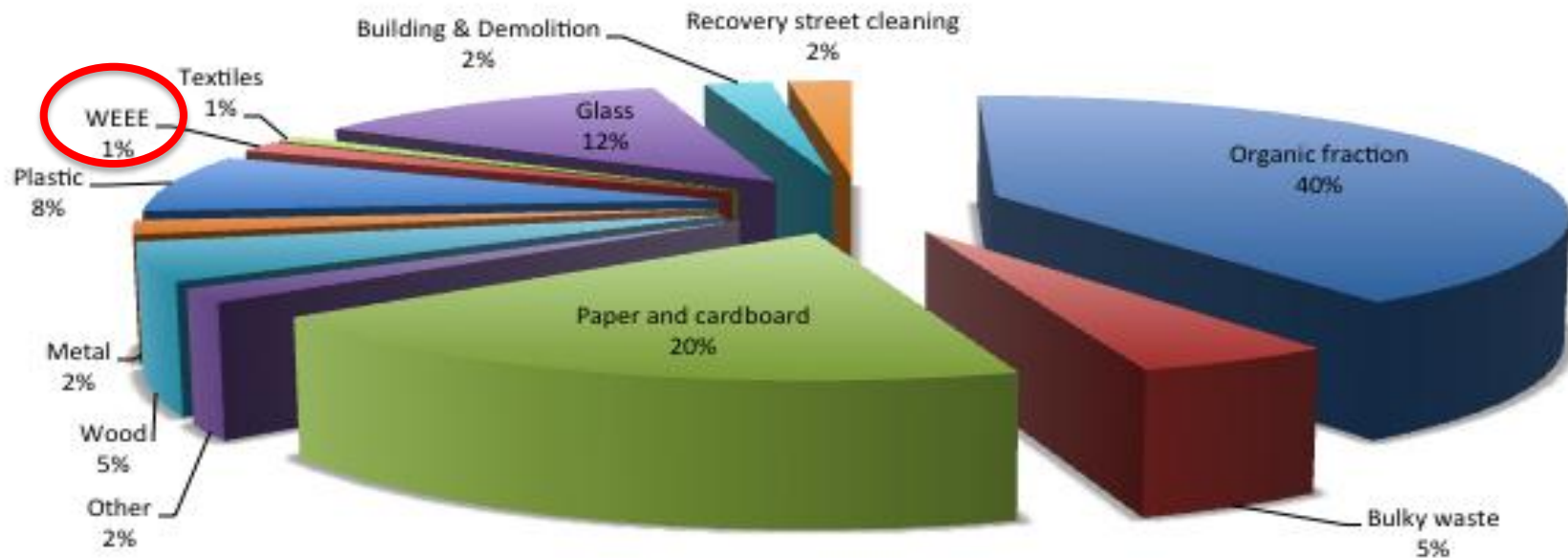
We have no CRM mines. Our mines are the wastes!



The towns, in the next future, will become a megalopolis, with several millions of inhabitants, which will produce a million tons of waste

# Separate Waste Collection

This is a typical composition of a separate waste collection.



Now, we will focus on a particular category of waste: the WEEE. Albeit they represent a little percentage, they are very important!

# AEE e RAEE: cosa sono?

Da AEE: Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche

A RAEE: Rifiuti di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche



R1

**R1: APPARECCHIATURE PER LO SCAMBIO DI TEMPERATURA CON FLUIDI**

Es: frigoriferi, condizionatori, congelatori, asciugatrici con pompa di calore



R2

**R2: GRANDI APPARECCHIATURE**

Es: lavatrici, lavastoviglie, cappe, forni



R3

**R3: TV e MONITOR**

Es: televisori, monitor, laptop



R4

**R4: ICT ed ELETTRONICA DI CONSUMO, APPARECCHI DI ILLUMINAZIONE**

Es: PC desktop, apparecchi informatici, apparecchi hi-fi, telefoni, apparecchi di illuminazione, pannelli fotovoltaici, piccoli elettrodomestici

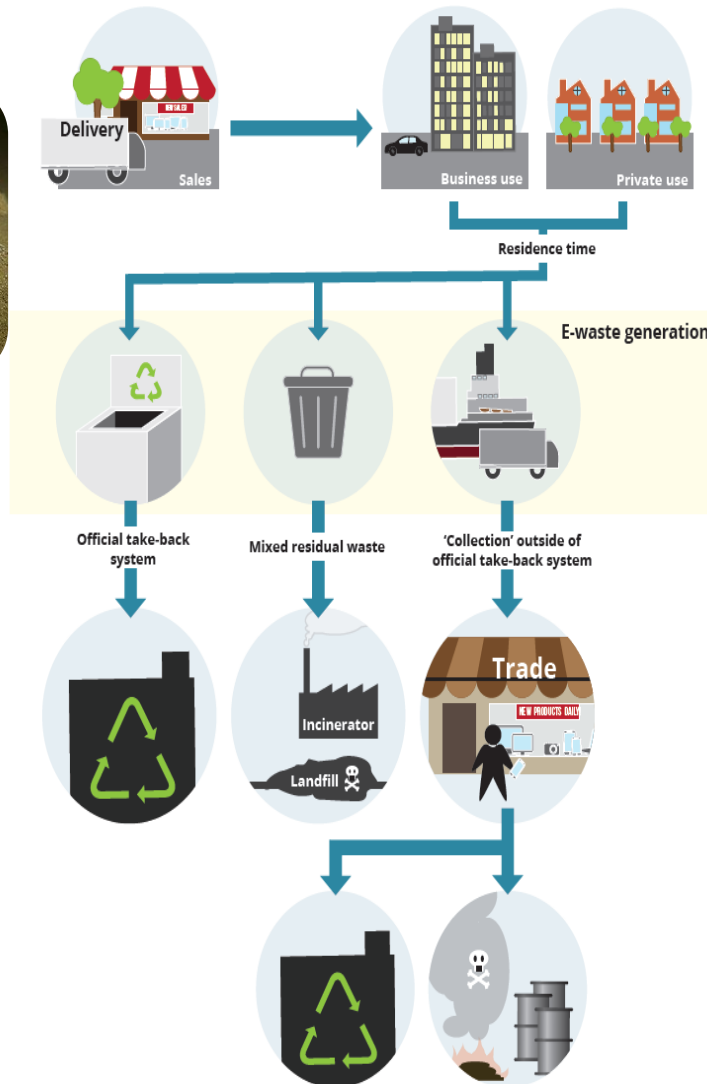


R5

**R5: SORGENTI LUMINOSE**

Es: lampade a led, al neon, fluorescenti

# Che fine fanno i RAEE gestiti non correttamente?



# WEEE. The background

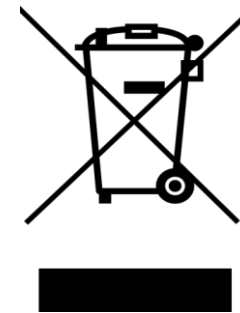
Some features that make very important the WEEE

- the fastest growing domestic waste stream in the world
- every year around 50 Million tons of WEEE are generated and only 20% is disposed correctly

The WEEE contain many materials (metals like Al, Cu, Fe, Ag, plastic, glass) which can be recovered and reused, thorough treatments.

There is a collection problem. In Italy the ratio between the WEEE collected and EEE produced is less 40%, where the European target is 65%.

Similar problems for other European countries and in the world



# Raw Materials recycling from WEEE – ENEA technologies



Printed Circuit Boards

• gold, silver, copper, tin, lead, palladium, plastics



Lithium batteries

• lithium, iron



LCD flat screens

• indium, tin



Photovoltaic panels

• metal electrodes  
• glass, silica



Fluorescent lamps

• rare earths  
• antimony, manganese



Permanent magnets  
(Hard disk)

• Rare earths

## Raw Materials recycling from PCBs

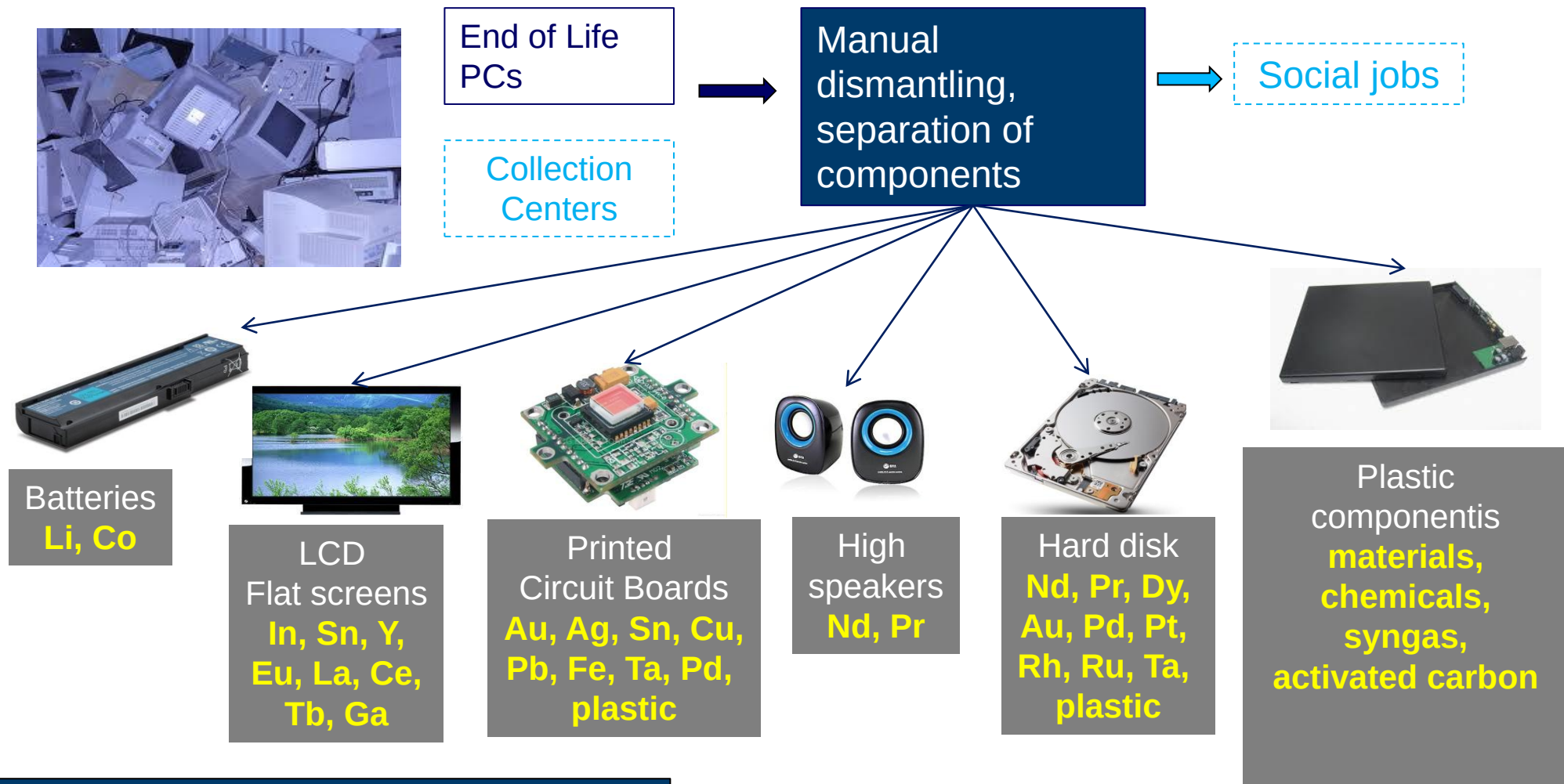
- Patented process: RM2013A000549, PCT/IB2014/065131, EP nr 14798963.6
- Prototype: RM2015A000064, PCT/IB2016/050763
- Contact: [danilo.fontana@enea.it](mailto:danilo.fontana@enea.it)

## Raw Materials recycling from Photovoltaic panels

- Thermal pre-treatment for PV components separation – Italian patent
- Contact: [marco.tammaro@enea.it](mailto:marco.tammaro@enea.it)

Activities performed in ENEA (RMP). In particular, they regard the study of methods for the recovery of materials from different categories of WEEE

# Raw Materials recycling from WEEE



**Product centric approach**

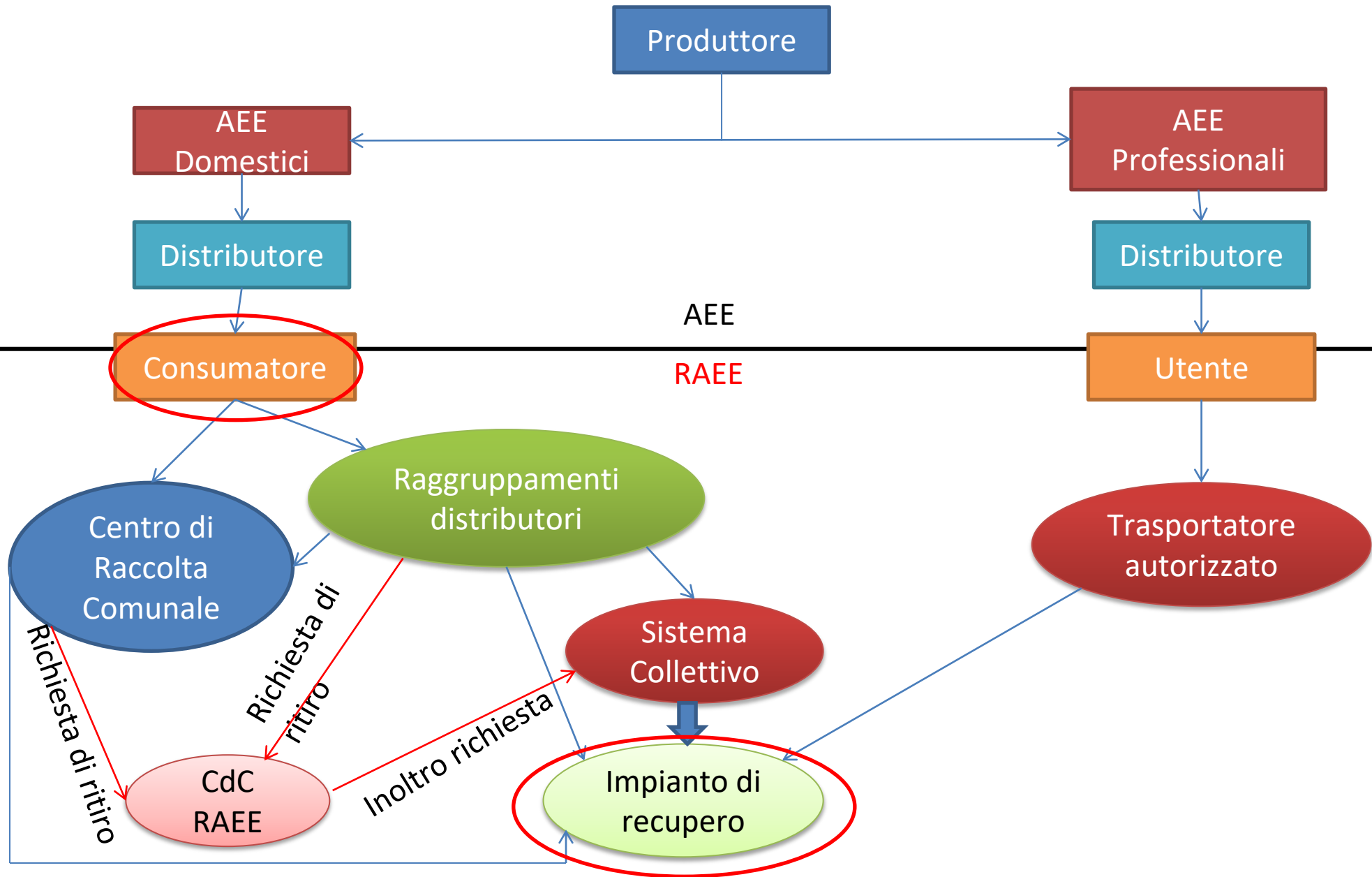
All the components of the WEEE are considered.

## D.lgs 49/2014

Il Decreto "Attuazione della direttiva 2012/19/UE sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE)", n. 49 di recepimento da parte dell'Italia della suddetta Direttiva, è datato 14 marzo 2014 ed è entrato in vigore il 12 aprile 2014.

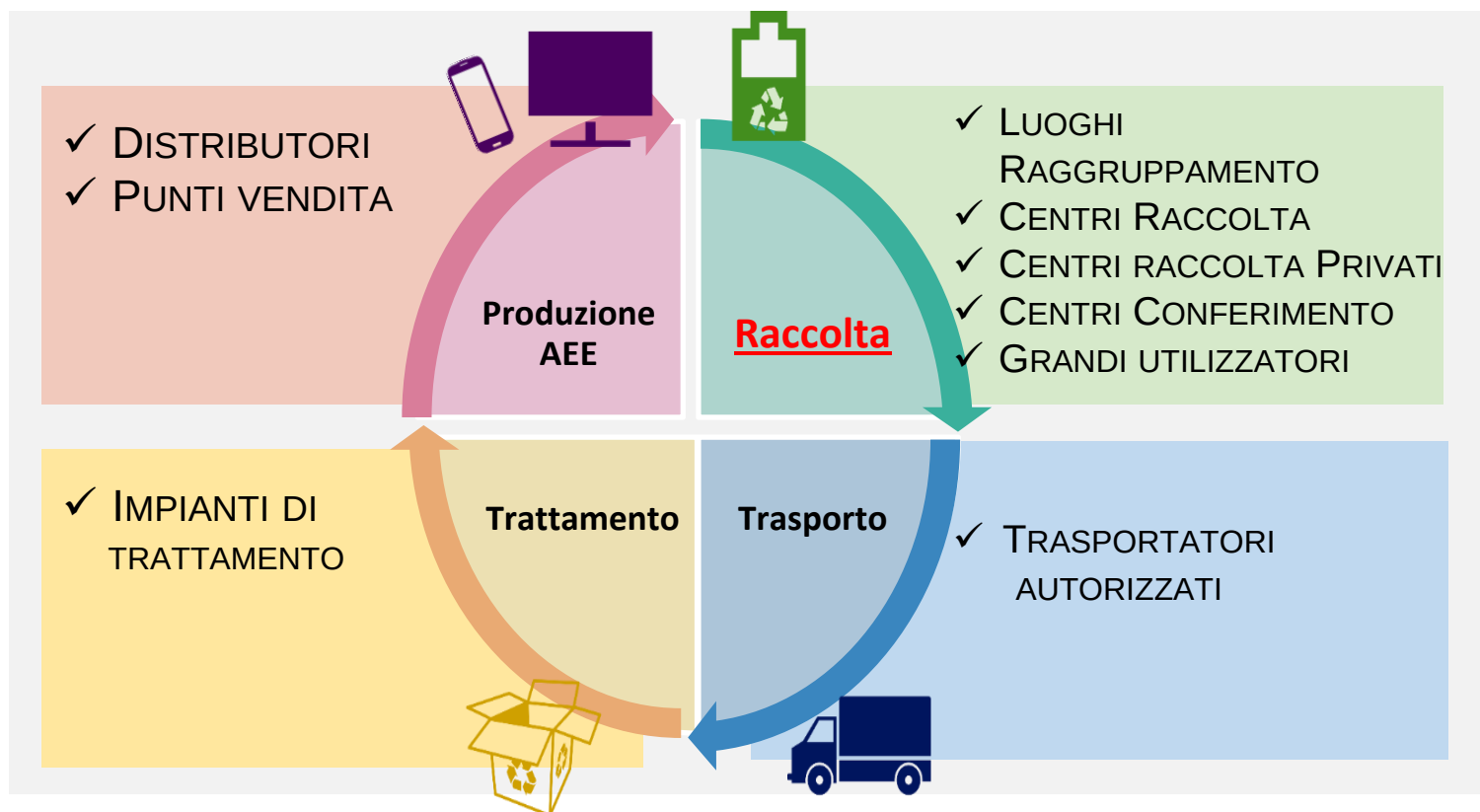
| Periodo                      | Recupero (%) |
|------------------------------|--------------|
| Dal 13/08/2012 al 14/08/2015 | 75           |
| Dal 15/08/2015 al 14/08/2018 | 80           |
| Dal 15/08/2018               | 85           |

# Filiera RAEE

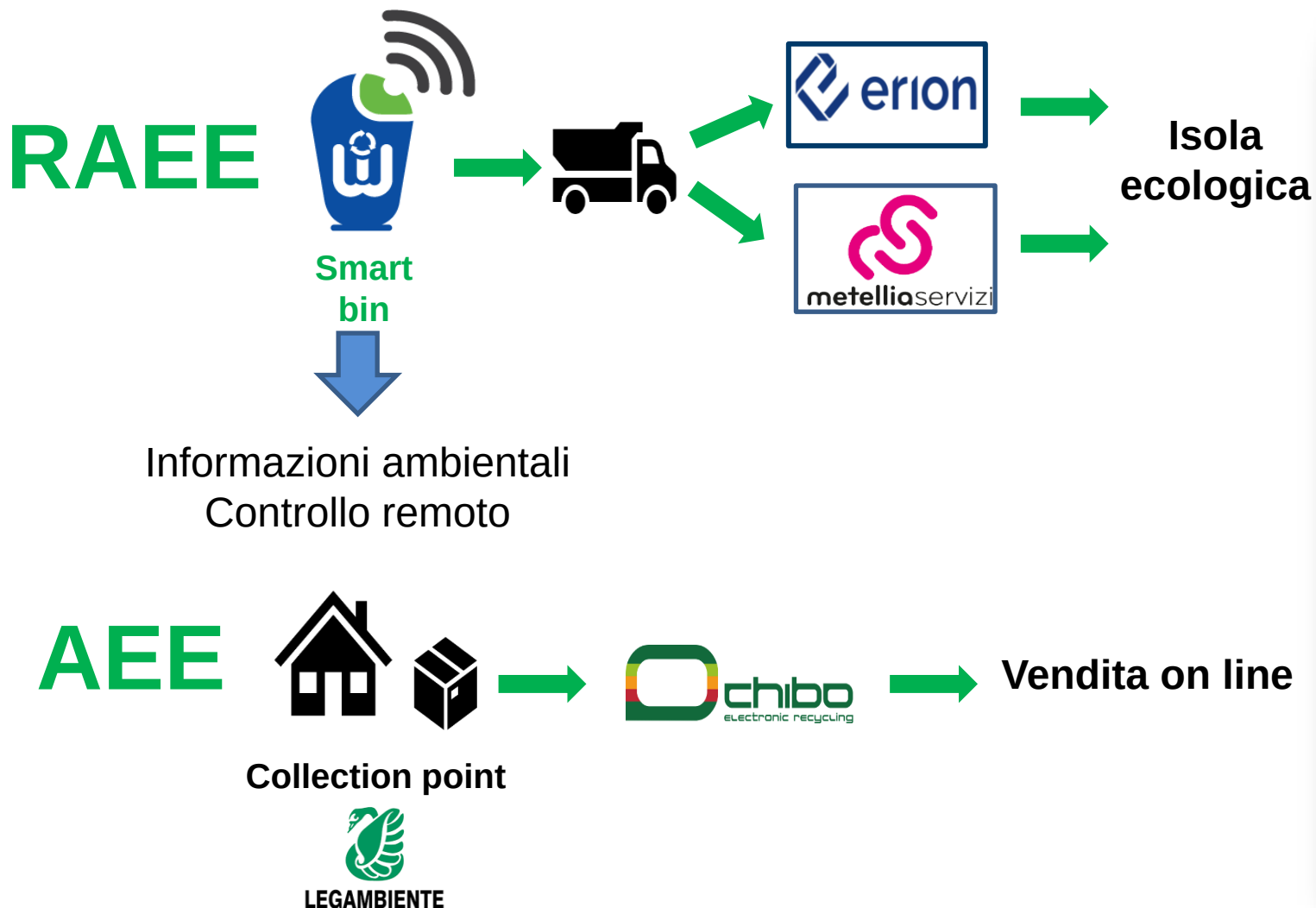


# Il progetto InnoWEEE

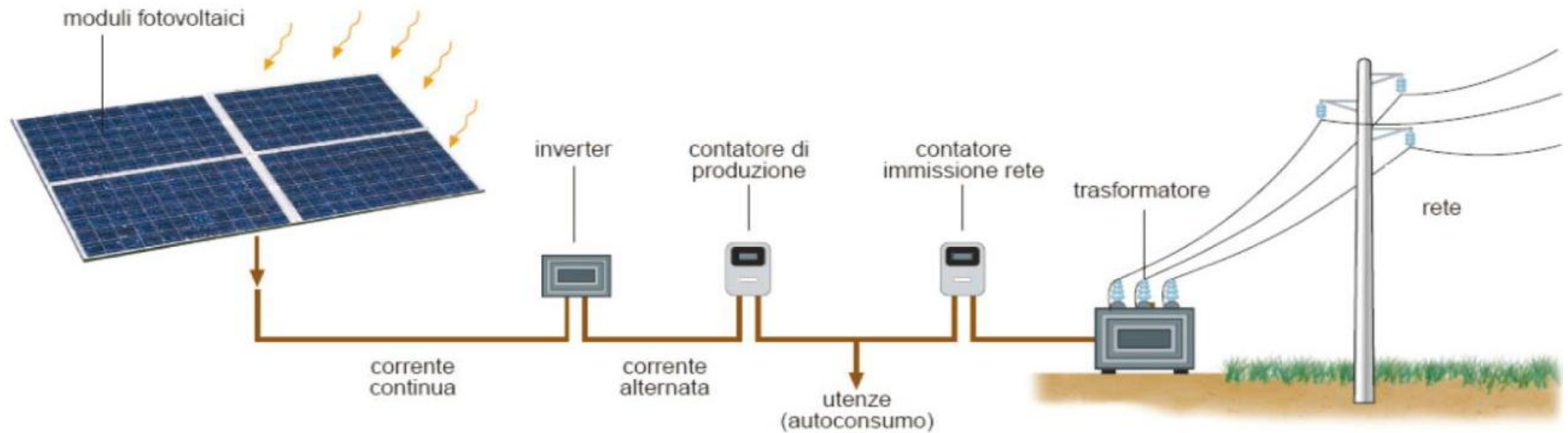
- Progetto finanziato dalla ClimateKIC (2018-2021)
- Sperimentazione sull'applicazione di modelli di Economia Circolare in diverse realtà urbane finalizzata ad aumentare raccolta RAEE ed allungare la vita degli AEE



