



FIL ROUGE 2024

17 OTTOBRE 2024

La gestione dei rifiuti: sviluppi e tendenze





FIL ROUGE 2024

«7° INCONTRO - 17 OTTOBRE - LA GESTIONE DEI RIFIUTI: SVILUPPI E TENDENZE»

«IL CONTESTO NAZIONALE E INTERNAZIONALE DELLA GESTIONE DEI RIFIUTI»

«STEFANO CONSONNI»





POLITECNICO
MILANO 1863



LEAP
FOUNDED IN 2005 BY
POLITECNICO DI MILANO



materia & energia da rifiuti
materials & energy from refuse

Piacenza, 17 ottobre 2024

Fil Rouge 2024

Il contesto nazionale e internazionale della gestione dei rifiuti

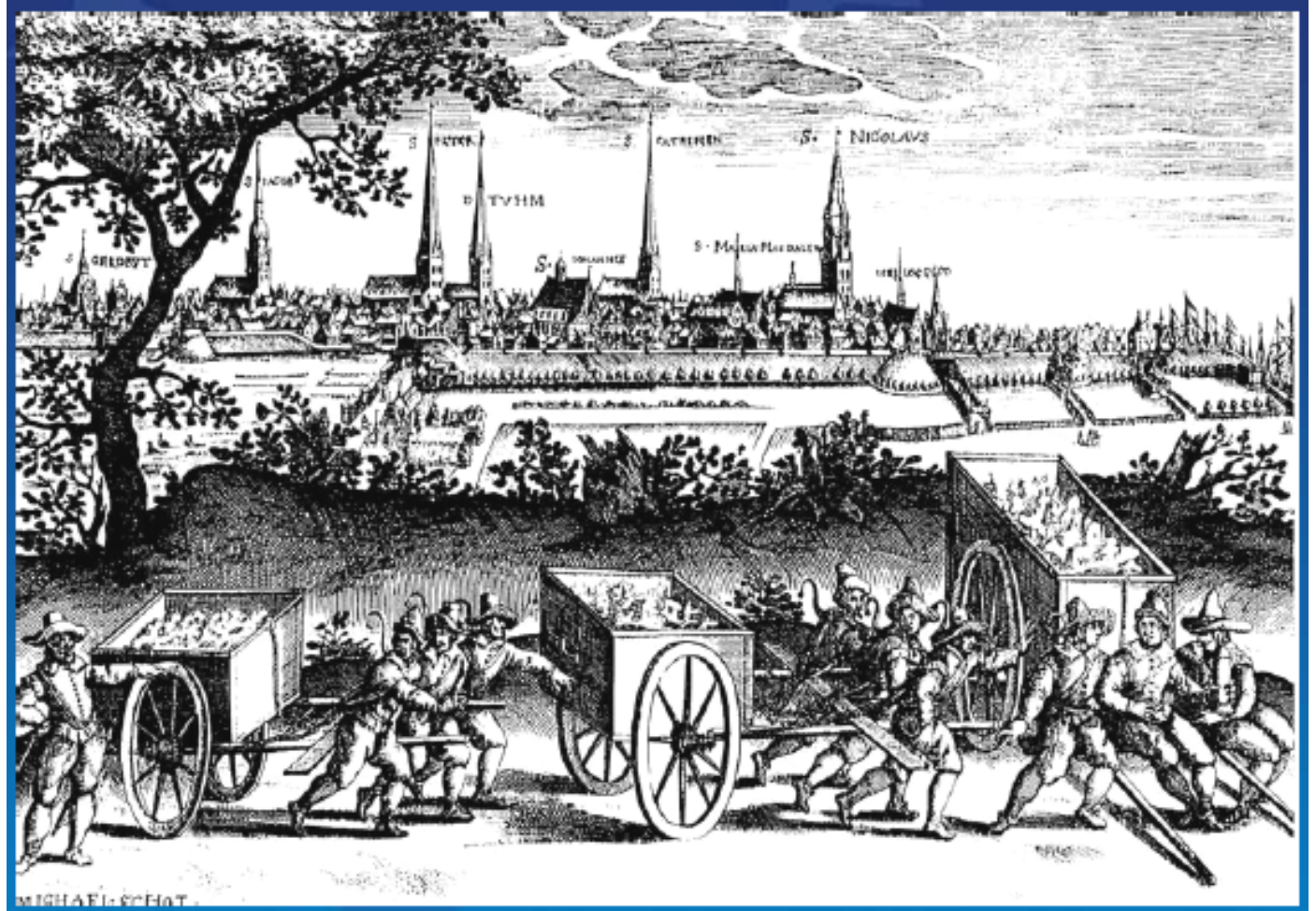
prof. Stefano Consonni

Politecnico di Milano, LEAP s.c.a r.l., Centro Studi MatER

I rifiuti non sono mai piaciuti ...



Europa medioevale



Prigionieri raccolgono i rifiuti di Amburgo (Germania, 1609)

I rifiuti nella Storia: discarica di Vienna, 1910



Fonte: J. Vehlow, Institute for Technical Chemistry, Karlsruhe, Germany

Una gestione dei rifiuti che vorremmo evitare





Art. 183, comma 1, lett. a), D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152

- **rifiuto**: qualsiasi sostanza od oggetto che rientra nelle categorie riportate nell'Allegato A alla parte quarta del presente decreto e di cui il detentore si disfi o abbia deciso o abbia l'obbligo di disfarsi
- **produttore**: la persona la cui attività ha prodotto rifiuti cioè il produttore iniziale e la persona che ha effettuato operazioni di pretrattamento, di miscuglio o altre operazioni che hanno mutato la natura o la composizione di detti rifiuti
- **gestione**: la raccolta, il trasporto, il recupero e lo smaltimento dei rifiuti, compreso il controllo di queste operazioni, nonché il controllo delle discariche dopo la chiusura
- **recupero**: le operazioni che utilizzano rifiuti per generare materie prime secondarie, combustibili o prodotti, attraverso trattamenti meccanici, termici, chimici o biologici, incluse la cernita o la selezione
- **smaltimento**: ogni operazione finalizzata a sottrarre definitivamente una sostanza, un materiale o un oggetto dal circuito economico e/o di raccolta

Definizioni (Rifiuti Urbani vs Rifiuti Speciali)

Rifiuti Urbani

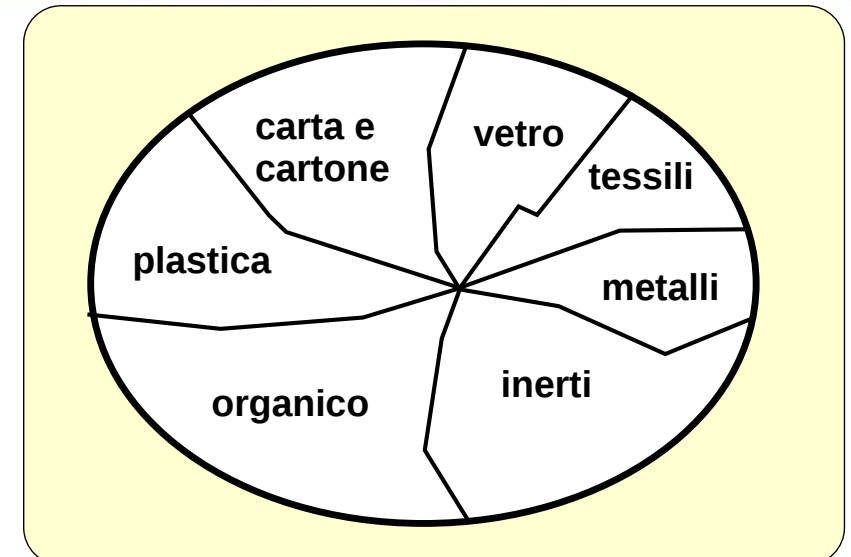
- domestici indifferenziati e da raccolta differenziata
- indifferenziati e da raccolta differenziata provenienti da altre fonti che sono simili per natura e composizione ai rifiuti domestici
- provenienti dallo spazzamento delle strade e dallo svuotamento dei cestini portarifiuti
- di qualunque natura o provenienza, giacenti sulle strade ed aree pubbliche o sulle strade ed aree private
- manutenzione del verde pubblico
- provenienti attività cimiteriali

Rifiuti Speciali

- da attività agricole e agro-industriali;
- da attività di demolizione, costruzione, scavo;
- da lavorazioni industriali e artigianali;
- da attività commerciali, di servizio e sanitarie;
- da attività di recupero e smaltimento di rifiuti, da depurazione di acque reflue e di emissioni in atmosfera;
- macchinari e apparecchiature deteriorate ed obsolete, veicoli fuori uso

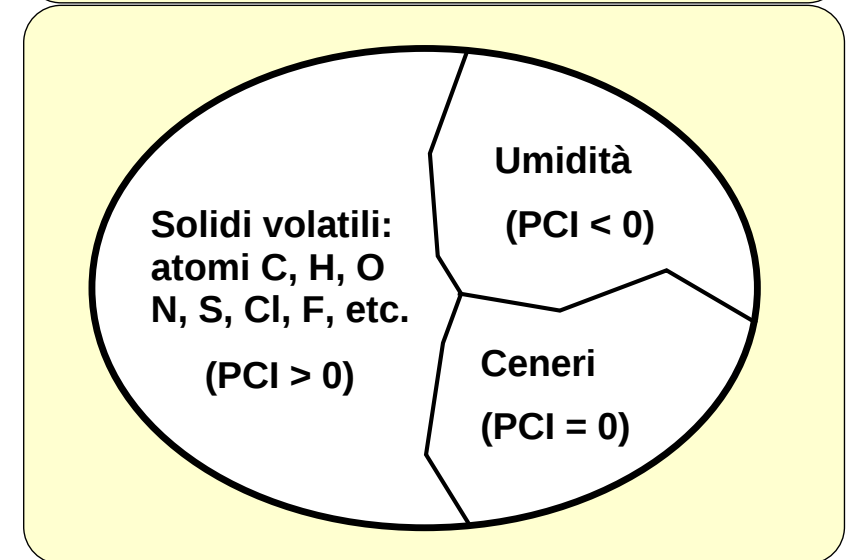
Composizione Merceologica

classifica i componenti sulla base di caratteristiche fisiche macroscopiche rilevabili visivamente



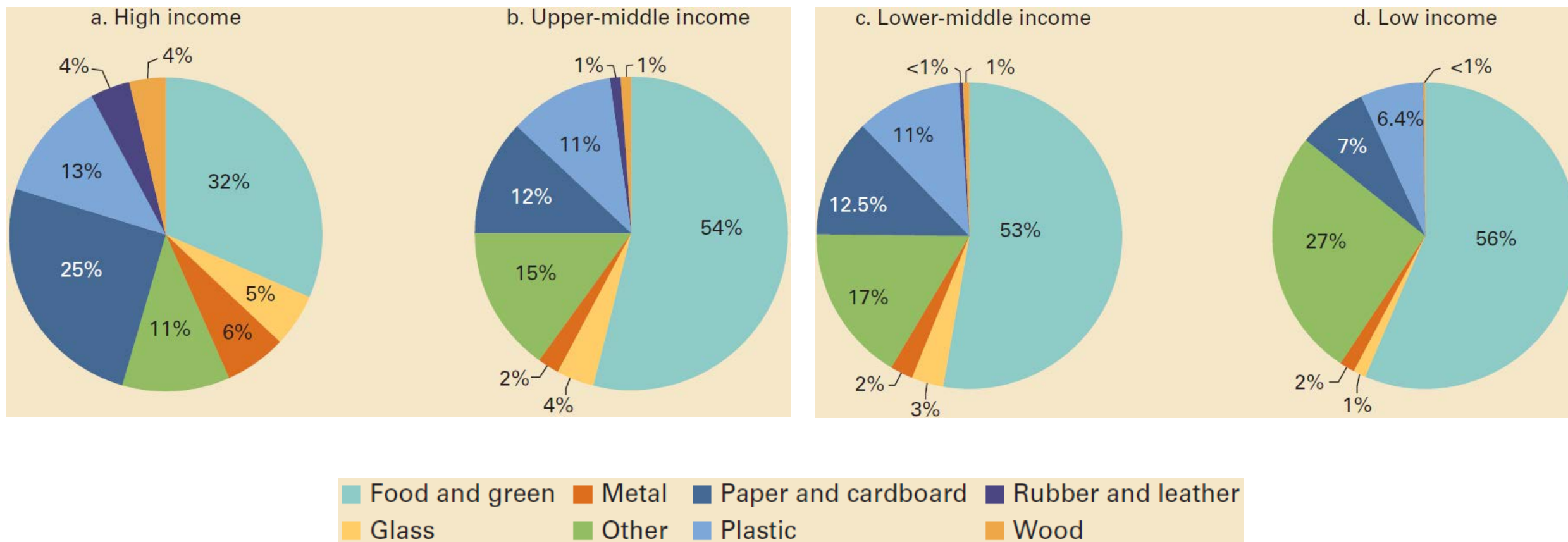
Composizione Elementare

classifica i componenti sulla base della composizione chimica, rilevata con prove di laboratorio



Composizione del rifiuto lordo

Dati medi a livello mondiale - Variazioni a seconda della ricchezza economica



Food and green Metal Paper and cardboard Rubber and leather
Glass Other Plastic Wood

Fonte: World Bank Group «What a Waste 2.0», 2018

Biodegradabile, biogenico, rinnovabile

Materiale biodegradabile: subisce decomposizione biologica aerobica o anaerobica

- rileva per il trattamento → adatto ai trattamenti biologici

Materiale biogenico: prodotto da organismi viventi in epoca «recente» (no fossilizzazione)

- rileva per emissioni gas serra / cambiamento climatico → neutro per degradazione aerobica → assimilato a rinnovabile

Biomassa: materiale di origine biogenica “recente” (no fossile) → rinnovabile

Situazioni particolari

- Lignina: biomassa con biodegradabilità lentissima (decenni)
- Plastica biodegradabile: biodegradabile in tempi brevi, anche se non biogenica

Contenuto energetico

Il **Potere Calorifico Inferiore** o PCI [J/kg o kcal/kg] è il calore liberato dalla completa ossidazione dell'unità di massa di rifiuto [1 kg] alle condizioni di riferimento (1 atm, 25°C) nel caso in cui tutta l'acqua nei prodotti di combustione sia allo stato di vapore (RSU = Rifiuto Solido Urbano)

Indicando con:

y_{SV} = frazione massica dei solidi volatili [$\text{kg}_{SV}/\text{kg}_{RSU}$]

y_{Um} = frazione massica di umidità [$\text{kg}_{Um}/\text{kg}_{RSU}$]

y_{Ce} = frazione massica di ceneri [$\text{kg}_{Ce}/\text{kg}_{RSU}$]

$$\text{PCI}_{RSU} = y_{SV} \cdot \text{PCI}_{SV} - y_{Um} \cdot \Delta h_{ev} = (1 - y_{Um} - y_{Ce}) \cdot \text{PCI}_{SV} - y_{Um} \cdot \Delta h_{ev}$$

$$\text{PCI}_{RSU} = \left[1 - y_{Ce} - y_{Um} \cdot \left(1 + \frac{\Delta h_{ev}}{\text{PCI}_{SV}} \right) \right] \cdot \text{PCI}_{SV}$$

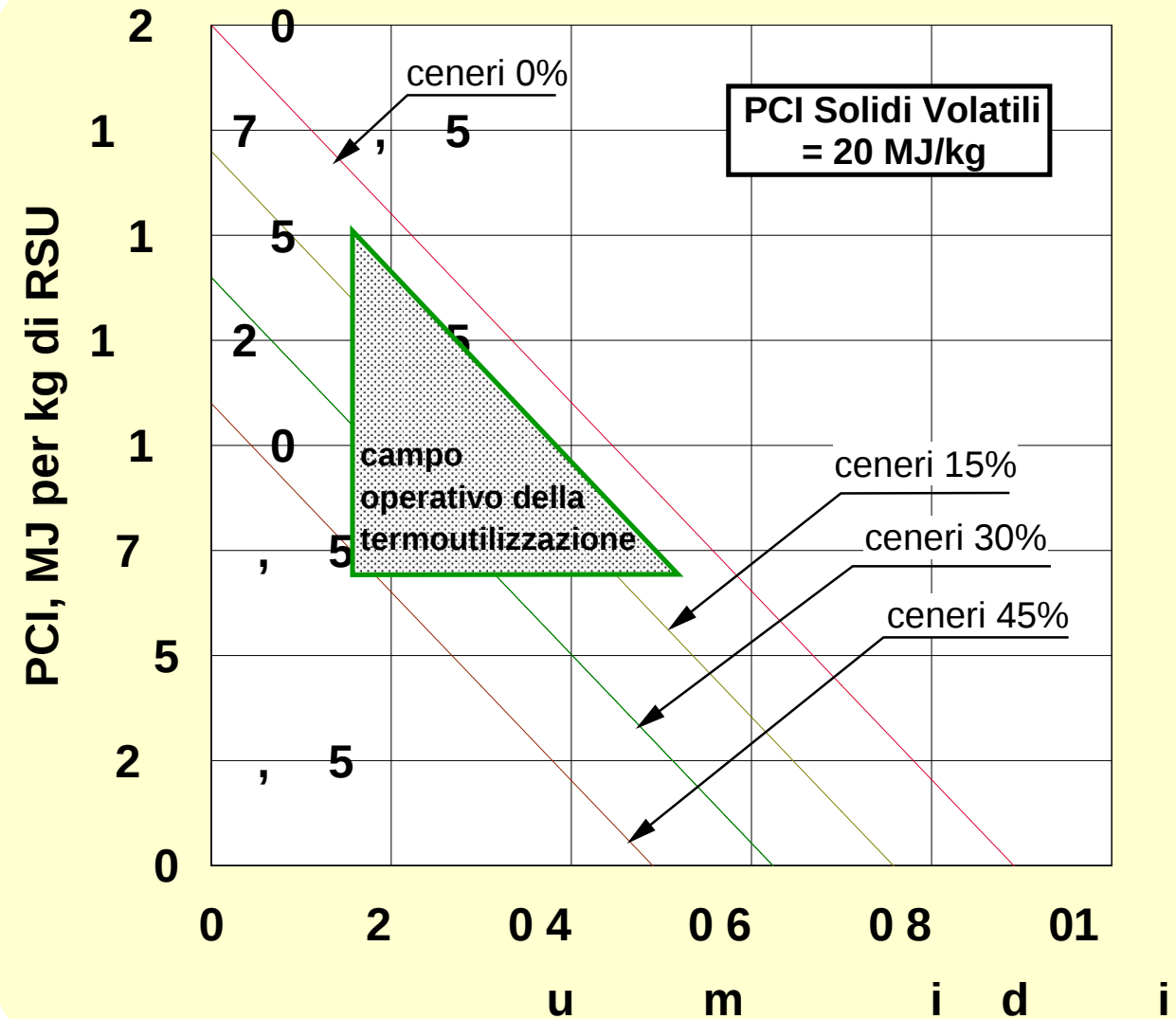
Effetto di umidità e ceneri

Essendo

$Dh_{ev} \sim 2,5 \text{ MJ/kg}$

$PCI_{SV} \sim 20 \text{ MJ/kg}$

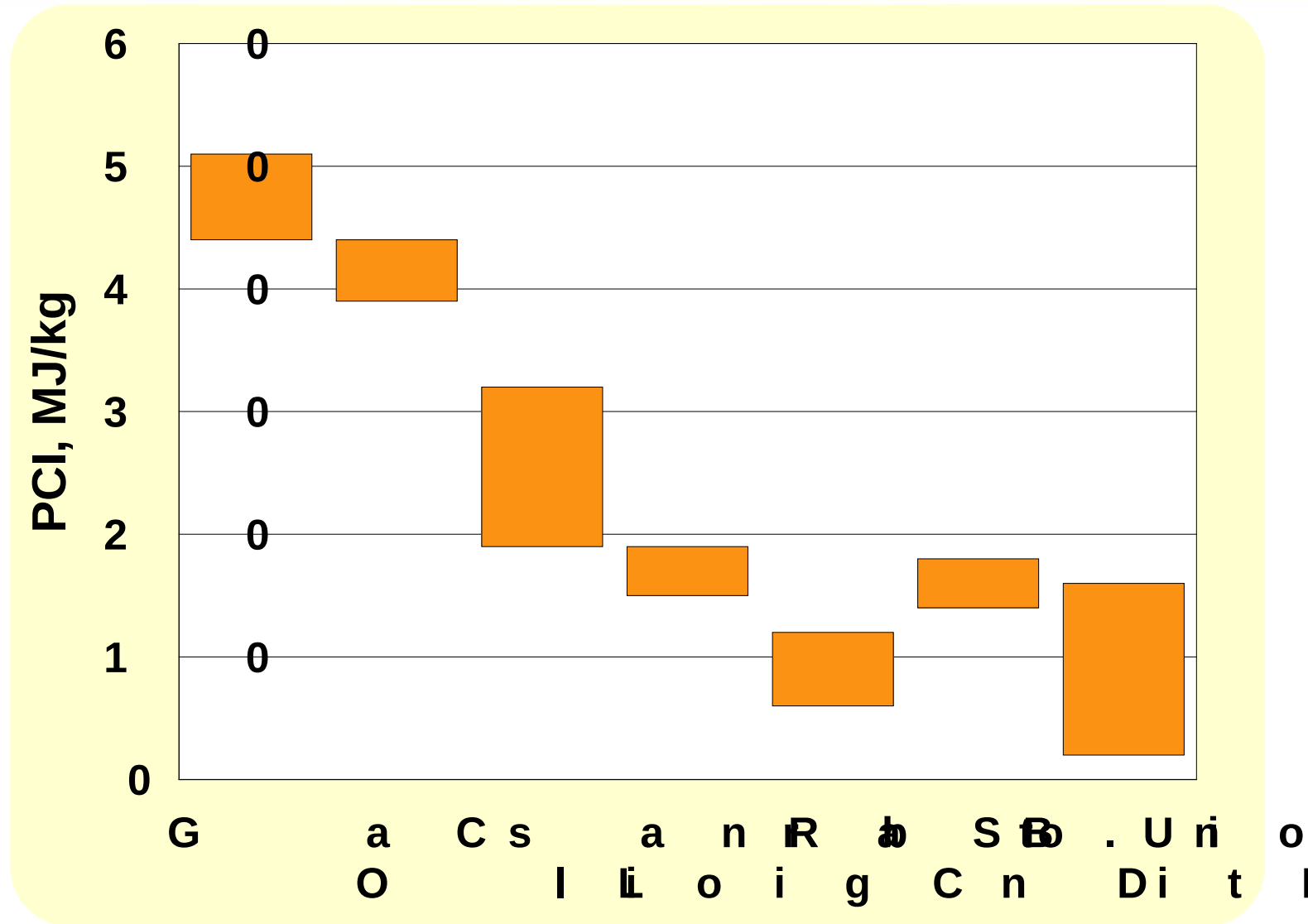
$$PCI_{RSU} \left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right] \approx 20 \cdot \left[1 - y_{Ce} - y_{Um} \cdot \frac{9}{8} \right]$$



Contenuto energetico

Confronto con combustibili fossili

- decisamente ridotto rispetto ai combustibili fossili tradizionali



Contenuto energetico

Frazione merceologica	Potere Calorifico Inferiore (base secca)	
	Kcal/kg _{dm}	MJ/kg _{dm}
Plastica e gomma	7.500	31
Tessili-Legno	4.000	17
Carta e cartone	3.700	15
Verde	3.000	12
Organico	1.500	6,2
Frazione fine	1.400	5,8
Metalli	0	0
Vetro e inerti	0	0

Contenuto di ceneri

Confronto con combustibili fossili

- elevato rispetto ai combustibili fossili tradizionali

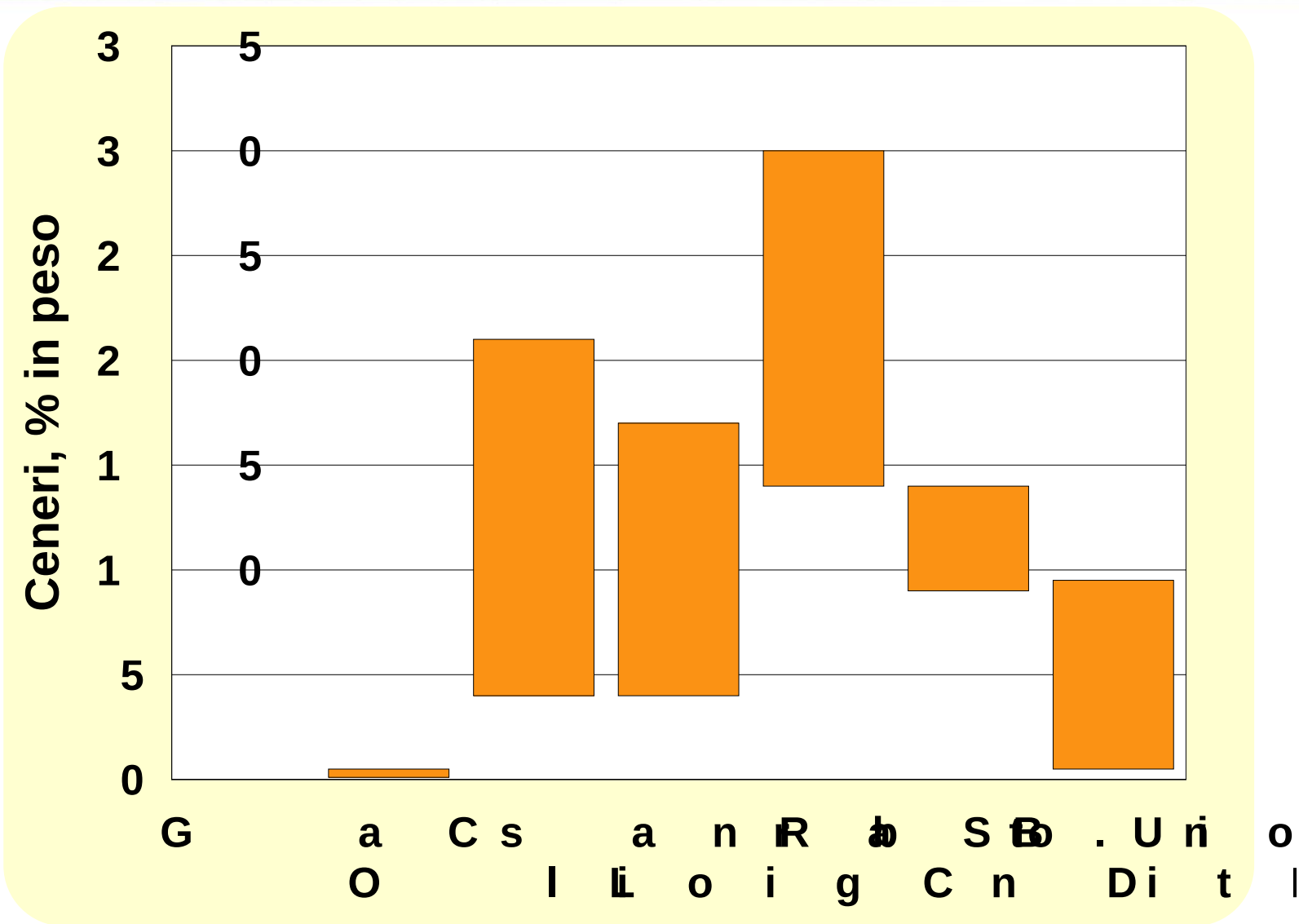
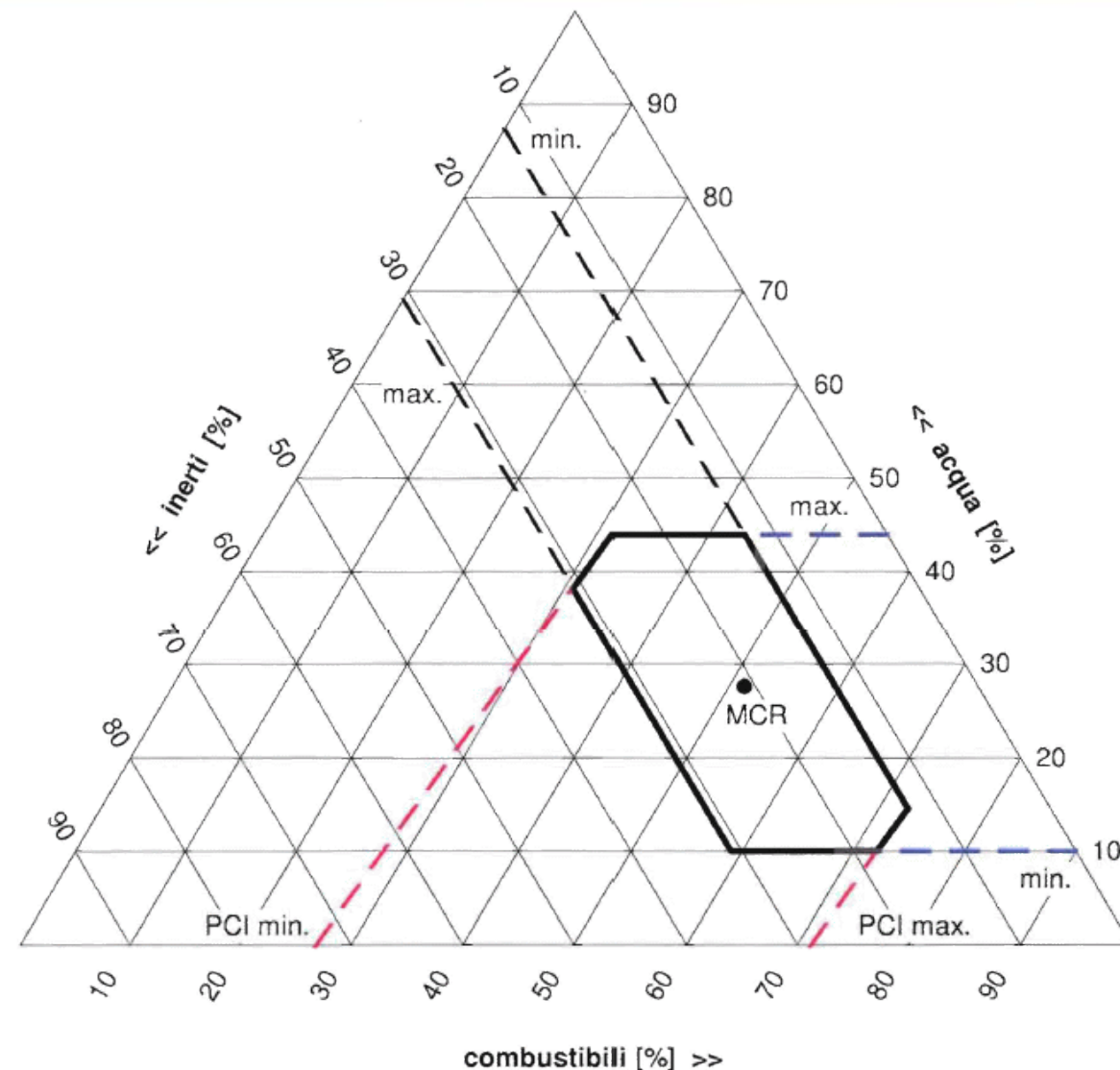


Diagramma di Tanner

I rifiuti come combustibile

Quando le proprietà dei rifiuti rispettano determinati criteri, i rifiuti possono essere utilizzati in una combustione autosostenuta, producendo calore e, attraverso un ciclo termodinamico, energia (elettricità), esattamente come avviene per i combustibili fossili.

I moderni inceneritori (impianti Waste-to-Energy) sono centrali elettriche peculiari alimentate con il particolare combustibile "rifiuto".





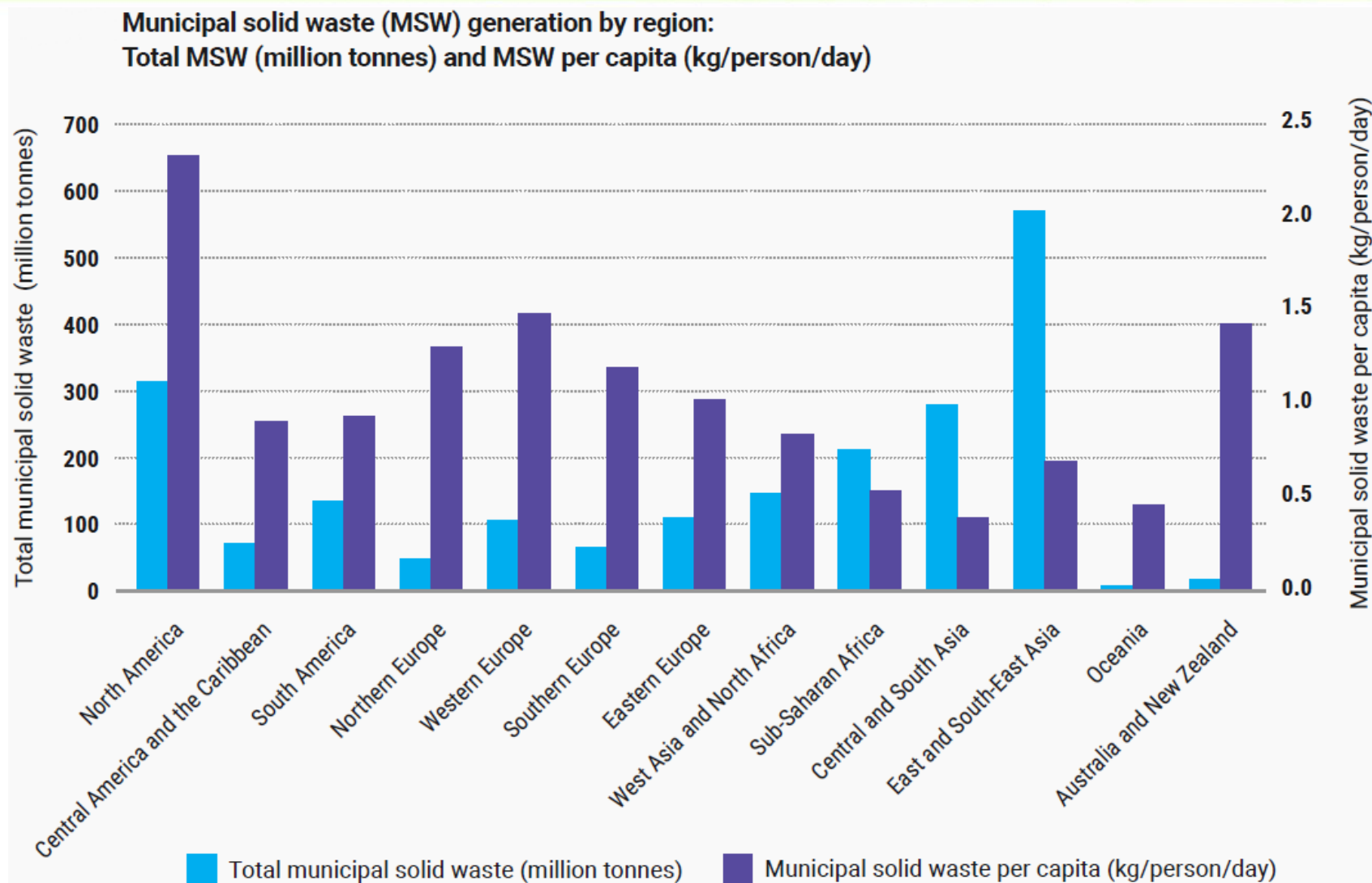
Beyond an age of waste

Turning rubbish into a resource



Global Waste Management Outlook 2024

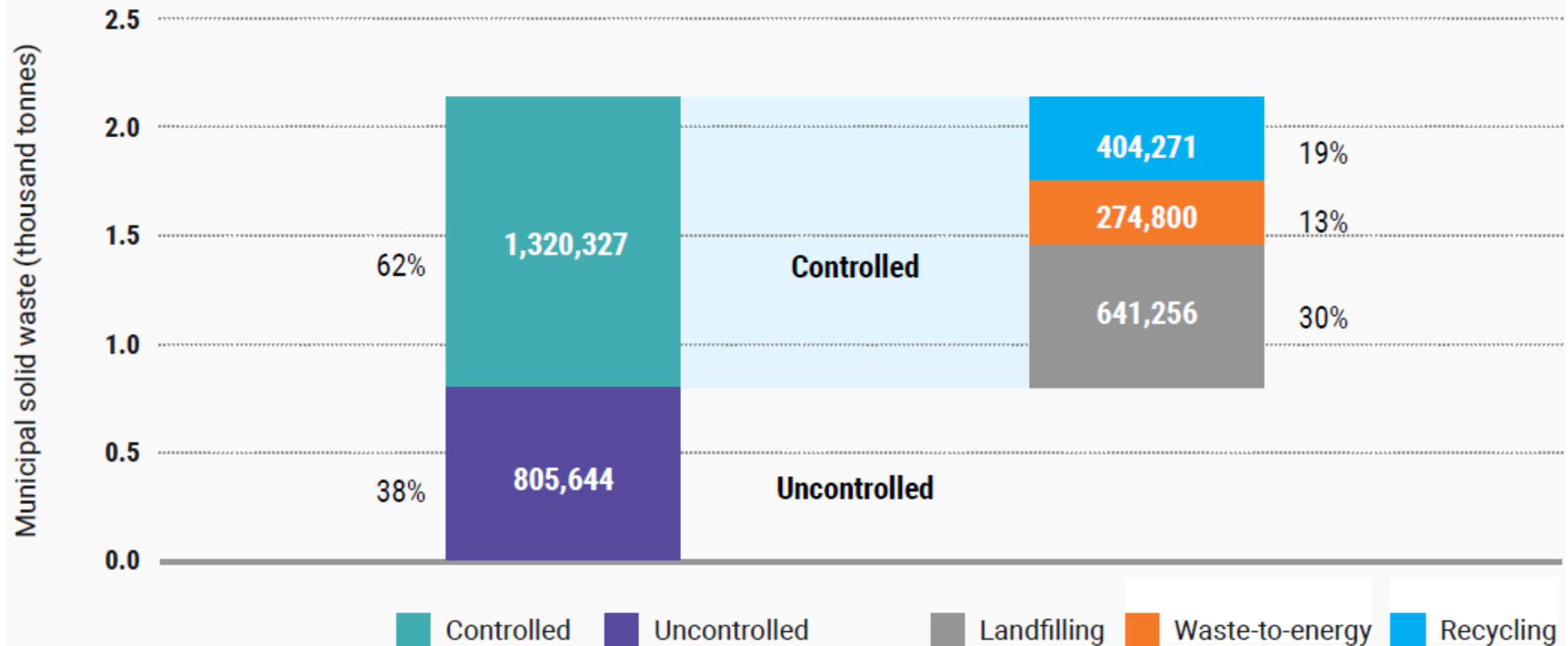
Produzione e Gestione dei Rifiuti Urbani nel mondo



Fonte: UN, ISWA «Global Waste Management Outlook 2024»

Produzione e Gestione dei Rifiuti Urbani nel mondo

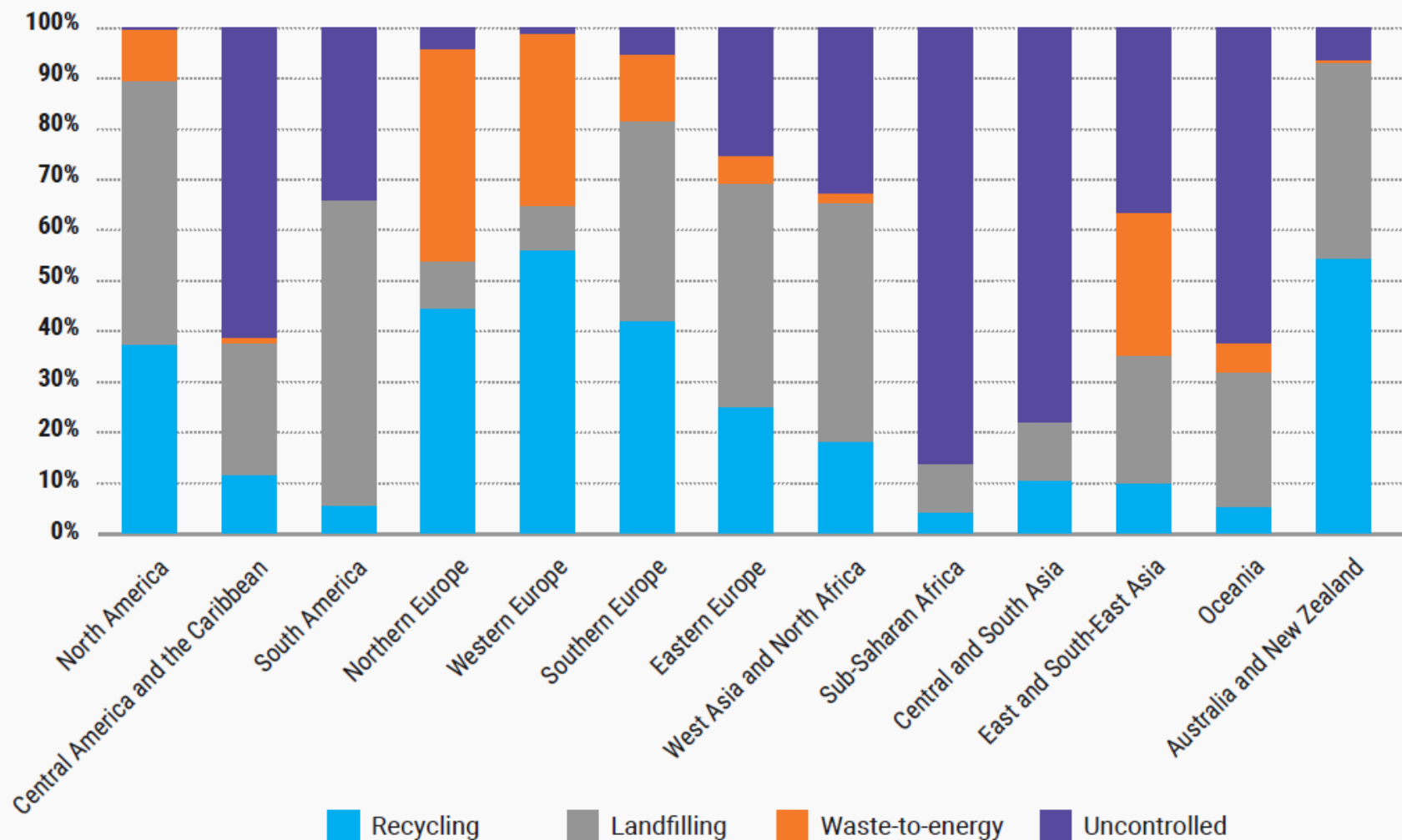
Global municipal solid waste destinations in 2020: Controlled (landfilling, waste-to-energy recycling) and uncontrolled.



Fonte: UN, ISWA «Global Waste Management Outlook 2024»

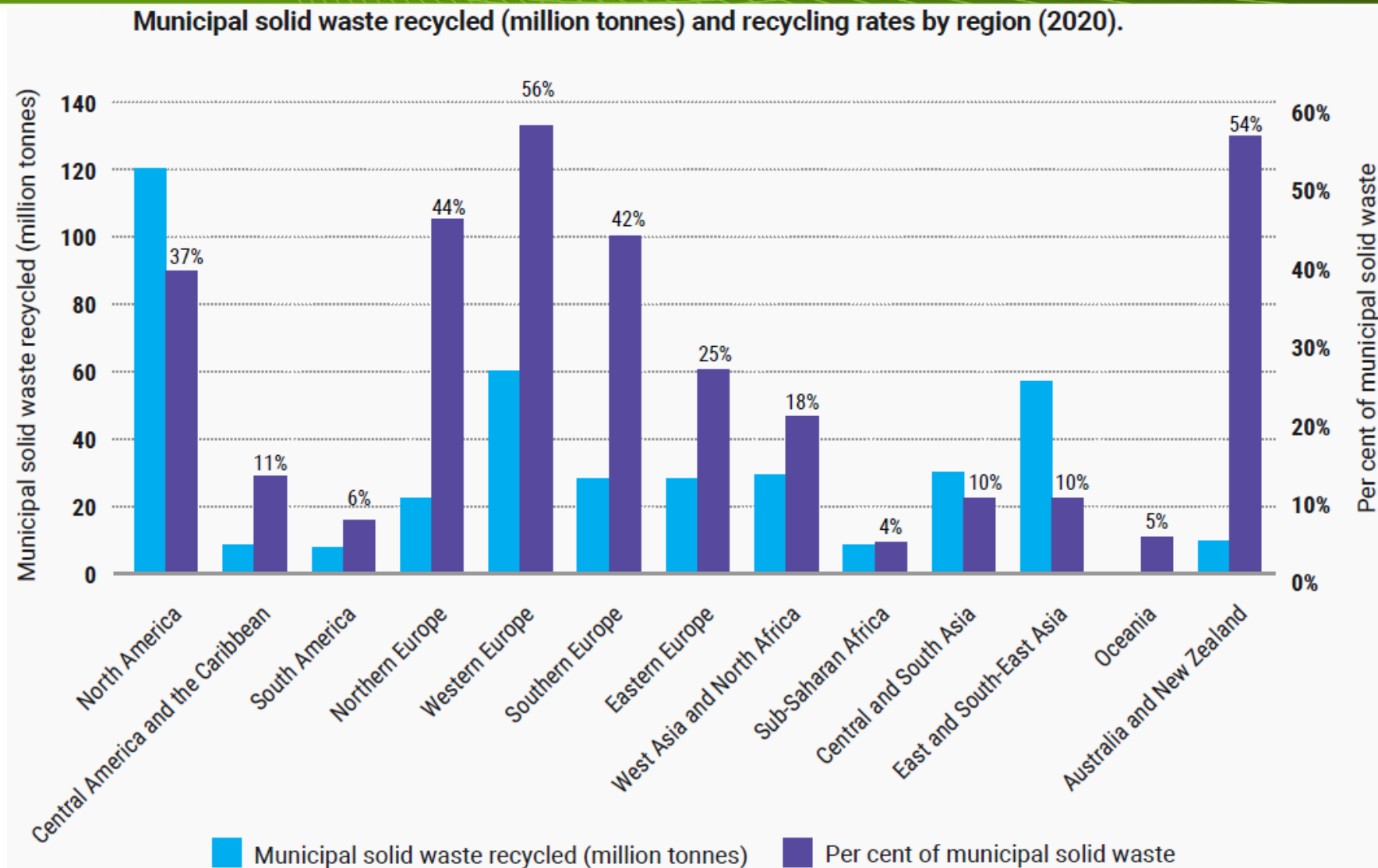
Produzione e Gestione dei Rifiuti Urbani nel mondo

Regional distribution of municipal solid waste destinations (2020).



Fonte: UN, ISWA «Global Waste Management Outlook 2024»

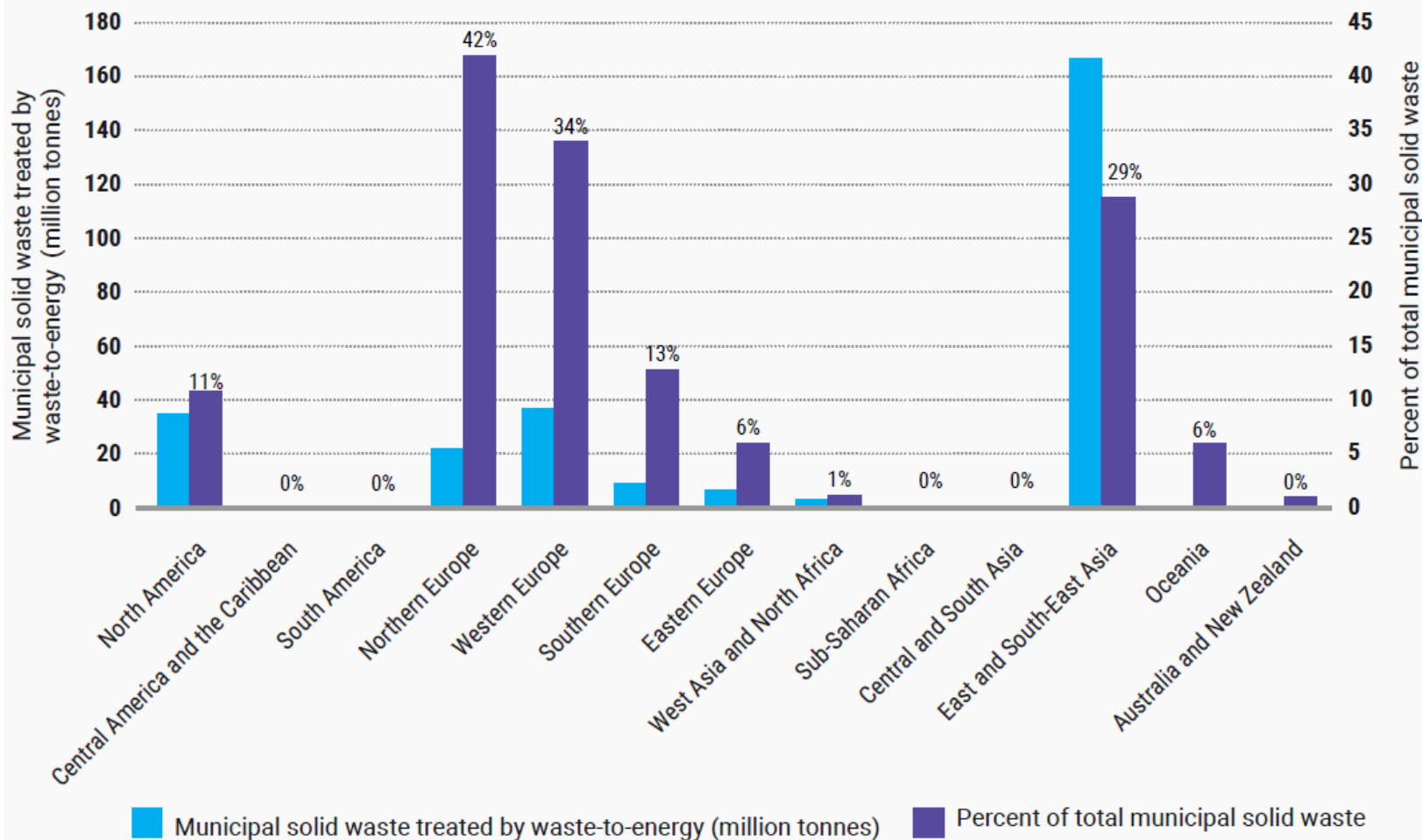
Rifiuti Urbani nel mondo: raccolta differenziata / riciclaggio



Fonte: UN, ISWA «Global Waste Management Outlook 2024»

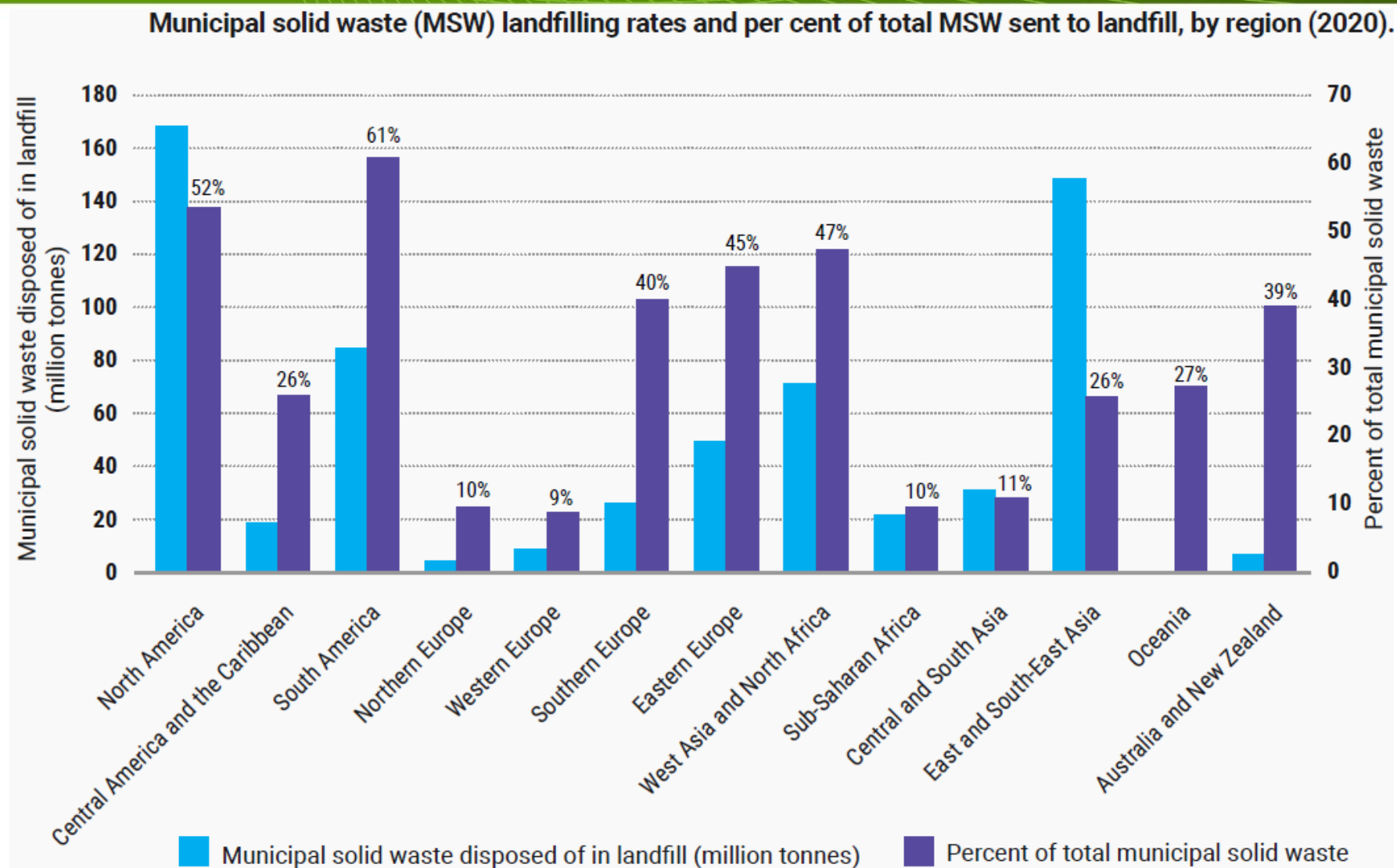
Rifiuti Urbani nel mondo: recupero di energia

Municipal solid waste treated by waste-to-energy plants (million tonnes) and percentage of total municipal solid waste treated by waste-to-energy, across regions.