# InnoWEEE- il pilota di Cava de' Tirreni



# Photovoltaic panels and end of life issue

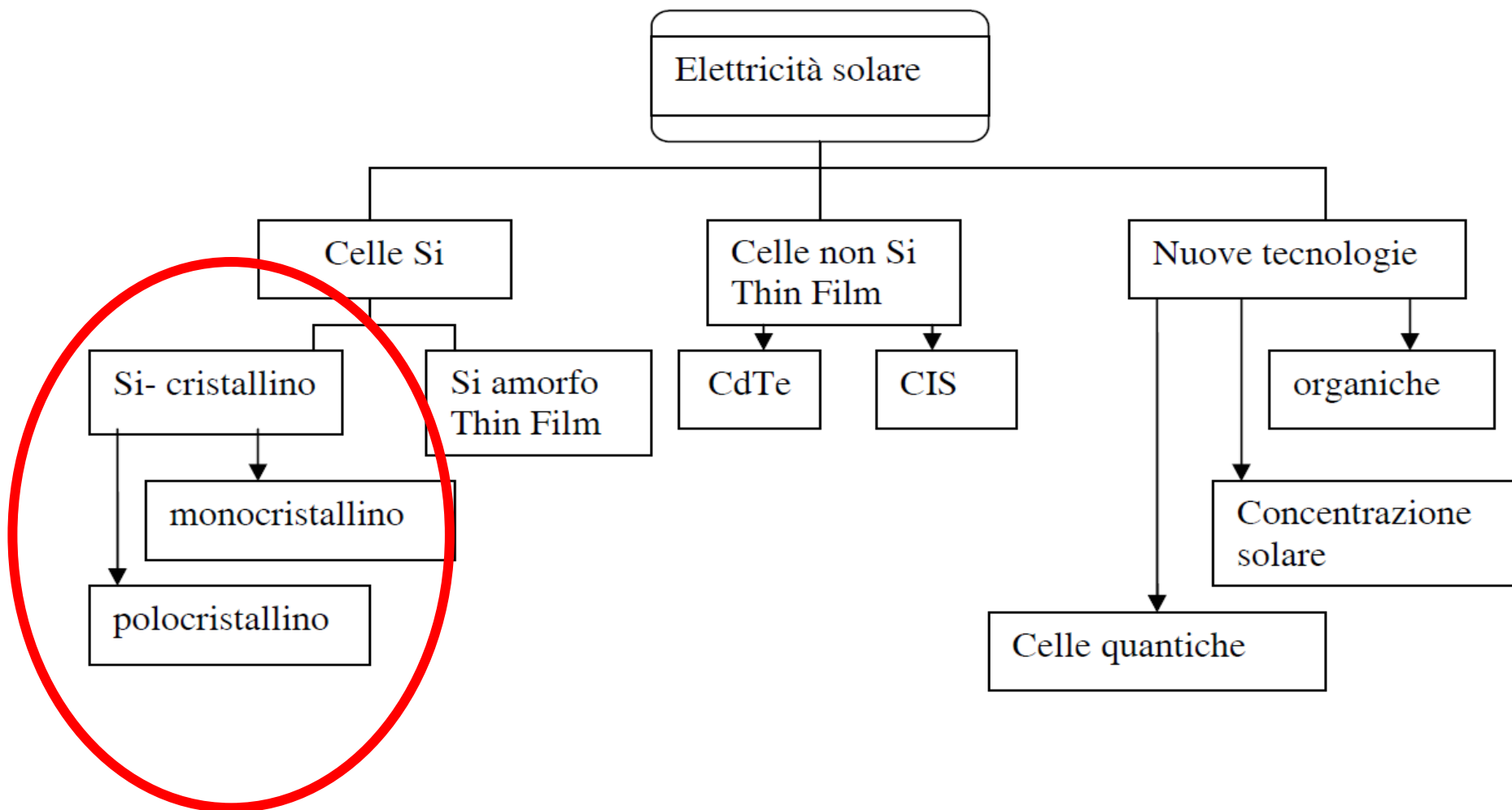


(source GSE)

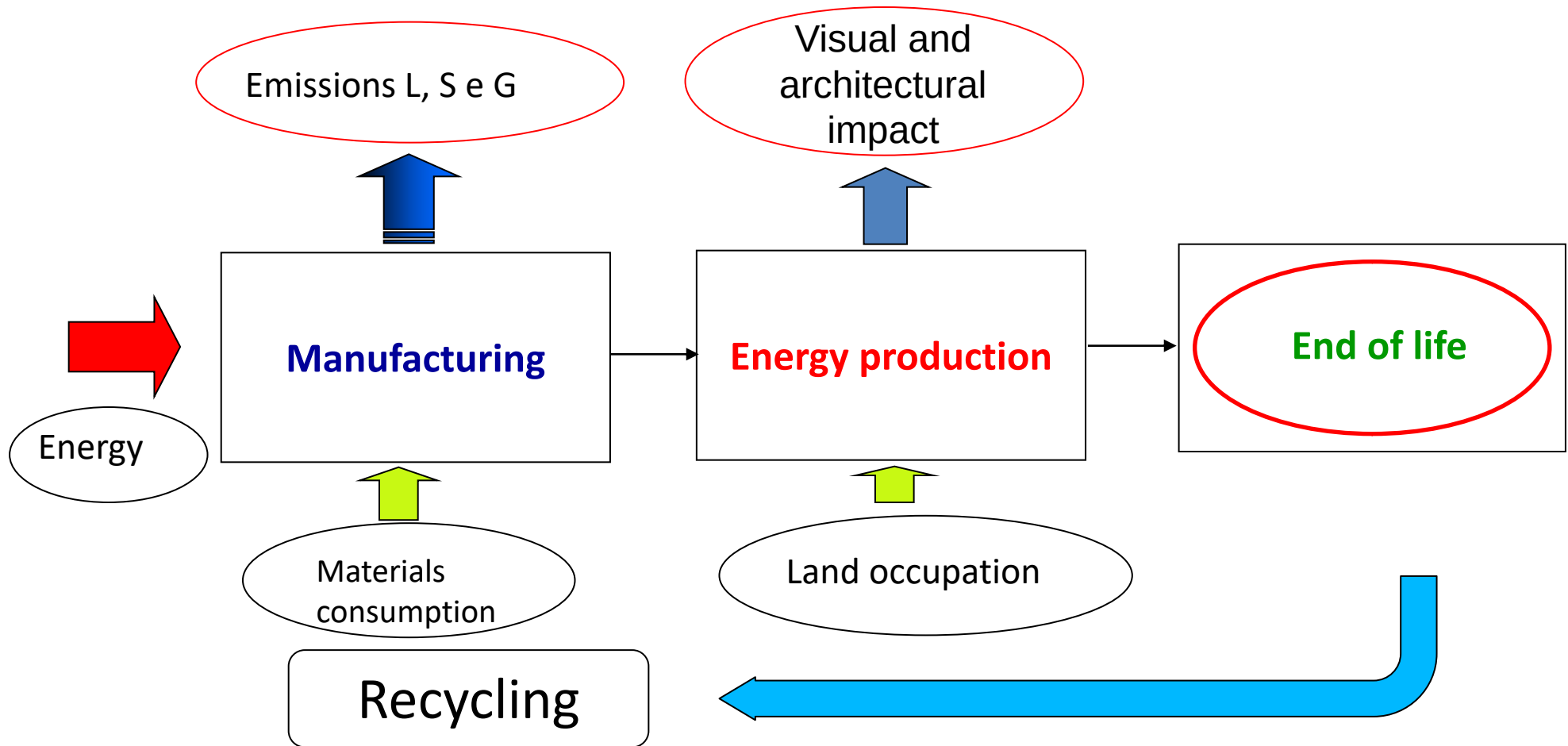
In the last 15-20 years, PV installations are increasing worldwide. This means that in the future we will have a PV waste management problem.

Moreover, for each kWp, about 8-10 square meters of surface are occupied. This is a non-negligible aspect

# Classificazione di pannelli fotovoltaici

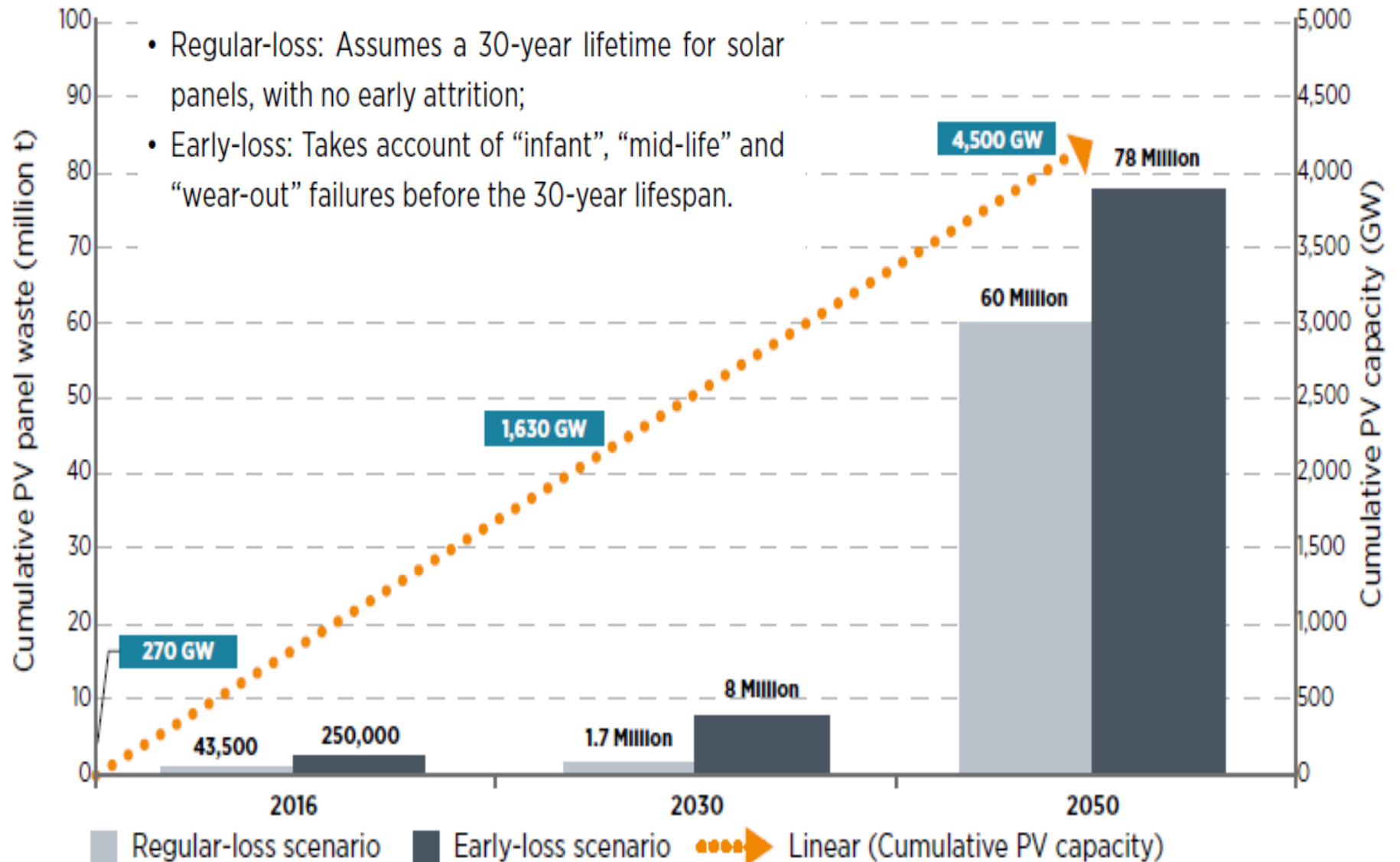


# PV panel's life

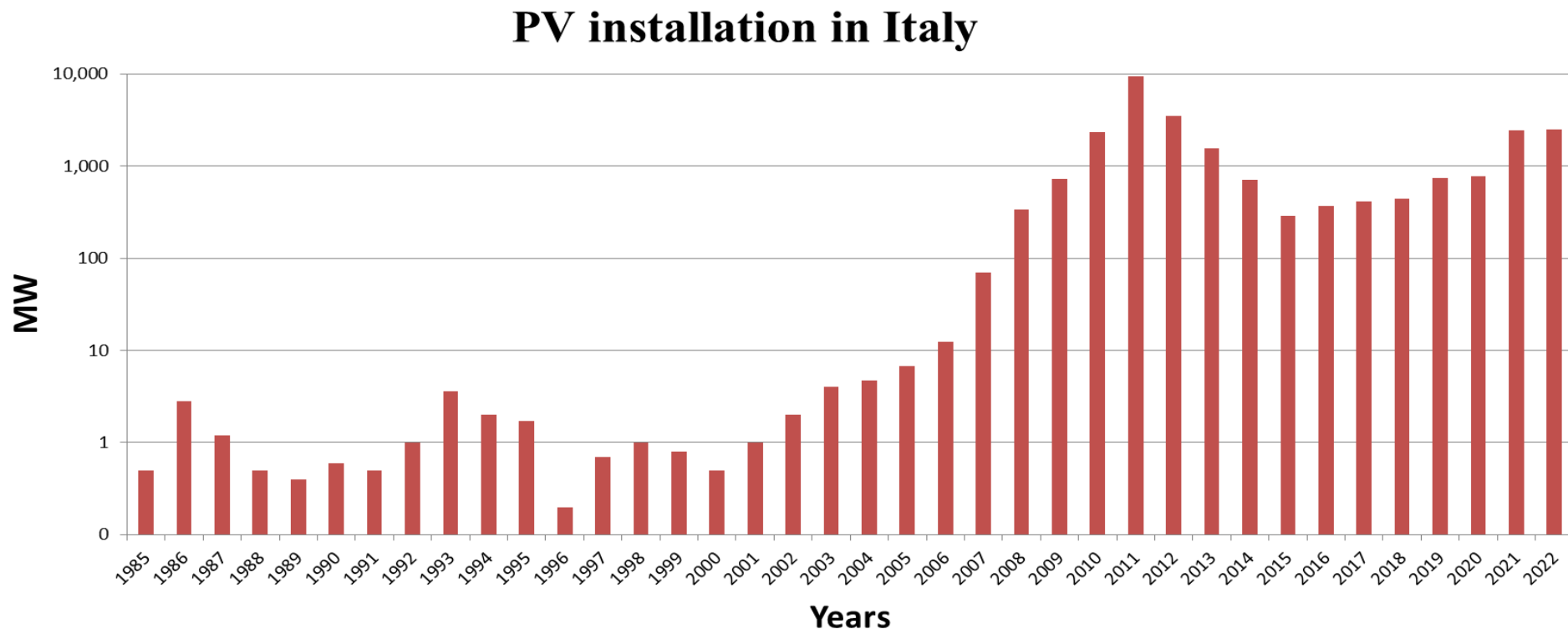


This is the typical scheme of Circular Economy applied to the PV panel life

## Overview of global PV panel waste projections, 2016-2050



# EVOLUZIONE DELLE INSTALLAZIONI PV IN ITALIA



**1 MW**



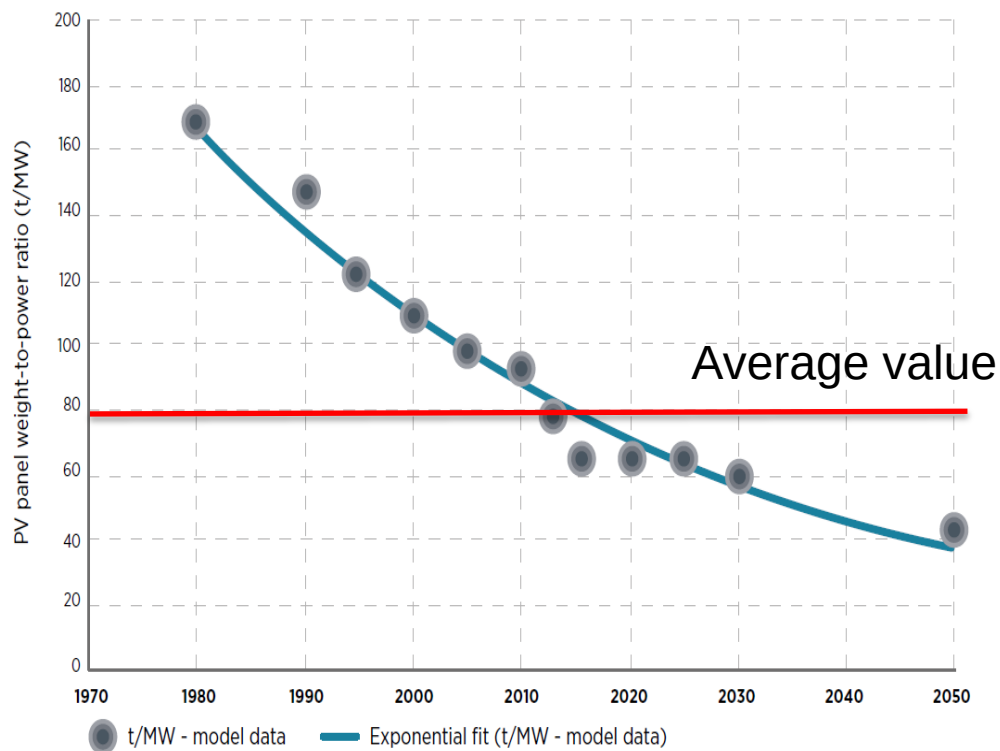
**80 t waste**

**Life time = 30/25 years**

# Potential curve fit of projection of PV panel weight-to-power ratio (t/MW)

This ratio is decreasing in time. This means that, at equal power, the layer of material photo active (the wafer), is decreasing. This is because the efficiency of photoactive material is increasing. So, less material is requested to produce the same energy.

This graphic contains some data and a prevision for next years.



**1 MW**



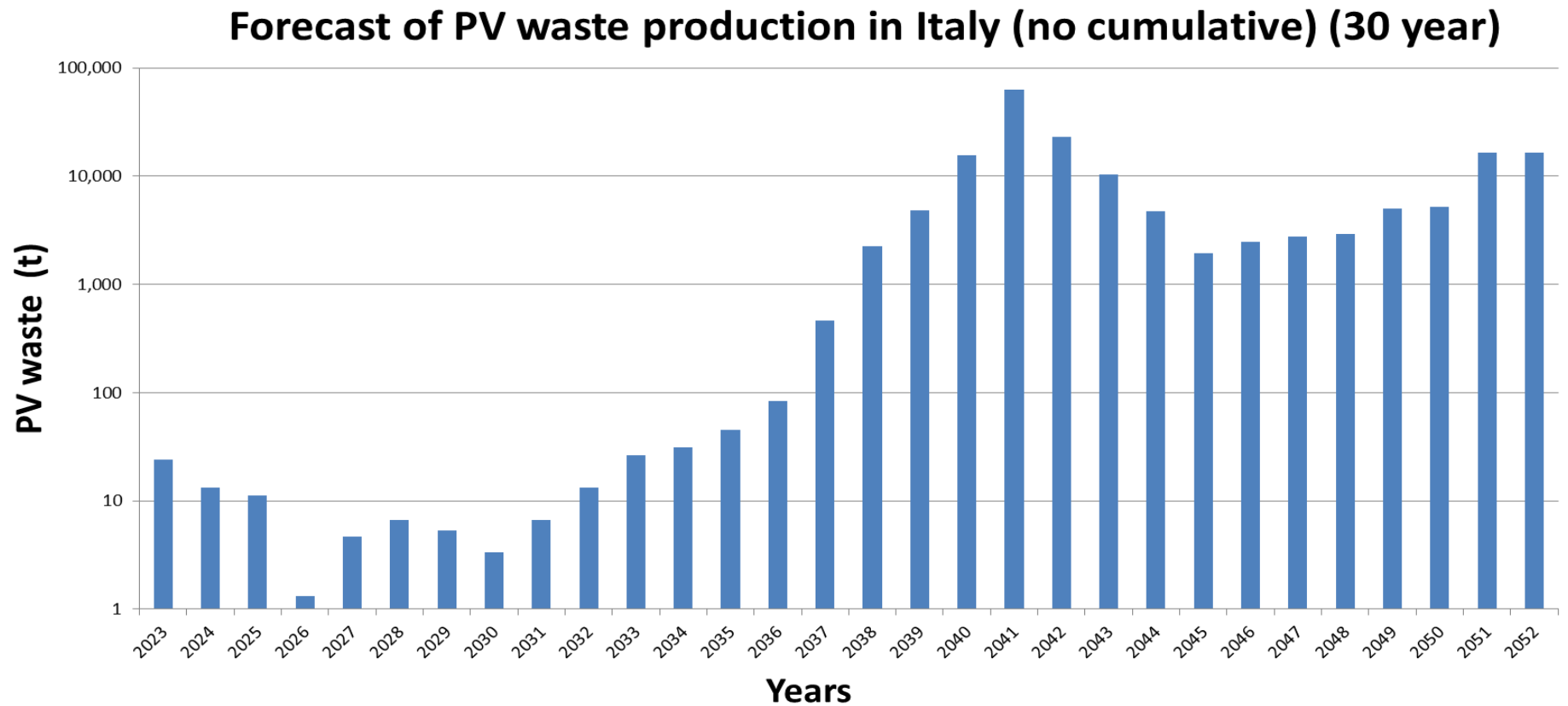
**80 t waste**

Life time = 30/25 years

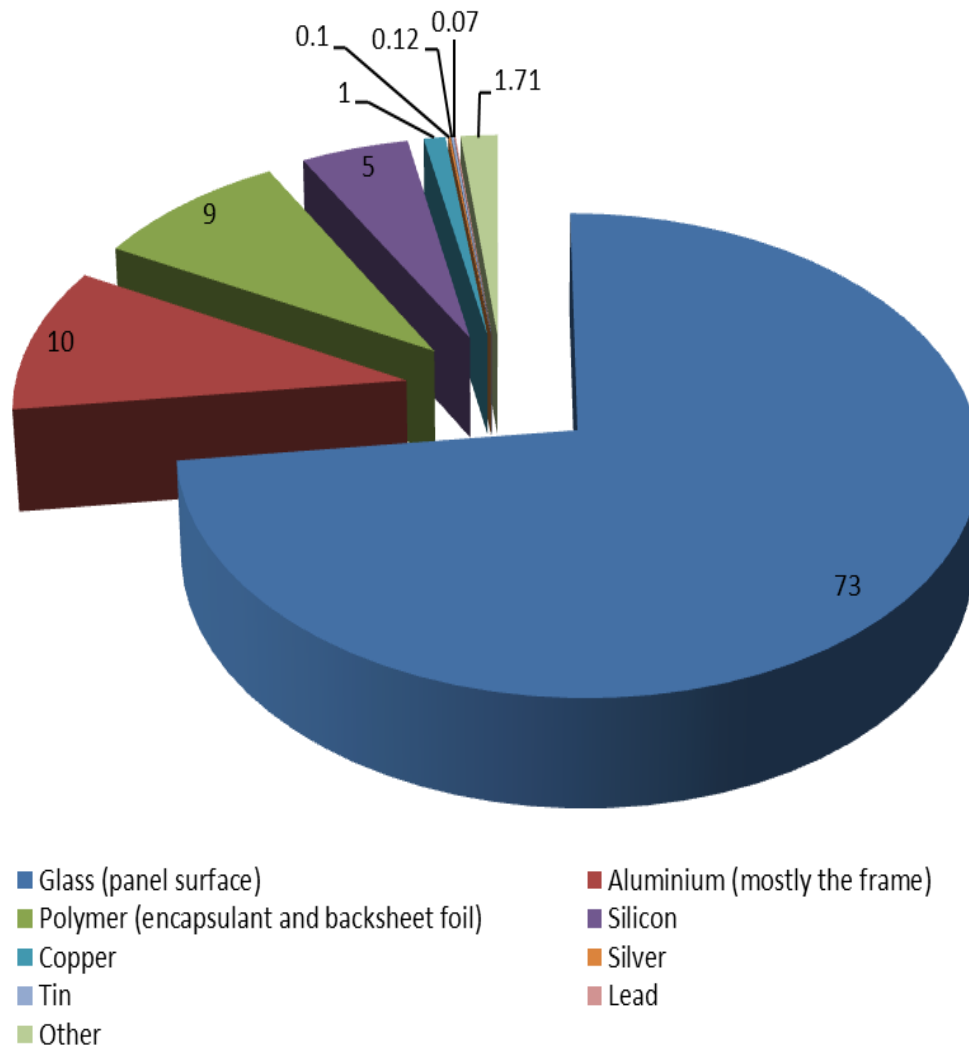
If we take the average value, we have the amount of waste produced for each MW installed. Of course, at end of life (after 20-25-30 years)