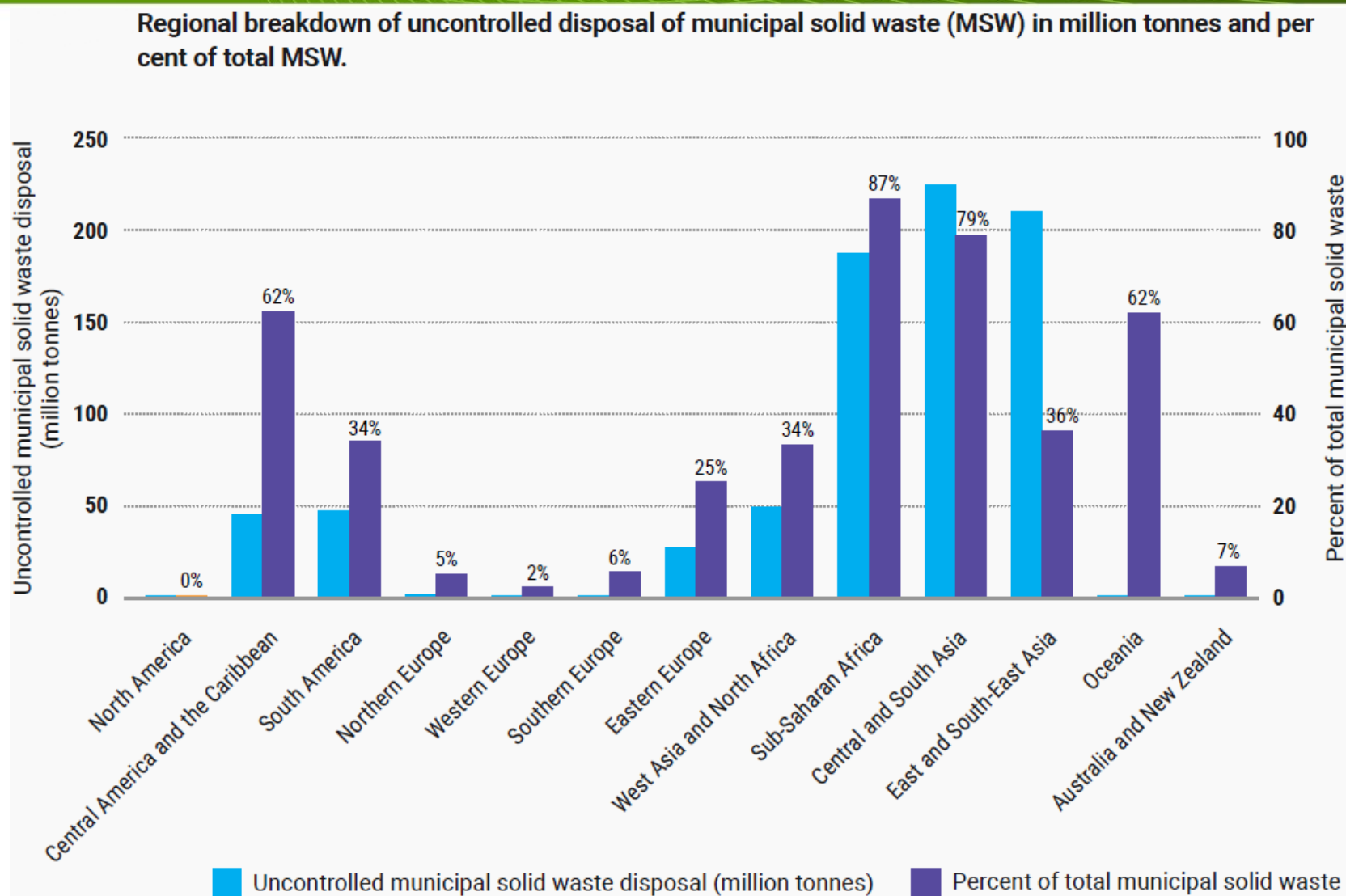
Fonte: UN, ISWA «Global Waste Management Outlook 2024»

Rifiuti Urbani nel mondo: discarica



Fonte: UN, ISWA «Global Waste Management Outlook 2024»

Rifiuti Urbani nel mondo: smaltimento incontrollato

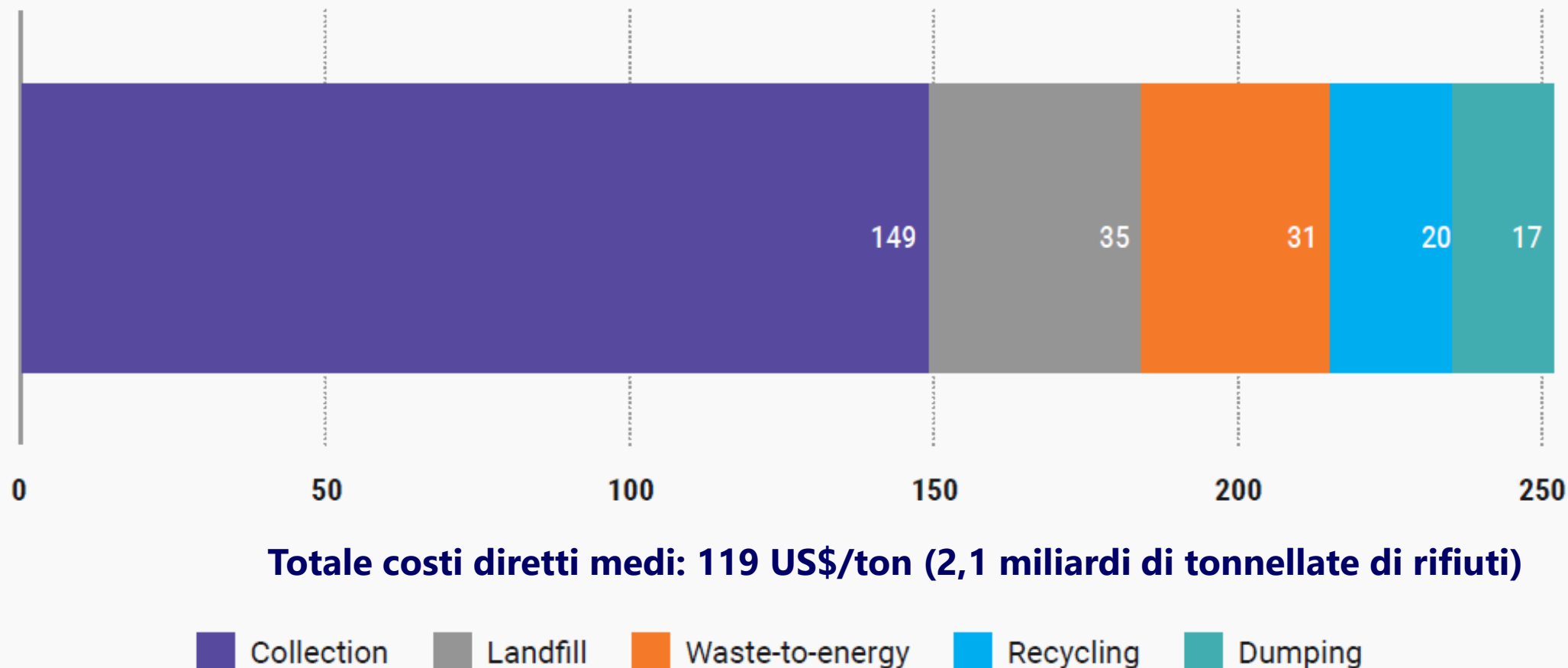


Fonte: UN, ISWA «Global Waste Management Outlook 2024»

Produzione e Gestione dei Rifiuti Urbani nel mondo

Estimated direct costs of municipal solid waste management globally in 2020.

Total direct costs: US\$252.3 (billions)

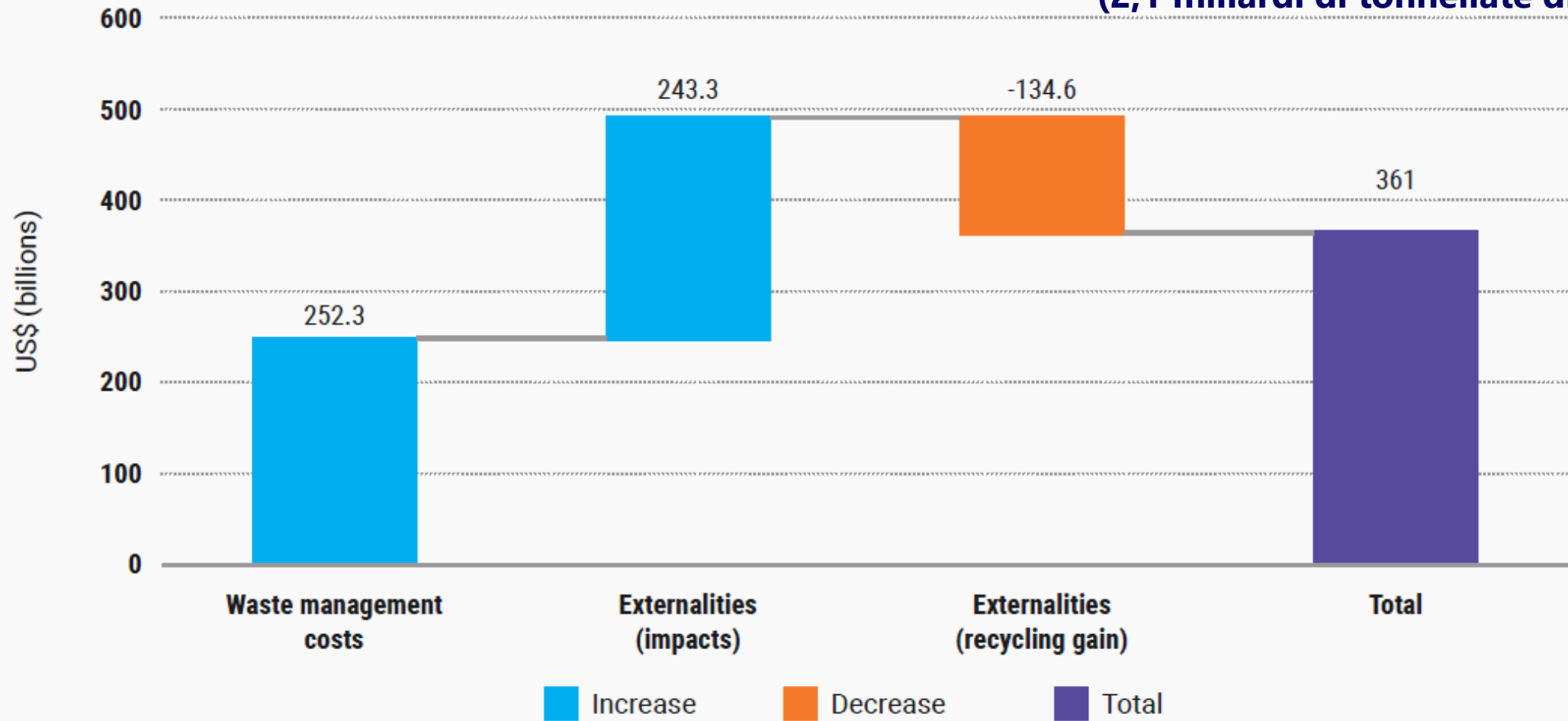


Fonte: UN, ISWA «Global Waste Management Outlook 2024»

Produzione e Gestione dei Rifiuti Urbani nel mondo

Direct costs, externalities and total overall costs of municipal solid waste and its management
(2020) (US\$ 2020).

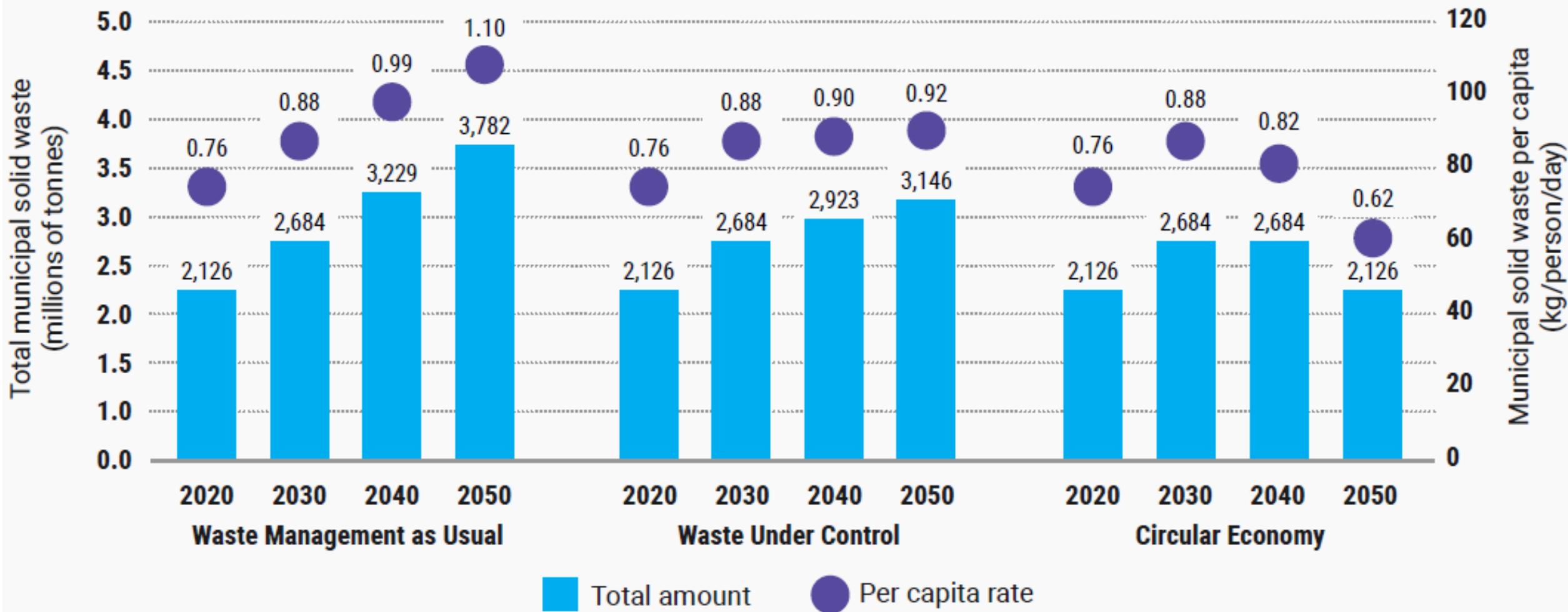
**Costo medio totale : 170 US\$/ton
(2,1 miliardi di tonnellate di rifiuti)**



Fonte: UN, ISWA «Global Waste Management Outlook 2024»

Produzione e Gestione dei Rifiuti Urbani nel mondo

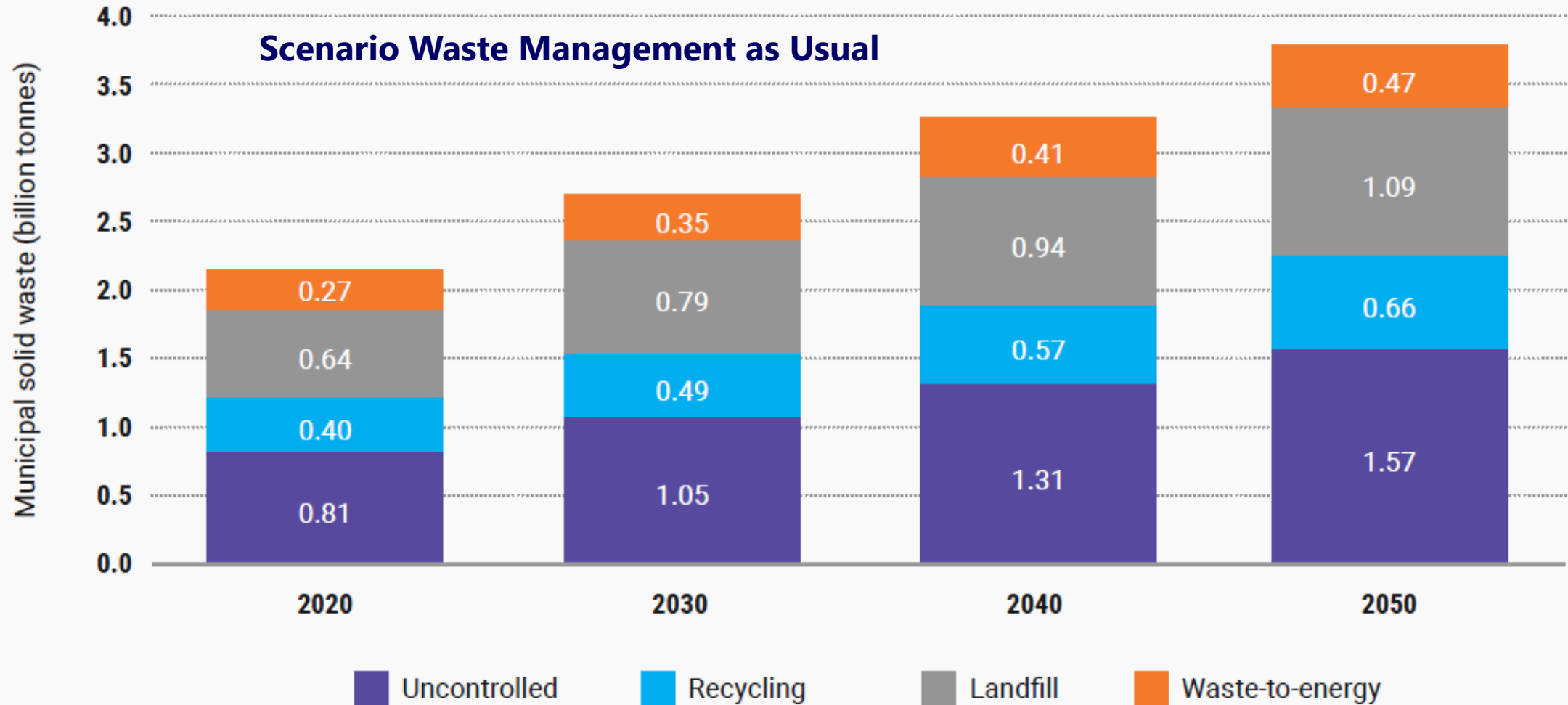
Comparative analysis of the three scenarios for global municipal solid waste generation.



Fonte: UN, ISWA «Global Waste Management Outlook 2024»

Produzione e Gestione dei Rifiuti Urbani nel mondo

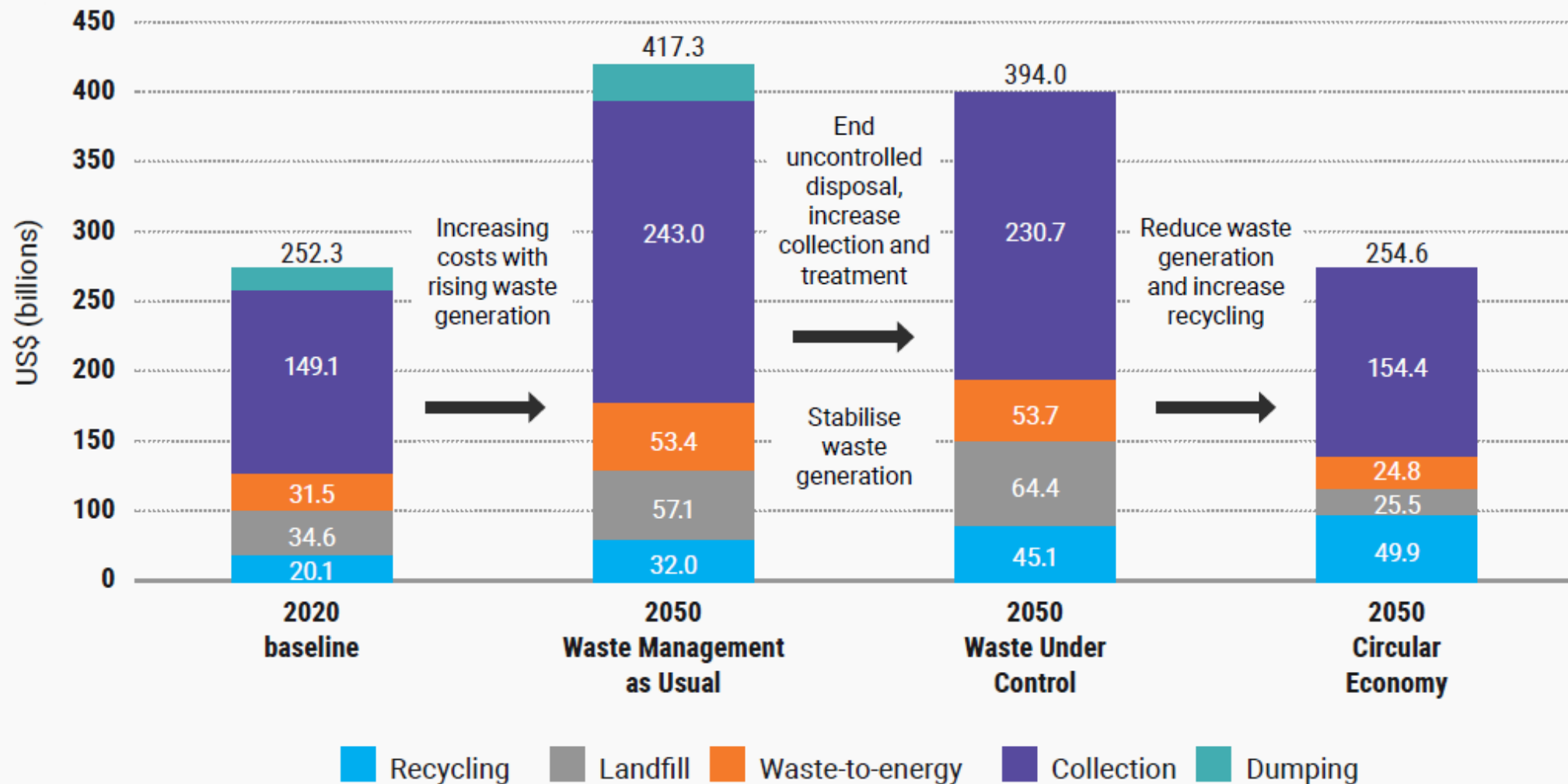
Projected global municipal solid waste destinations in 2030, 2040 and 2050 compared with 2020.



Fonte: UN, ISWA «Global Waste Management Outlook 2024»

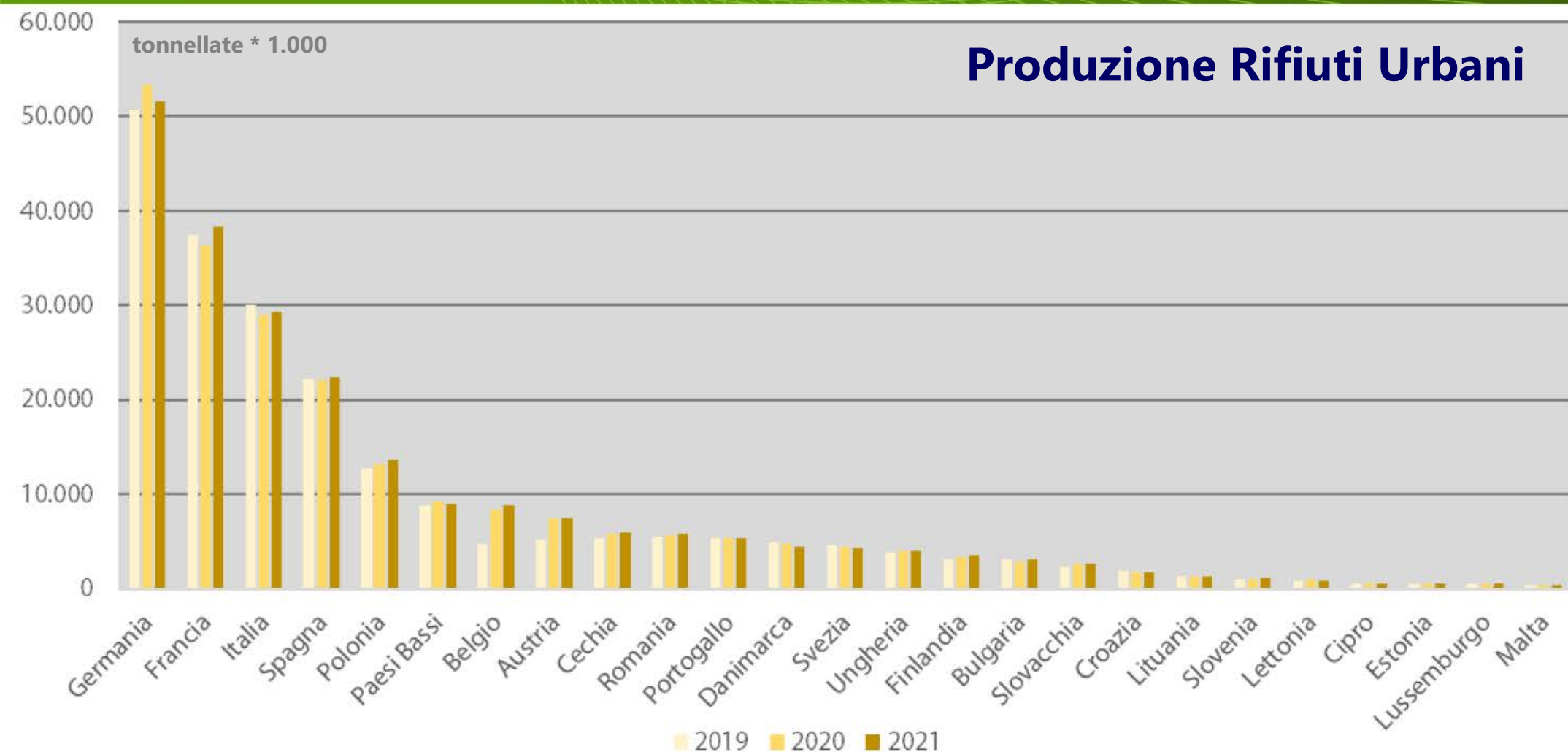
Produzione e Gestione dei Rifiuti Urbani nel mondo

Global direct costs of municipal solid waste management in 2050 under the three scenarios (US\$ 2020).



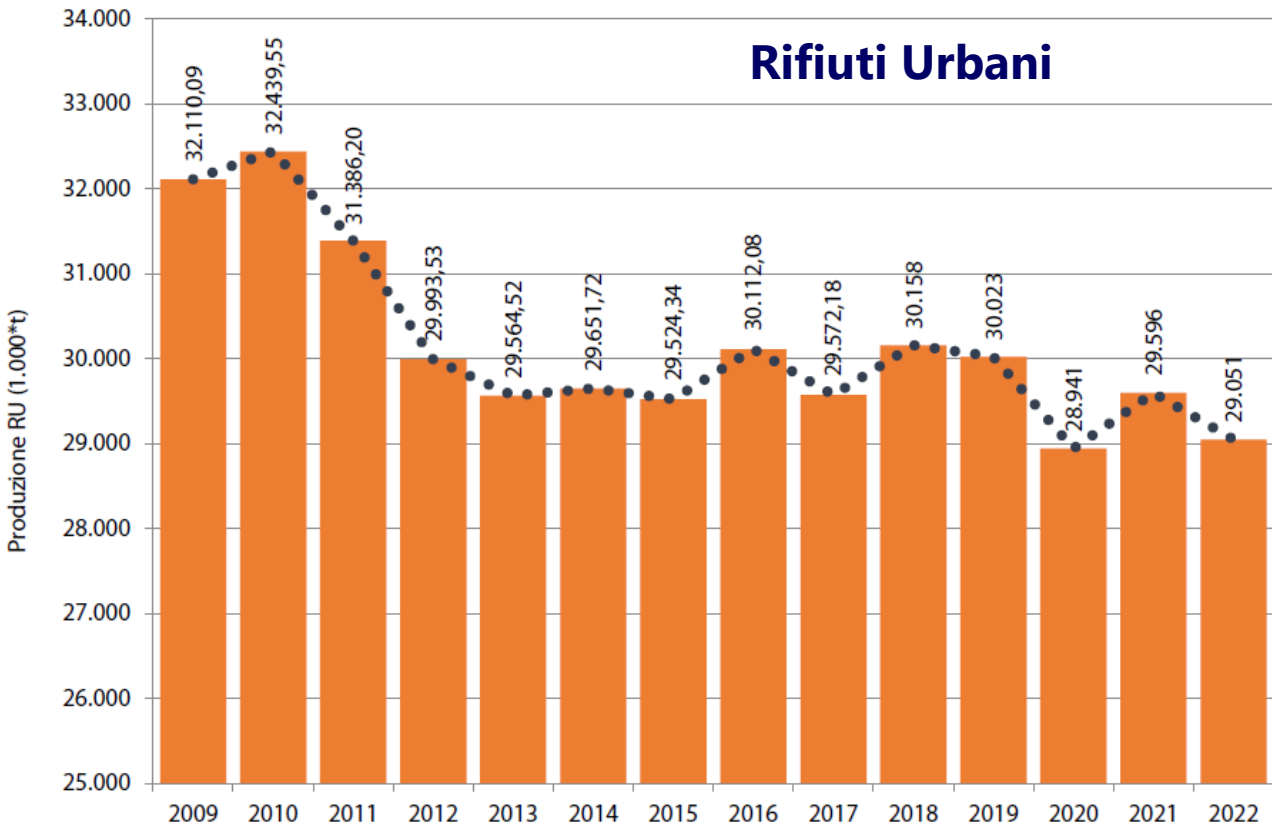
Fonte: UN, ISWA «Global Waste Management Outlook 2024»

Produzione e Gestione dei Rifiuti Urbani nell'Unione Europea



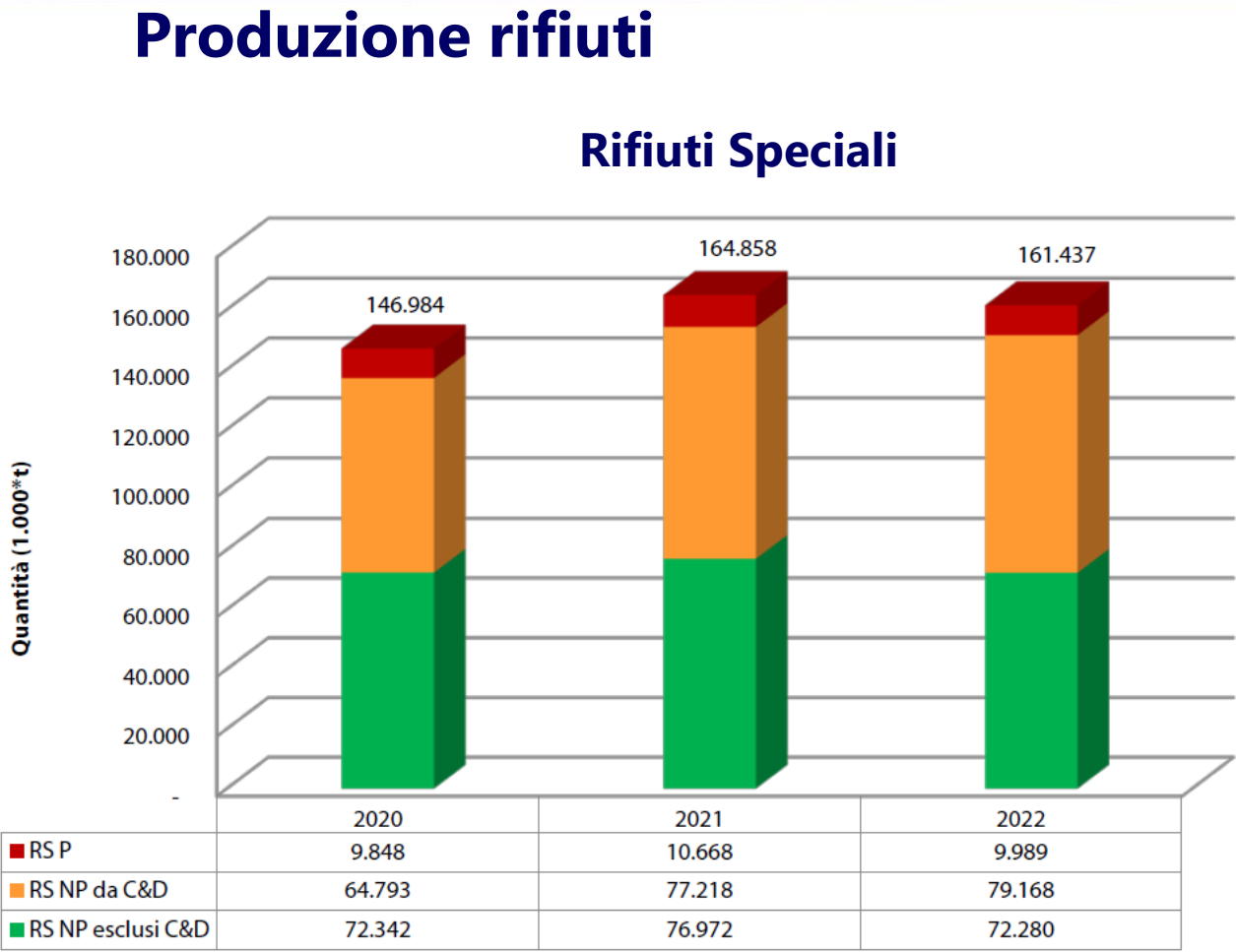
Europa (anno 2021): 235,4 milioni di tonnellate

Fonte: ISPRA «Rapporto Rifiuti Urbani - Edizione 2022», 2023



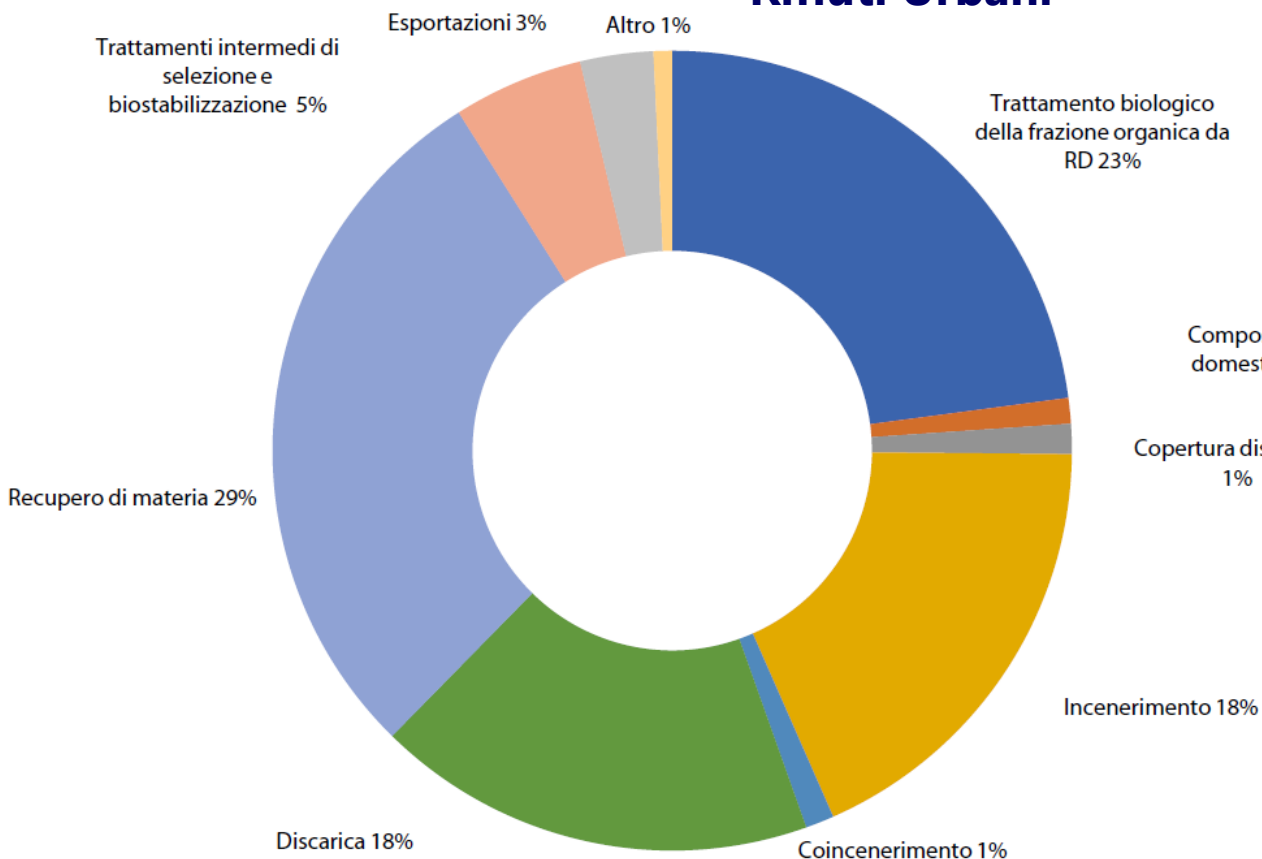
Italia (anno 2022)

- 29,05 milioni di tonnellate di Rifiuti Urbani
- 161,4 milioni di tonnellate di Rifiuti Speciali



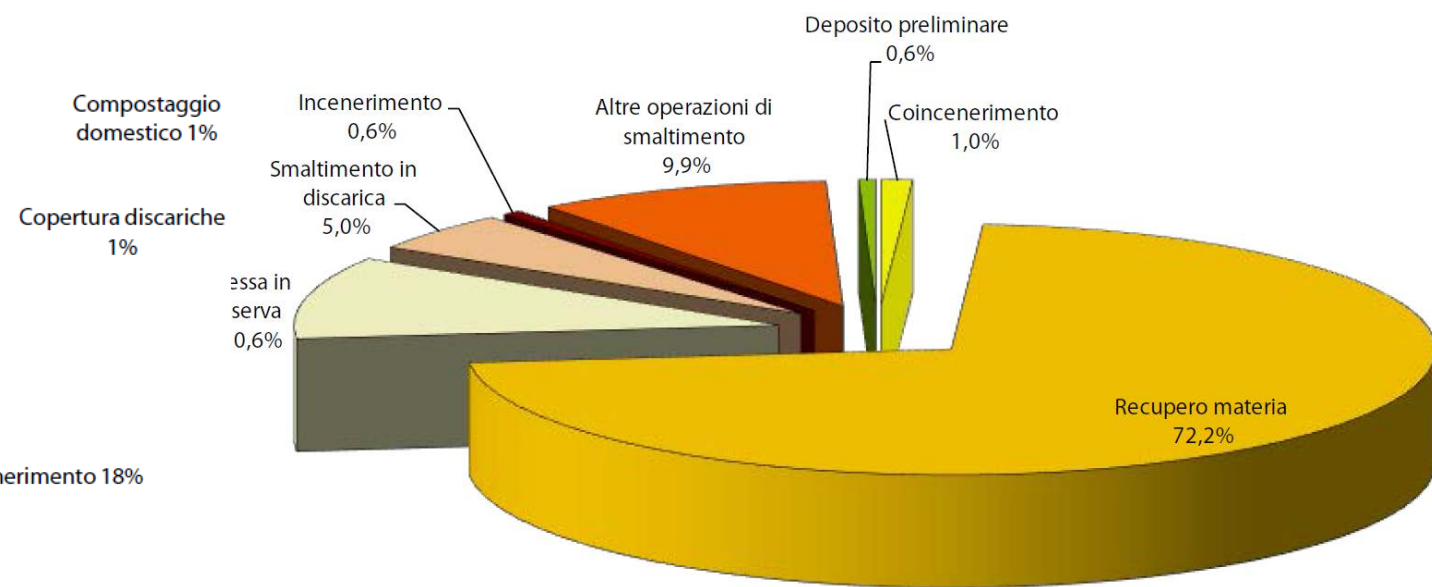
Fonte: ISPRA «Rapporto Rifiuti Urbani - Edizione 2022», 2023; ISPRA «Rapporto Rifiuti Speciali - Edizione 2023», 2024

Rifiuti Urbani



Gestione rifiuti

Rifiuti Speciali

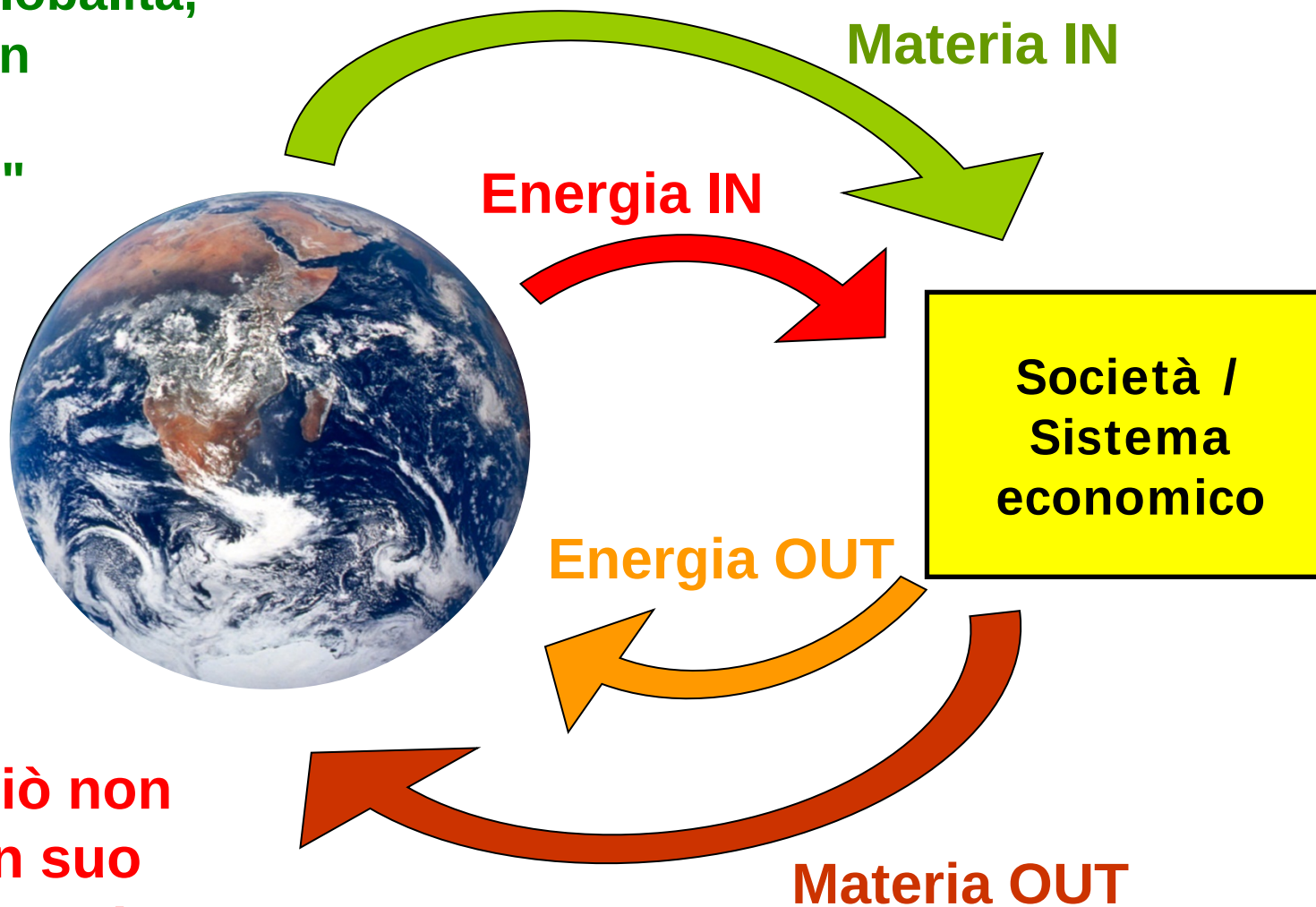


Fonte: ISPRA «Rapporto Rifiuti Urbani - Edizione 2022», 2023; ISPRA «Rapporto Rifiuti Speciali - Edizione 2023», 2024

Problema rifiuti ?



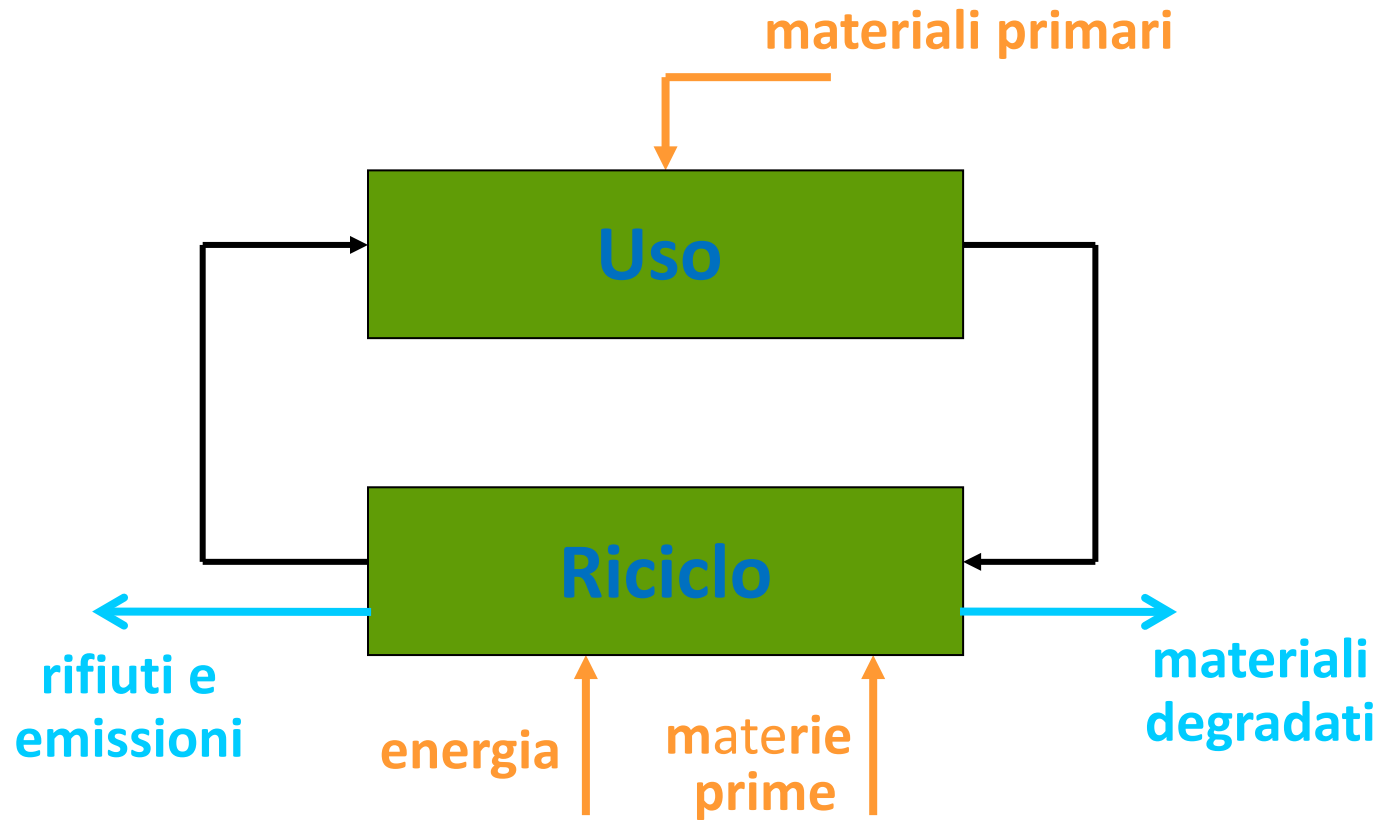
Nella sua globalità,
la Terra é un
sistema a
"rifiuti zero"



Tuttavia, ciò non
vale per un suo
sotto-insieme !

Limiti del riciclo

- **non tutti i materiali sono riciclabili**, per difficoltà tecniche, per costi ambientali proibitivi e anche perché una parte non trascurabile di essi contiene sostanze pericolose
- **nessun materiale può essere riciclato all'infinito**, perché perdite e contaminazioni sono inevitabili



«Problema» rifiuti e Circolarità del sistema economico-produttivo

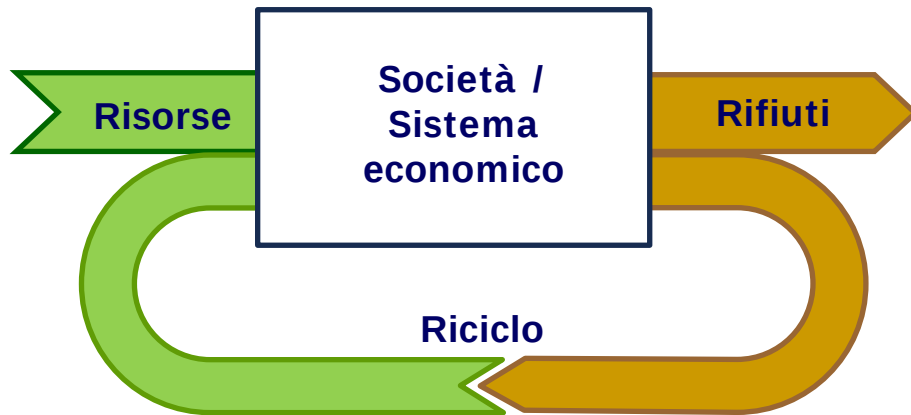
- Di per sé i rifiuti **NON** sono un problema, bensì un necessario aspetto del funzionamento dei sistemi biologici e dei sistemi economici
- I rifiuti diventano un problema se:
 - gestiti in modo inadeguato
 - ignorati, pretendendo sia possibile farne a meno
- La filosofia con la quale si vuole ricondurre la gestione dei rifiuti alla normalità e alla sostenibilità mira alla «circolarità» dell'uso delle risorse



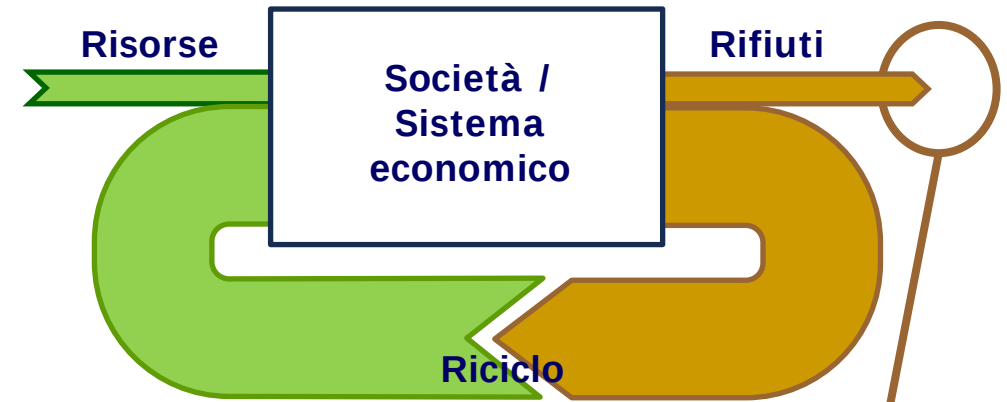
Economia lineare vs Economia circolare



Economia lineare



**Economia a
«media circolarità»**



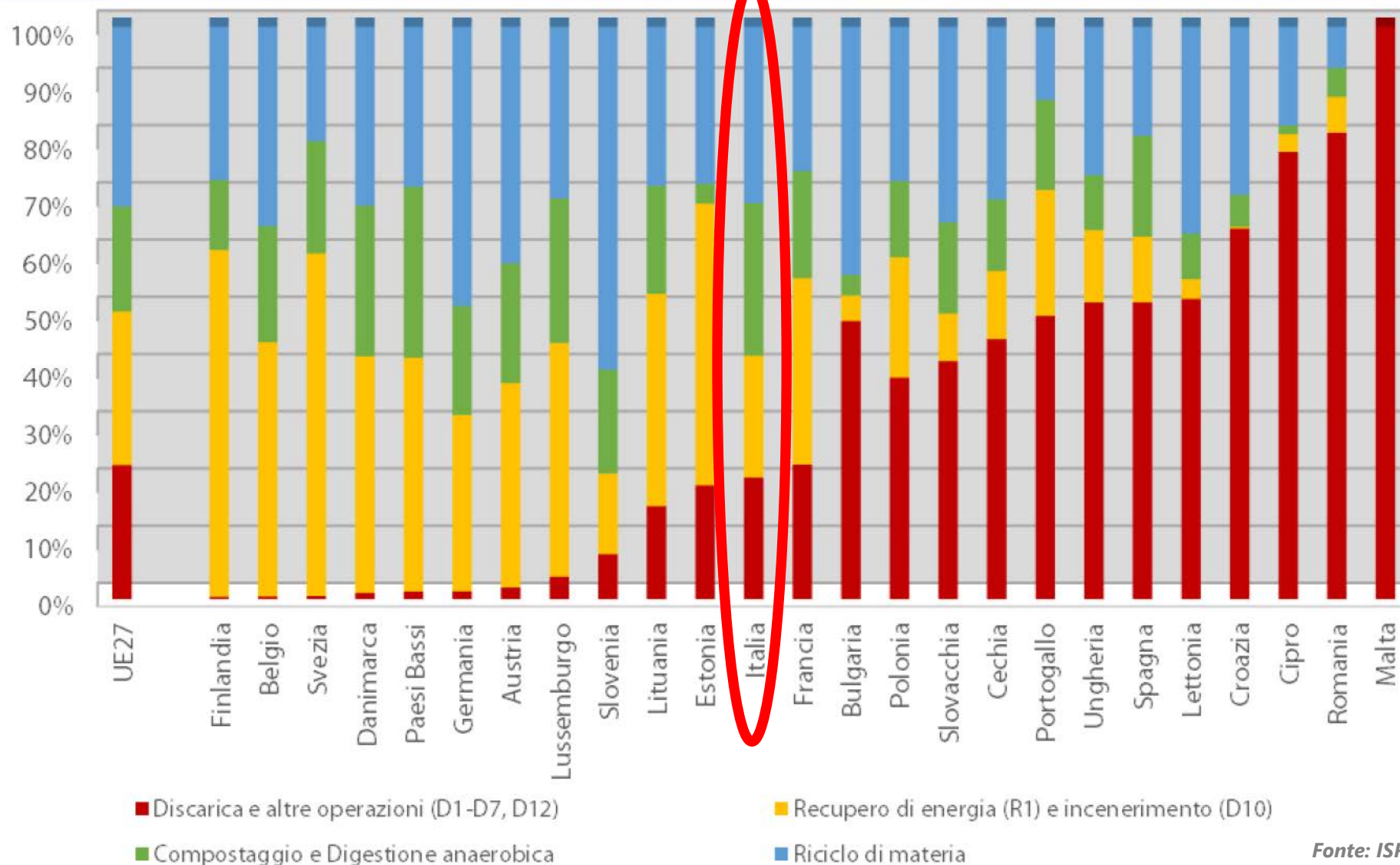
**Economia a
«alta circolarità»**

Materiale non riciclabile

**Recupero di Energia →
termovalorizzazione**

Discarica

Trattamento dei rifiuti nell'Unione Europea



Media UE (anno 2021)

Recupero di materia: 35%

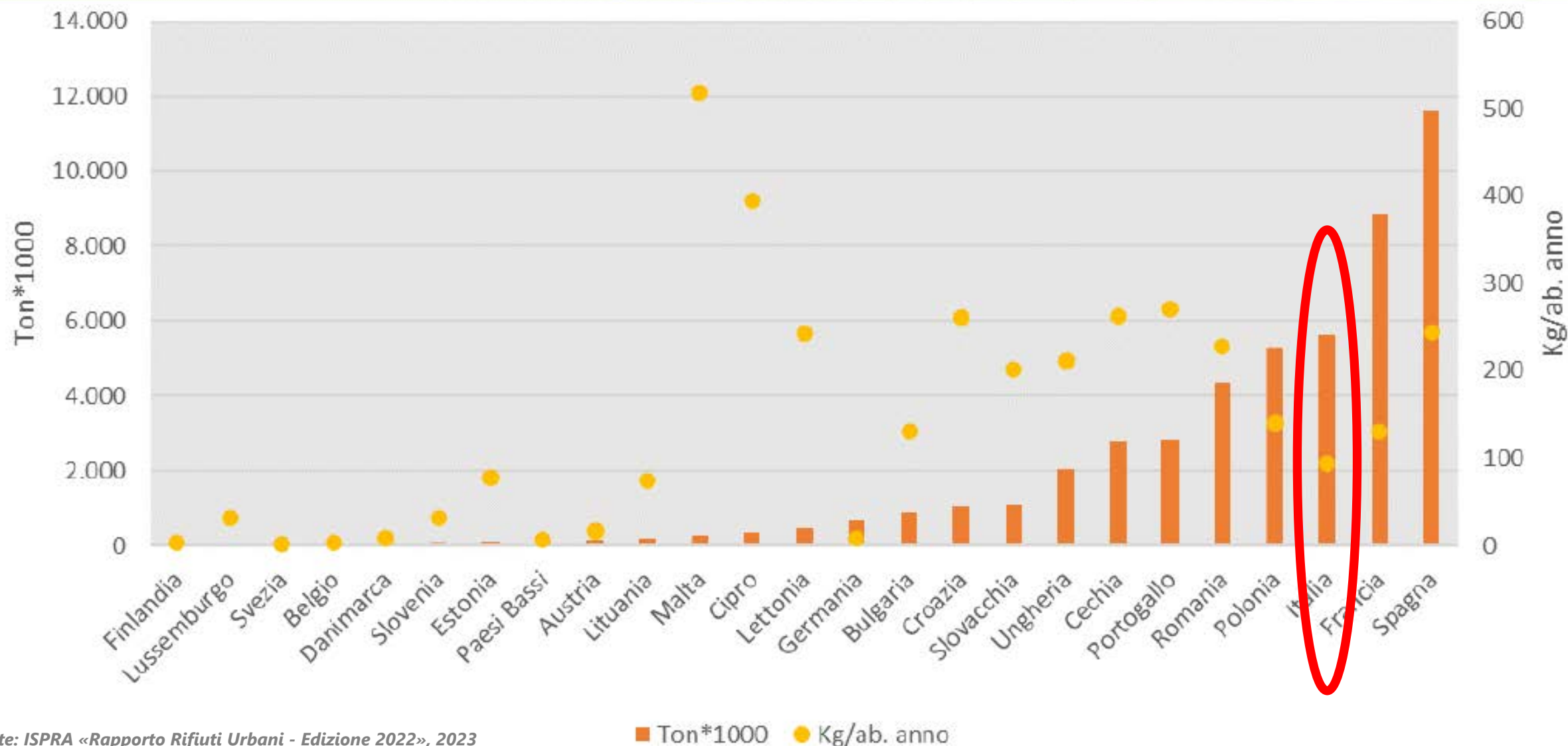
Recupero di energia: 25%

Compostaggio e DA: 15%

Discarica e altro: 25%

Fonte: ISPRA «Rapporto Rifiuti Urbani - Edizione 2022», 2023

Smaltimento in discarica



Fonte: ISPRA «Rapporto Rifiuti Urbani - Edizione 2022», 2023

Perché no discarica

Discarica incontrollata



- emissioni inquinanti e odori
- emissioni di gas serra, in particolare metano
- inquinamento falde acquifere
- diffusione malattie e infezioni
- proliferazione insetti e animali
- elevata occupazione di territorio
- gestione "post-mortem"
- infiltrazioni criminalità organizzata

Discarica moderna

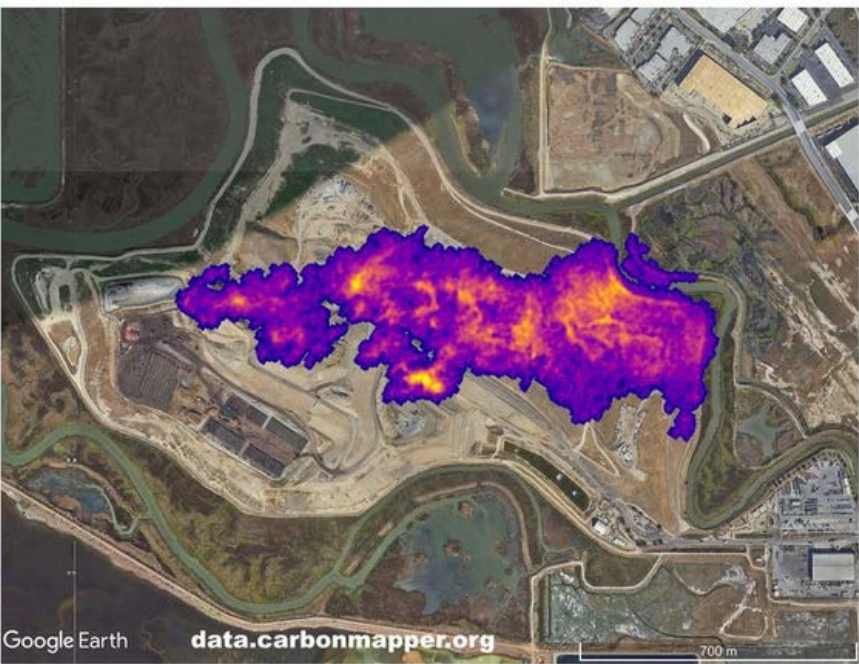


questi problemi **PERMANGONO**
per lungo tempo (30-100 anni)
dopo la chiusura della discarica

Emissioni di gas serra: metano da discarica

Using satellites to uncover large methane emissions from landfills

JOANNES D. MAASAKKERS, DANIEL J. VARON, ALDÍS ELFARSDÓTTIR, JASON MCKEEVER, DYLAN JERVIS, GOURAV MAHAJAN, ALBA LORENTE, TOBIAS BORSIORFF, [...] AND LSE ABEN +5 authors Authors Info & Affiliations