(source: IRENA)

# PREVISIONE RIFIUTI PV IN ITALIA



# Panel composition crystalline silicon



|                                          | %    | Kg     |
|------------------------------------------|------|--------|
| Glass (panel surface                     | 73   | 13.14  |
| Aluminium (mostly the frame)             | 10   | 1.8    |
| Polymer (encapsulant and backsheet foil) | 9    | 1.62   |
| Silicon                                  | 5    | 0.9    |
| Copper                                   | 1    | 0.18   |
| Silver                                   | 0.1  | 0.018  |
| Tin                                      | 0.12 | 0.0216 |
| Lead                                     | 0.07 | 0.0126 |
| Other                                    | 1.71 | 0.3078 |

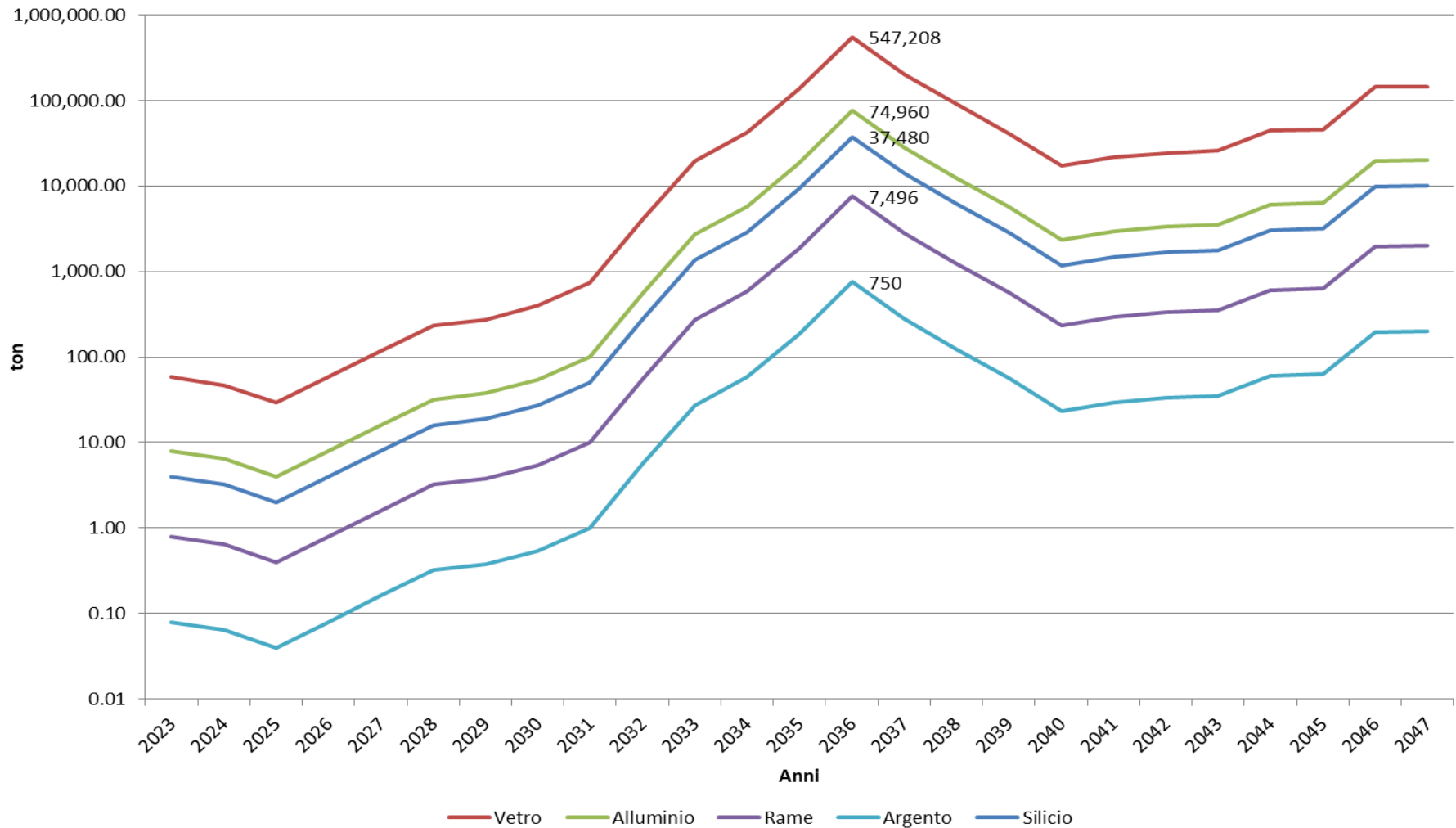
Panel composition (c-Si)

Average Weight: 18 kg

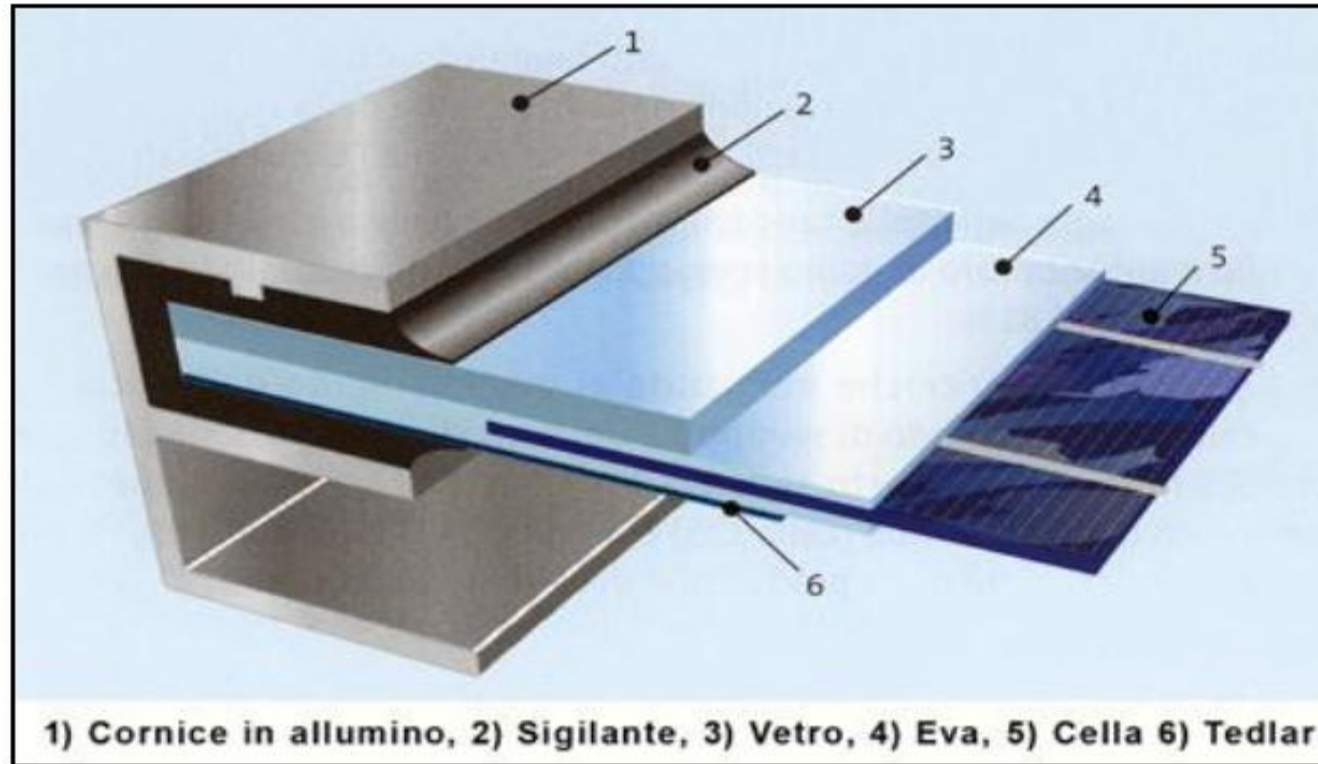
(Sander et al., 2007)

# Materie prime dai rifiuti fotovoltaici

Stime basate su previsioni produzione rifiuti fotovoltaici In Italia



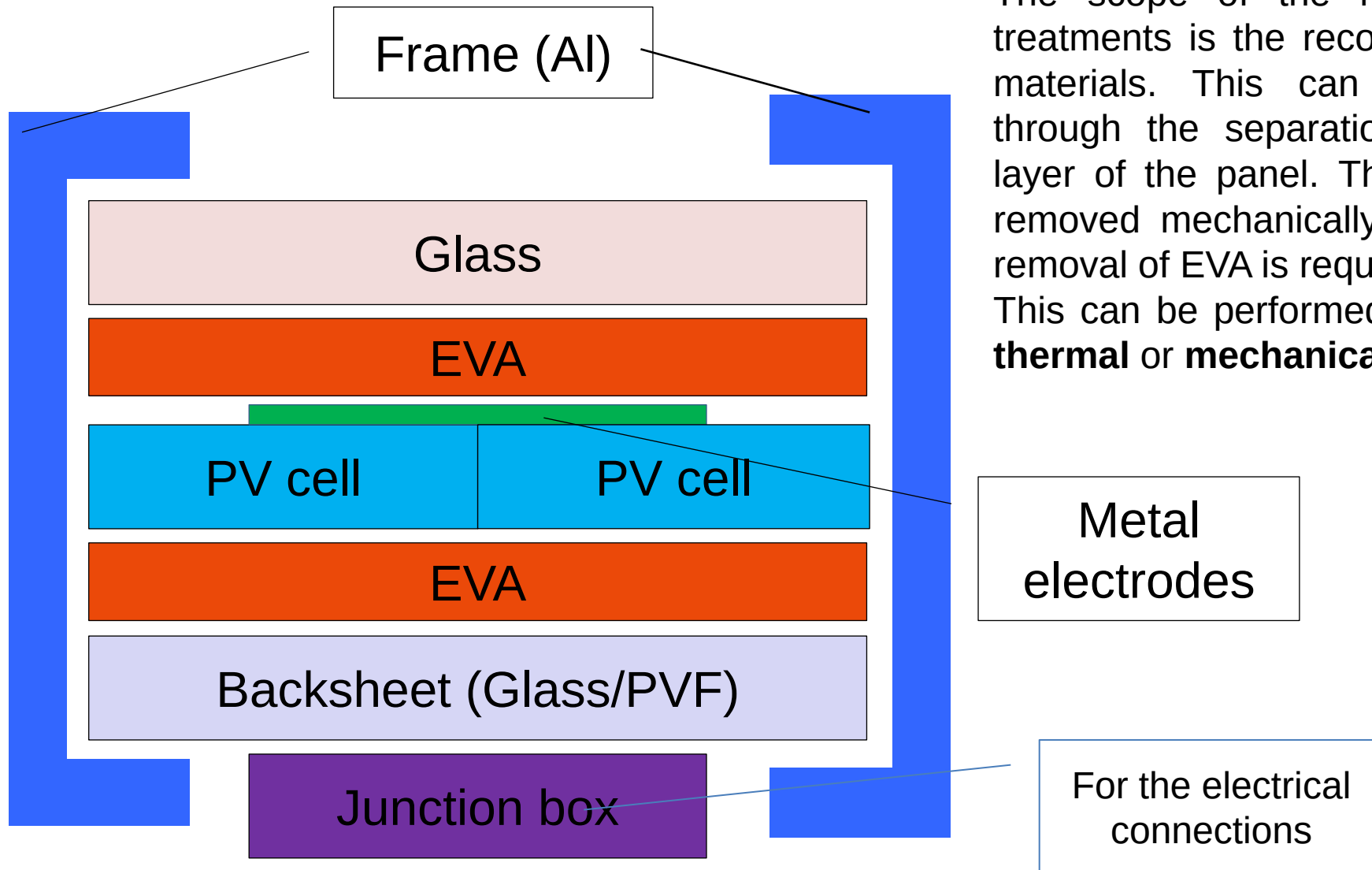
# c-Si Structure



1) Frame in Aluminium, 2) Sealant, 3) Glass, 4) EVA (ethylene vinyl acetate), 5) Wafer o cell, 6) Backsheet (PVC, PVF, etc)

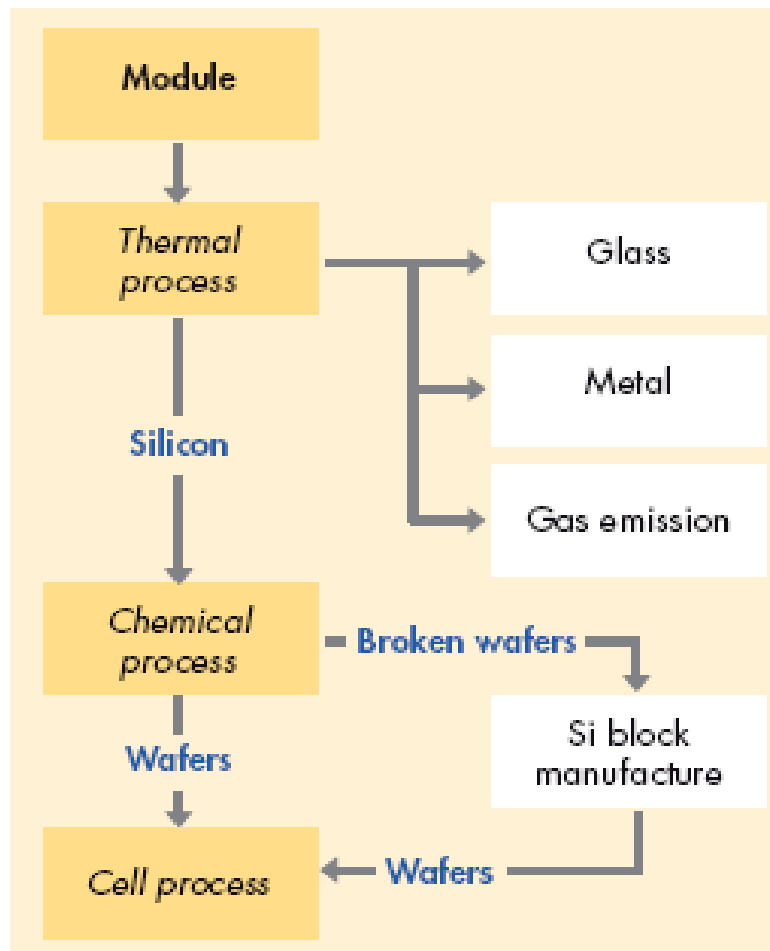
Typical structure of a crystalline silicon panel

# c-Si. Cross section



The scope of the methods of treatments is the recovery of the materials. This can be made through the separation of each layer of the panel. The frame is removed mechanically. Then the removal of EVA is requested. This can be performed through a **thermal or mechanical method**.

## Processo Deutsche Solar: recupero wafer.



**Recupero wafer per il riuso e recupero dei wafer rotti per la crescita dei lingotti**

# Case study – the ReSiELP project



Recovery of **Silicon** and other materials  
from **End-of-Life Photovoltaic** panels



PROJEKTkompetenz.eu

RELIGHT

CETMA  
CENTRO DI RICERCA EUROPEO DI TECNOLOGIE AVANZATE E MATERIALI



ines  
INSTITUT NATIONAL  
DE L'ÉNERGIE SOLAIRE



ENEA

bay  
Bay Zoltán  
Nonprofit Ltd.  
For Applied Research

ITO  
INSTITUTE OF TECHNOLOGY

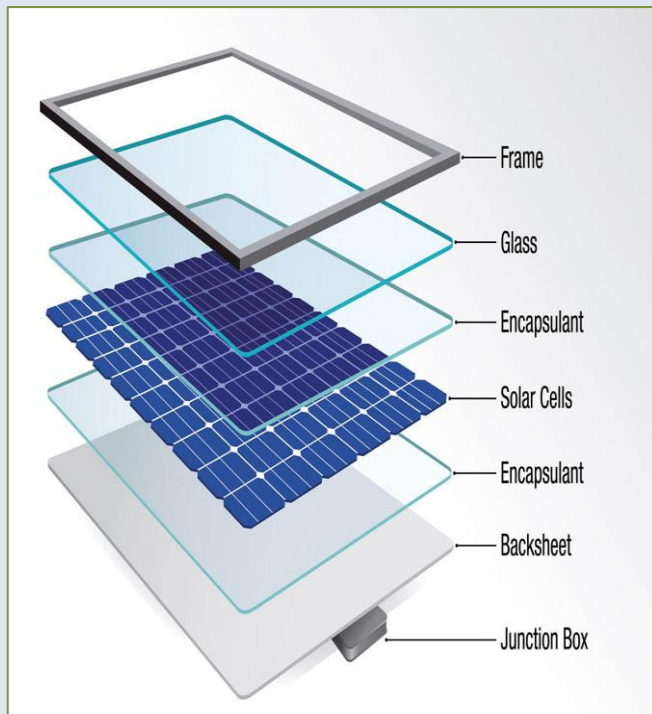


# EoL PV panels management: opportunity and challenge

## VALUE CREATION & IMPLEMENTATION OF A CIRCULAR VALUE-CHAIN

### Main challenge

Recovering valuable materials (from 1 kg of PV waste)



**Glass:**  
**700 g**



**Aluminium:**  
**170 g**



**Silicon:**  
**12 g**



**Copper:**  
**6.9 g**



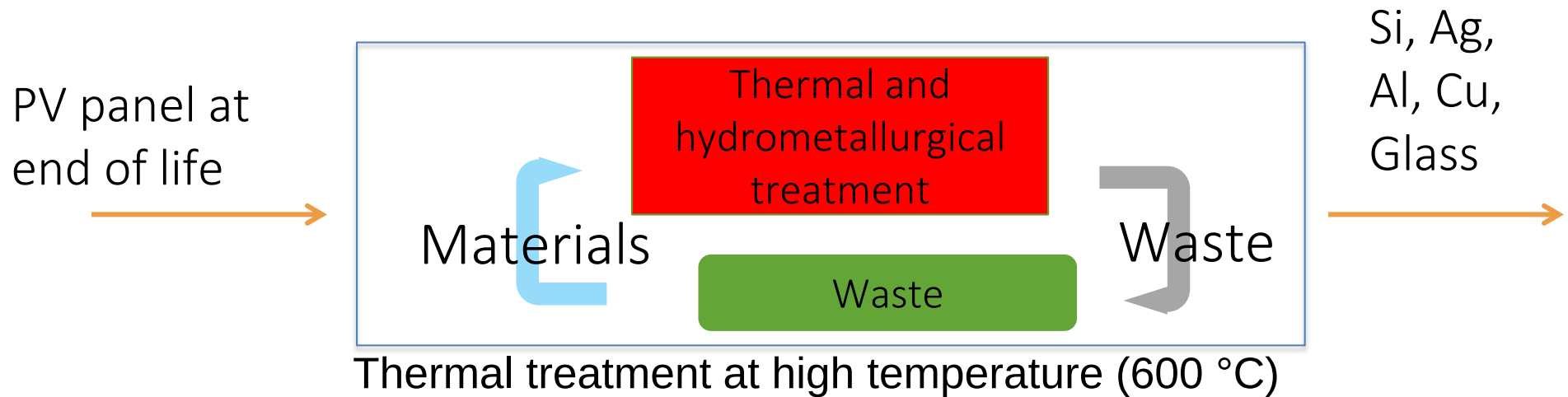
**Silver:**  
**0.11 g**

# RESIELP

## Recovery of Silicon and other materials from End-of-Life Photovoltaic Panels

Project funded by the EIT KIC Raw Materials (European organization linked to the European Commission)

Realization of a zero-waste prototype for the treatment of photovoltaic panels at the end of their life aimed at recovering materials.