Waste MAP (Methane Assessment Platform)

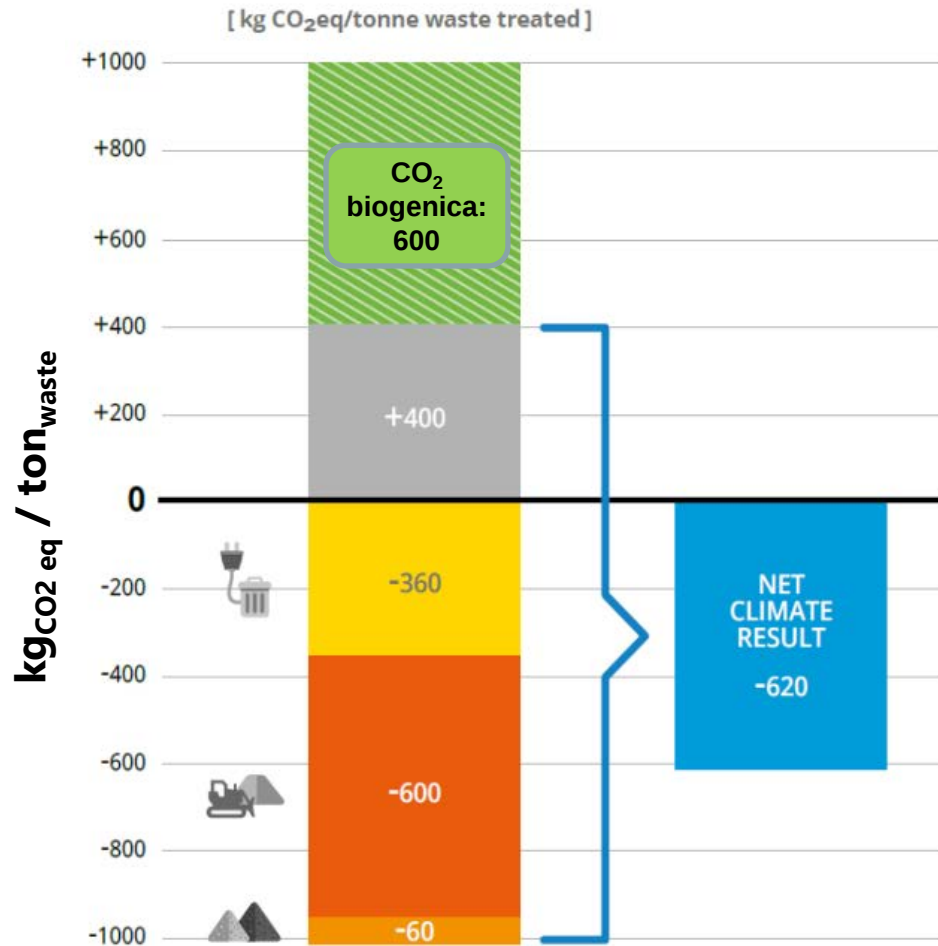
- Heat Map & Emissions Data
- Decision Support Tool
- Citizen Waste Champions Community
- End-to-End Waste Management Strategies Playbook
- South-to-South Convenings & Information Sharing



Contributo delle discariche al cambiamento climatico si sta rivelando nettamente maggiore di quanto originariamente ipotizzato

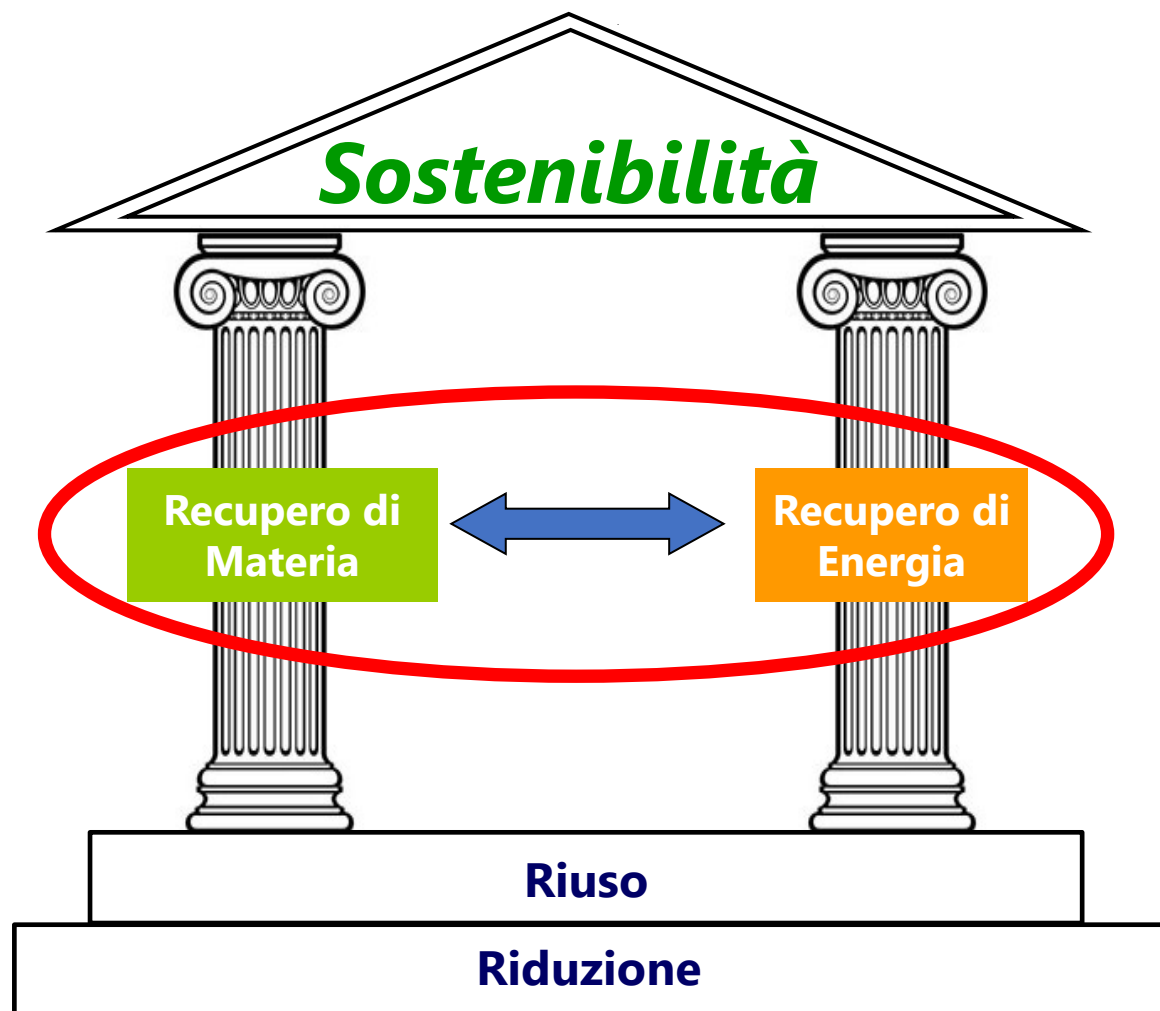
Termovalorizzazione vs Discarica

From Carbon Neutral to Carbon Negative



**«RISULTATO»
CLIMATICO NETTO = EMISSIONE
GHG EVITATA**

Fonte: CEWEP «WtE climate roadmap: the path to carbon negative», 2022

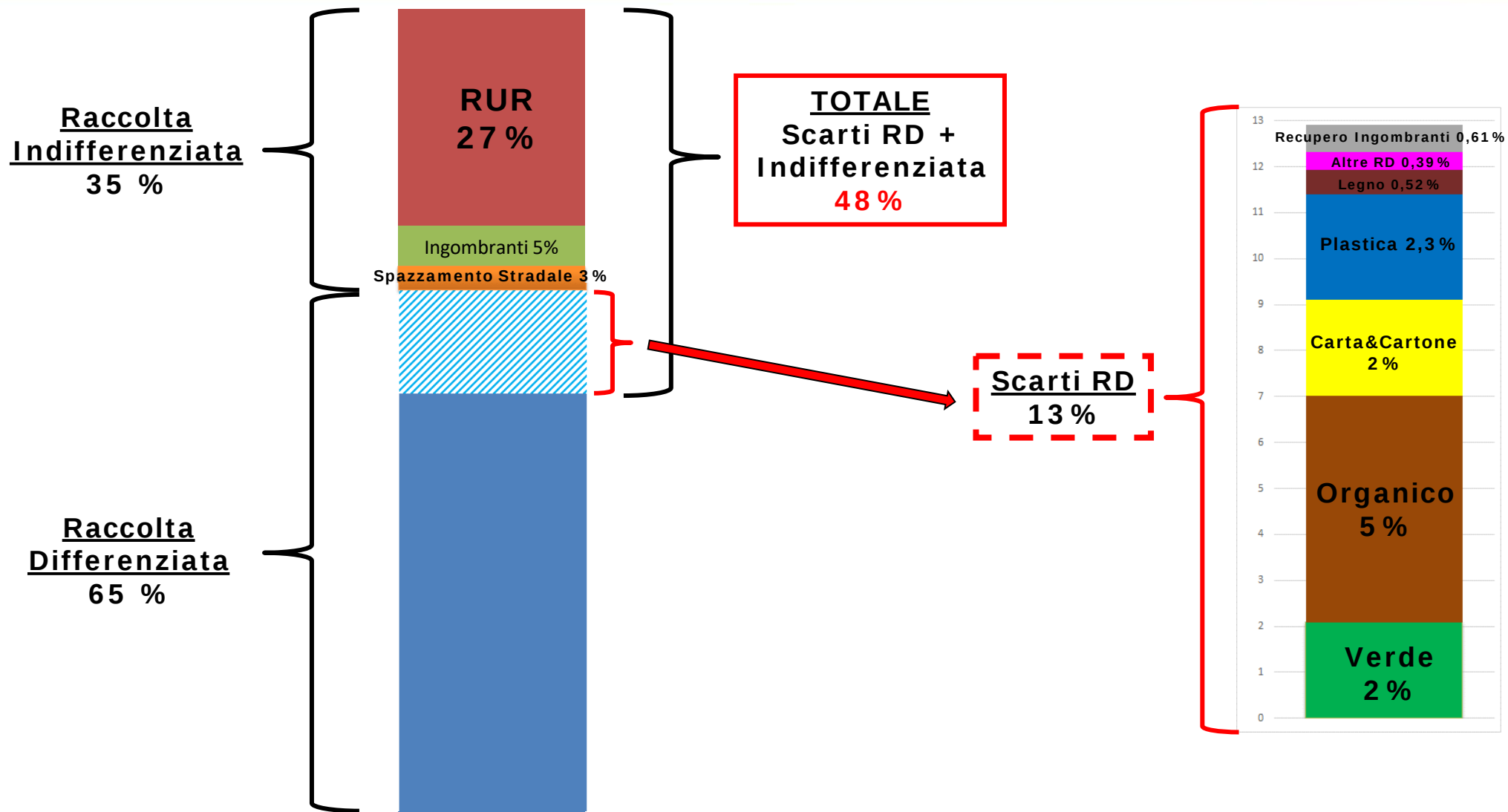


Recupero di Materia ed Energia sono entrambi necessari per la Sostenibilità

Stretta interconnessione tra recupero di materia (riciclaggio) e di energia:

- **Riciclaggio genera inputs per il recupero di energia** (materiali che non possono essere riciclati)
- **Recupero di energia genera materiali che possono essere riciclati** (metalli, ceneri)

Residui da raccolta differenziata

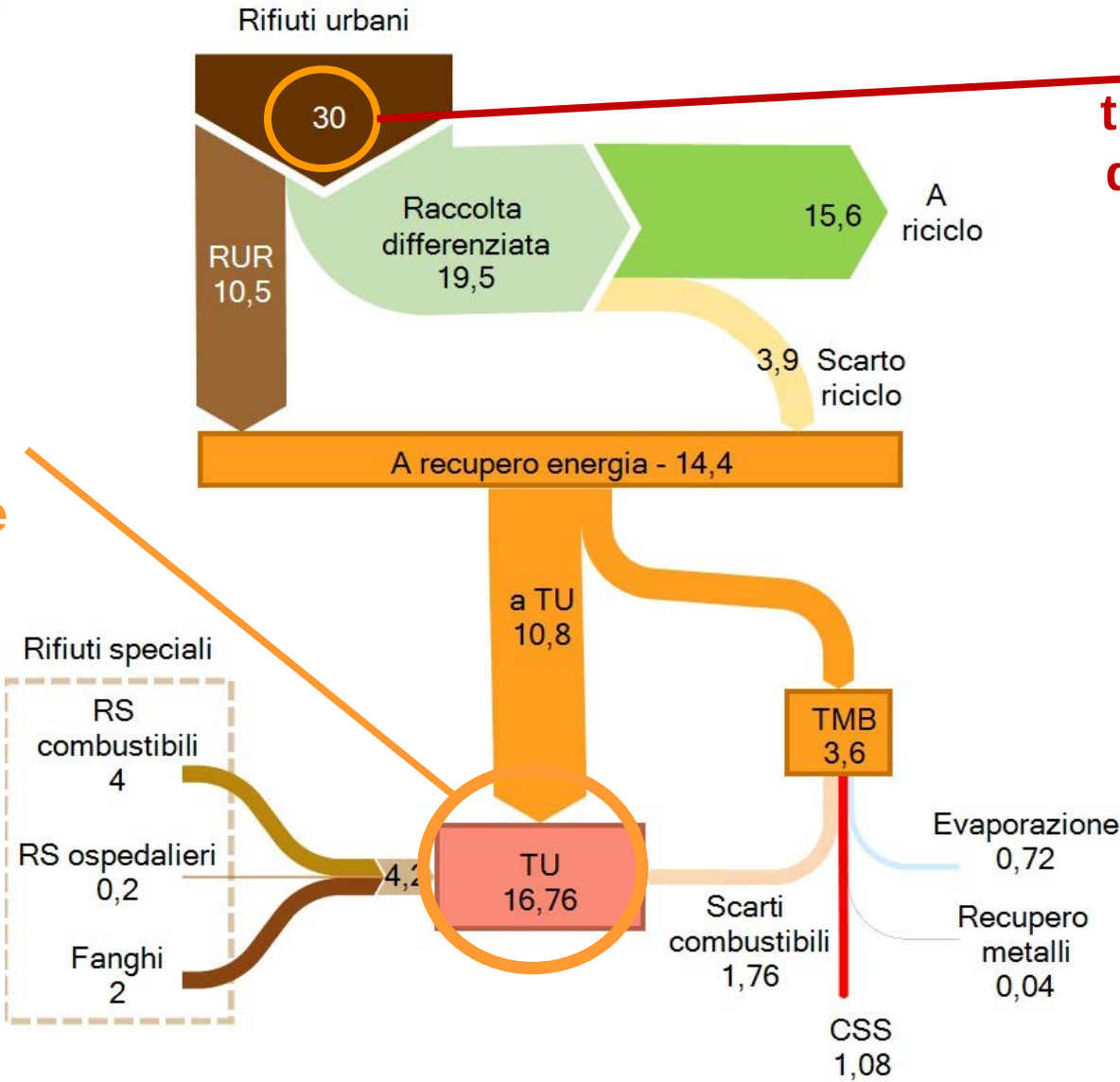


Fonte: stima MatER, Ecomondo 2016

Sinergie tra Recupero di Materia ed Energia

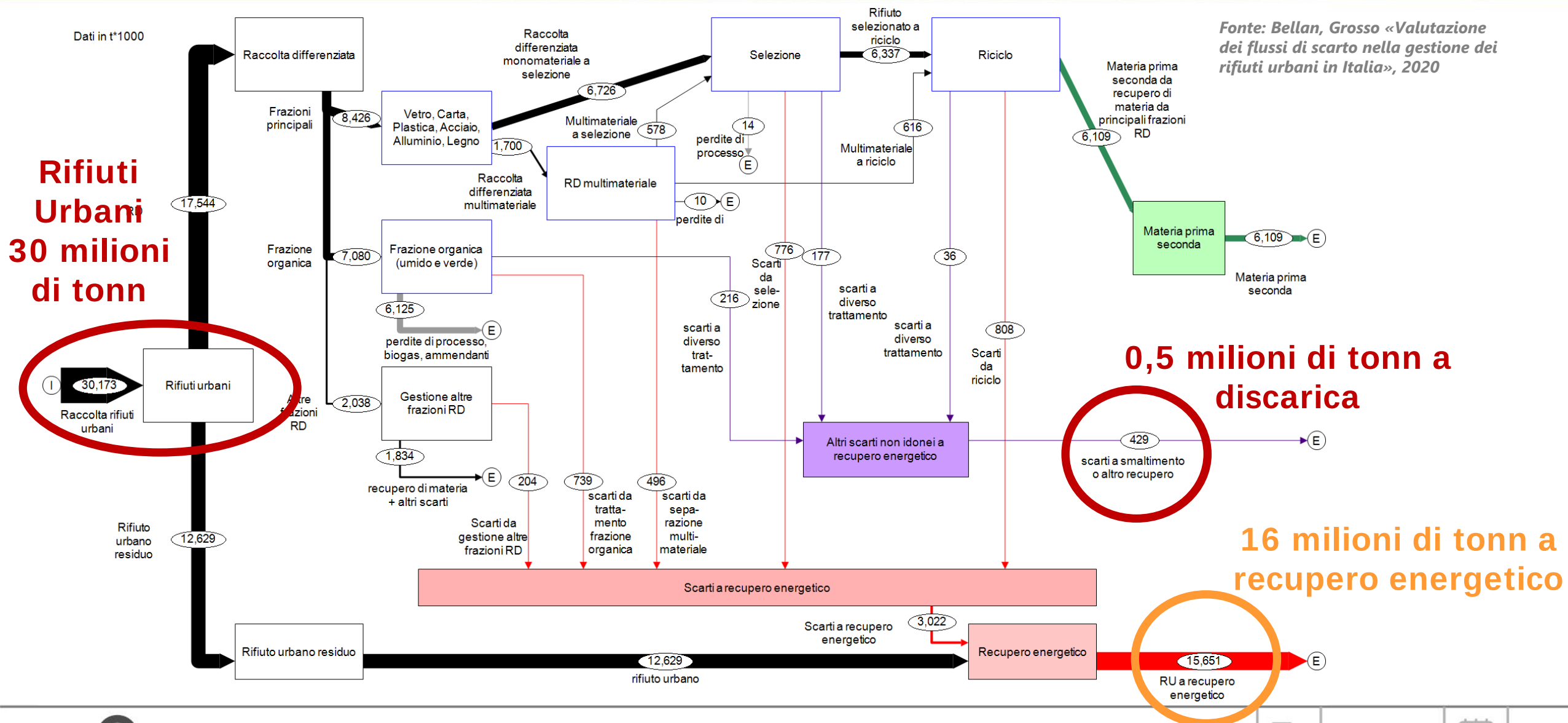
30 Milioni di
tonnellate / anno
di Rifiuti Urbani

16,8 milioni di
tonn/anno a
termoutilizzazione



Fonte: Stima MatER del fabbisogno
di termo-utilizzazione in Italia

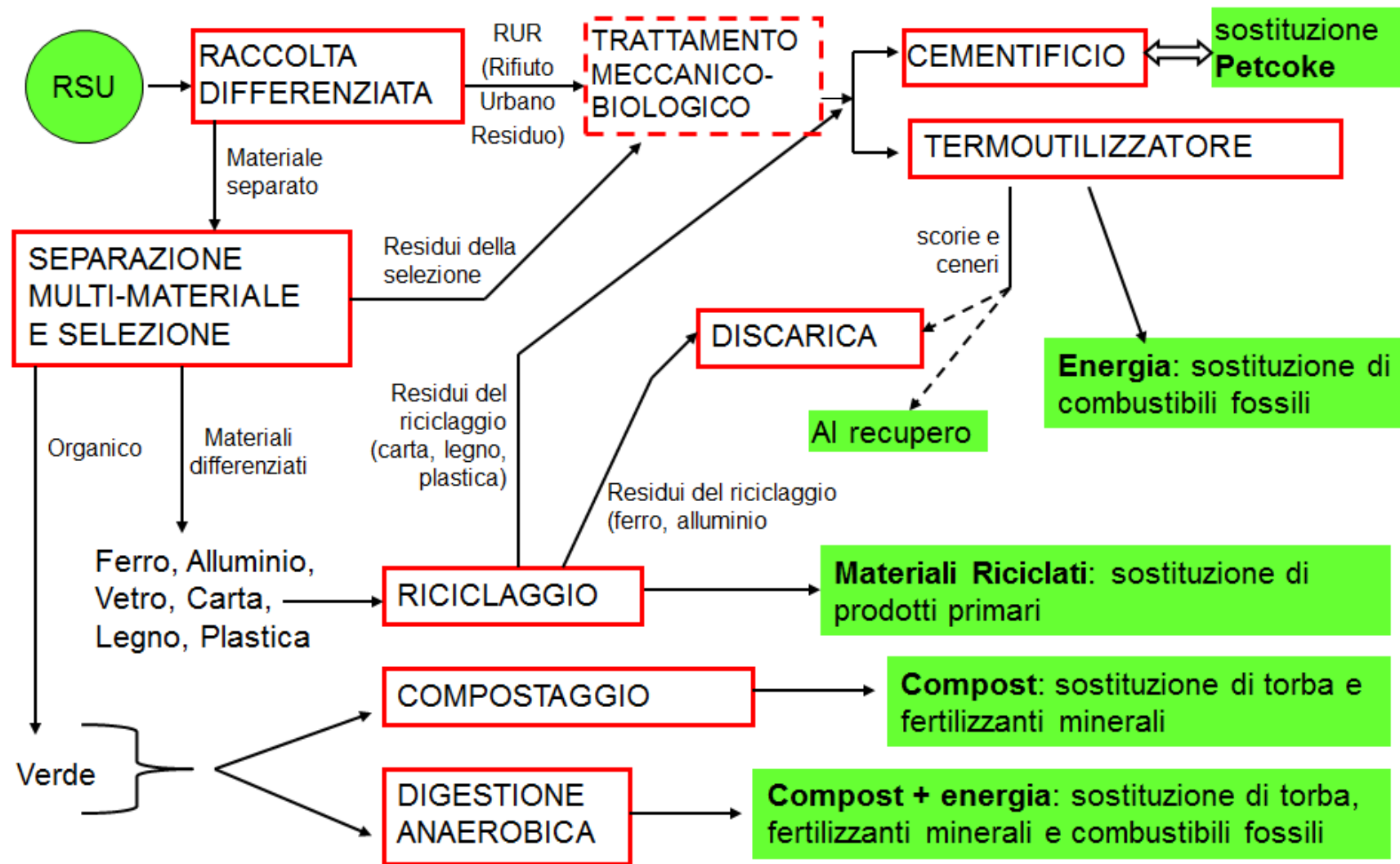
Sinergie tra Recupero di Materia ed Energia



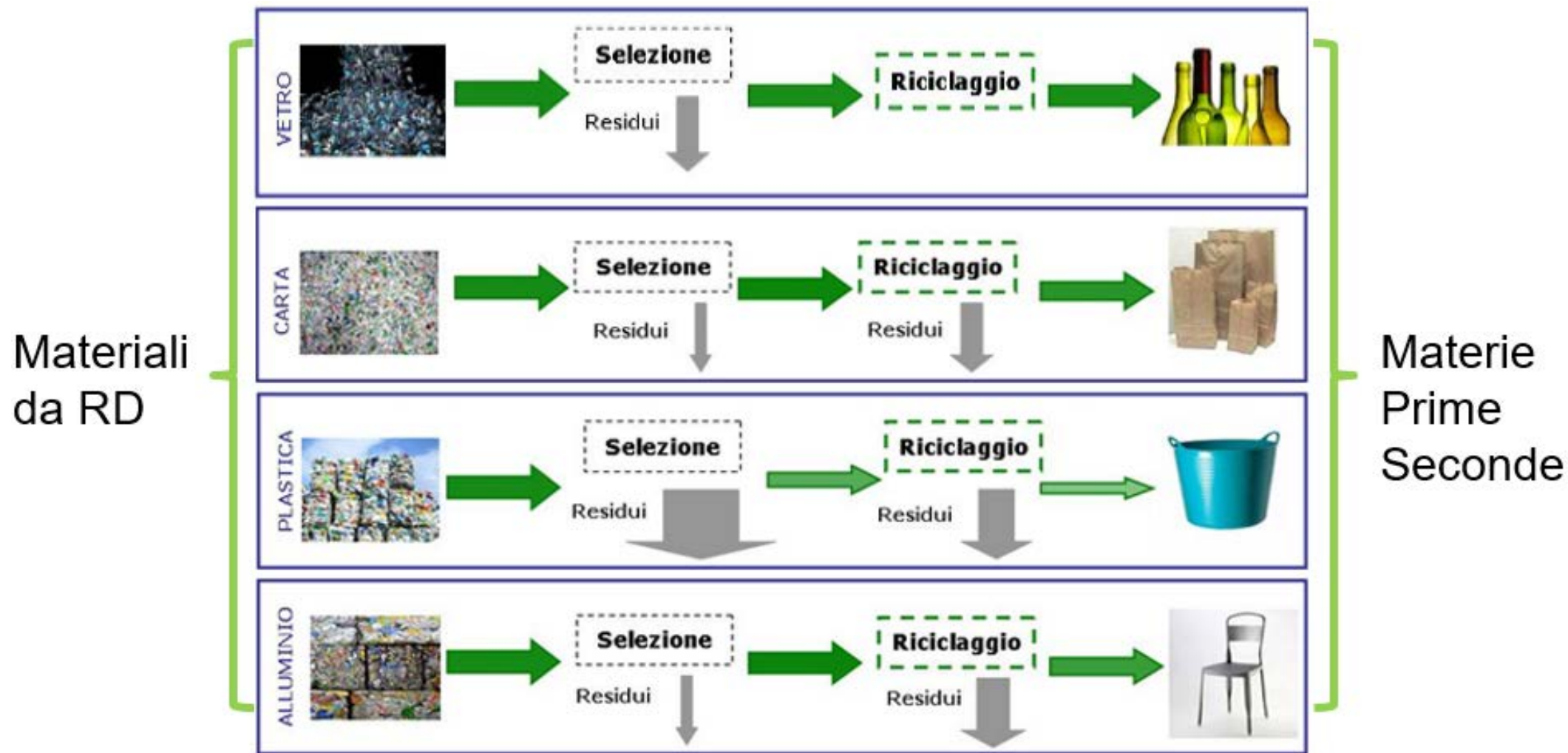
Sistema integrato di gestione rifiuti

Possibile schema integrato di gestione

- Entrano in gioco diverse tecnologie di trattamento/smaltimento
- Possibile ottenere diversi output a partire da un singolo input
- Output di alcuni processi possono diventare input per altri

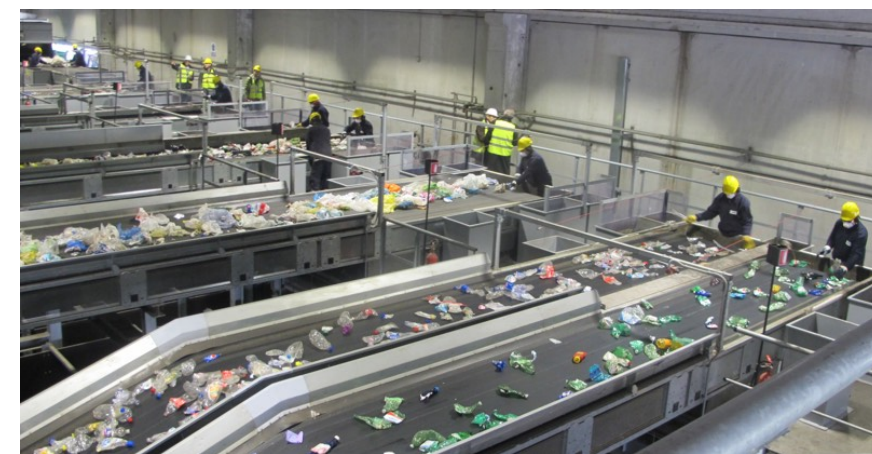
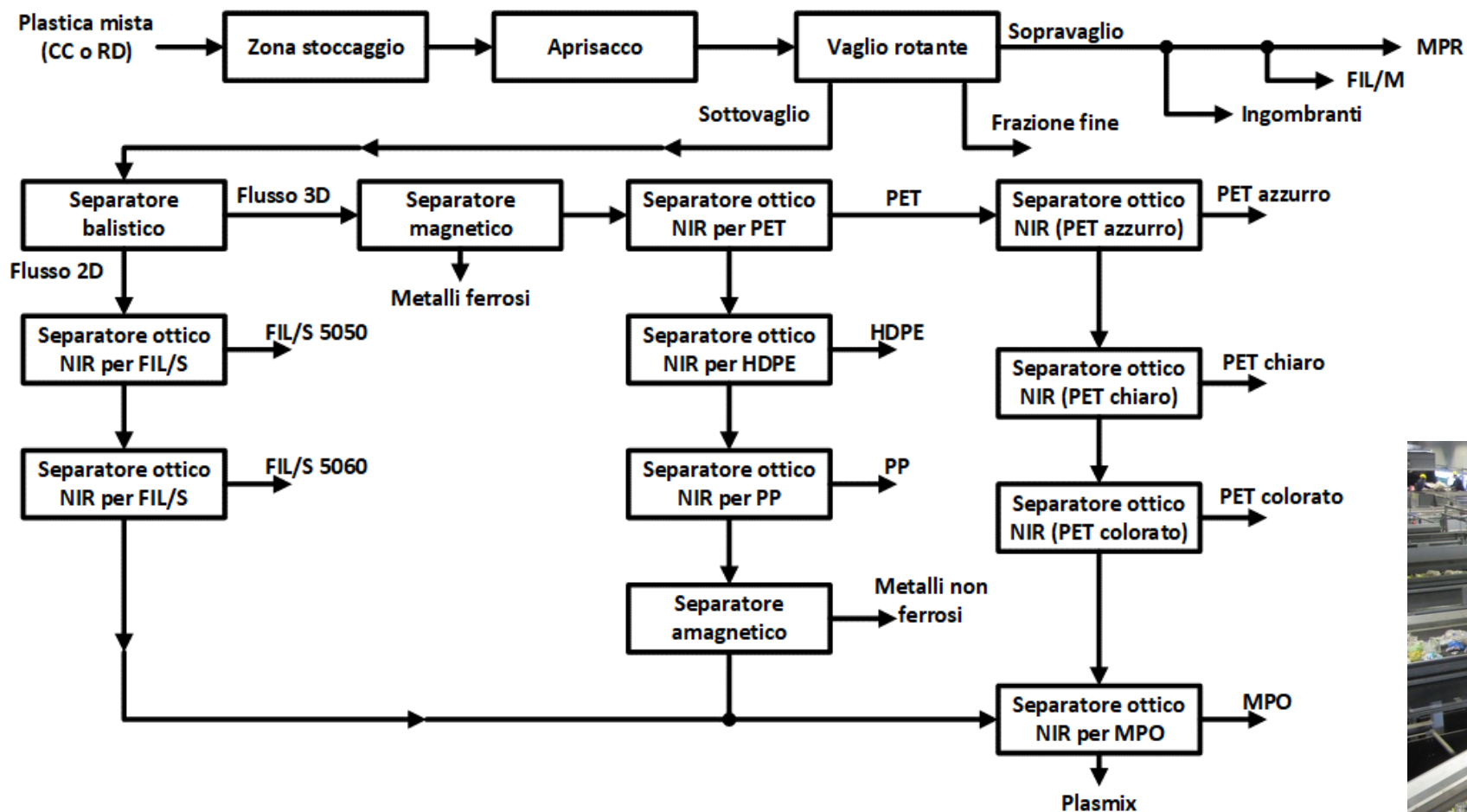


Riciclo dei materiali da Raccolta Differenziata



Riciclo dei materiali da Raccolta Differenziata

Impianto avanzato di selezione della plastica

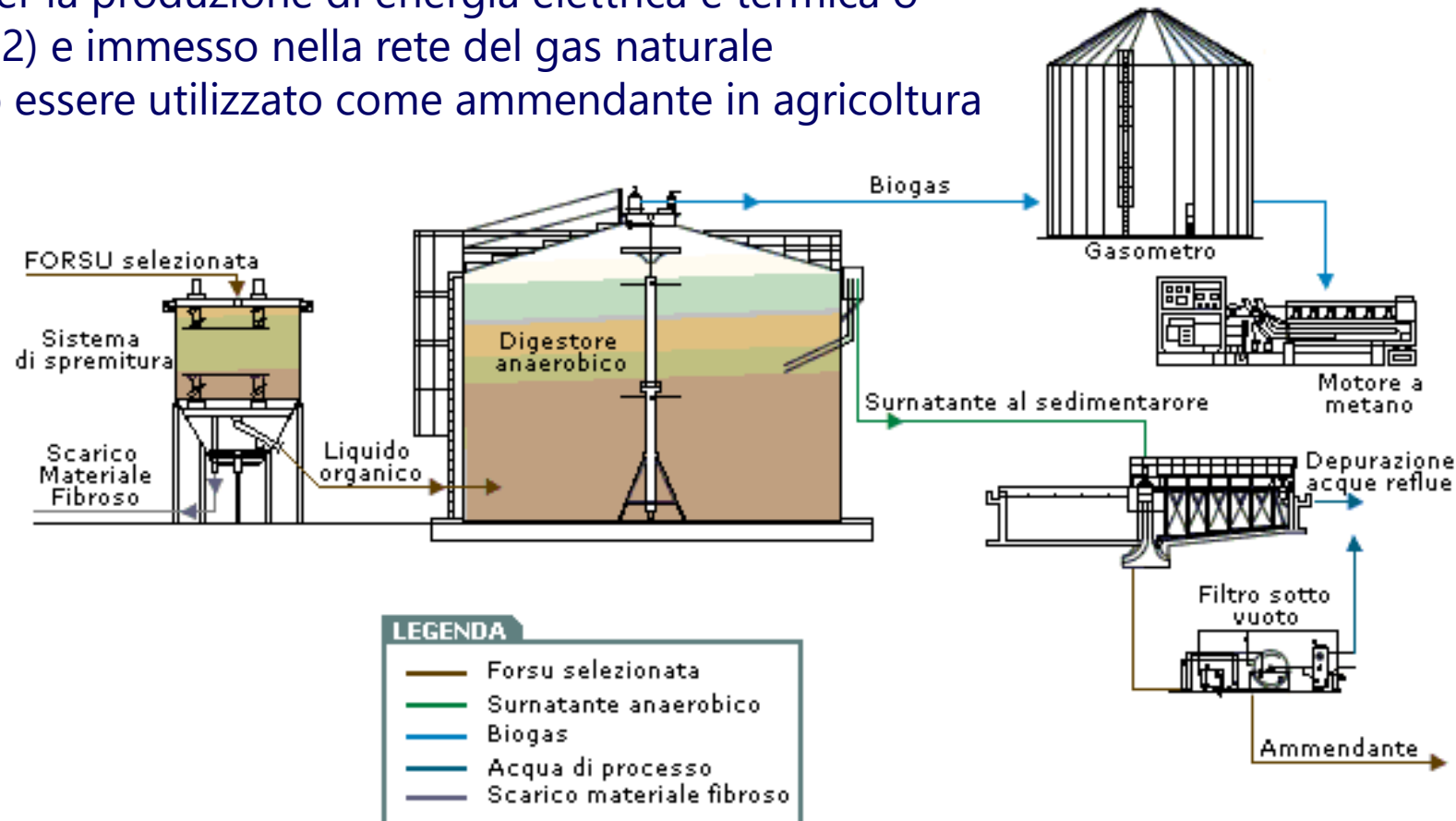


Digestione Anaerobica FORSU

Processo biologico di trasformazione, in assenza di ossigeno, della sostanza organica in biogas (principalmente costituito da CH_4 e CO_2)

Il biogas prodotto può essere utilizzato per la produzione di energia elettrica e termica o purificato a biometano (eliminando la CO_2) e immesso nella rete del gas naturale

Il residuo solido prodotto (digestato) può essere utilizzato come ammendante in agricoltura

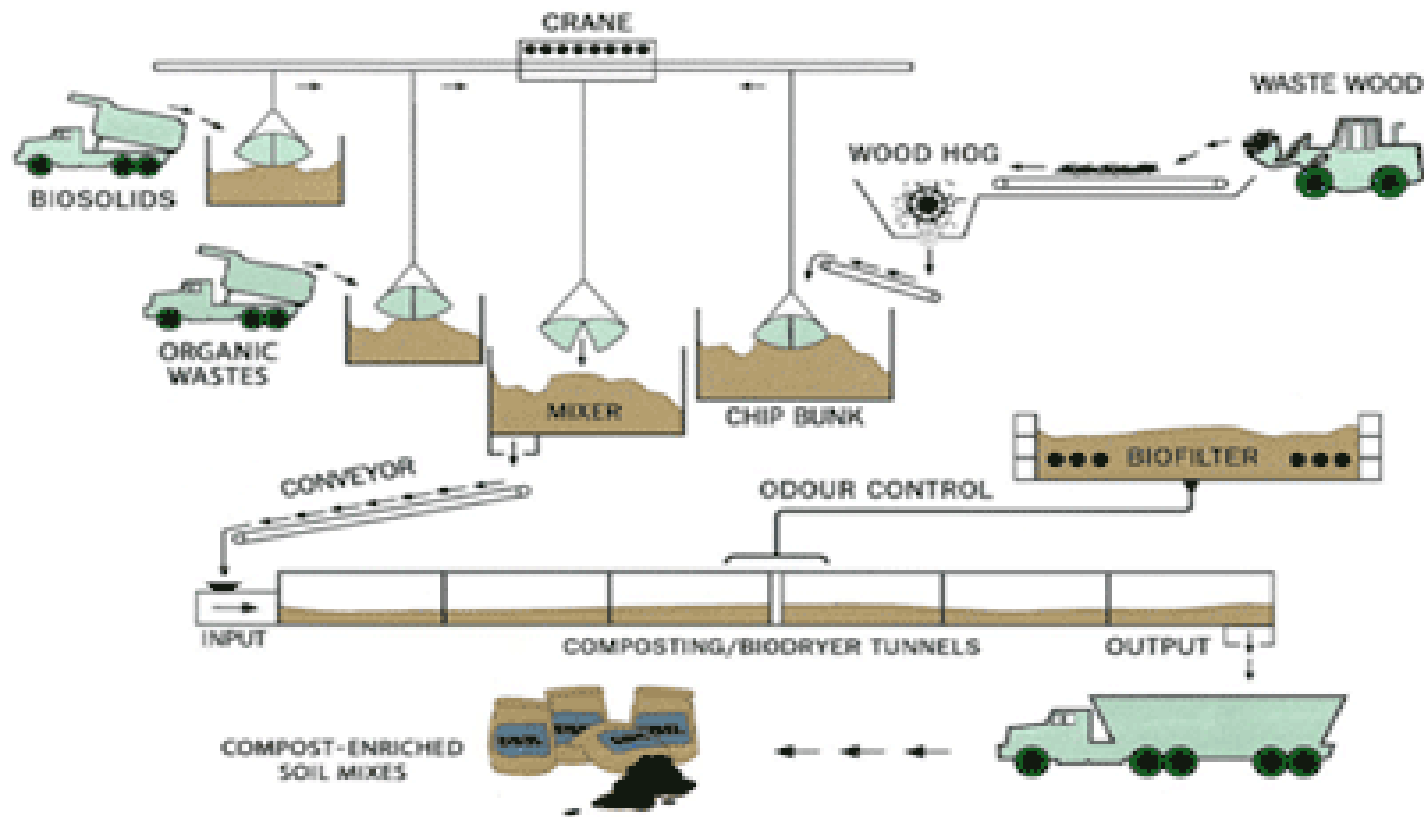


Compostaggio FORSU e frazione verde

Processo biologico di trasformazione, in presenza di ossigeno, della sostanza organica in frazioni più semplici

Materiale posizionato in cumuli su aie arieggiate/tunnel aperti

Necessario un mix tra frazione organica e rifiuto «verde» per evitare di avere cumuli troppo compatti

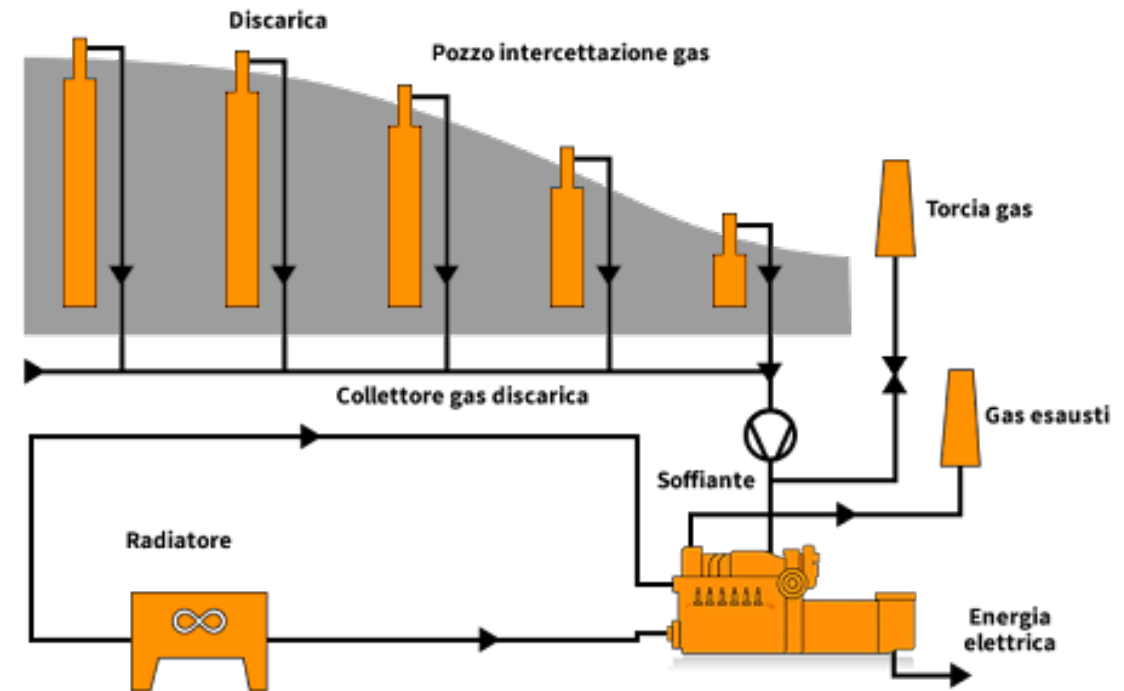
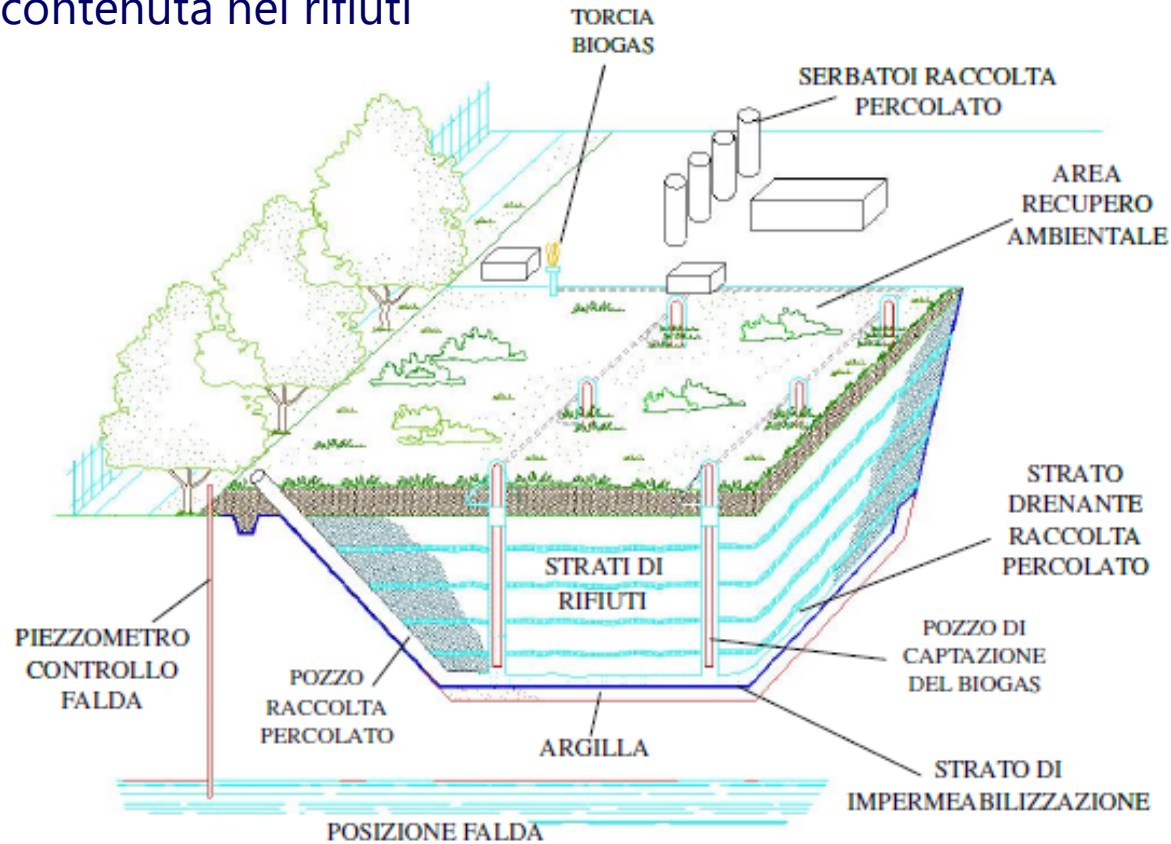


Discarica controllata

Impermeabilizzazione di fondo e pareti con drenaggio del percolato per limitarne le dispersioni

Impermeabilizzazione superficiale per regolare l'afflusso idrico troppo compatti

Captazione del biogas prodotto dall'attività batterica anaerobica di degradazione della sostanza organica contenuta nei rifiuti



Trattamento Meccanico Biologico

Sistema per il trattamento del RUR e la produzione di Combustibile Derivato dai Rifiuti (CDR o CSS) avente un contenuto energetico di interesse

Tunnel di Bioessiccazione



Schema a Flusso separato

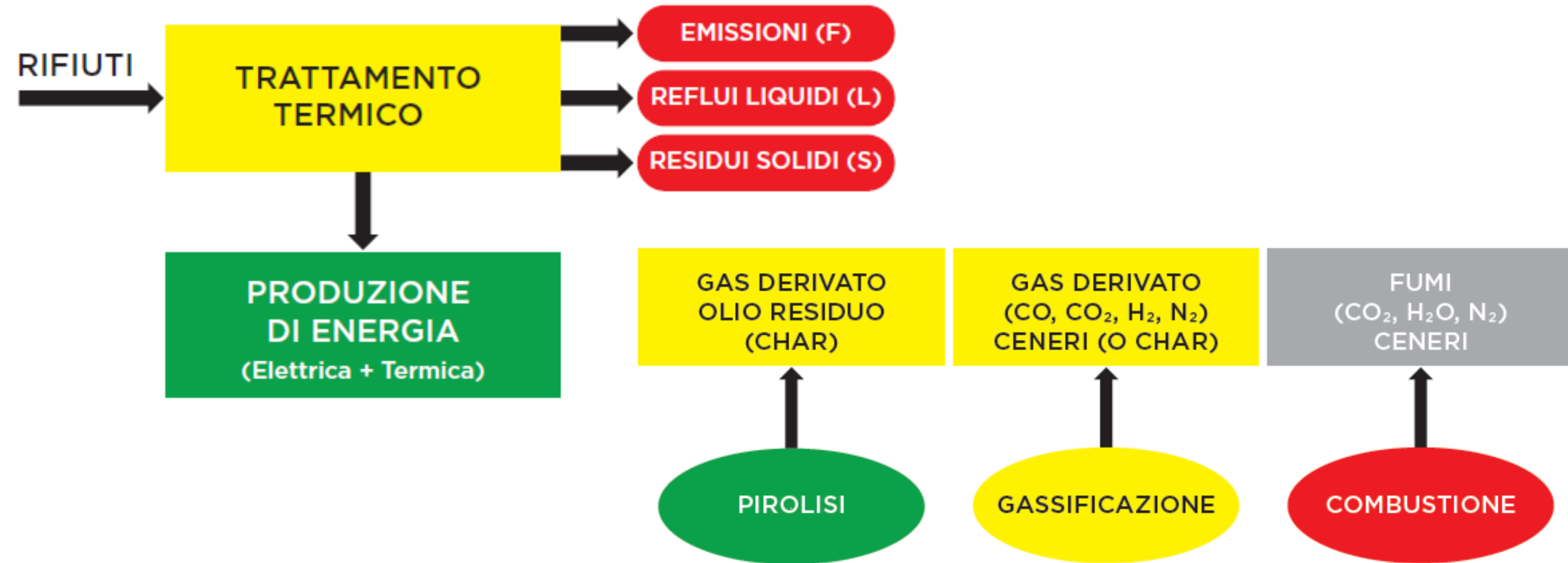


Schema a Flusso unico



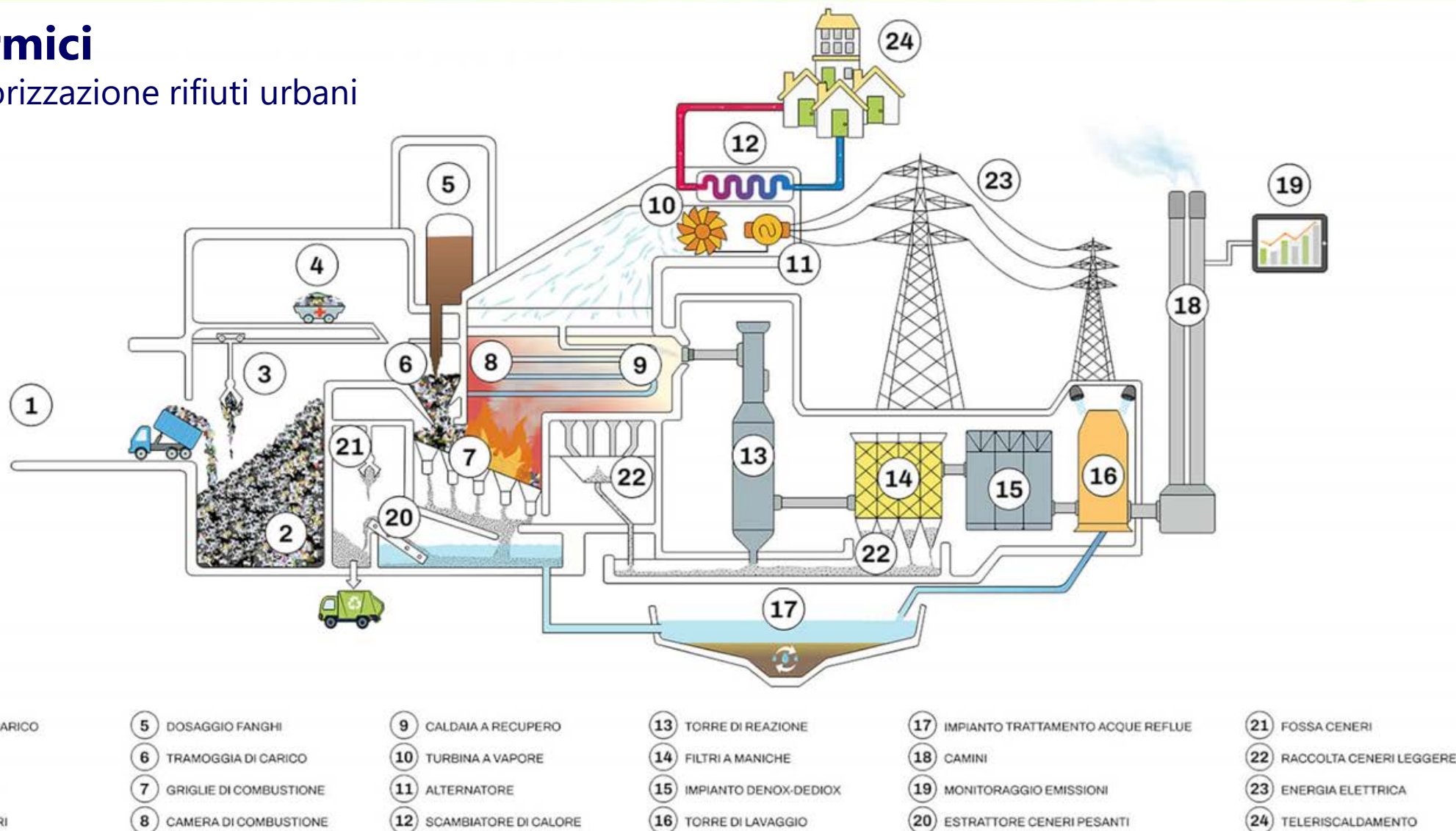
Trattamenti Termici

Processi chimici ad alta temperatura, nei quali le sostanze organiche vengono demolite per originarne altre aventi composizione chimica più semplice



Trattamenti Termici

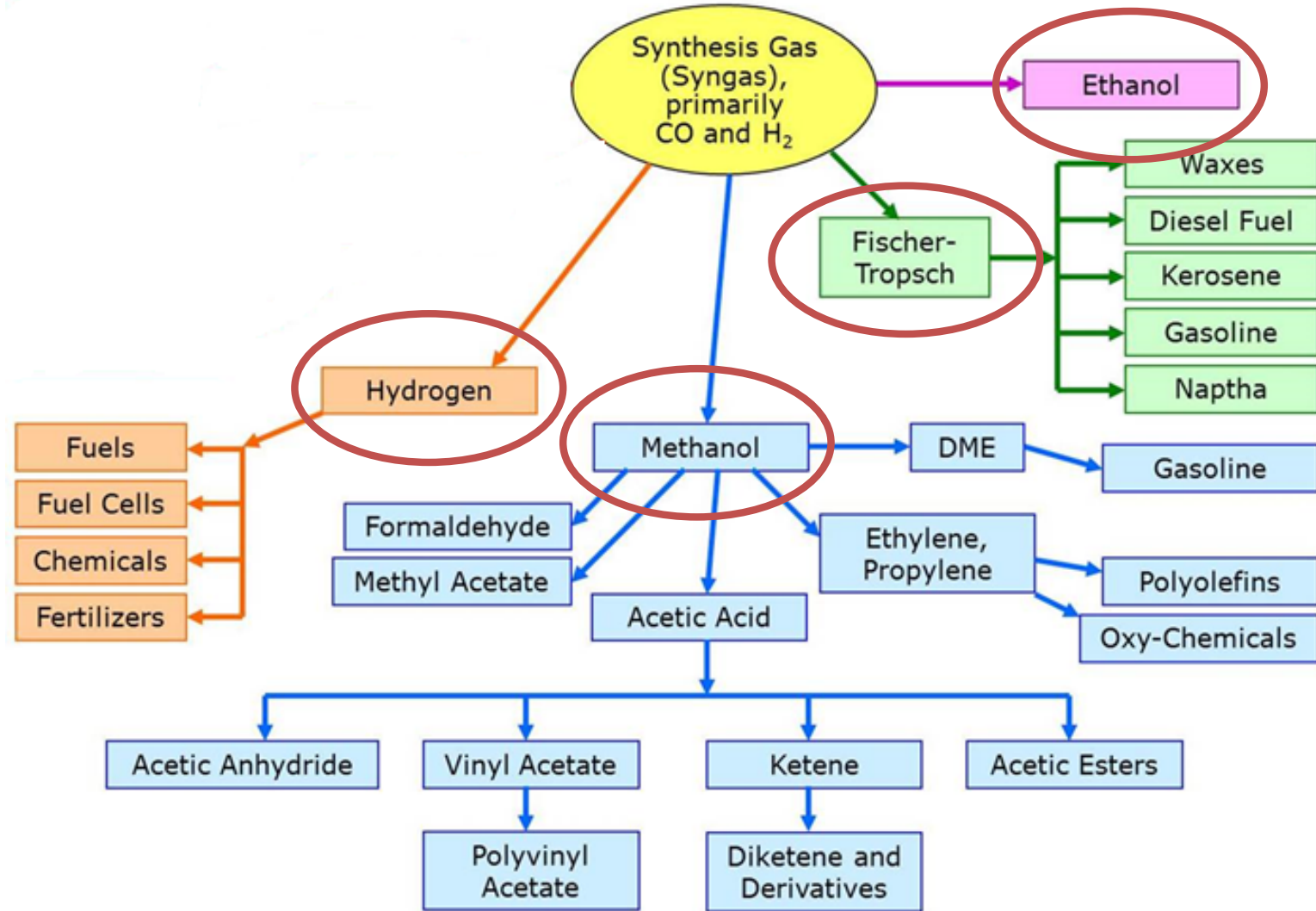
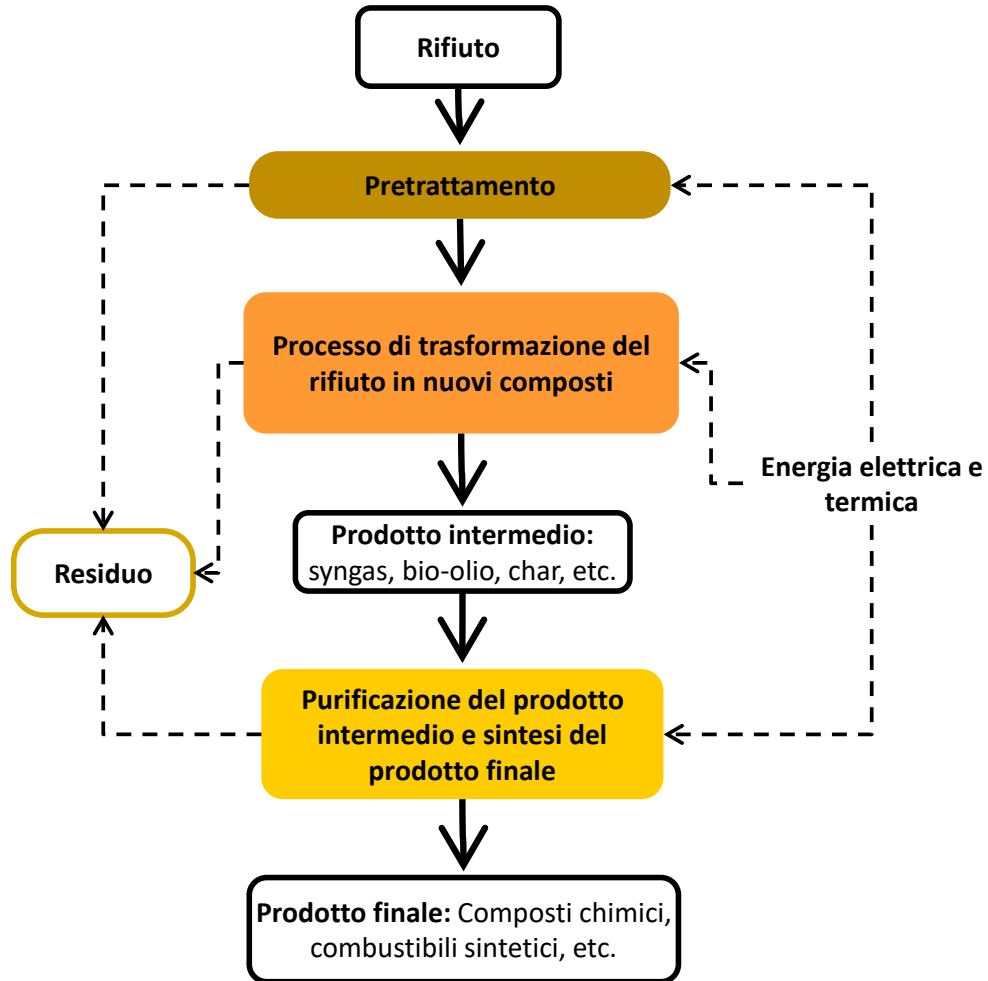
Impianto di termovalorizzazione rifiuti urbani