EIT RawMaterials is supported by the EIT,  
a body of the European Union

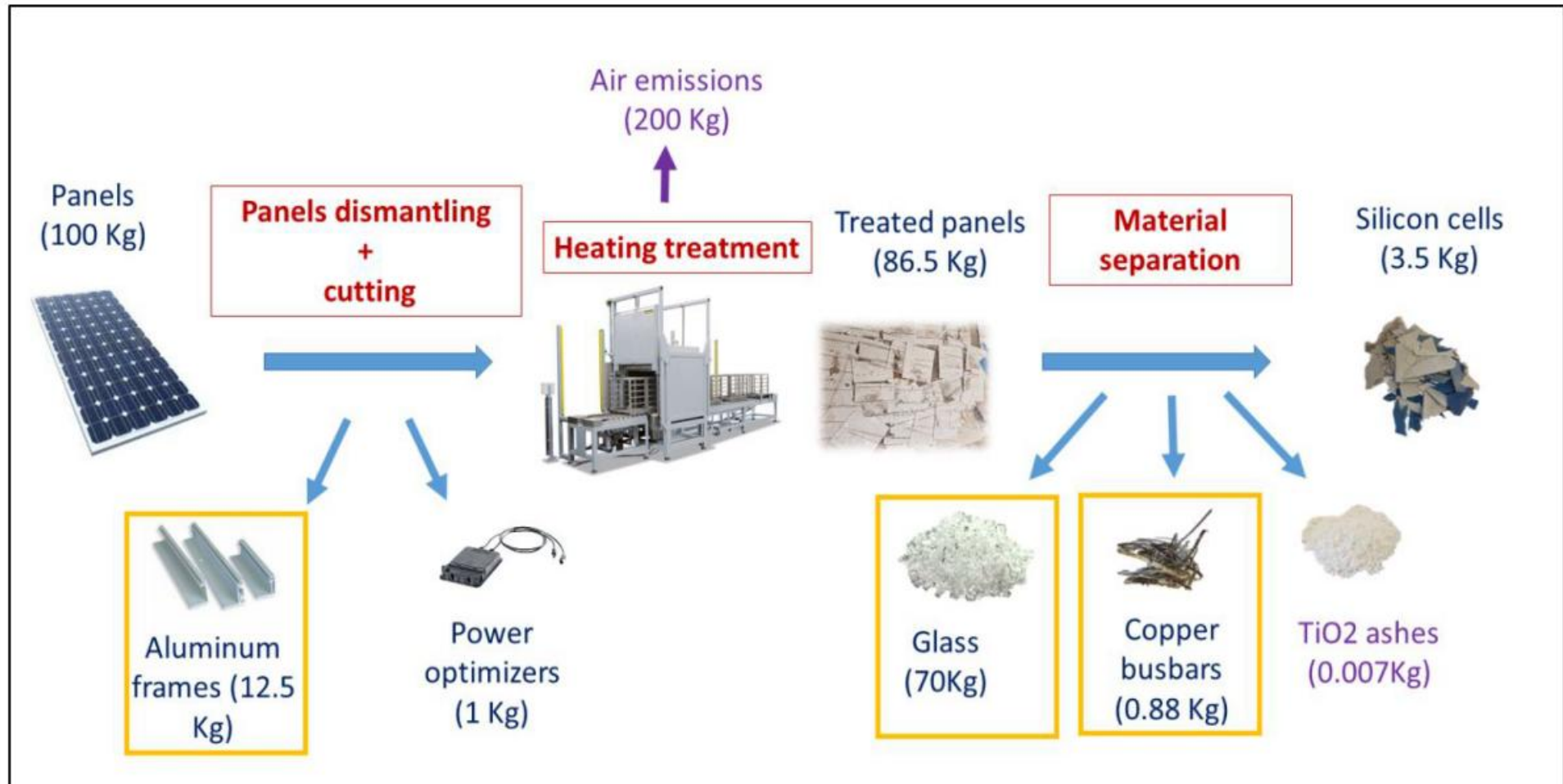
Duration: 3 years

Start: 01/04/2017

End: 31/03/2020



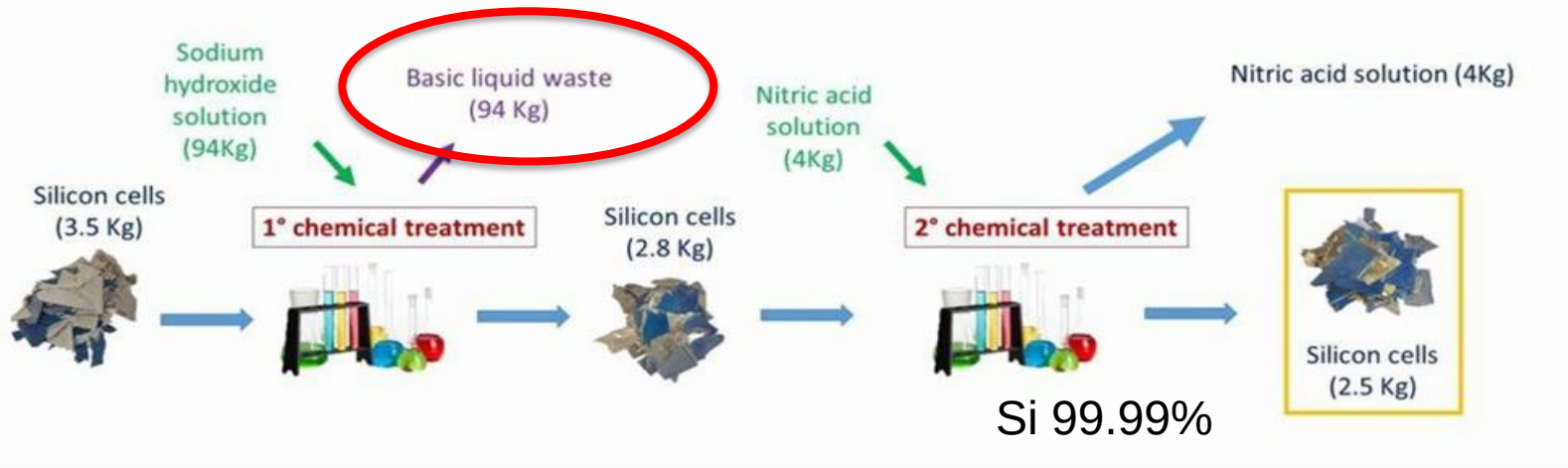
# Thermal treatment and material separation



This is the flowchart process

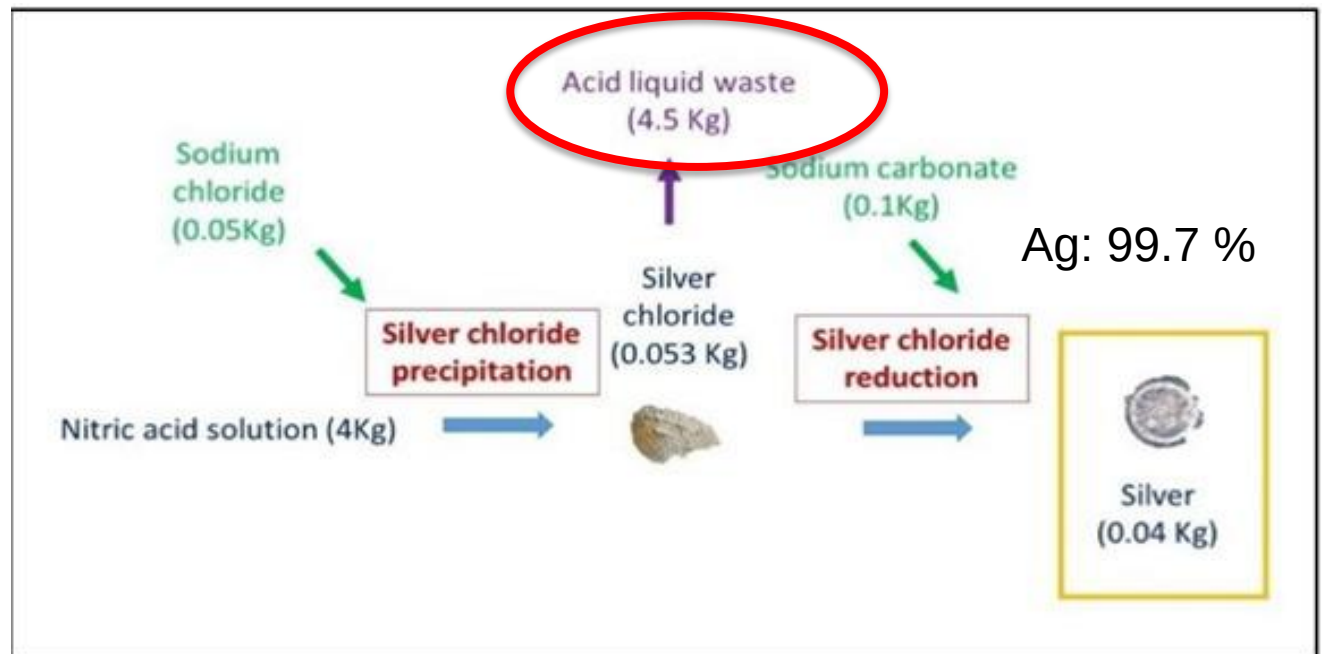
(Fonti: RESIELP)

# Hydrometallurgical treatment



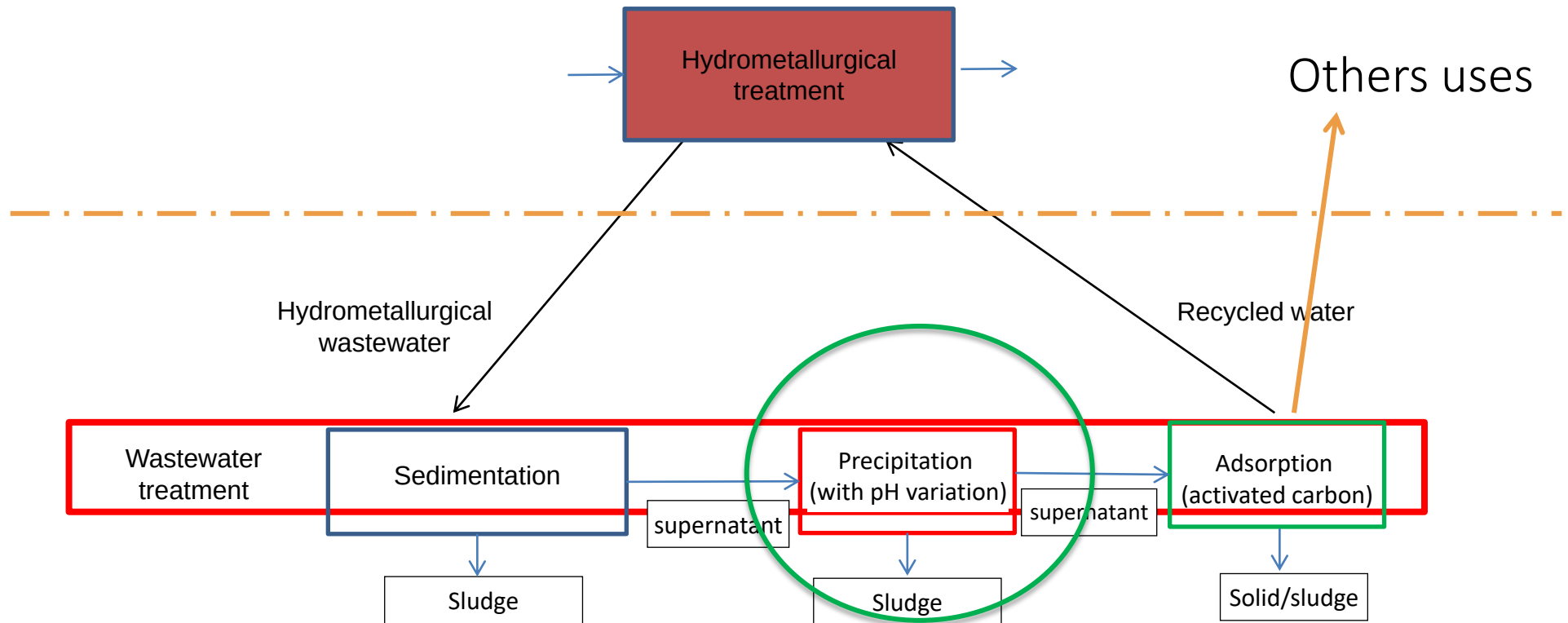
Hydrometallurgical treatments consist of chemical treatments with acid and basic solution. These treatments produce wastewater (basic and acid)

(Fonti: RESIELP)



# Wastewater treatment

Circular Economy approach! The wastewaters are treated with innovative methods for recovery of materials (water and solid)



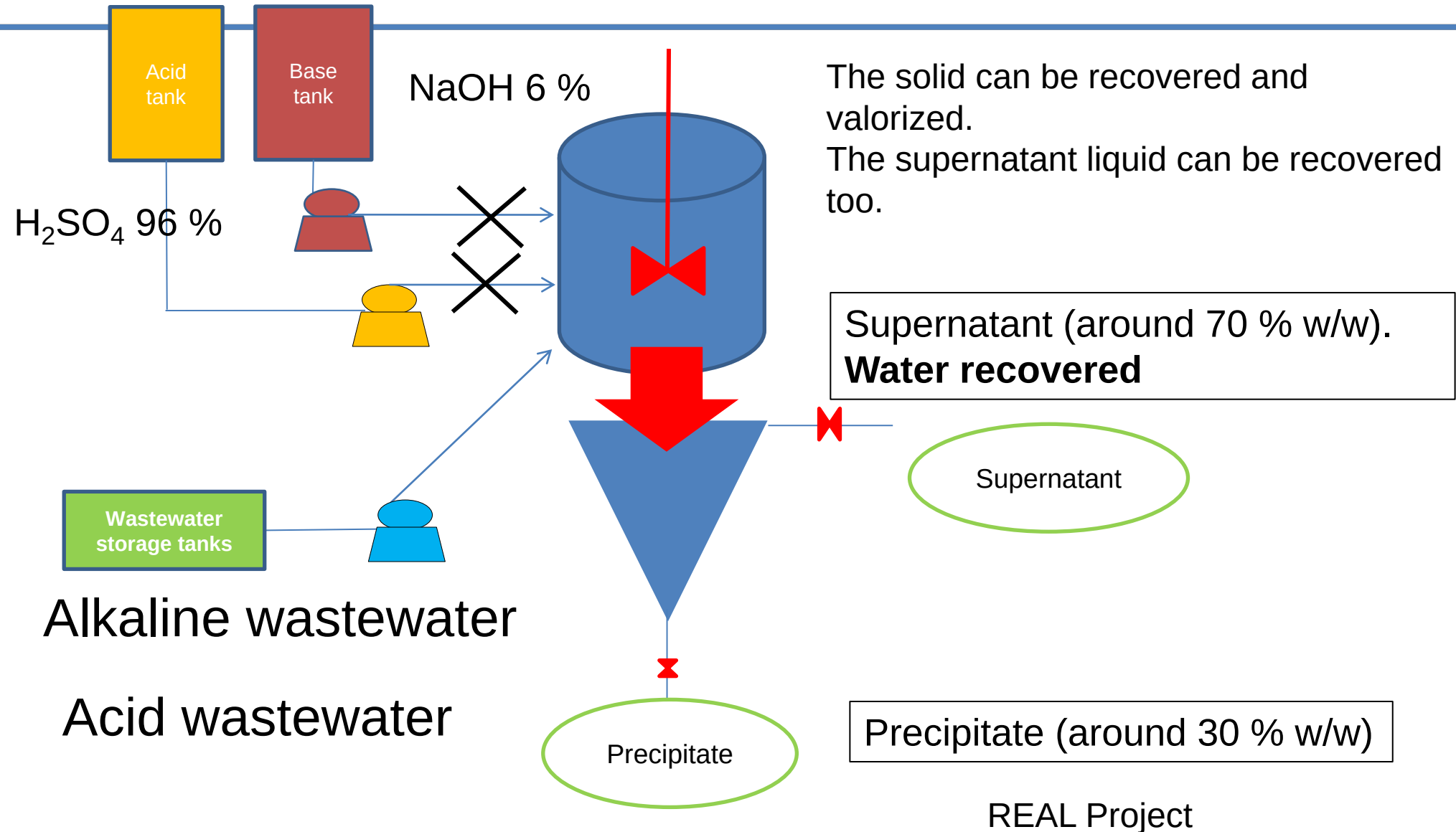
# Hydrometallurgical wastewater

There are two types of wastewater, based on pH

- ✓ Alkaline
- ✓ Acid

The wastewaters are treated with innovative method. This method consists of the mixing of the two wastewater, (acid and basic) in order to reach the neutralization and the precipitation of the solid.

# Flow chart of lab plant wastewater treatment



# Brevetto ENEA - Beta-tech Srl

Trattamento dei pannelli fotovoltaici a fine vita.  
Brevetto italiano (N. 102017000033488,  
MISEA00\_PIT.REGISTRO UFFICIALE  
U.O.0180568, 2019)

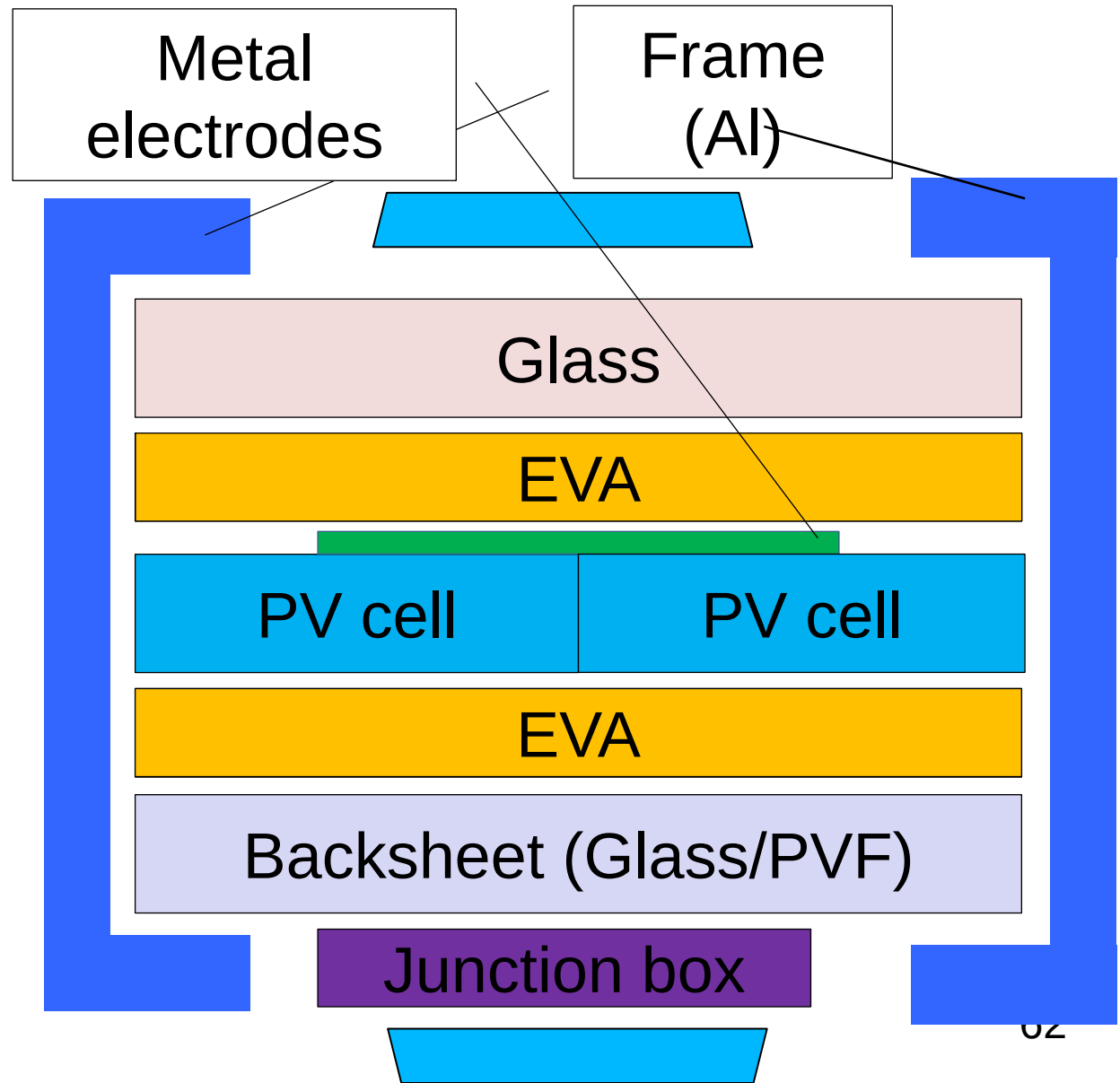
*Nuovo processo a basso consumo energetico  
e a basso impatto ambientale per il recupero  
dei componenti principali dei pannelli  
fotovoltaici in silicio cristallino a fine vita*



# ENEA. Italian patent

The method consists of controlled heating to soften the polymeric layers and the subsequent detachment of all remaining layers.

The process is roughly based on a thermal treatment that can be defined as "light". This is because the EVA layer is warmed only until the softening (around 100 Celsius degree). This warming is focused and for a time strictly requested for the detachment through the rip



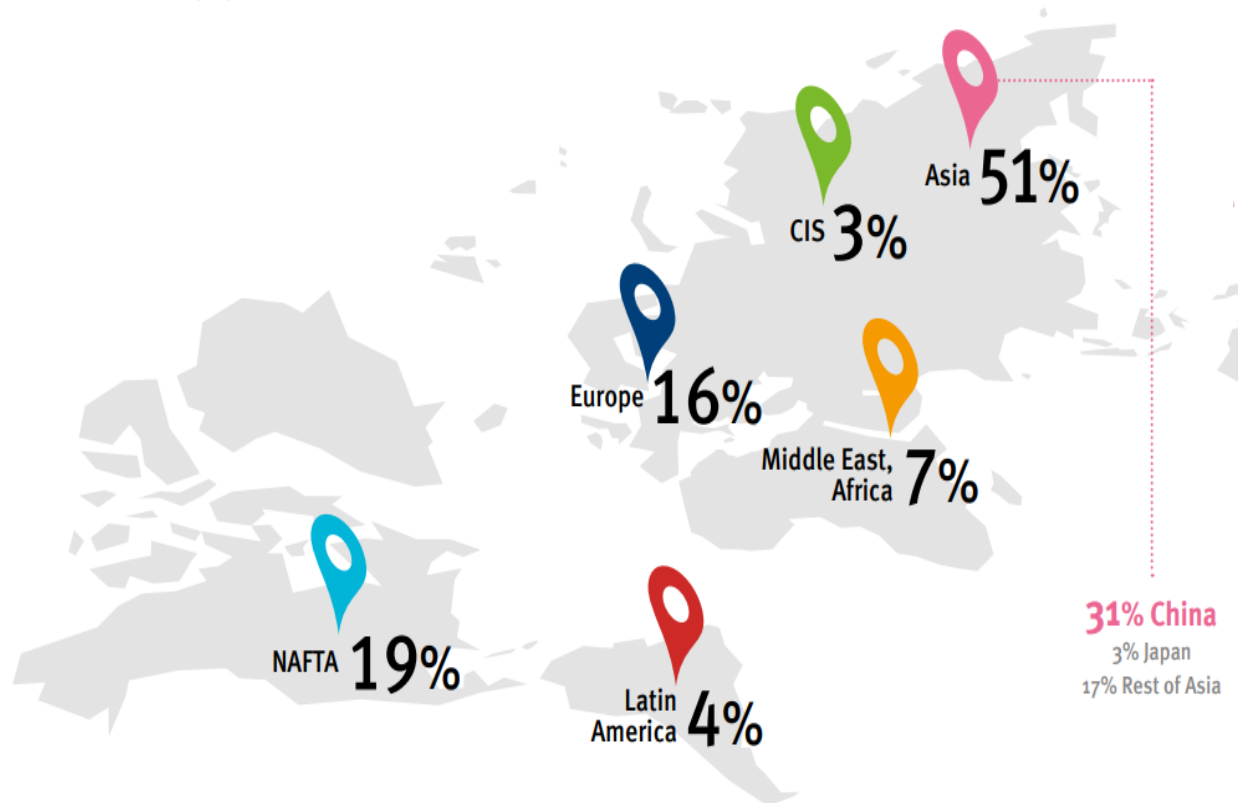
# Riciclo PLASMIX

Parlare di PLASTICA è una convenzione.

Occorrerebbe parlare di PLASTICHE

Si parla di prodotti e rifiuti di composizione e natura diversa, che presentano problematiche diverse, anche nel trattamento a fine vita

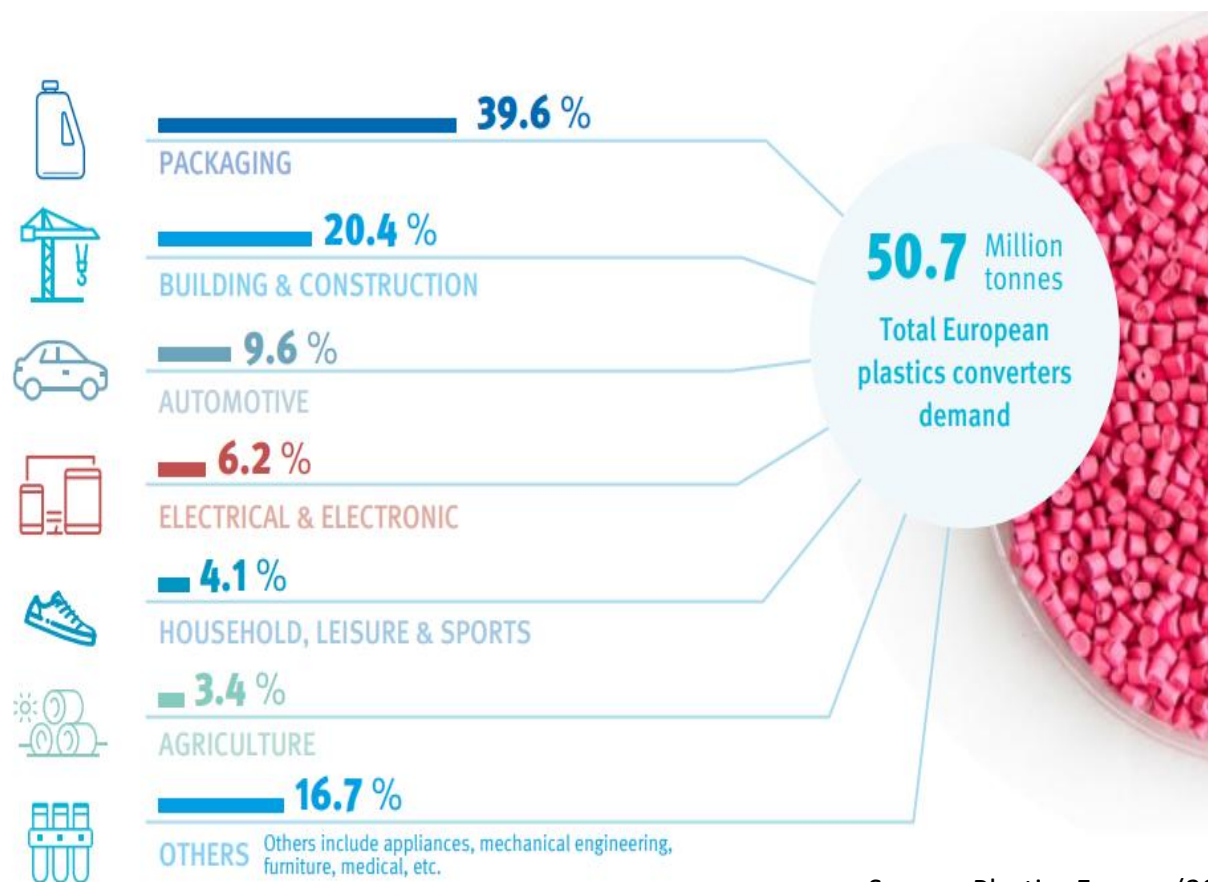
# La produzione mondiale delle plastiche



Nel 2019, la produzione globale delle plastiche ha raggiunto quasi 370 milioni di tonnellate (circa 7 milioni di tonnellate in Italia)