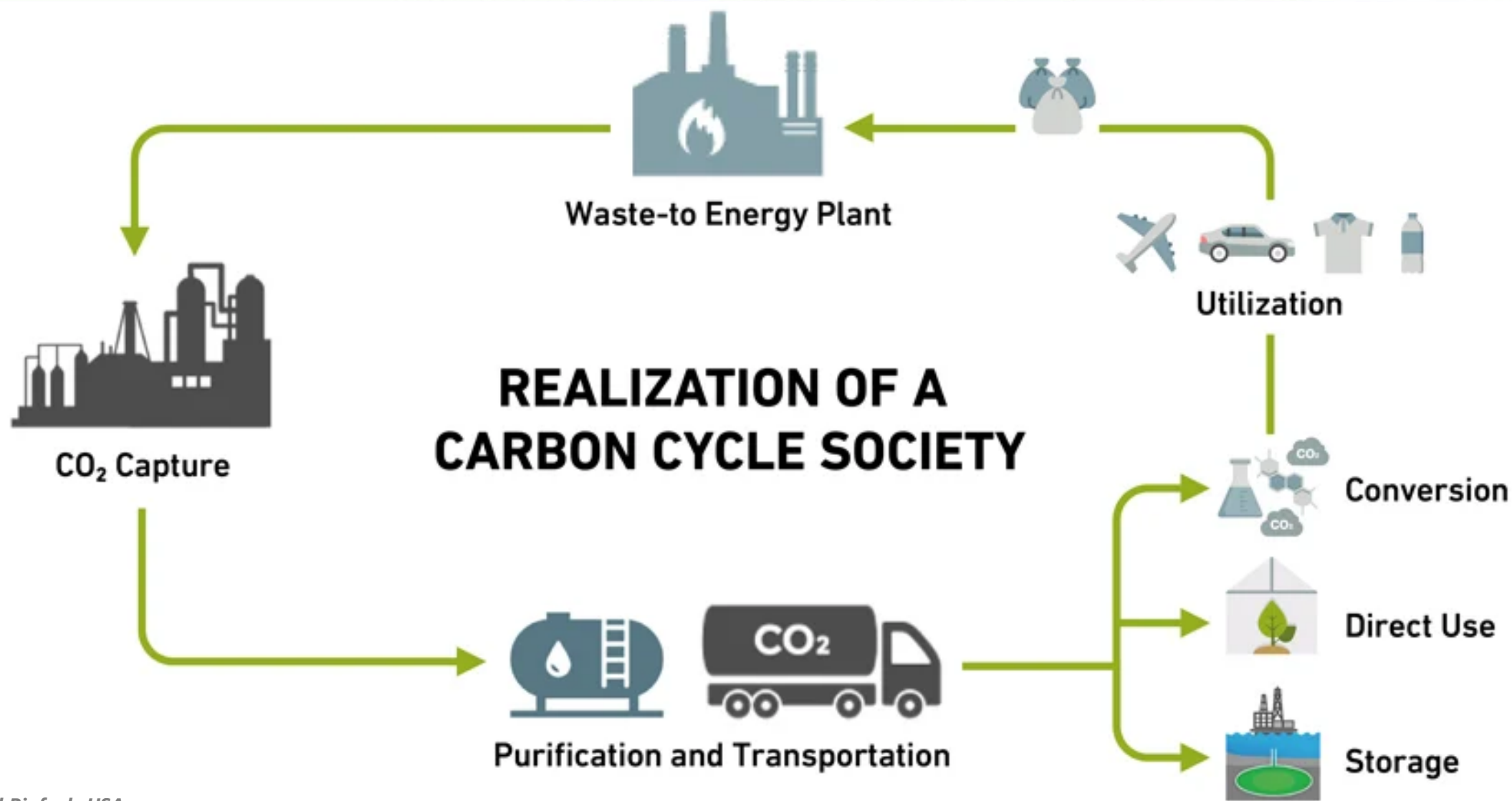
Fonte: Silea S.p.A.

Trattamenti Termici

Processi «Waste-to-Chemicals»



La nuova frontiera: Cattura & Stoccaggio di CO₂ (CCS)



Fonte: Advanced Biofuels USA

La nuova frontiera: Cattura & Stoccaggio di CO₂ (CCS)

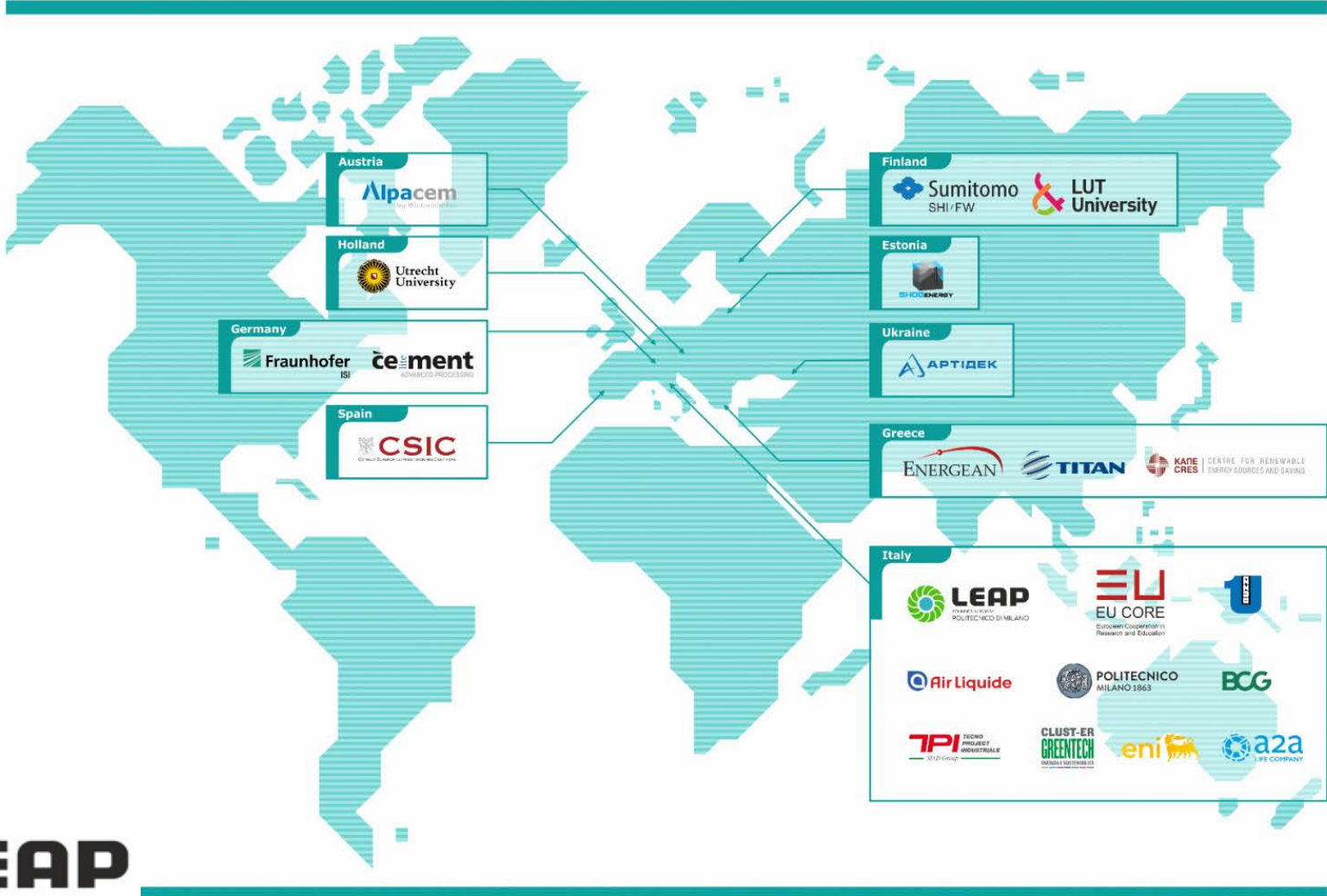


HERCCULES
full CCUS chain demonstration

HEROES IN SOUTHERN EUROPE TO DECARBONIZE INDUSTRY WITH CCUS

Demonstration of the **full CCUS chain** for the decarbonization of hard-to-abate industries in southern Europe, focusing on **cement and energy from waste** sectors in Northern Italy and Greek clusters

9 Research Organizations
14 Industrial Partners
under the coordination of LEAP



Funded by
the European Union

Funded by the European Union. This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No. 101096691. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.



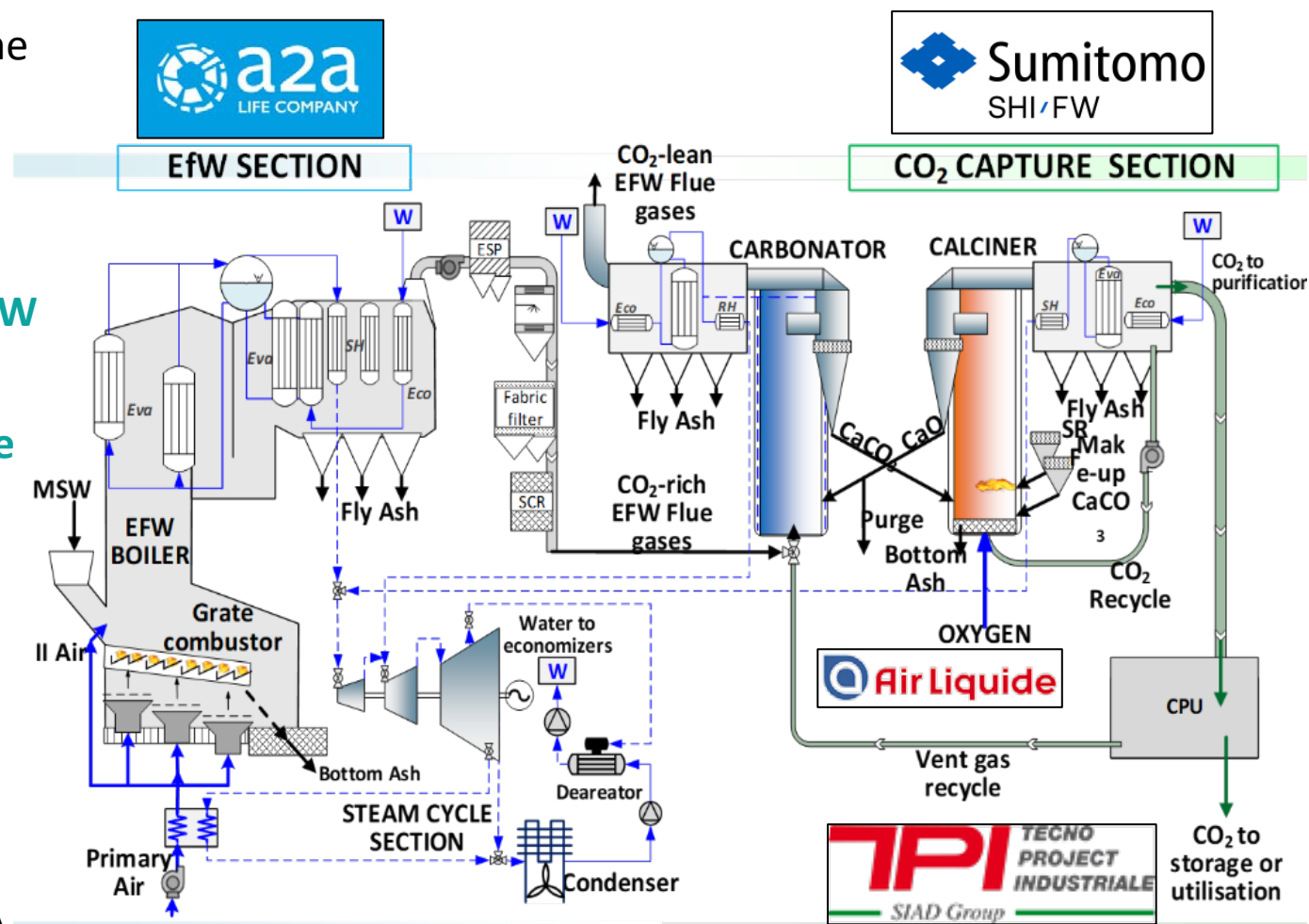
17/10/2024



60

Impianto dimostrativo CCS presso termoutilizzatore «Silla 2» di Milano

- **HERCCULES** will demonstrate at **TRL 7-8** for the first time the **CFB CaL process coupled with CPU**
- Preliminary lab experiments will characterize the **Ca-based sorbent** exposed to EfW flue gases
- The demo plant will be installed and operated at the **EfW Silla 2 plant** owned by A2A Ambiente (A2AAMB)
- The CFB CaL pilot will be operated with **SRF** and **sewage sludge**, targeting the following KPIs:
 - i. CO₂ Capture efficiency **95%**
 - ii. Ultra-high CO₂ purity (**>99.9%**)
- **Scale-up studies** and **techno-economic analyses**:
 - i. Negative CO₂ emissions (**<-400 kg_{CO2}/t_{waste}**)
 - ii. Net electric effic. improvement **3%** compared to MEA



7° CONVEGNO MATER LA GESTIONE DEI RIFIUTI PER LA TRANSIZIONE ECOLOGICA

Politecnico di Milano, Campus PIACENZA
9-10-11 giugno 2025

L'evento nasce dall'obiettivo fondante del Centro Studi MatER: fornire una rappresentazione rigorosa e obiettiva delle strategie per una gestione sostenibile dei rifiuti che preveda il recupero di materia e energia. Il convegno fornirà un aggiornamento sulle ultime tendenze negli aspetti strategici, tecnologici, scientifici e normativi e sarà un'occasione di confronto tra università, associazioni e aziende che operano nel campo della gestione dei rifiuti. Al termine del convegno, l'11 giugno, si svolgerà una visita tecnica a due impianti di trattamento rifiuti per il recupero di materia ed energia.

L'evento realizzato con il supporto scientifico dei Dipartimenti di Ingegneria Civile e Ambientale e di Energia del Politecnico di Milano.

PER INFORMAZIONI: www.mater.polimi.it



La Call for Abstracts è aperta!



FIL ROUGE 2024

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

stefano.consonni@polimi.it



**GRAZIE PER
L'ATTENZIONE !**

stefano.consonni@polimi.it

Centro Studi MatER

c/o LEAP s.c.a r.l.

via Nino Bixio 27/C

29121 Piacenza (PC)

Tel. +39 0523.357.721

www.mater.polimi.it

 mater@polimi.it





FIL ROUGE 2024

17 ottobre 2024

Termovalorizzazione dei rifiuti:

Tecnologie, prestazioni energetiche e ambientali

Federico Viganò

Dip. Di Energia – PoliMI & Centro Studi MatER



- **Come? Quali sono le tecnologie disponibili?**
- **Ne vale la pena?**
- **Qual è il costo ambientale?**
- **Perché le prestazioni energetiche sono importanti?**
- **Qual è l'impatto in termini di cambiamento climatico?**
- **Conclusioni**

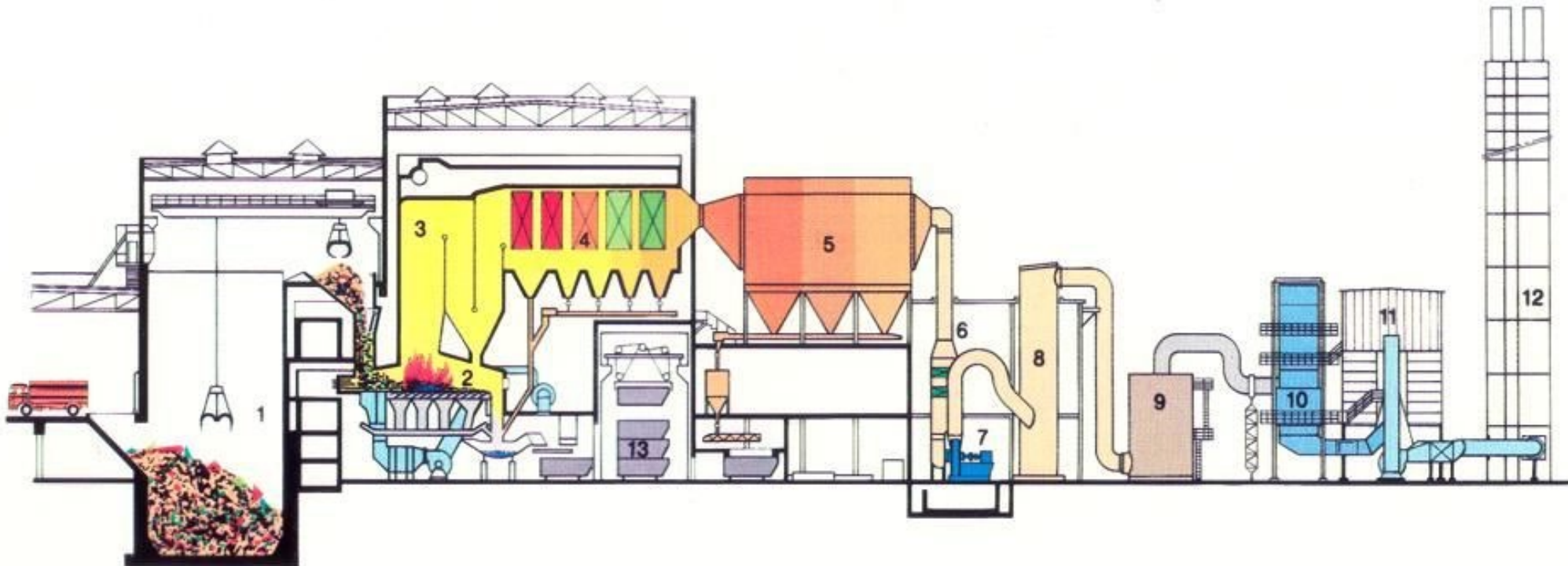
Sono proposti numerosi processi / tecnologie:

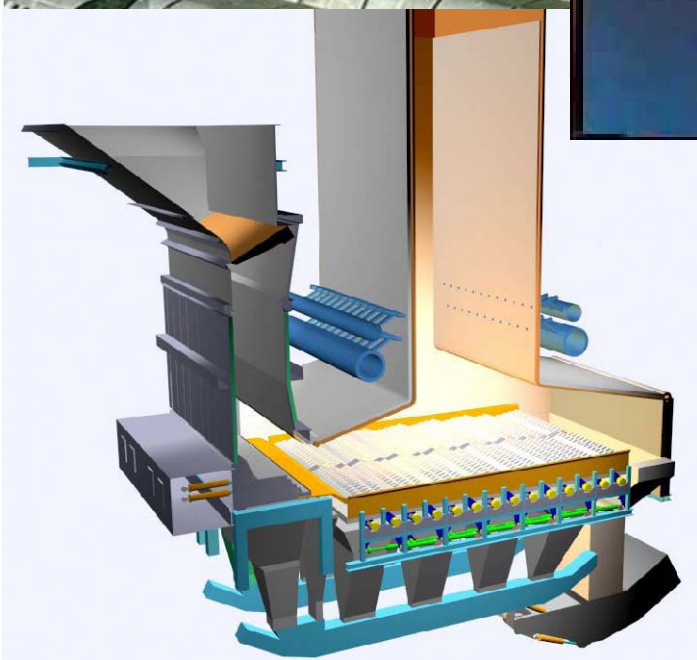
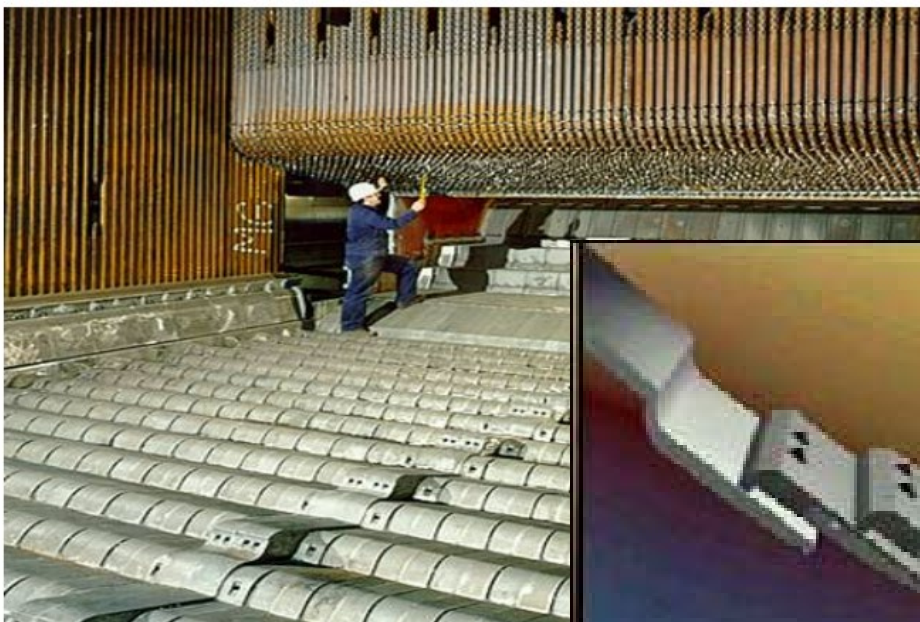
- 1) Combustione diretta in impianti a griglia**
- 2) Produzione di SRF per successiva termovalorizzazione**
- 3) Gassificazione
- 4) Pirolisi
- 5) Liquefazione
- 4) Trattamento al plasma
- 5) Dissociazione molecolare (???)
- 6) Processi ancora più esotici o combinazioni dei processi elencati sopra

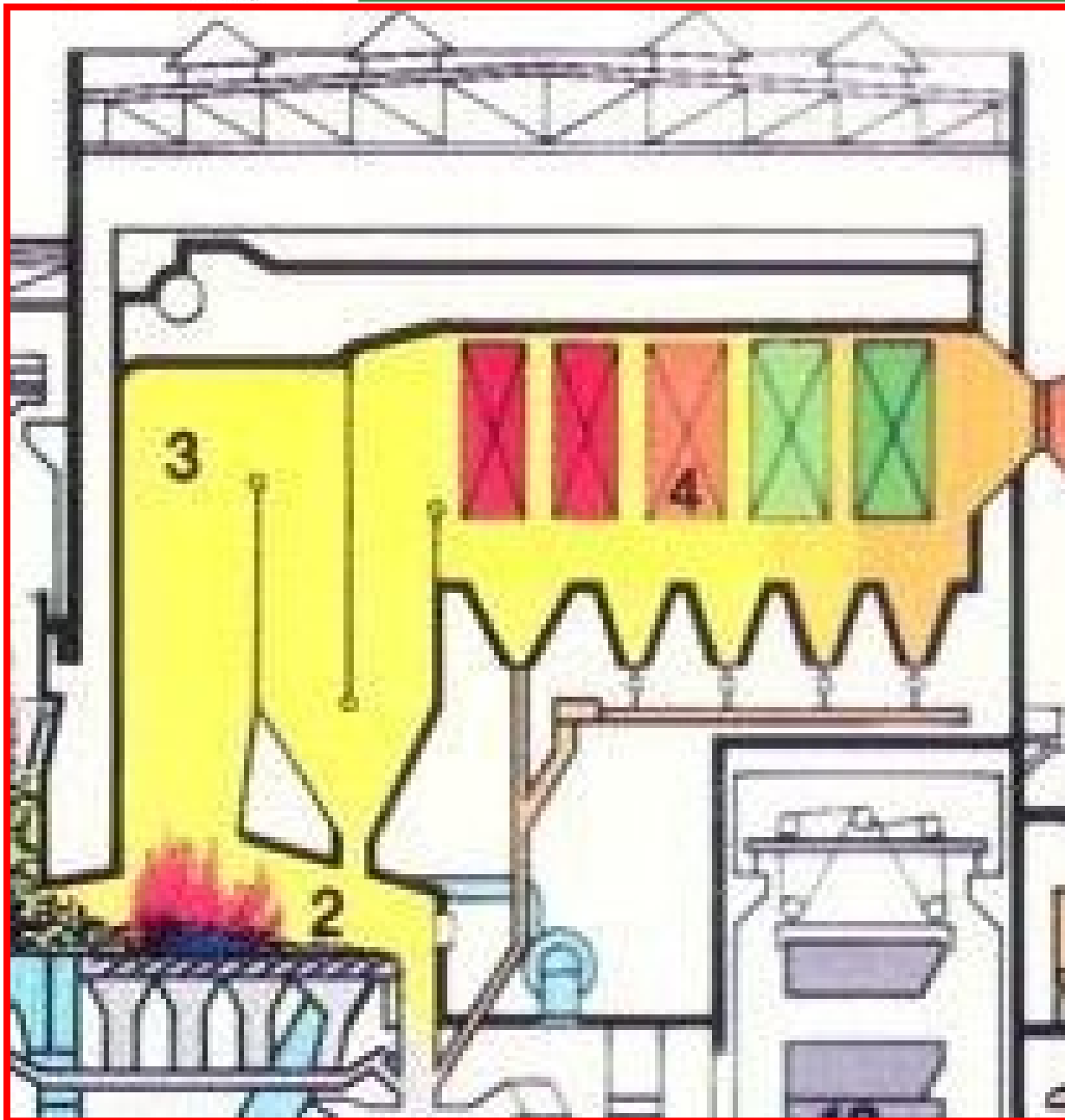
Le uniche opzioni che hanno dimostrato ampia applicabilità a livello industriale sono le nn. 1 e 2.