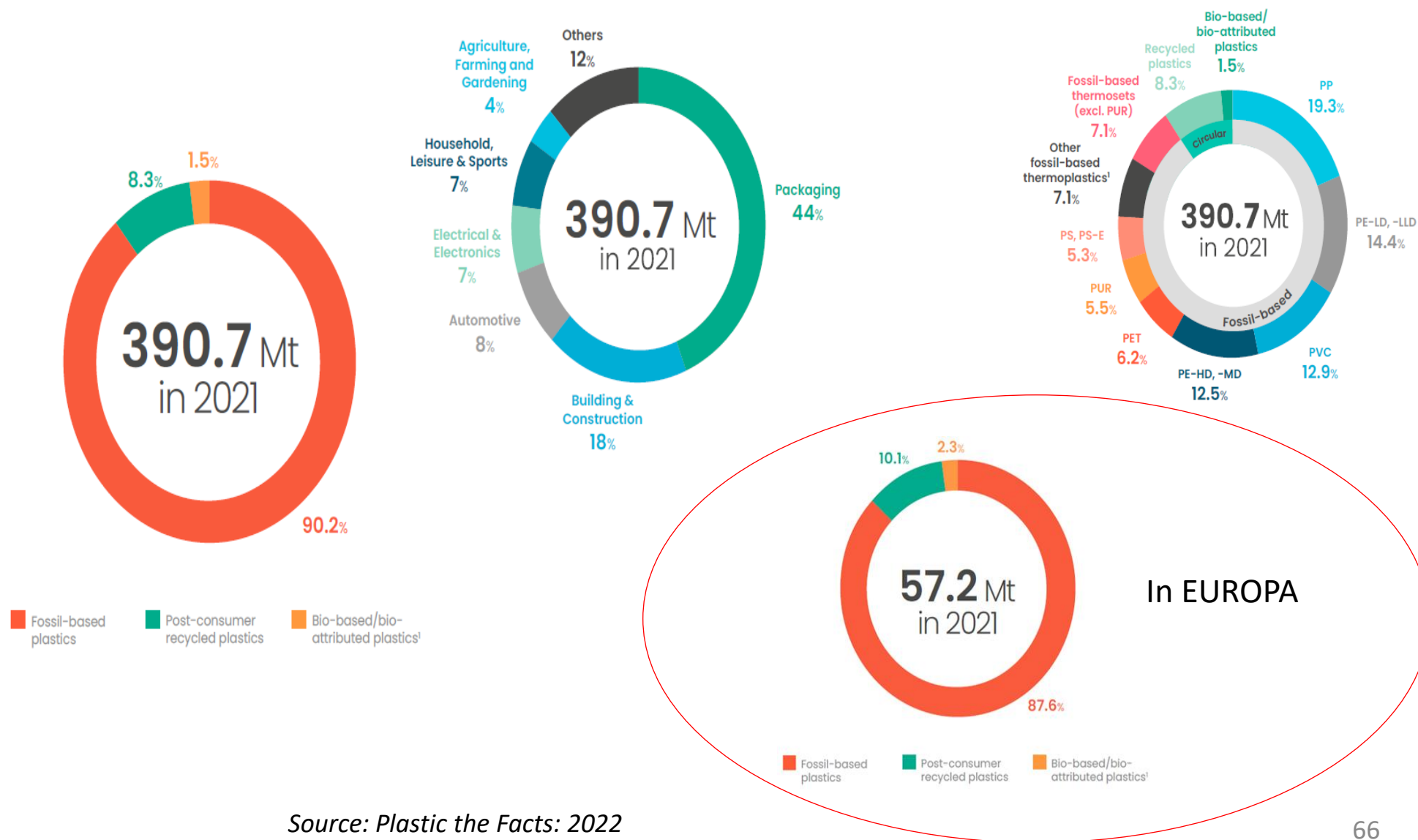
# I settori di impiego delle plastiche in Europa

Nel 2019, i settori degli imballaggi e delle costruzioni hanno rappresentato i principali mercati di riferimento

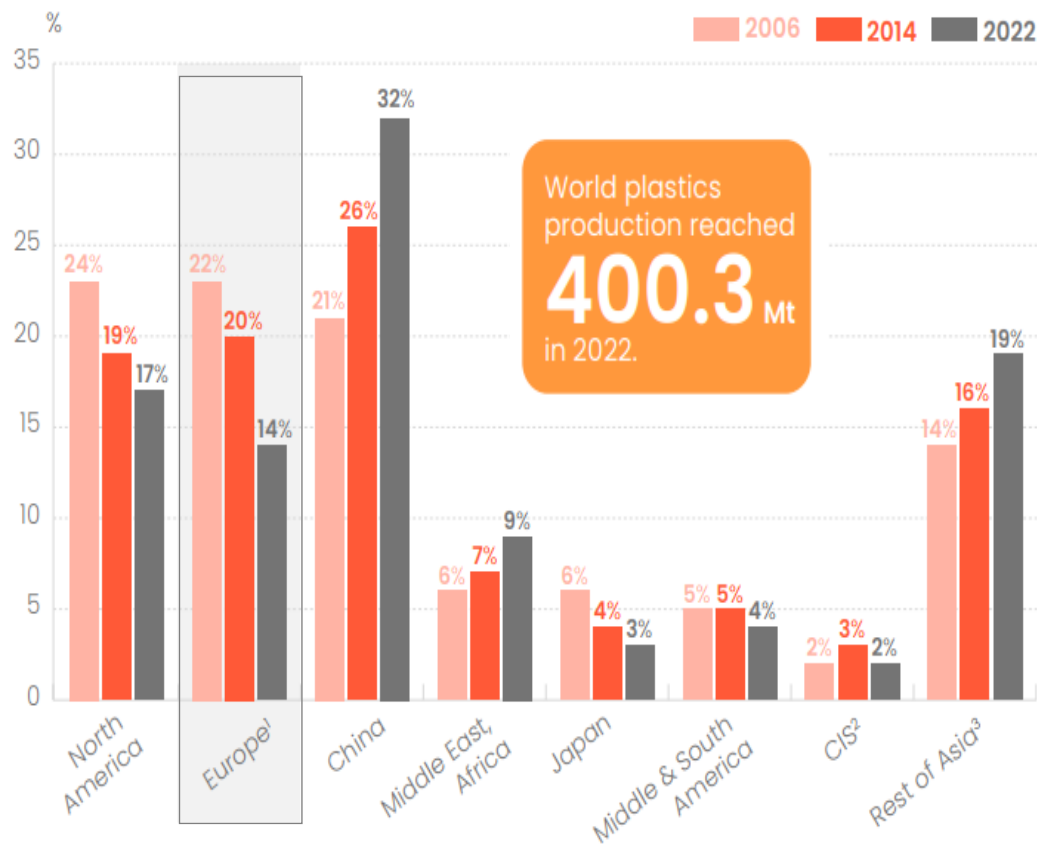


Source: Plastics Europe (2020). Plastics – the Facts 2020

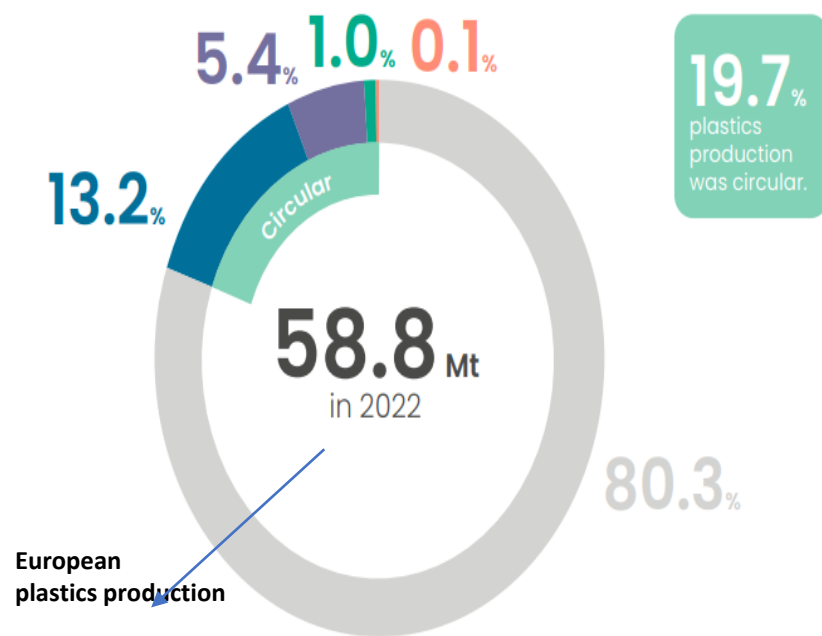
# 2021: Produzione mondiale e settori di impiego della plastica



# La produzione di plastica in Europa e nel Mondo 2022



In 2022, European production of **circular plastics** reached **11.7 Mt**. This accounted for 19.7% of European plastics production in 2022



The above data are rounded estimations.

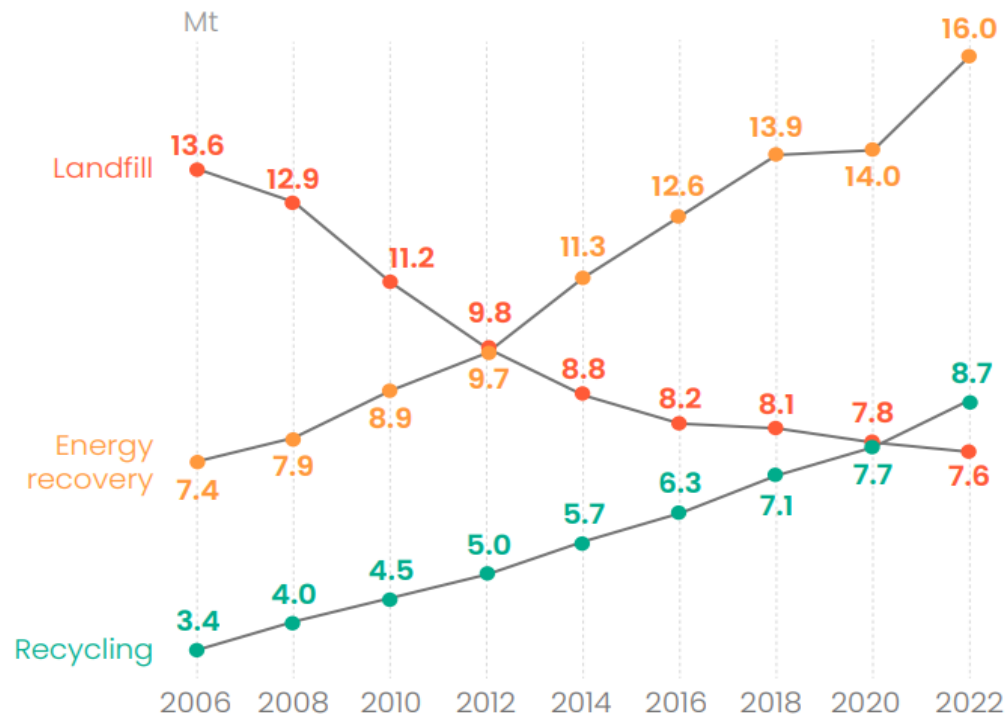
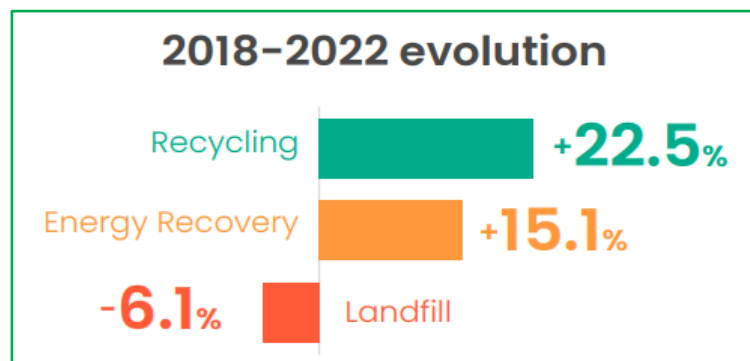
1. EU25+2 in 2006, EU28+2 in 2014, EU27+3 in 2022.

2. Commonwealth of Independent States: Armenia, Azerbaijan, Belarus, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Moldova, Russia, Tajikistan, Turkmenistan and Uzbekistan.

3. Includes Asian countries (except China & Japan), Oceania, Turkey and Ukraine.

# La gestione del fine vita delle plastiche in Europa 2022

| %    | Trattamento         |
|------|---------------------|
| 49,6 | Recupero energetico |
| 26,9 | Riciclo             |
| 23,5 | Discarica           |



Le esportazioni di rifiuti plastici in paesi extra-EU sono diminuite del 58% rispetto al 2016

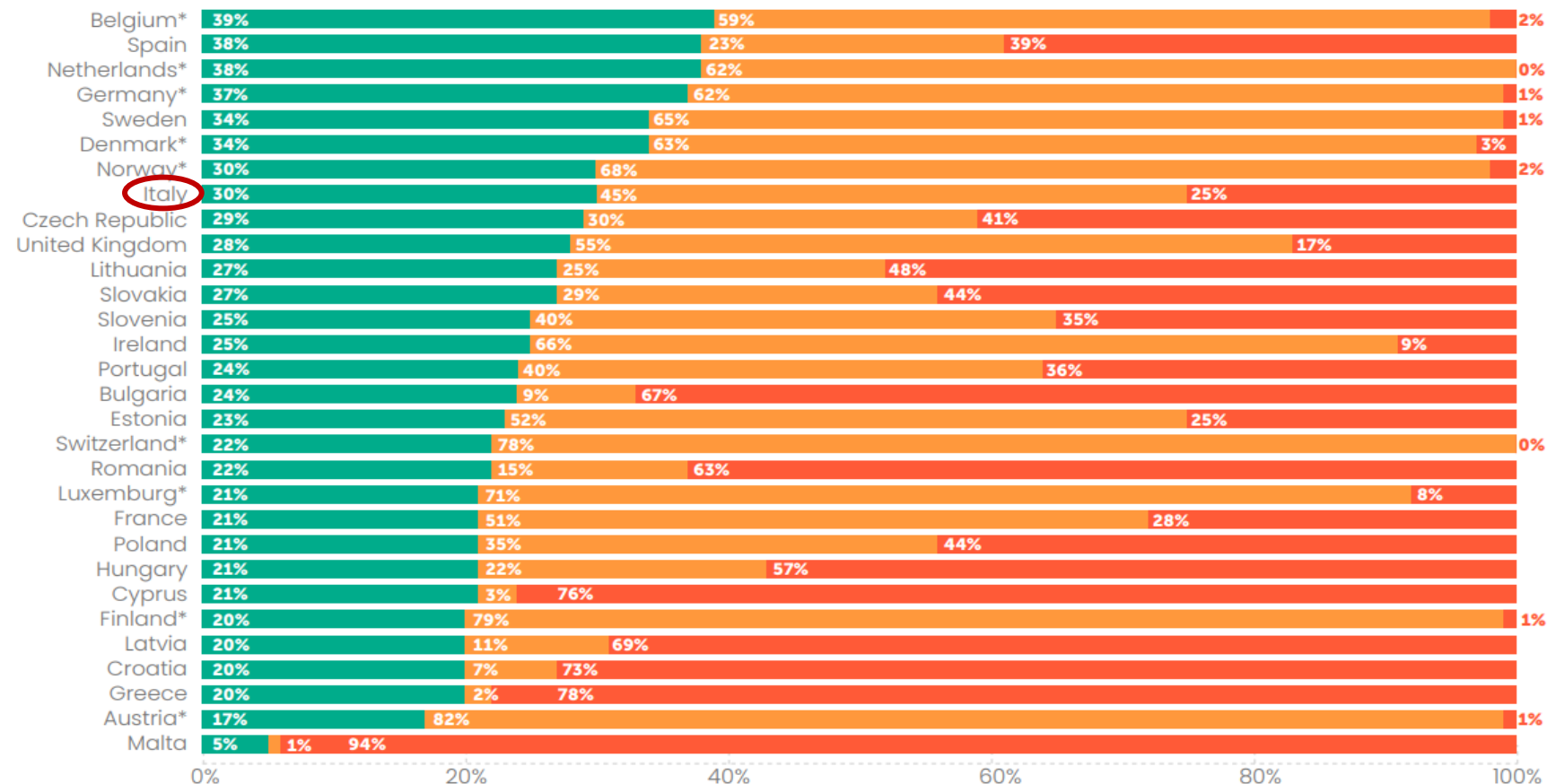
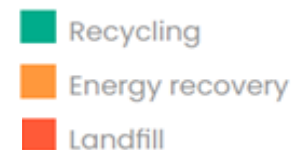


7,6 milioni di tonnellate di rifiuti plastici vanno ancora a finire in discarica

# La situazione in Italia 2022



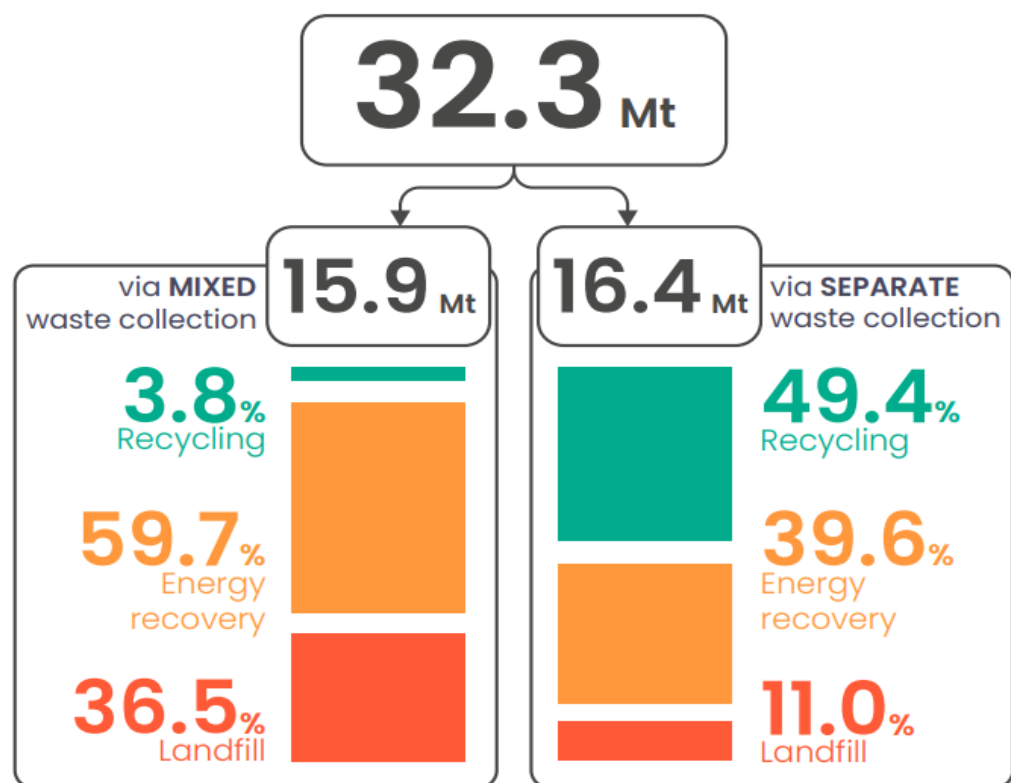
## Trattamento dei rifiuti plastici post-consumo per paese nel 2022



Nel 2022, l'Italia è 8° in Europa per il tasso di riciclo di rifiuti plastici post-consumo

# La gestione del fine vita delle plastiche in Europa

Nel 2022, sono stati raccolti **32,3 milioni di tonnellate** di rifiuti plastici post-consumo



I tassi di riciclo dei rifiuti in plastica sono 13 volte più alti quando provengono dalla raccolta differenziata

# Obiettivi e azioni in Europa e Italia

## Azioni:

- Design for recycling,
- Collection and sorting
- Contenuto riciclato
- R&D e investimenti



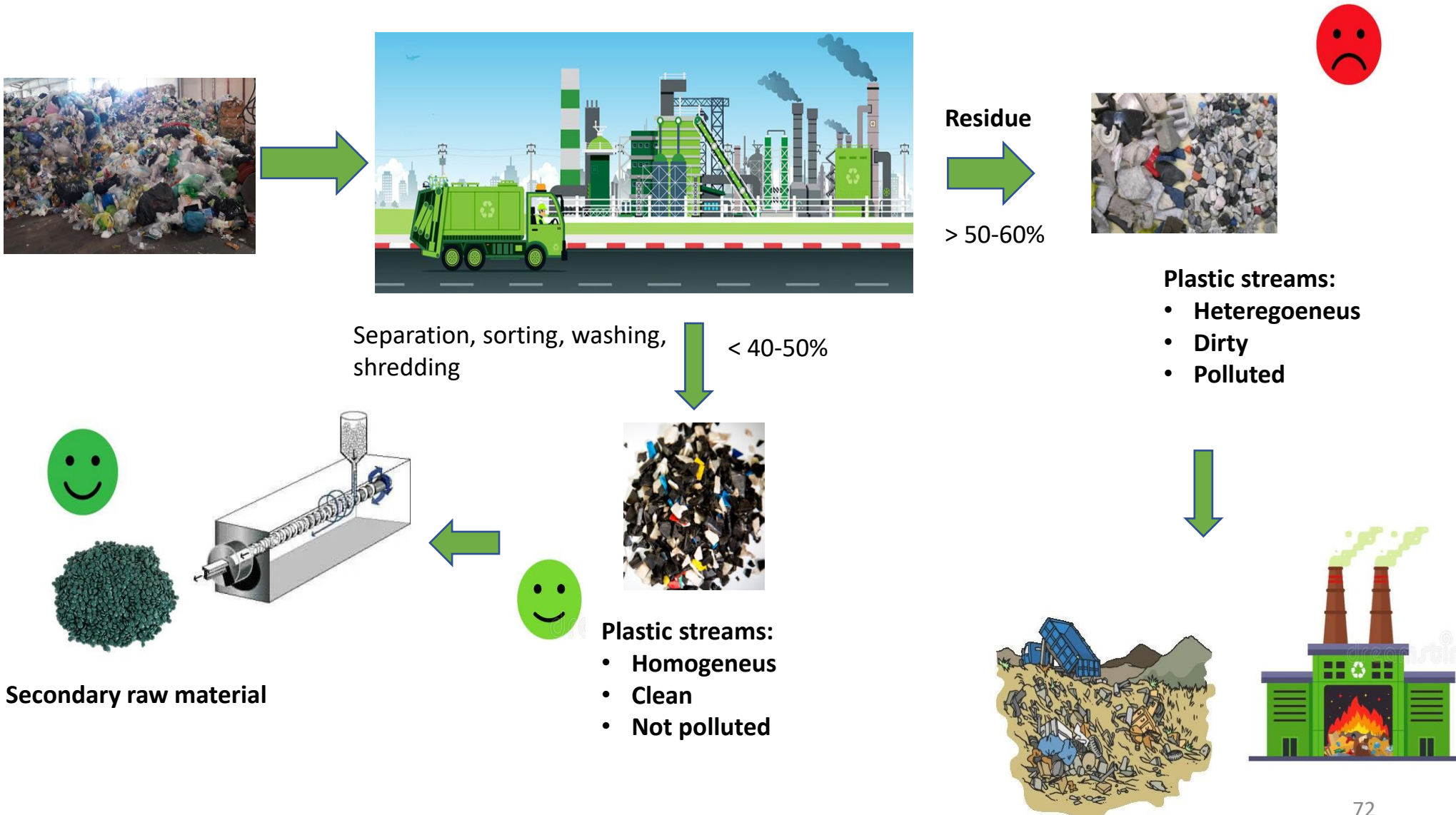
## Obiettivi europei di riciclo imballaggi:

- 50% al 2025
- 55% al 2030

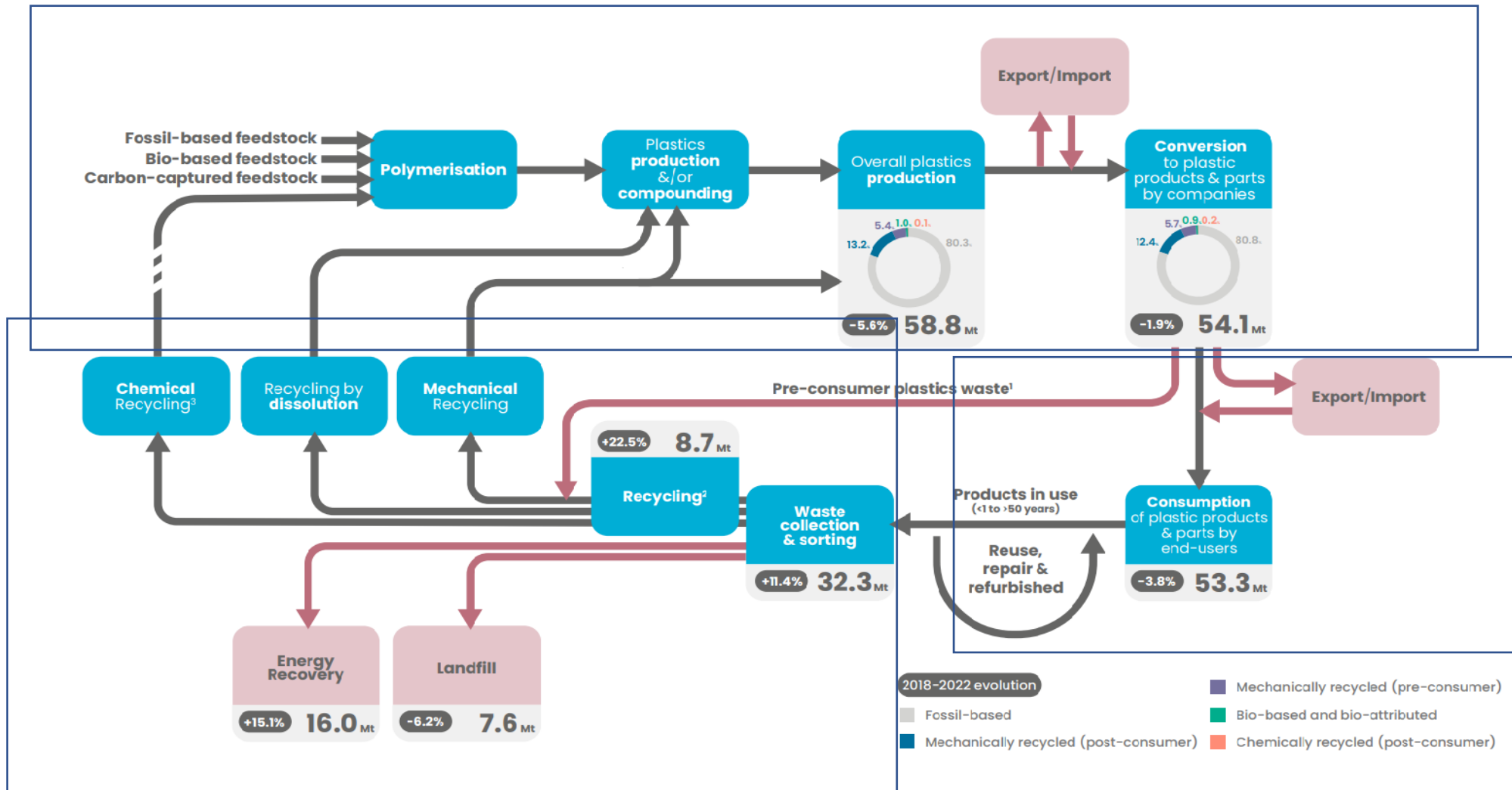
**DIRETTIVA (UE) 2018/852**

- PNRR: 600 milioni di euro per la realizzazione di progetti faro di economia circolare per filiere industriali strategiche. Linea d'intervento C è rivolta alla *“Realizzazione di nuovi impianti per il riciclo dei rifiuti plastici (attraverso riciclo meccanico, chimico, Plastic Hubs), compresi i rifiuti di plastica in mare cd. Marine litter”*.
- PNGR: prevede tecnologie di riciclo chimico per il trattamento del plasmix

# Il percorso «classico» dei rifiuti della plastica



# La plastica circolare in Europa (2022)



# Riciclo meccanico



1. **CASSONETTO CAMPANA:** la plastica inserita nei cassonetti della RD viene prelevata e trasportata presso i centri di selezione e/o selezione/riciclo
2. **SEPARAZIONE:** il materiale viene separato per categoria merceologica (caso multimateriale, presso centri comprensoriale-CC-e di pressatura (con o senza pre-pulizia e/o selezione della raccolta multimateriale)
3. **SELEZIONE:** in questo processo la plastica viene separata da frazioni estranee ulteriori e suddiviso nelle diverse frazioni polimeriche riciclabili (PP; PE, PET, PS, ecc) (**centri di selezione-CSS**)
4. **MACINAZIONE:** il materiale selezionato viene macinato e lavato
5. **LAVORAZIONE:** tramite processi di estrusione, densificazione il materiale viene trasformato in scaglie o granuli per la produzione di nuovi oggetti in plastica riciclata (**centri di selezione e riciclo**)
6. **PRODOTTI DEL RICICLO:** dalla plastica riciclata si ottengono imbottiture, maglioni in pile, flaconi da imballaggio e altri imballaggi, vasi per giardinaggio, sacchetti per la spazzatura, oggetti di arredo urbano

## Criticità

- Necessità di additivi
- Non è infinito
- Funziona bene con rifiuti omogenei (imballaggi rigidi)



PET



HDPE

HDPE: polietilene ad alta densità  
PET: polietilene tereftalato

## Obiettivi europei di riciclo imballaggi:

- 50% al 2025
- 55% al 2030



**DIRETTIVA (UE) 2018/852**

# L'approccio complementare del riciclo chimico: le principali tecnologie

- Il **riciclo chimico** converte nuovamente i rifiuti plastici in materie prime secondarie. È un processo in cui la struttura chimica del polimero viene modificata e convertita in elementi costitutivi chimici inclusi i monomeri che vengono poi riutilizzati come materia prima nei processi chimici (riducendo la necessità di risorse fossili vergini)
- Questo processo modifica la struttura dei rifiuti plastici e li trasforma in **blocchi chimici di base**, inclusi i **monomeri**, che possono poi essere nuovamente utilizzati come materie prime nei processi chimici.
- Il riciclo chimico comprende processi come la **gassificazione**, la **pirolisi** e la **depolimerizzazione**.
- Secondo un **approccio complementare al riciclo meccanico**, nuove vie di riciclo permettono di gestire rifiuti plastici che altrimenti verrebbero smaltiti, consentendo ulteriore recupero di materia:

# Plasmix-definizione e composizione

**PLASMIX**: rifiuti costituiti dagli scarti della RD; dagli imballaggi selezionabili ma persi nel processo di selezione.

Generalmente avviato a trattamento per il successivo **recupero energetico e a smaltimento in discarica**.

**Negli ultimi anni è cresciuto il riciclo chimico, oltre a quello meccanico. Anche grazie al miglioramento del sorting**

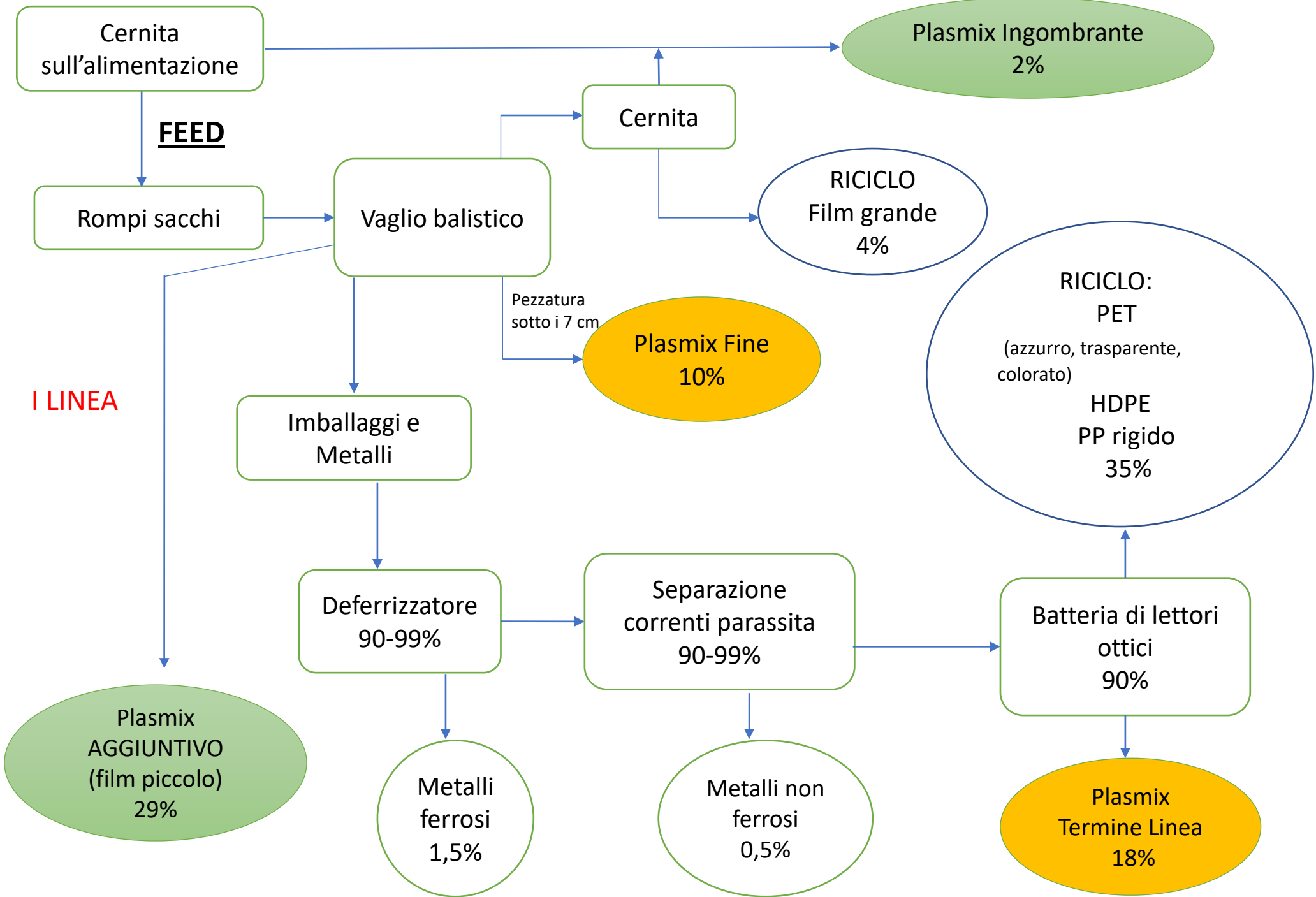
Dal punto di vista impiantistico il PLASMIX si suddivide in 4 macrocategorie:

1. **PLASMIX Termine Linea**: flusso residuale dalle attività di selezione dei prodotti;
2. **PLASMIX Fine**: flusso di dimensioni ridotte derivante dalle operazioni della prima vagliatura della RD, per tipologia merceologica e dimensione più ricco di frazione estranea.
3. **PLASMIX Ingombrante**
4. **PLASMIX Aggiuntivo (film)**



COMPOSIZIONE VARIABILE!  
(qualità della RD+raccolta locale,  
processo di selezione impianto,  
mercato dei materiali riciclabili  
secondari SRM - Secondary Raw  
Materials).

| Commodity-related component   | Quantity (wt%) | Commodity-related component | Quantity (wt%) |
|-------------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|
| PET (containers for liquids)  | 7,83           | Aluminium                   | 0,89           |
| PET (bowls)                   | 0,63           | Iron and steel              | 2,44           |
| Plastic tape                  | 0,21           | Cardboard                   | 1,10           |
| HDPE (containers for liquids) | 1,35           | tetrapack                   | 2,03           |
| PP (containers for liquids)   | 0,90           | Wood                        | 0,93           |
| PP (bowls)                    | 8,73           | Glass                       | 0,74           |
| Film                          | 43,30          | Paper                       | 4,11           |
| Other plastic objects         | 15,72          | Textile                     | 0,74           |
| PS (rigid and expanded)       | 2,65           | Inert                       | 2,19           |
| PVC                           | 1,25           | Others                      | 2,30           |



# Impianti per il trattamento del plasmix-I

Gli impianti comprendono:

- gli impianti **di recupero energetico;**
- gli impianti di ~~termovalorizzazione;~~
- gli impianti **per riciclo chimico e per riciclo meccanico.**

Il processo di trattamento del PLASMIX negli impianti di preparazione per avvio a recupero, **genera scarti di processo non recuperabili che vengono di norma avviati a smaltimento. Al momento non si recupera il 100 %**

# Impianti per il trattamento del plasmix-II

- Riciclo meccanico del plasmix. Matrice adatta (poliolefine tipo PP e PE) e feed omogeneo
- Riciclo chimico del plasmix. Feed anche non omogeneo ma non contaminato (ex. solfuri). Altrimenti si generano prodotti (es. dalla pirolisi olio, char, gas) che non rispettano norme UNI per la commercializzazione
- Una quota parte di plasmix può essere trasformata in SRA (Secondary Reduce Agent) ed è destinata **ad acciaierie a ciclo integrato in sostituzione del coke metallurgico.**

# Uso del plasmix come agente riducente (SRA) in acciaieria-I

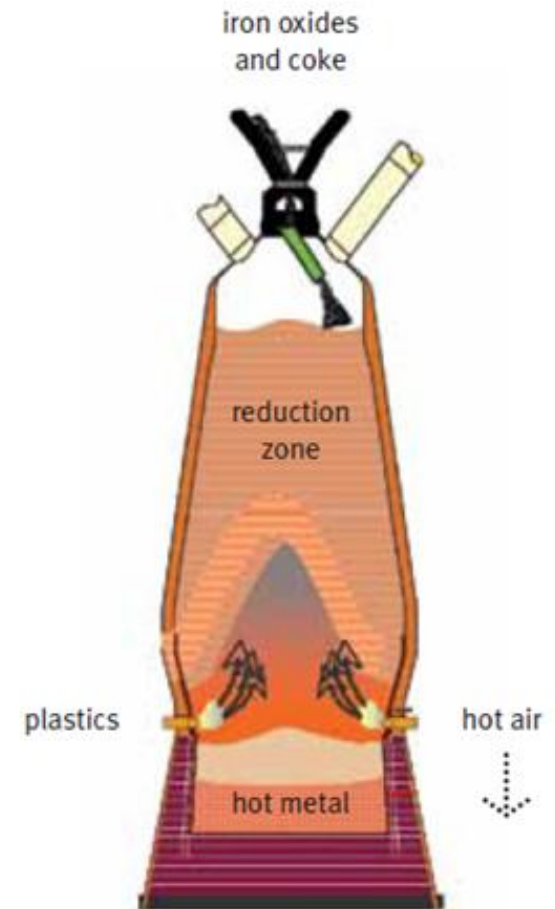
A livello europeo sono state sviluppate **sinergie** che coinvolgono **le acciaierie**, che permettono di trattare **220 kt di plastiche miste** in combinazione con impianti di recupero energetico (altre 600 kt)

## IMPIEGO DI PLASTICA MISTA COME SRA

I rifiuti di plastica, approssimativamente descritti come un **composto idrocarburico**, possono essere utilizzati come agente riducente in acciaierie con una capacità riducente superiore rispetto agli agenti riducenti tradizionali come l'olio minerale o il coke.

Oltre 400.000 tonnellate di CO<sub>2</sub> risparmiate all'anno e ulteriore riduzione delle emissioni come SO<sub>2</sub> e polveri nell'aria.

Esempi anche in Italia.



# Esempio di schema impiantistico per recupero meccanico del plasmix poliolefinico: produzione del granulo

- Post deferrizzazione, il materiale viene fatto confluire anche in **vasche flottanti** che permettono di separare i materiali plastici in base al peso specifico: solo le poliolefine non affondano e procedono verso la fase di **asciugatura ed essiccazione** per eliminare qualsiasi traccia di umidità
- I 'flakes' di materiale poliolefinico vengono raccolti preparati per entrare nell'area nell'**estrusore monovite** che lo trasforma in una massa fluida. (200 °C)
- Un ultimo sistema di filtri laser consente di eliminare le impurità residue e di inviare la 'pasta viscosa' al secondo **estrusore bivate con aggiunta di additivi** (200 °C)
- Infine la massa viene avviata alla di granulazione a caldo, dove il materiale viene tagliato in granuli e raffreddato.

Granulo poliolefinico

(Fonte: REVET)



# Esempi di uso del granulo poliolefinico

| Prodotto y |                  |
|------------|------------------|
|            | % in miscela (*) |
| LLDPE/LDPE | 15               |
| HDPE       | 25               |
| PP         | > 50             |

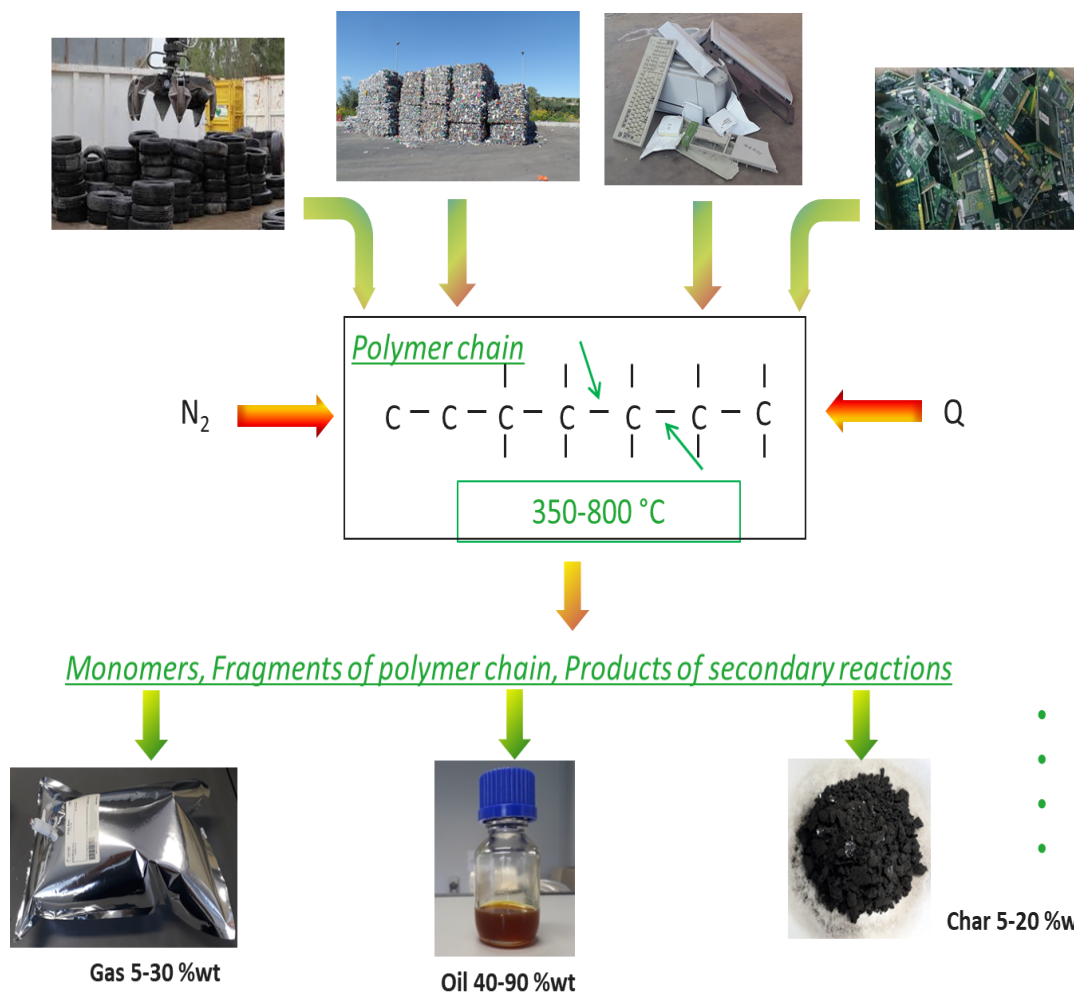
ESEMPI DI UTILIZZO E PROGETTI IN CORSO



ESEMPI DI UTILIZZO E PROGETTI IN CORSO



# Riciclo chimico. La pirolisi e i suoi prodotti



| RESIN | STRUCTURE                                                                                                                          | MAJOR ORIGIN OF WASTE                                                   | THERMOLYSIS PRODUCT                                      |                                        |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| PE    | $\left( \begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\   &   \\ \text{---C---C---} \\   &   \\ \text{H} & \text{H} \end{array} \right)_n$ | Household, industrial plastic packaging, agricultural plastics          | Waxes, paraffins, olefins                                | OIL REFINERY FEEDS > CHEMICALS, DIESEL |
| PP    | $\left( \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{---CH---CH}_2\text{---} \\   \\ \text{H} \end{array} \right)_n$                 | Household and industrial plastic packaging, automotive                  | Waxes, paraffins, olefins                                |                                        |
| PS    | $\left( \text{---CH}_2\text{---CH(C}_6\text{H}_5\text{)---} \right)_n$                                                             | Household, industrial plastic packaging, construction, demolition, WEEE | Styrene, its oligomers                                   | MONOMERS                               |
| PA-6  | $\left( \text{---NH---CH}_2\text{---CH}_2\text{---C(=O)---} \right)_n$                                                             | Automotive waste                                                        | Caprolactam                                              |                                        |
| PMMA  | $\left( \text{---CH}_2\text{---C(CH}_3\text{)(COOCH}_3\text{)---} \right)_n$                                                       | Automotive, construction waste                                          | MMA (methyl methacrylate)                                |                                        |
| PET   | $\left( \text{---O---C}_6\text{H}_4\text{---C(=O)---O---CH}_2\text{---CH}_2\text{---} \right)_n$                                   | Household plastic packaging                                             | Benzoic acid, vinyl terephthalate                        | UPGRADING > CHEMICALS, FUELS           |
| PUR   | $\left( \text{---NH---C}_6\text{H}_4\text{---NH---C(=O)---} \right)_n$                                                             | Construction, demolition, automotive                                    | Benzene, methane, ethylene, $\text{NH}_3$ , $\text{HCN}$ |                                        |
| PVC   | $\left( \text{---CH}_2\text{---CHCl---} \right)_n$                                                                                 | Construction plastic waste                                              | $\text{HCl}$ (< 300C), benzene                           |                                        |

- Process parameters
- Plastic load
- Geometry reactor
- Catalysts

In assenza di ossigeno!

# Altri esempi di riciclo chimico

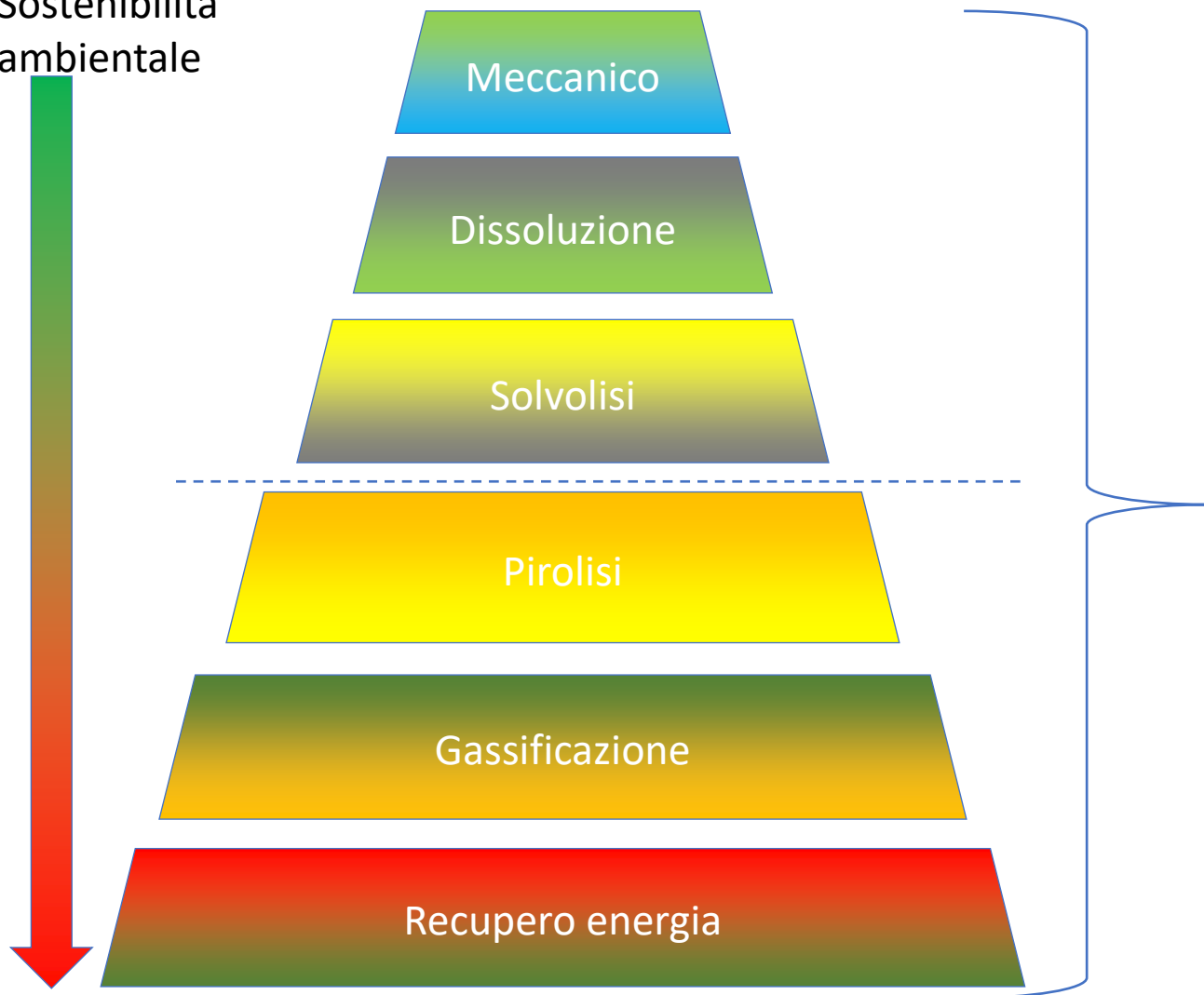
La «**depolimerizzazione**», o **chemiolisi** o **solvolisi**, è un processo, in cui rifiuti di plastica selezionati vengono scomposti in monomeri (elementi costitutivi di base) per reimmetterli nella produzione di plastica come materia prima secondaria. T inferiori a 70 °C. (Es di solventi: xilene, metanolo, etc.)

La «**dissoluzione**» è un processo in cui i rifiuti vengono sciolti in un solvente (senza rottura di legami) per separare o purificare una plastica. Dopo il processo di selezione-preparazione della plastica mista, il materiale viene sottoposto ad un processo che utilizza calore (< 70 °C) e solventi. (Es di solvente: Dimetil etil chetone per il PVC).

I **processi di gassificazione** prevedono il riscaldamento del polimero, ma in questo caso a temperature più elevate (700-800°C) e in presenza di una quantità controllata sia di ossigeno che di acqua. Il principale prodotto della gassificazione è il **syngas** che può essere utilizzato come carburante in motori a combustione interna o turbine a gas, o come materiale di base per la produzione di prodotti chimici.

# Tecnologie di riciclo/trattamento

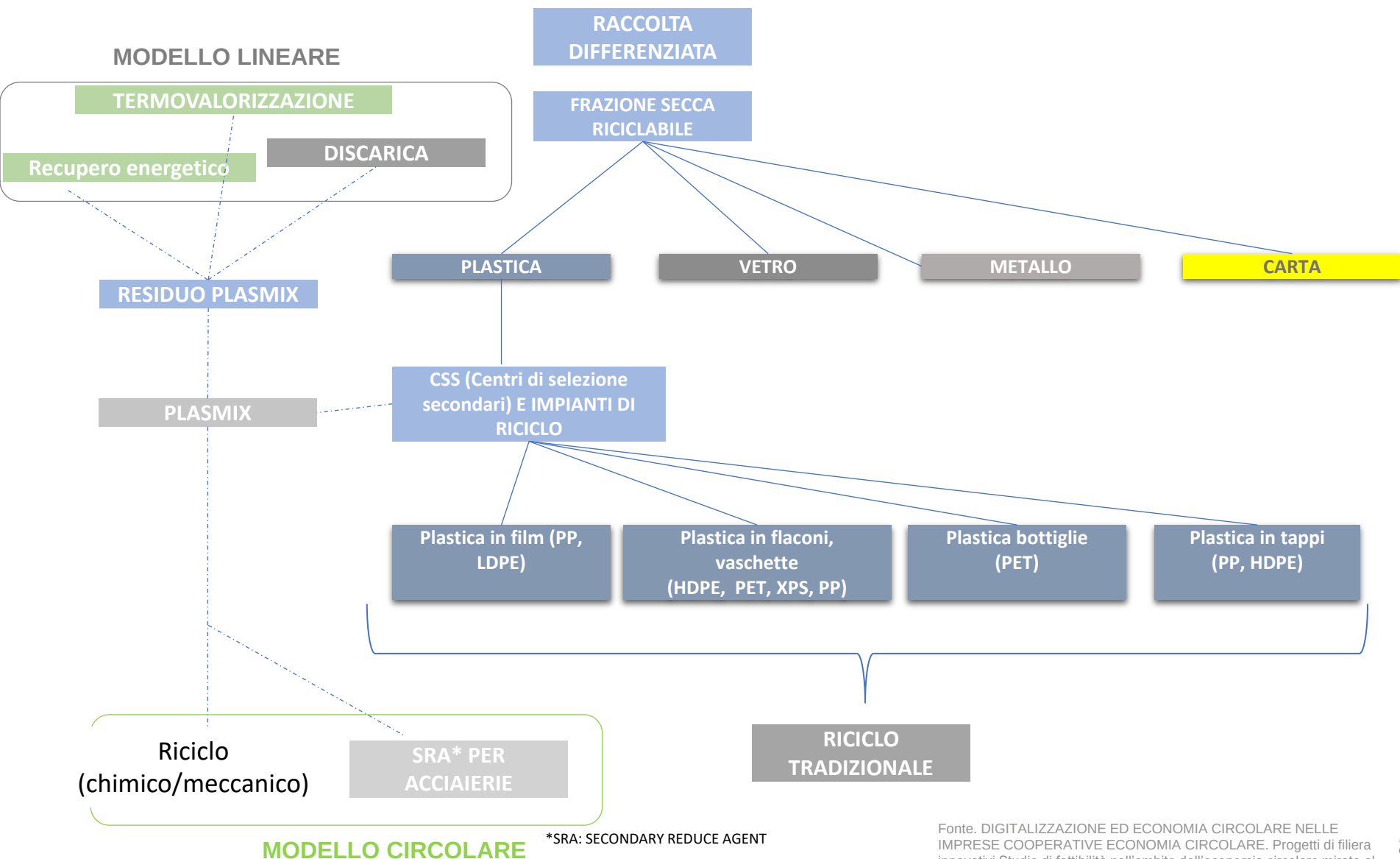
Sostenibilità  
ambientale



- ✓ Monomateriale
- ✓ Materiali misti
- ✓ Materiali inquinati
- ✓ Car fluff/CSS

Complessità del rifiuto

# Riepilogo gestione dei rifiuti da imballaggio in plastica



# DEGRADATION OF PLASTIC IN THE MARINE ENVIRONMENT

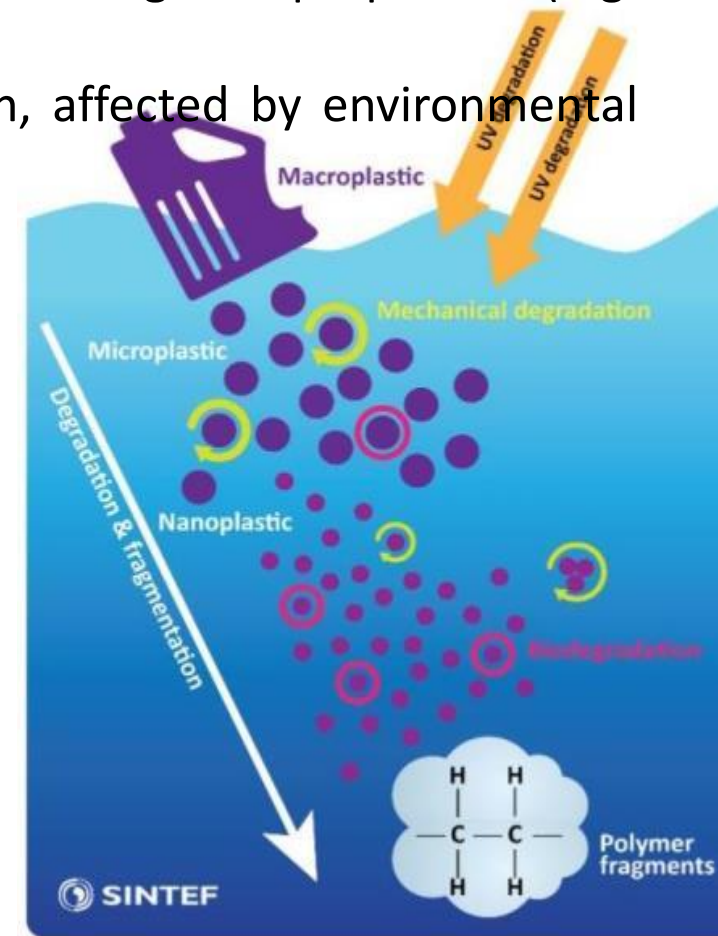
- **Degradation is an irreversible process** leading to a significant change in the structure of a material, typically characterized by a change of properties (e.g. integrity, molecular mass or structure, mechanical strength) and/or fragmentation, affected by environmental conditions

- ✓ The degradation of plastics is highly influenced by:

- polymer composition
- presence of additives, filler, pigments etc.

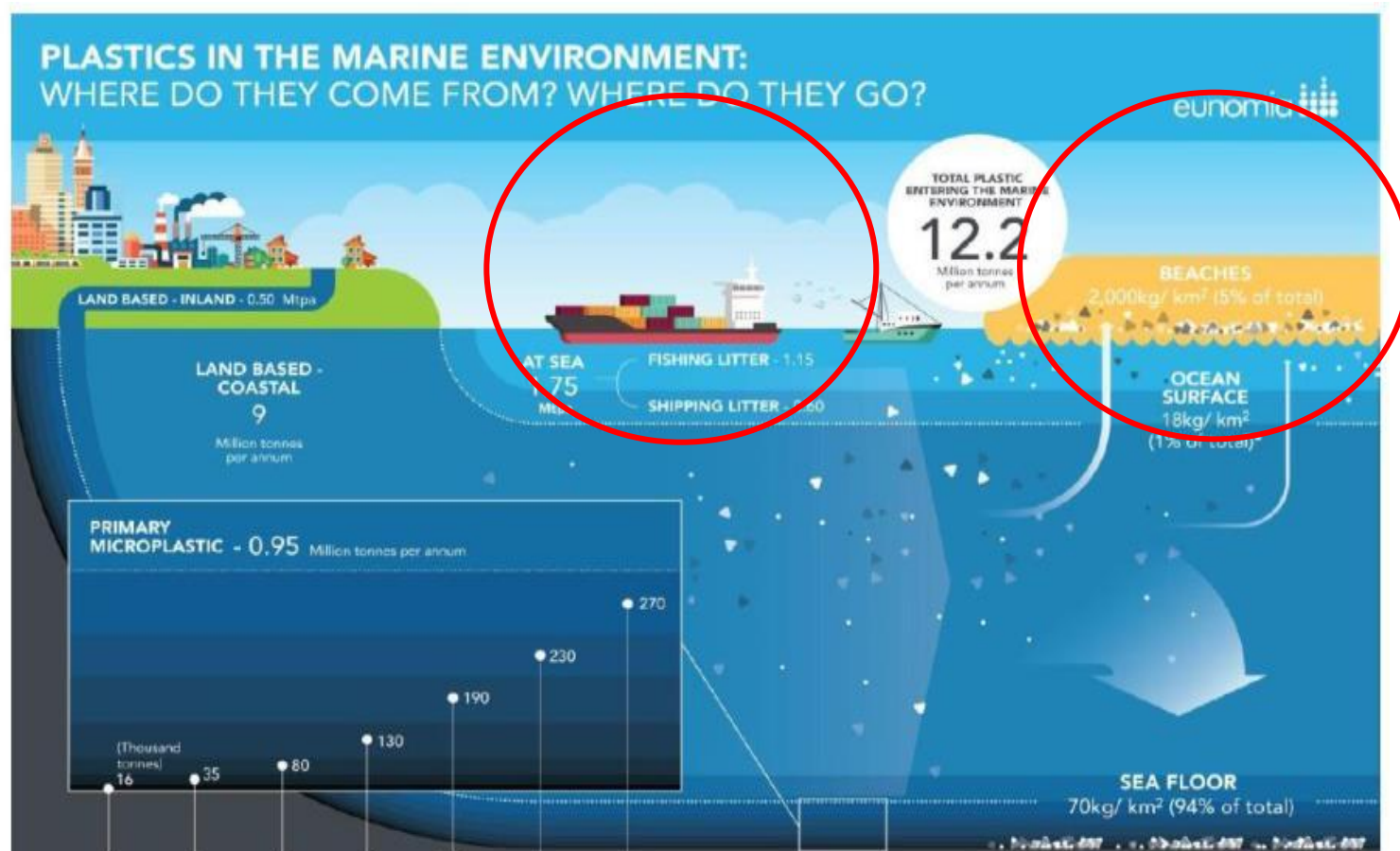
- ✓ The kinetics of polymer degradation in the environment depends on the **specific combination of conditions in the marine environment**:

- oxygen concentration; water chemistry; temperature,
- presence of other chemicals,
- sunlight (UV),
- degrading microorganism community dynamics



Overview of the main degradation processes and the fragmentation of plastic items in the marine<sup>87</sup> environment.

# PLASTIC IN THE MARINE ENVIRONMENT: THE SOURCES OF MACROPLASTIC AND MICROPLASTIC IN THE WORLD'S OCEANS



**FISHING and SHIPPING LITTER or PLASTIC BEACHES LITTER**



**OUR RESEARCH:**

**IS IT POSSIBLE TO RECYCLE THESE KIND OF PLASTICS THROUGH A COMPLEMENTAR**

Eng. Jenna Jambeck, a 2022 MacArthur Foundation awardee for her work against plastic pollution of the seas, has calculated that every year **8 million tonnes** of plastic waste end up in the sea

# RESEARCH APPROACH FOR MUSSEL NET-MECHANICAL RECYCLING

- **Mussels net** is the most common category of waste plastics which is possible to find in sea and on the beaches.
- A **mechanical recycling** test was carried out. It consist of different phase:

- **Physical and Chemical Washing**
- **Characterization**
- **Milling**
- **Densification in granules for extrusion**



**EXTRUSION OF MUSSEL NET TO PRODUCE A FILAMENT  
TO BE USED AS A TONER IN 3D PRINTING PROCESS**



# RESEARCH APPROACH FOR MUSSEL NET: MERCEOLOGICAL ANALYSIS

Sample of mussel net (8 kg) deriving from a cooperative in southern Italy, (Consorzio Mediterraneo s.c.a.r.l.) was opened and left to dry.



out

| MERCEOLOGICAL ANALYSIS          |             |        |
|---------------------------------|-------------|--------|
| FRACTION                        | Weight [kg] | (% wt) |
| Final sample                    | 6.27        | 77.70  |
| Organic fraction (c)            | 0.84        | 10.41  |
| Objects used in acquaculture(d) | 0.42        | 5.20   |
| Loss for the manual procedure   | 0.54        | 6.69   |
| Initial sample (a)              | 8.07        | 100    |

Mussel net was of different color and tickness:

- Green
  - Blue
  - Black
- to test cleaning procedure  
All for the characterization

# RESEARCH APPROACH FOR MUSSEL NET: WASHING TREATMENTS

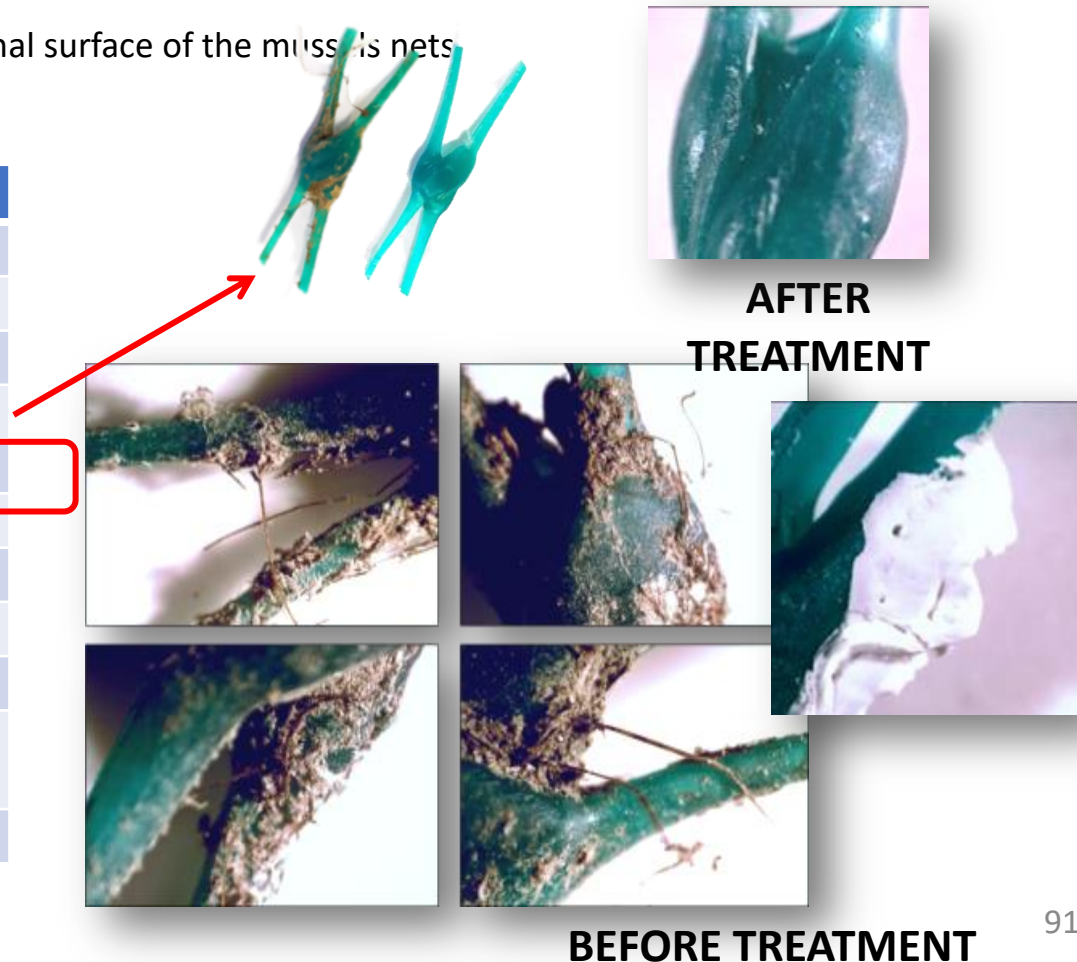
Incrustation may consists of: limestone scale caused by clam shells, organic byssus from mussels, other, beside any other waste deposit which generates contamination or dirt such as sand

For cleaning, the nets were cut by hand to have a sample consisting of fragments about 5 cm long

Washing treatment is necessary to remove:

- a) marine salts residues adhered to the external surface of the mussel's nets
- b) scale powder, particles of organic origin

| WASHING TREATMENTS |                                                   |
|--------------------|---------------------------------------------------|
| a                  | HCl (1 h)                                         |
| b                  | Acetic Acid (1 h)                                 |
| c                  | HCl (1 ora) e $H_2O_2$ (1 h)                      |
| d                  | Acetic Acid (1 h) e $H_2O_2$ (1 h)                |
| e                  | <b>HCl (1 h) e <math>H_2O_2</math> (24 h)</b>     |
| f                  | Acetic Acid (1 h) e $H_2O_2$ (24 h)               |
| g                  | $H_2O_2$ (24 h)                                   |
| h                  | mechanical treatment (0.5 mm)                     |
| i                  | mechanical treatment (8 mm)                       |
| j                  | mechanical treatment (0.5 mm) e $H_2O_2$ (24 ore) |
| k                  | mechanical treatment (8 mm) e $H_2O_2$ (24 ore)   |



# RESEARCH APPROACH FOR MUSSEL NET: PREPARATION FOR EXTRUSION PROCESS

PP NET is a “fluffing” material so a densification (T=170°C, 1h, under N<sub>2</sub> flow) was necessary to improve milling process



CLEANED  
PP NET



DENSIFIED  
PP NET



DENSIFIED PP NET  
AFTER MILLING  
PROCESS

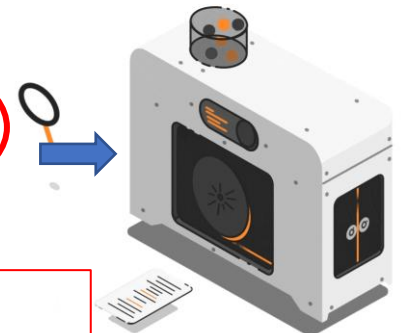


PP NET < 4 mm FOR  
EXTRUSION  
PROCESS

**Melt Flow Index (MFI)** is a value obtained through a plastometer to understand the **potential extrudability** of a plastic material

| MFI [g/10 min]                |             |
|-------------------------------|-------------|
| PP NET (new)                  | 2.20 ± 0.20 |
| PP NET (e-cleaning procedure) | 2.62 ± 0.01 |

MFI comparable to those of commercial filament

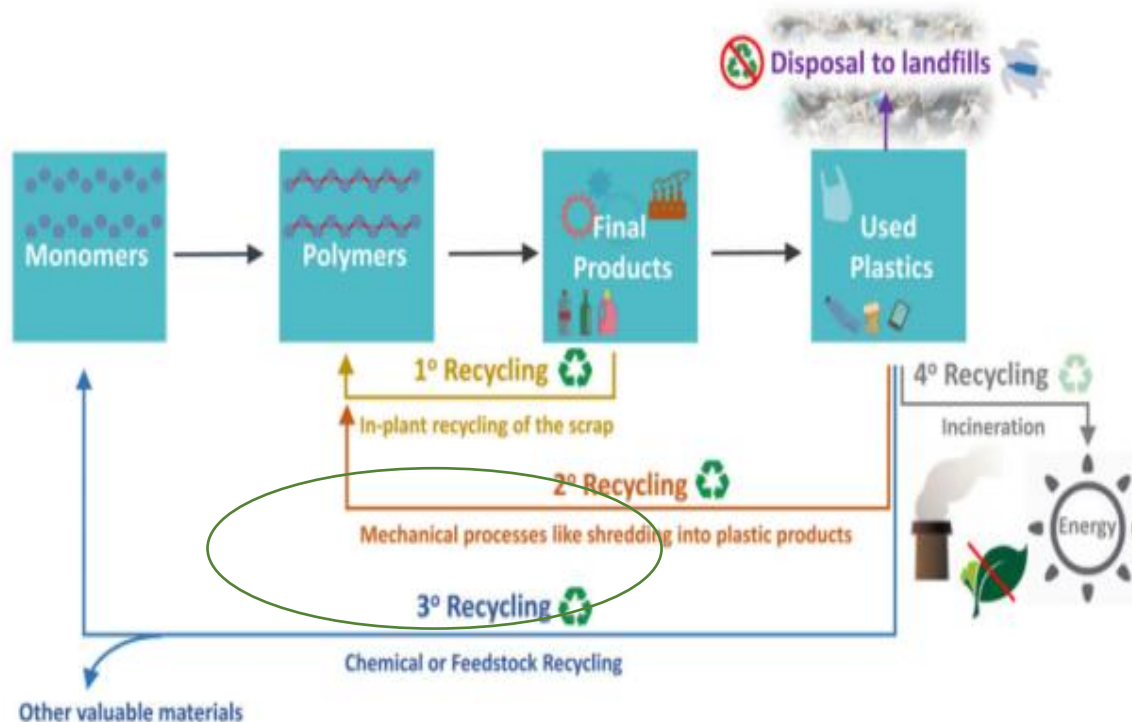


# RESEARCH APPROACH FOR MARINE LITTER- CHEMICAL RECYCLING

## Agenda

1. Collection of the sample waste from beach
2. Physical-chemical characterization
3. **Synthesis of home-made catalysts**
4. **Thermal and catalytic pyrolysis in a semi-batch reactor**

THERMO-CHEMICAL  
RECYCLING

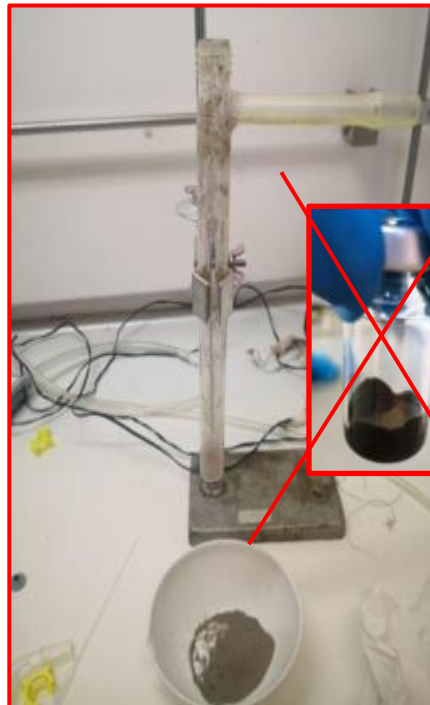


# RESEARCH APPROACH FOR PYROLYSIS OF MARINE LITTER : PRODUCTS AND BY

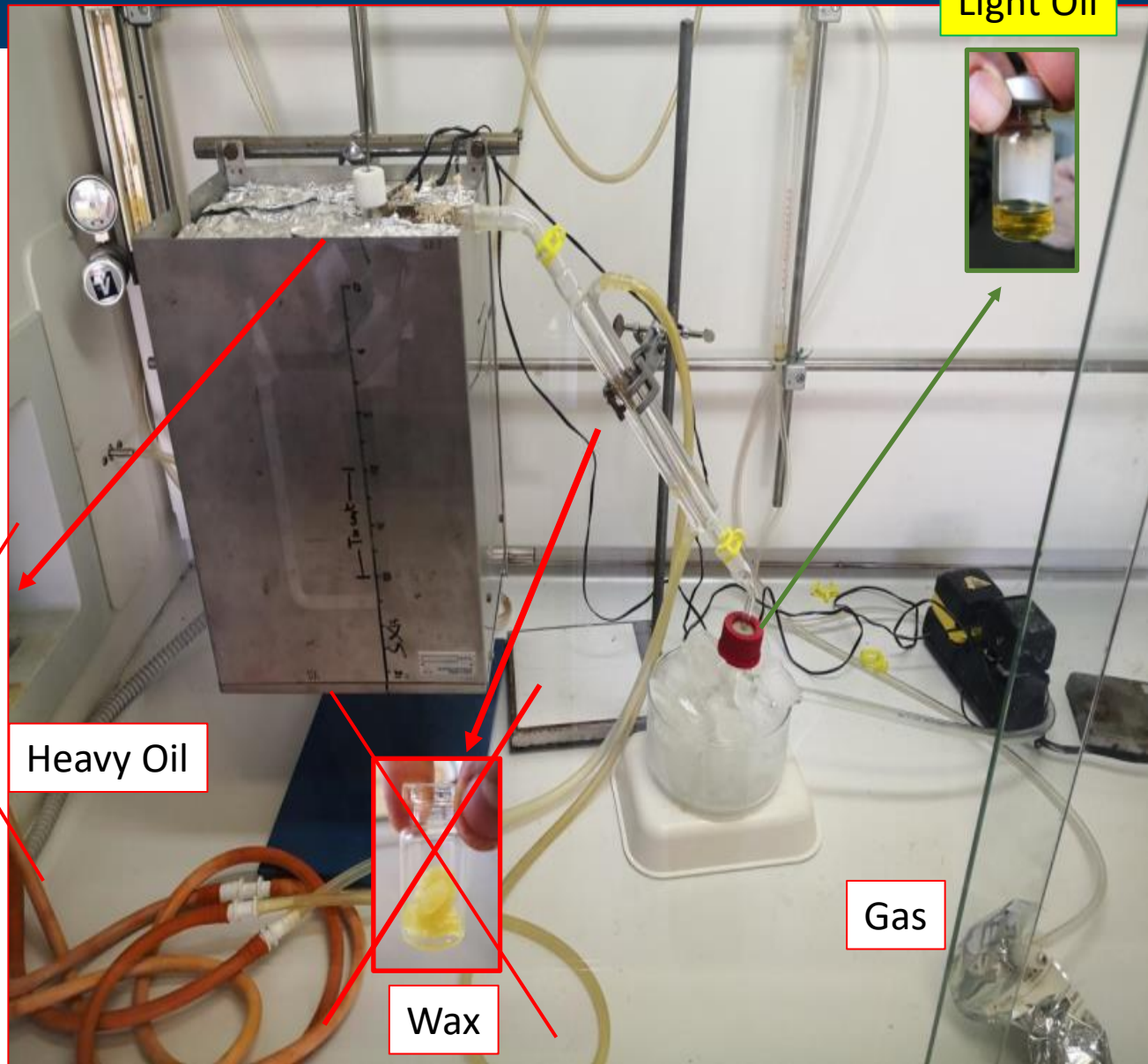
## ADVANTAGES:

- ✓ Clean Set-up
- ✓ Almost a 90% Light Oil Yield
- ✓ Better Light Oil composition

## CATALYTIC PYROLYSIS AT 450°C



Char+Catalyst



Light Oil

Heavy Oil

Wax

Gas

# Conclusioni

- La transizione ecologica, Economia Circolare, Sviluppo Sostenibile
- Importanza delle CRM
- Rifiuti fotovoltaici
- Plasmix

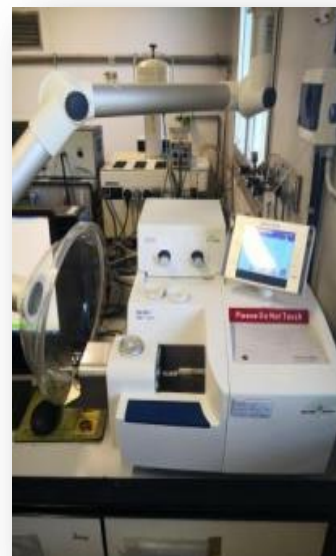
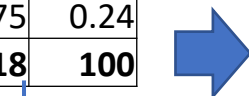


# RESEARCH APPROACH FOR MARINE LITTER: CHARACTERIZATION

## Product analysis of thermoplastic fraction



| Thermoplastic fraction | Quantity [g]   | % w/w      |
|------------------------|----------------|------------|
| PP                     | 717.26         | 45.36      |
| PE                     | 827.96         | 52.36      |
| PET                    | 14.32          | 0.91       |
| PS                     | 9.96           | 0.63       |
| PVC                    | 0.52           | 0.03       |
| EVA                    | 7.41           | 0.47       |
| EAA                    | 3.75           | 0.24       |
| <b>Total</b>           | <b>1581.18</b> | <b>100</b> |

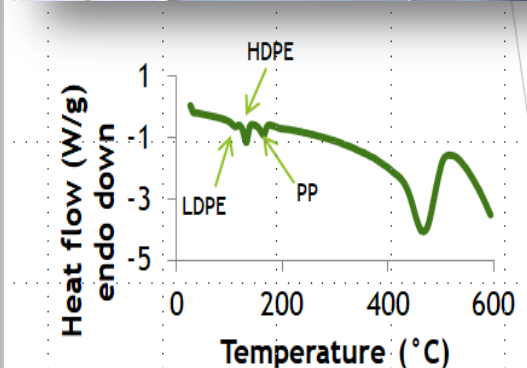


| Proximate analysis [% w/w] | Humidity    | Volatile Matter | Fixed Carbon | Ashes     | LHV [MJ/kg] |
|----------------------------|-------------|-----------------|--------------|-----------|-------------|
| Average ± Dev std          | 0.21 ± 0.08 | 98.9 ± 0.2      | 0.05 ± 0.01  | 0.8 ± 0.3 | 41.8 ± 0.3  |

Preparation to analyses



| Thermal Behaviour [°C] or [J/g] | T <sub>f1</sub> | Q <sub>f1</sub> | T <sub>f2</sub> | Q <sub>f2</sub> | T <sub>f3</sub> | Q <sub>f3</sub> | T <sub>d</sub> | Q <sub>d</sub> |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| Average ± Dev std               | 111.1 ± 0.3     | 3 ± 1           | 131.4 ± 0.5     | 30 ± 3          | 164 ± 1         | 23 ± 5          | 472 ± 2        | 872 ± 28       |



# Pirolisi

## ☐ **Bassa qualità della carica in ingresso rispetto al riciclo meccanico**

- ☐ Riciclo infinito delle materie plastiche
- ☐ Tutti i prodotti di reazione sono potenzialmente sfruttabili come fuel o chemicals
- ☐ Riduzione gas serra e materie prime vergini
- ☐ Recupero metalli non ossidati

Vantaggi

## ☐ **Bassa qualità della carica in ingresso si riflette sulla qualità finale dei prodotti**

- ☐ Necessità di avere un rifornimento costante sia qualitativamente che quantitativamente
- ☐ **Destino finale dei prodotti ottenuti**
- ☐ Accettabilità sociale e politica
- ☐ Ostacoli legislativi ai prodotti ottenuti

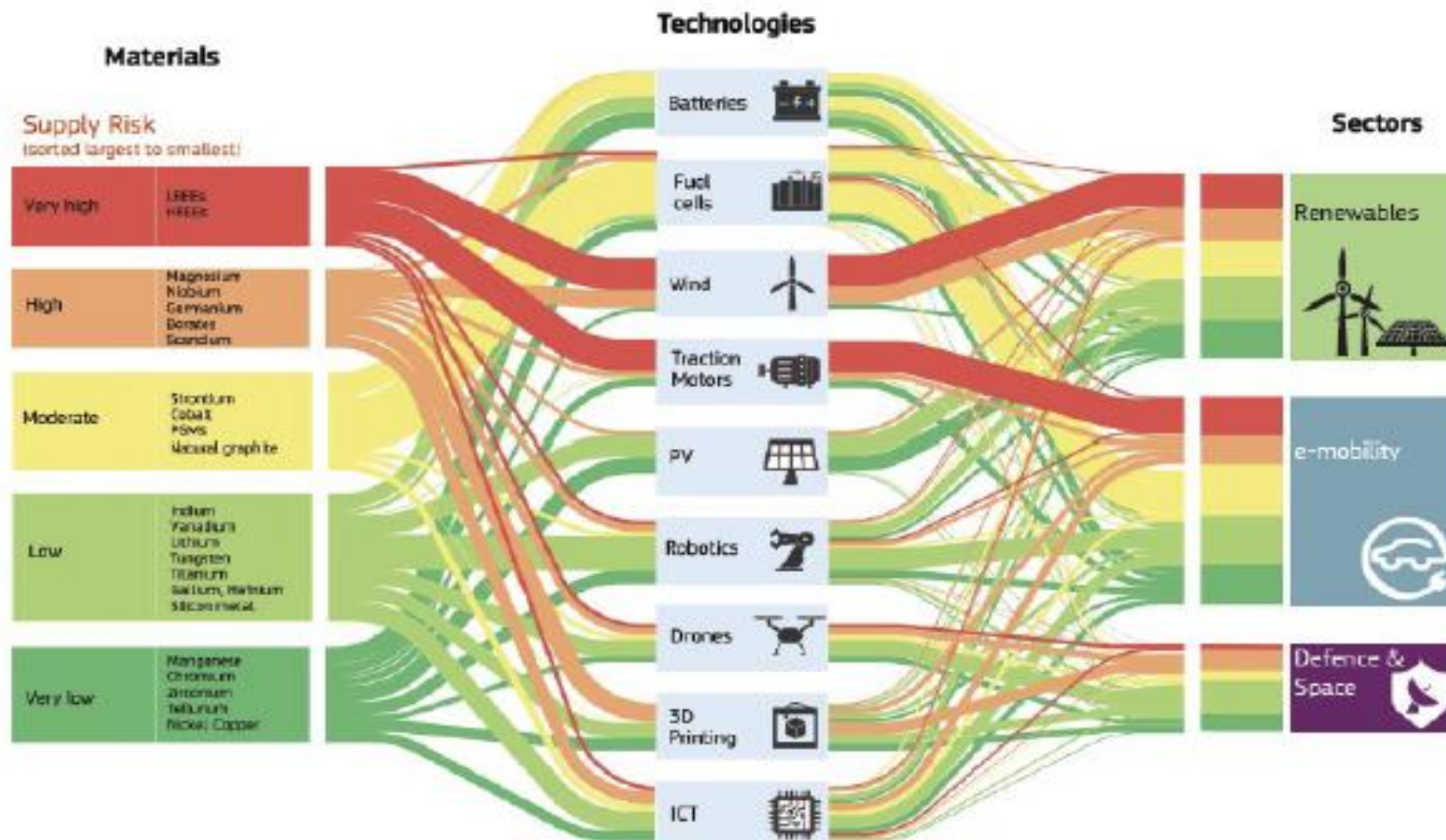
Svantaggi

# Esempi di ricerca e sviluppo tecnologico per il riciclo di moduli fotovoltaici C-Si mediante trattamento termico

|                                                   |                        | FAIS and others (Japan)                                        | KIER (Korea)                                 | KETI (Korea)                                                               | Chonnam Nation. Univ. and others (Korea)                                                       | CRAES and IEE-CAS (China)                                           | ITRI (Taiwan)                                                             |
|---------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Eliminating encapsulant from laminated structures | Process and conditions | Combustion at 350° and 500°C                                   | Combustion at 500°-550°C                     | Combustion at 480°C.                                                       | n.a.                                                                                           | Combustion at 250°-300° and 500°-550°C                              | Combustion at 330° and 400°C                                              |
|                                                   |                        |                                                                | Pre-treatment of glass and EVA surfaces      |                                                                            |                                                                                                |                                                                     |                                                                           |
|                                                   | Recovered material     | Glass(unbroken), Si cells, electrode metals                    | Glass, Si cells (unbroken), electrode metals | Glass, Si cells (unbroken), electrode metals                               | n.a.                                                                                           | Glass, Si cells, electrode metals                                   | Si chip, electrode metal                                                  |
|                                                   | Remarks                | Automated control                                              | Single-cell module<br>Pilot plant is planned | Single-cell module                                                         | -                                                                                              | Using a tube furnace                                                | Single-cell module                                                        |
|                                                   |                        | Heat recovery from EVA combustion                              |                                              |                                                                            |                                                                                                |                                                                     |                                                                           |
|                                                   |                        | Available for commercial modules of c-Si, thin-film Si and CIS |                                              |                                                                            |                                                                                                |                                                                     |                                                                           |
|                                                   |                        | Demonstration stage at a pilot plant                           |                                              |                                                                            |                                                                                                |                                                                     |                                                                           |
|                                                   |                        |                                                                |                                              |                                                                            |                                                                                                |                                                                     |                                                                           |
|                                                   |                        |                                                                |                                              |                                                                            |                                                                                                |                                                                     |                                                                           |
|                                                   |                        |                                                                |                                              |                                                                            |                                                                                                |                                                                     |                                                                           |
| Recovering metals from Si cells                   | Process and conditions | -                                                              | Chemical etching                             | Chemical etching (nitric acid, potassium hydroxide)<br>Mechanical grinding | Chemical etching (nitric acid, sodium hydroxide) under ultrasonic treatment<br>Thermal process | Chemical etching (nitric acid, sodium hydroxide, hydrofluoric acid) | Chemical etching (hydrochloric acid, sodium hydroxide, hydrofluoric acid) |
|                                                   | Recovered material     | -                                                              | Si wafers, Ag, Al                            | Si wafers, Ag, Al                                                          | Si, Ag, Al                                                                                     | Si, Ag, Al                                                          | Si, Ag, Al                                                                |
|                                                   | Remarks                | Process for recovering metals is out of the scope              | Si wafer can be recycled into a new Si cell  | Non-HF process<br>Si wafers can be recycled into a new Si cell             | -                                                                                              | -                                                                   | -                                                                         |

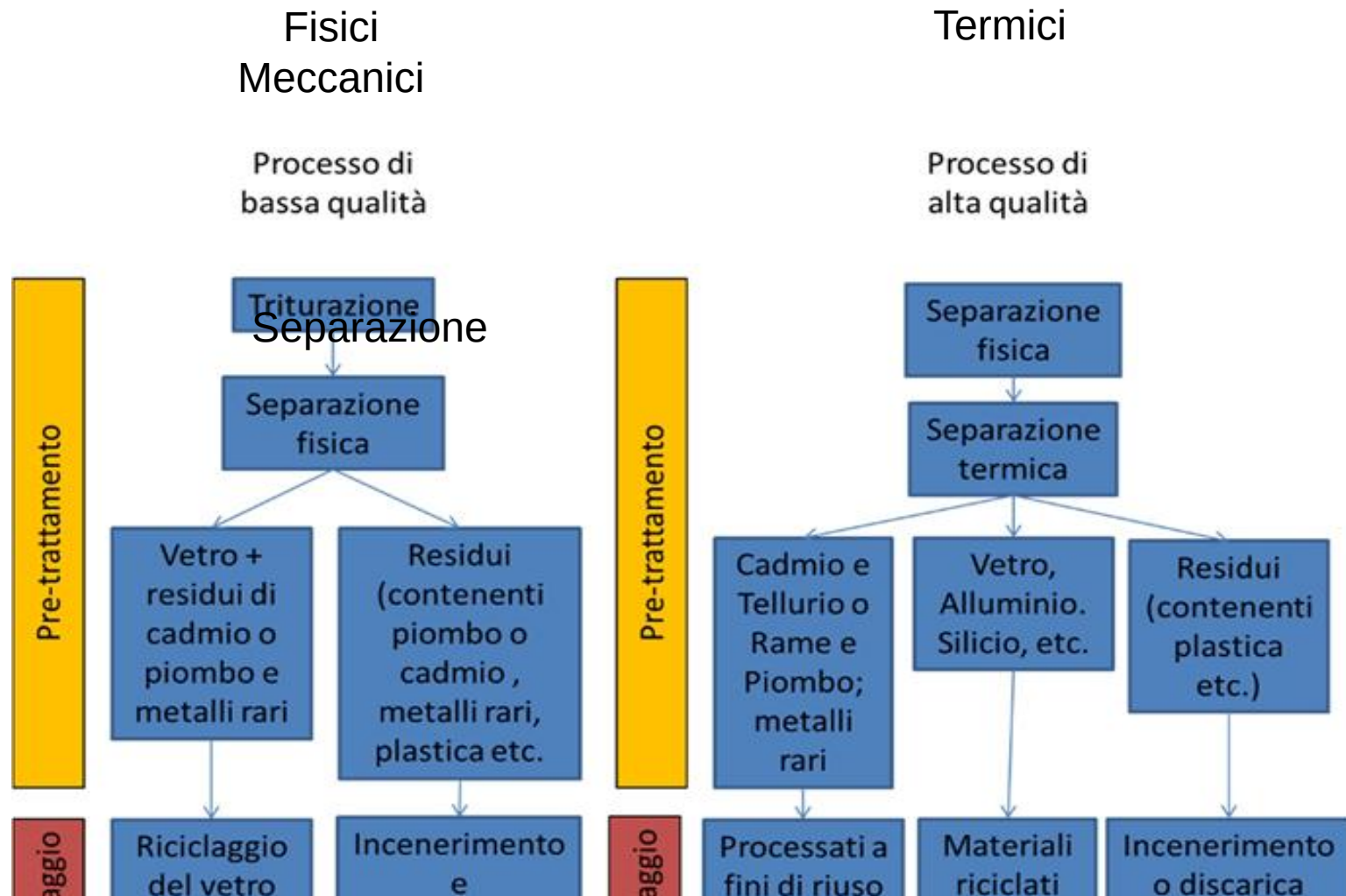
(fonte: IEA-PVPS - "End of Life Management of Photovoltaic Panels", 2018)

# Materie prime critiche – esigenze nei settori strategici



Fonte: Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU. A Foresight Study, Commissione Europea e JRC (2020).

# Processi di riciclo

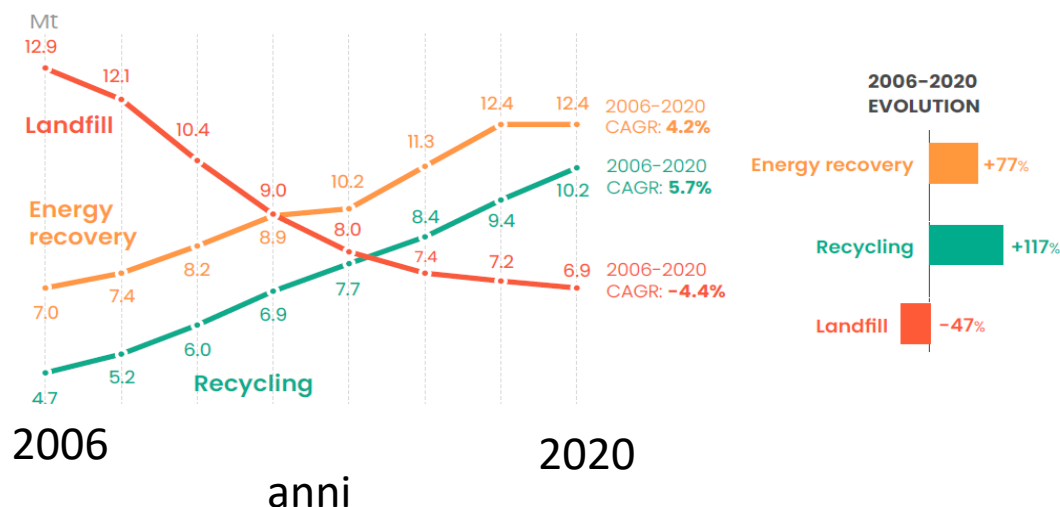


(fonte: Marchioro S., 2012; P. Carrabba, L.M. Padovani - "I pannelli fotovoltaici a fine vita", 2020)

# La gestione del fine vita delle plastiche in EUROPA 2020

Nel 2020, sono stati raccolti 29,5 milioni di tonnellate di rifiuti plastici post-consumo

| %  | Trattamento         |
|----|---------------------|
| 42 | Recupero energetico |
| 35 | Riciclo             |
| 23 | Discarica           |



Le esportazioni di rifiuti plastici in paesi extra-EU sono diminuite del 50% rispetto al 2006

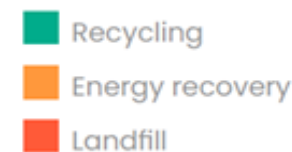
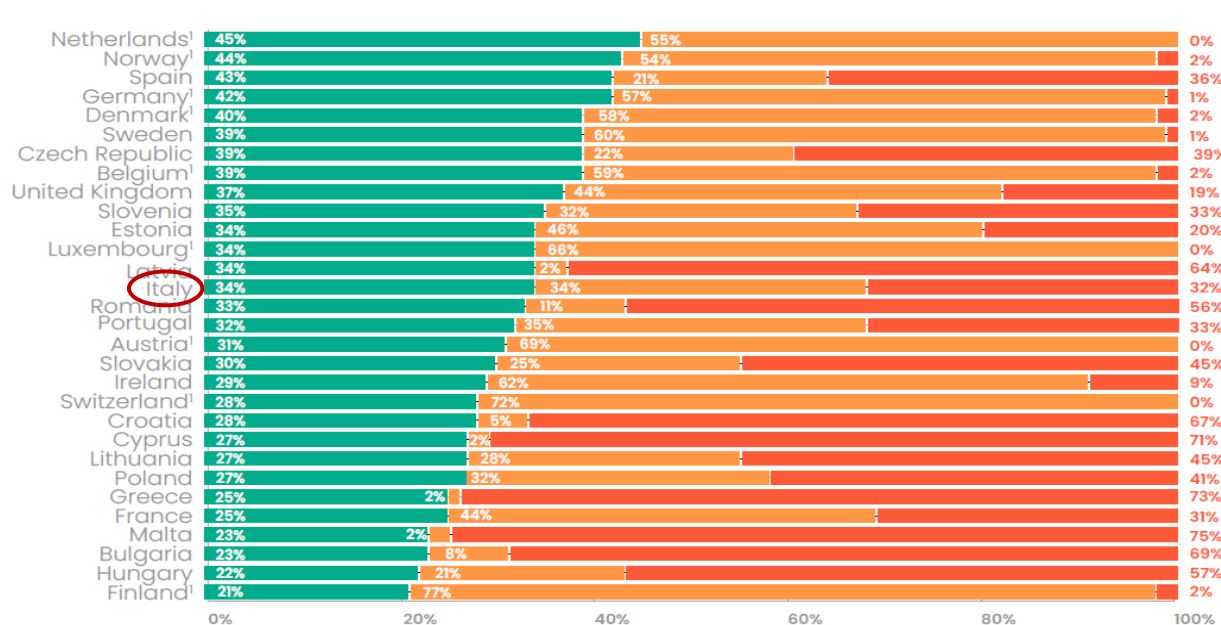


6,9 milioni di tonnellate di rifiuti plastici vanno ancora a finire in discarica

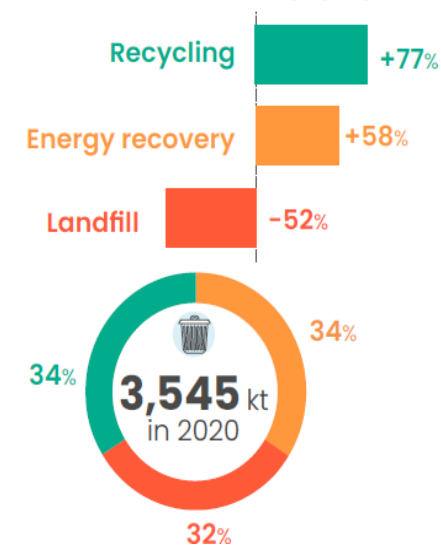
# La situazione in Italia 2020



## Trattamento dei rifiuti plastici post-consumo per paese nel 2020



### 2006-2020 EVOLUTION



- Nel 2020, sono state raccolte 3,5 milioni di tonnellate di rifiuti plastici post-consumo.
- Dal 2006 al 2018, i volumi destinati al riciclo sono aumentati del 77%, quelli destinati al recupero energetico del 58% e quelli destinati a discarica sono diminuiti del 52%.