Conferimento dei rifiuti

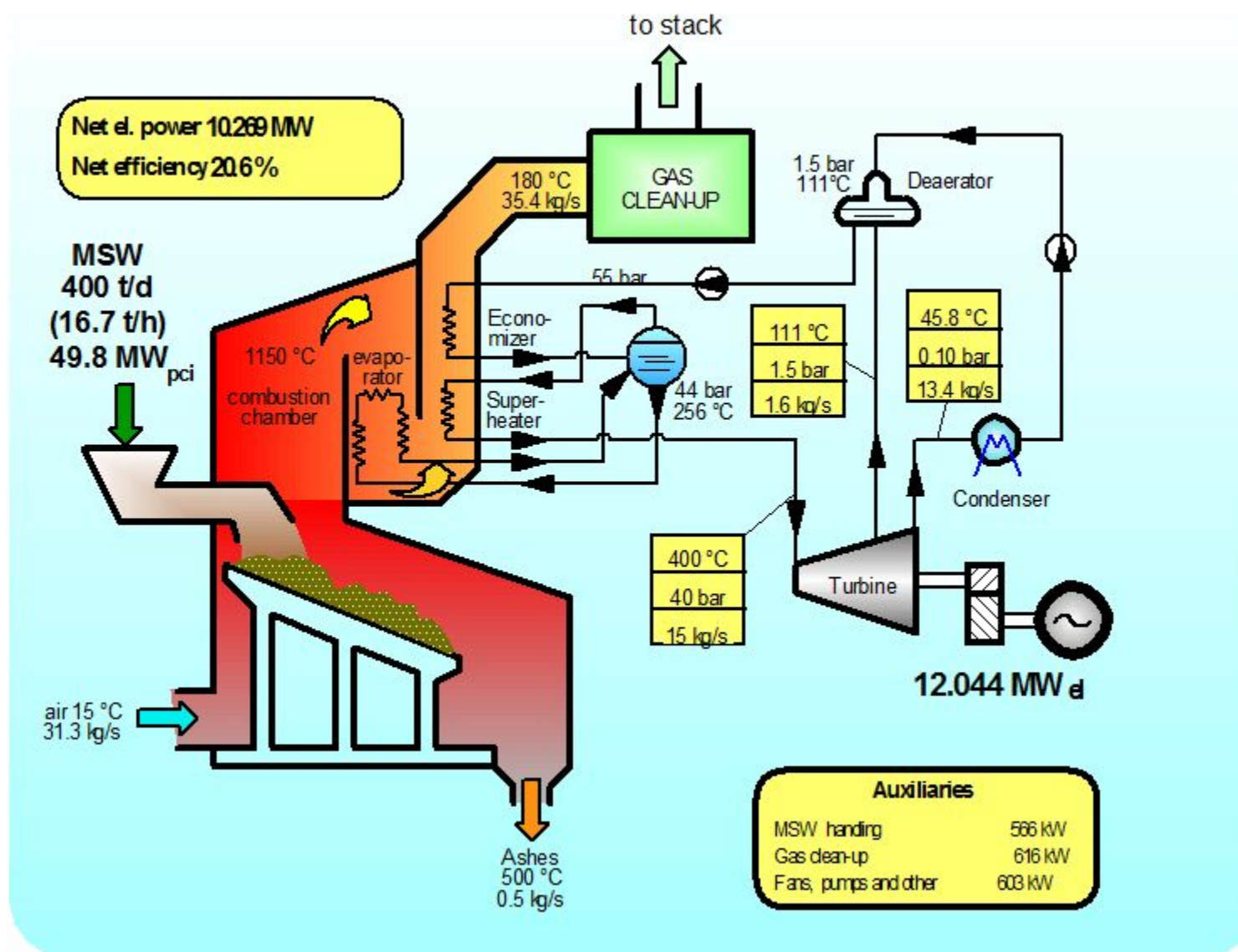
- Stoccaggio in fossa (1)
- Combustione sulla griglia (2)
- Recupero di calore dalla combustione (3) e dai fumi (4)
- Depurazione fumi (5-11) e scarico in atmosfera (12)
- Scarico ceneri pesanti (13)

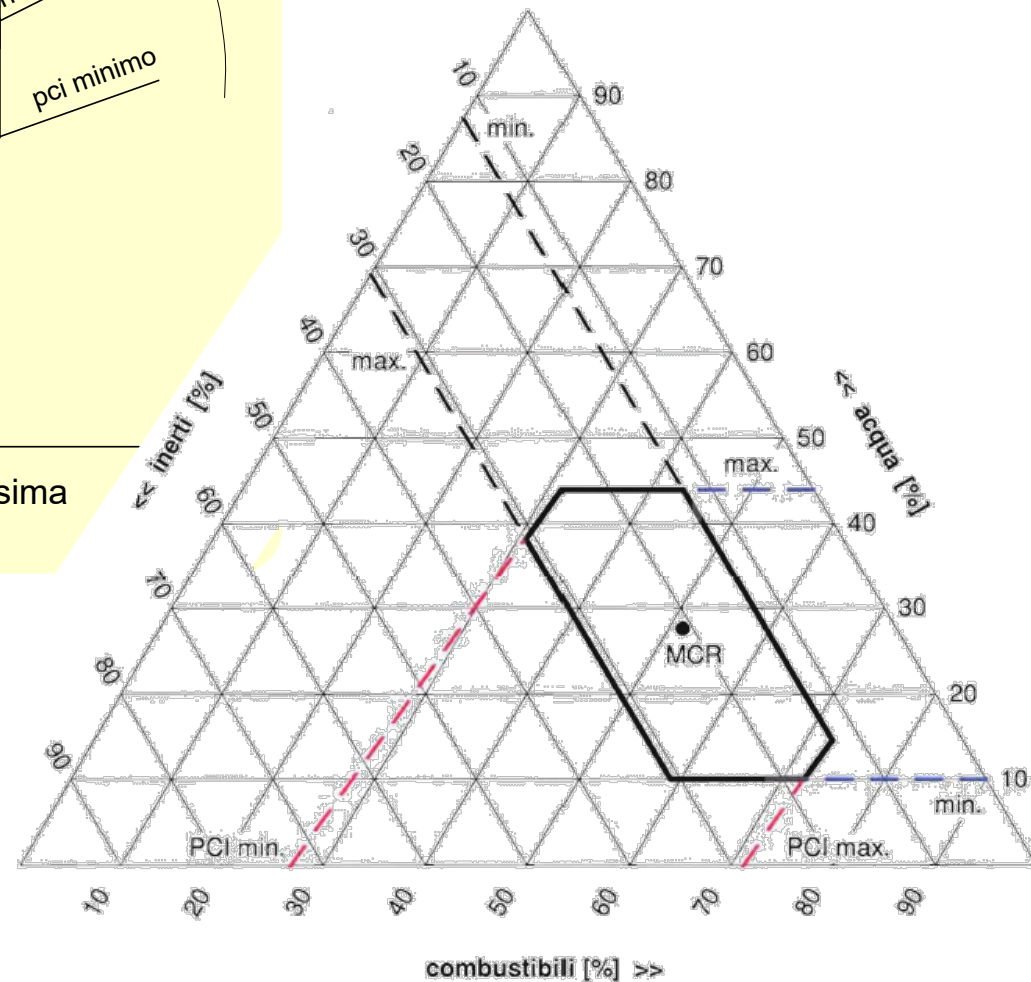
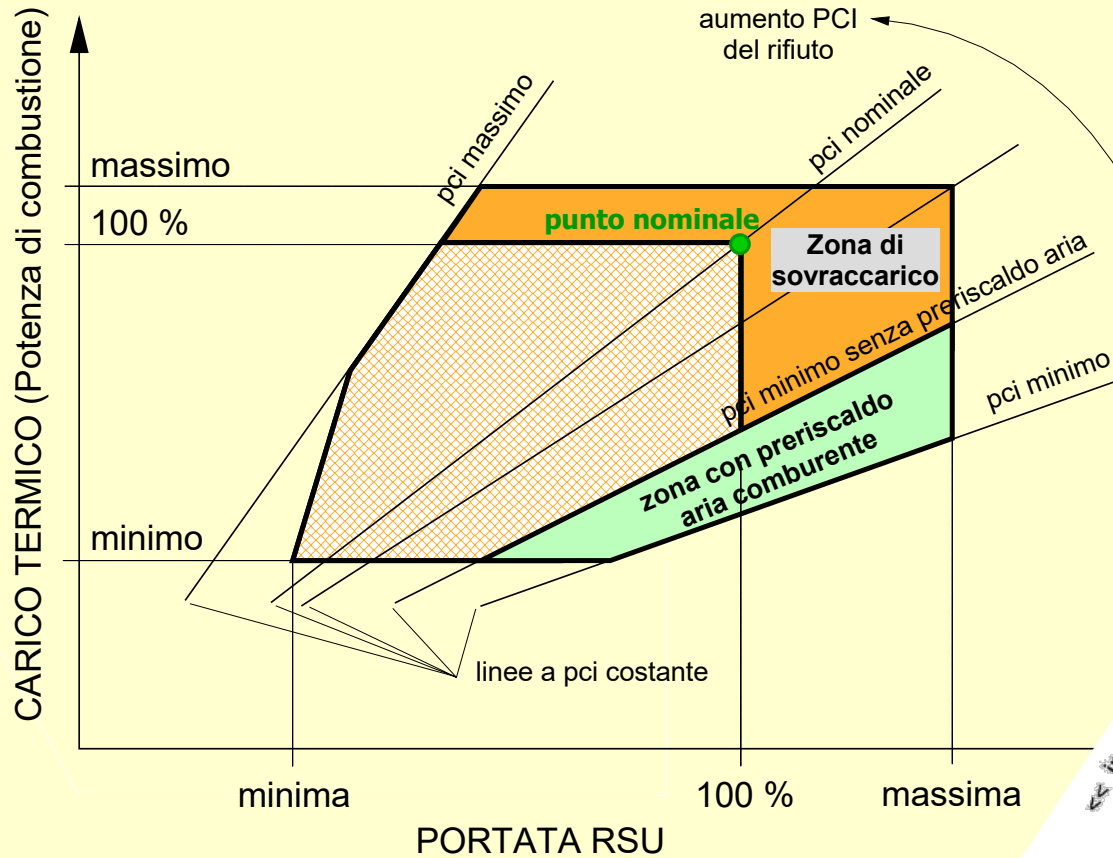


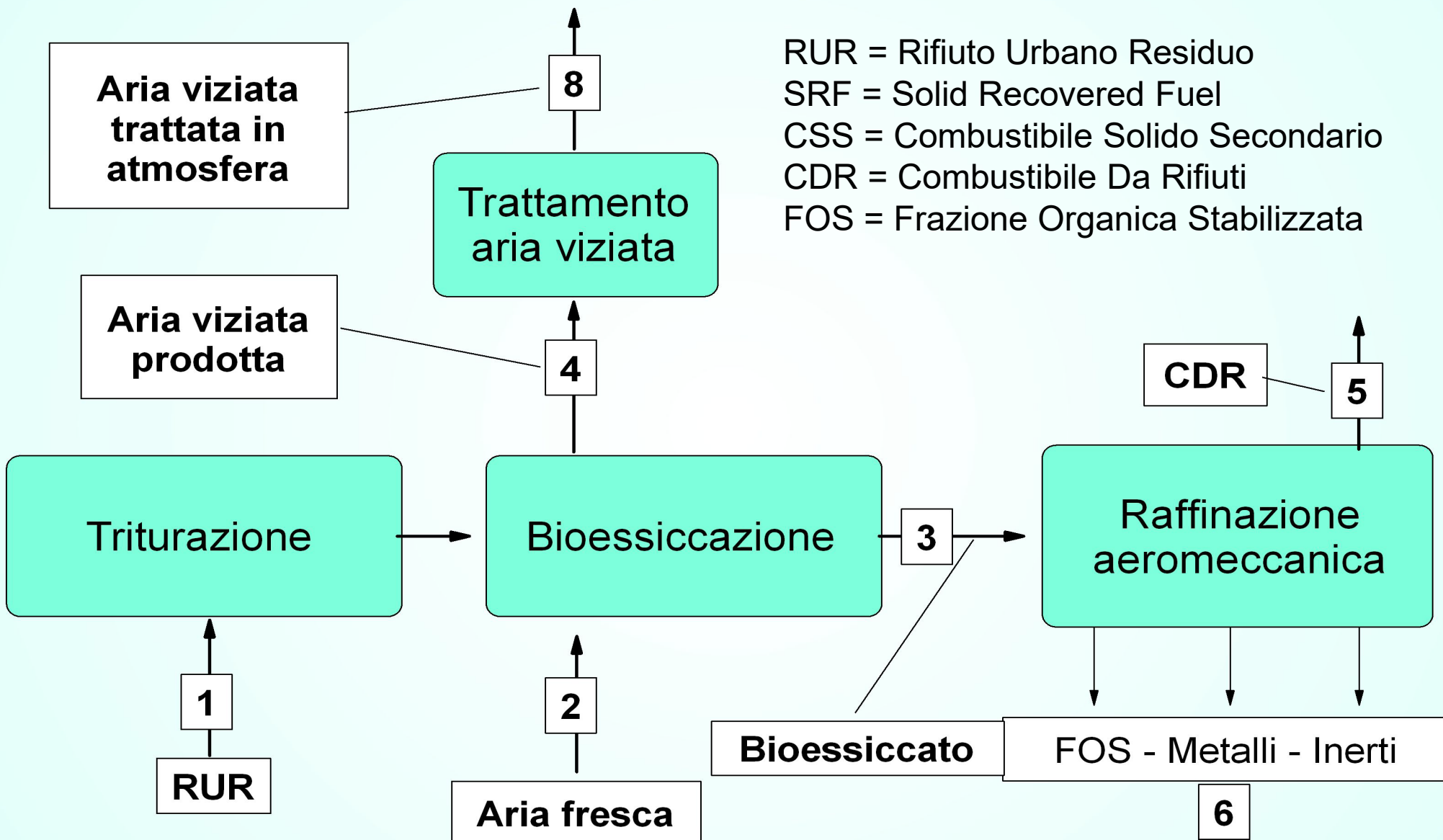




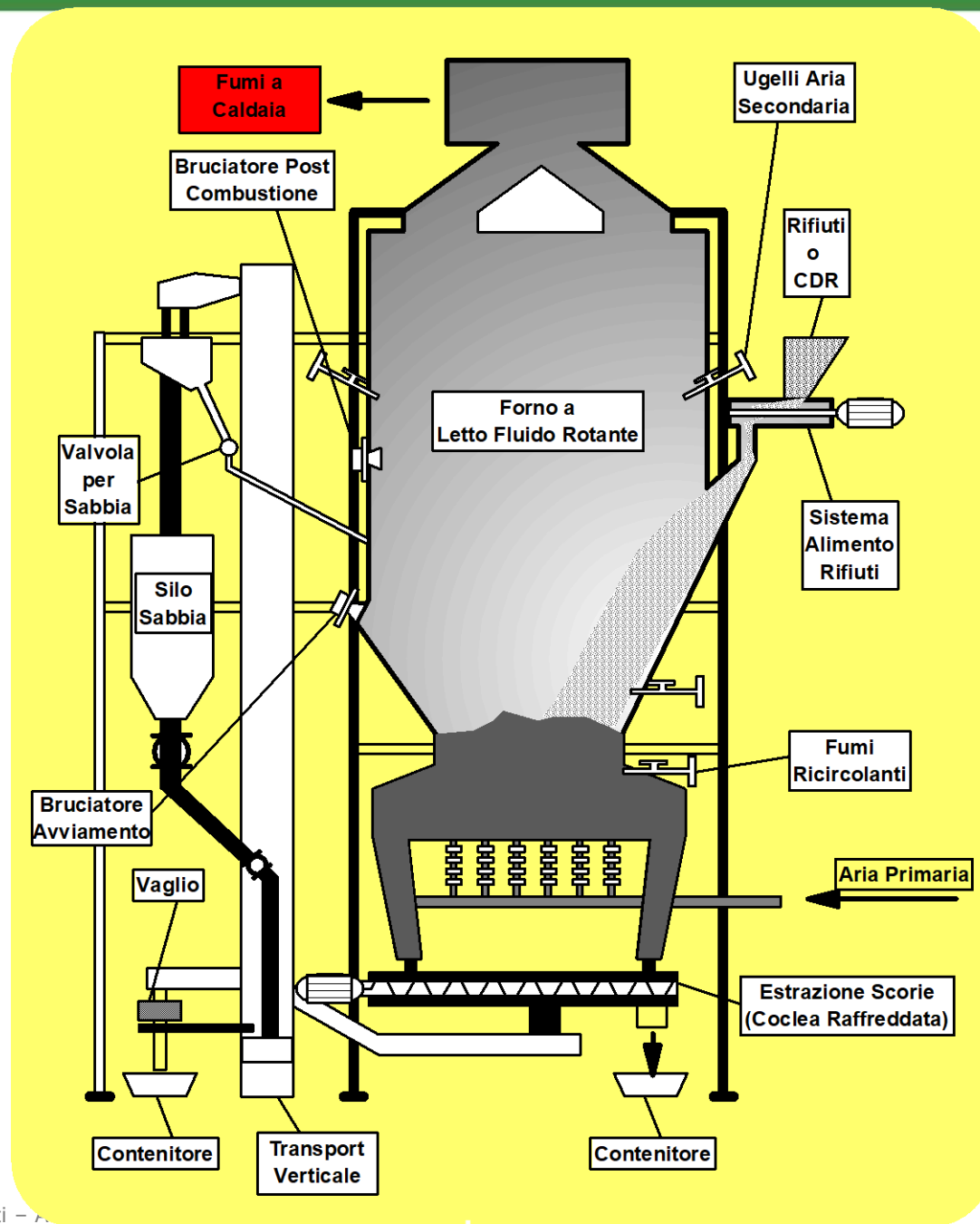
- Evaporazione dell'acqua a vapore nelle pareti membranate dei passi radianti
- Surriscaldamento del vapore (primi banchi convettivi)
- Preriscaldamento dell'acqua negli economizzatori (banchi convettivi a bassa temperatura)







- La «nobilitazione» del rifiuto ha senso se l'SRF è utilizzato in sostituzione di combustibili fossili, per esempio in centrali termoelettriche a carbone e/o in cementifici
- Purtroppo, è spesso funzionale al mantenimento del ricorso alla discarica
- È d'obbligo se la termovalorizzazione si basa su impianti a letto fluido →

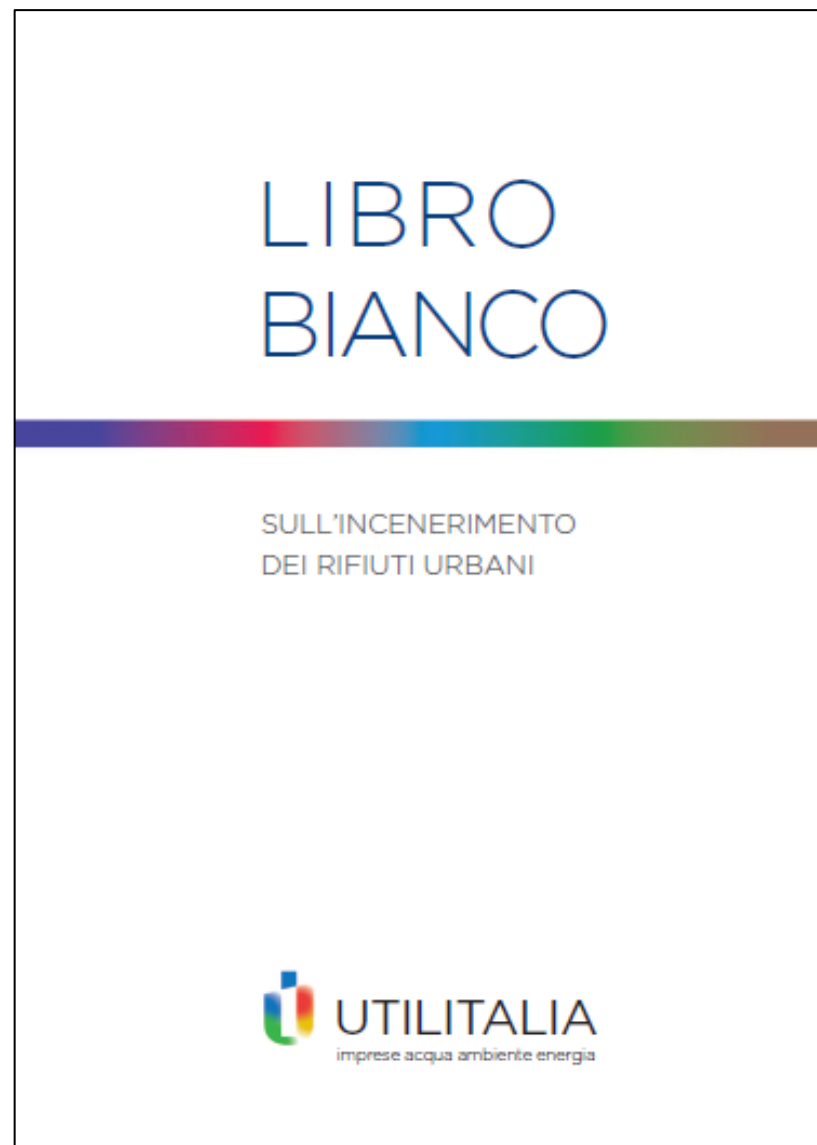


- **Come? Quali sono le tecnologie disponibili?**
- **Ne vale la pena?**
- **Qual è il costo ambientale?**
- **Perché le prestazioni energetiche sono importanti?**
- **Qual è l'impatto in termini di cambiamento climatico?**
- **Conclusioni**

- Dal punto di vista energetico è **un'opzione interessante**
- È relativamente semplice quantificare il potenziale del recupero di energia da rifiuti urbani in circa il 2-3% di tutto l'attuale fabbisogno energetico delle società industrializzate – anche considerando un elevato livello di differenziazione alla fonte
- Tale potenziale sale a circa il 5-6% considerando anche i rifiuti di origine commerciali / industriali non riciclabili
- Concentrando l'utilizzo per la produzione di sola elettricità si potrebbero coprire quasi **il 10% dell'attuale fabbisogno**
- Tuttavia è più efficiente l'impiego per finalità cogenerative
- La **principale preoccupazione** da sempre associata a questa opzione è rappresentata dal **potenziale impatto ambientale**

- **Come? Quali sono le tecnologie disponibili?**
- **Ne vale la pena?**
- **Qual è il costo ambientale?**
- **Perché le prestazioni energetiche sono importanti?**
- **Qual è l'impatto in termini di cambiamento climatico?**
- **Conclusioni**

- Fornisce il quadro della gestione dei rifiuti urbani in Italia al 2019, con alcune informazioni anche sulla gestione dei rifiuti speciali
- Ricostruisce il quadro emissivo / di impatto ambientale dei termovalorizzatori di rifiuti urbani italiani
- Riporta una sintetica review di significativi studi epidemiologici legati alla presenza di inceneritori di rifiuti su vari territori

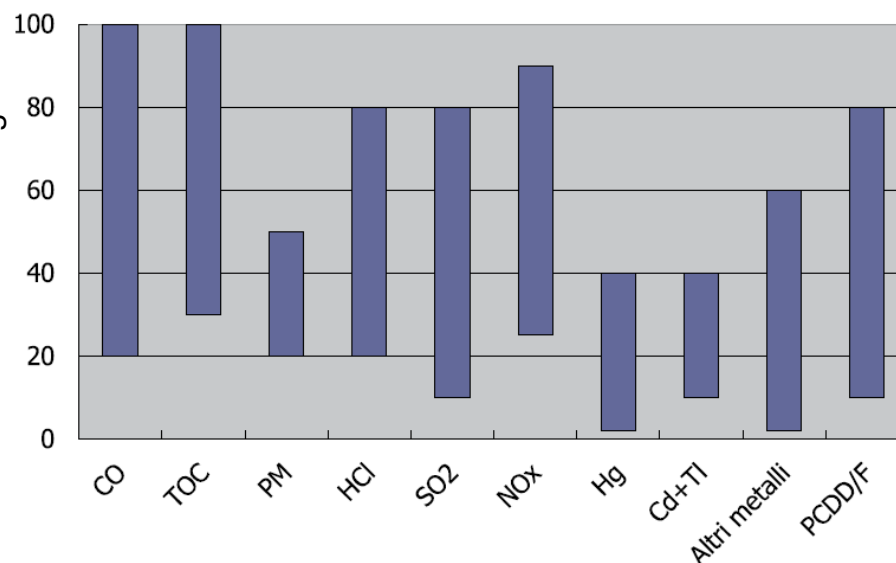


- **ACQUA:** poco o nulla. Molti moderni impianti sono «*zero-liquid-discharge*», ossia senza reflui liquidi. Quando presenti, eccettuati eventuali salamoie inviate a trattamento in impianti specifici, tutti gli altri scarichi sono conformi alle specifiche d'immissione nelle reti fognarie, ovvero nei corpi idrici superficiali.
- **SUOLO:** La maggior parte delle ceneri pesanti (BA, *Bottom Ash*, circa il 21% della massa di rifiuti trattati) è riciclata nell'industria delle costruzioni. Le ceneri leggere (FA, *Fly Ash*, circa l'1,5% della massa di rifiuti trattati) è segregata in appositi depositi geologici previa inertizzazione.
- **ARIA:** è sicuramente il comparto maggiormente interessato e, di conseguenza, quello su cui si concentra l'attenzione dell'opinione pubblica.

- **MACROINQUINANTI COMUNI:** quelli di tutti i processi di combustione, PM, NO_x, SO_x, CO, COV
- **MACROINQUINANTI SPECIFICI:** determinati dalle peculiarità del rifiuto, p.e. contenuto di alogeni → HCl, HF, HBr, Br₂
- **MICROINQUINANTI:** composti alogenati come PCDD/F, *dioxin-like* PCB, metalli pesanti (Hg, Cd, ...), altri composti metallici, prevalentemente alogenuri, etc.

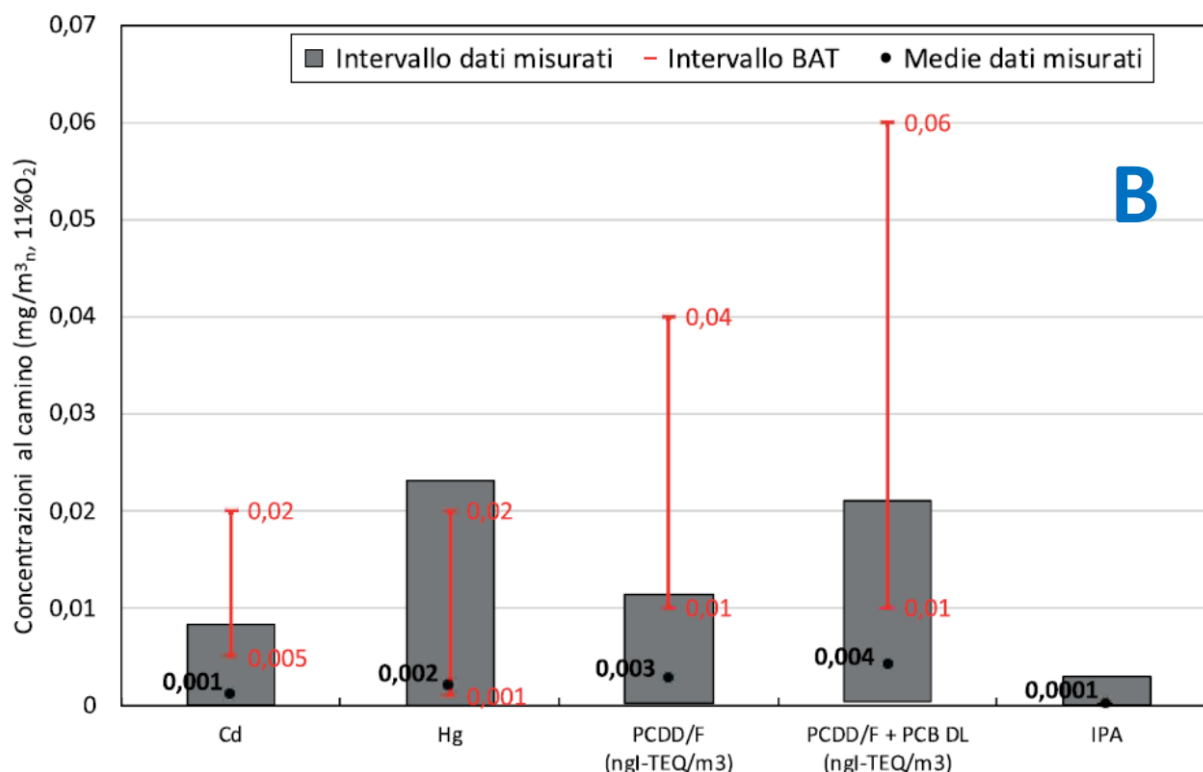
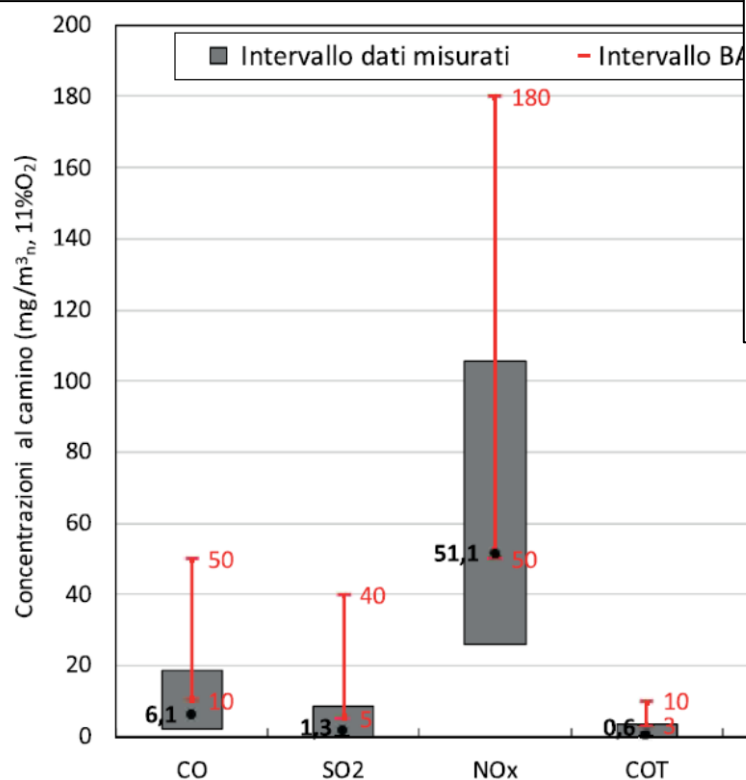
I limiti emissivi in aria applicati ai termovalorizzatori di rifiuti sono i più restrittivi tra quelli imposti a tutte le fonti di inquinamento atmosferico.

Intervalli BAT come % dei limiti giornalieri IED



Source: Utilitalia, 2021, Libro bianco sull'incenerimento dei rifiuti.

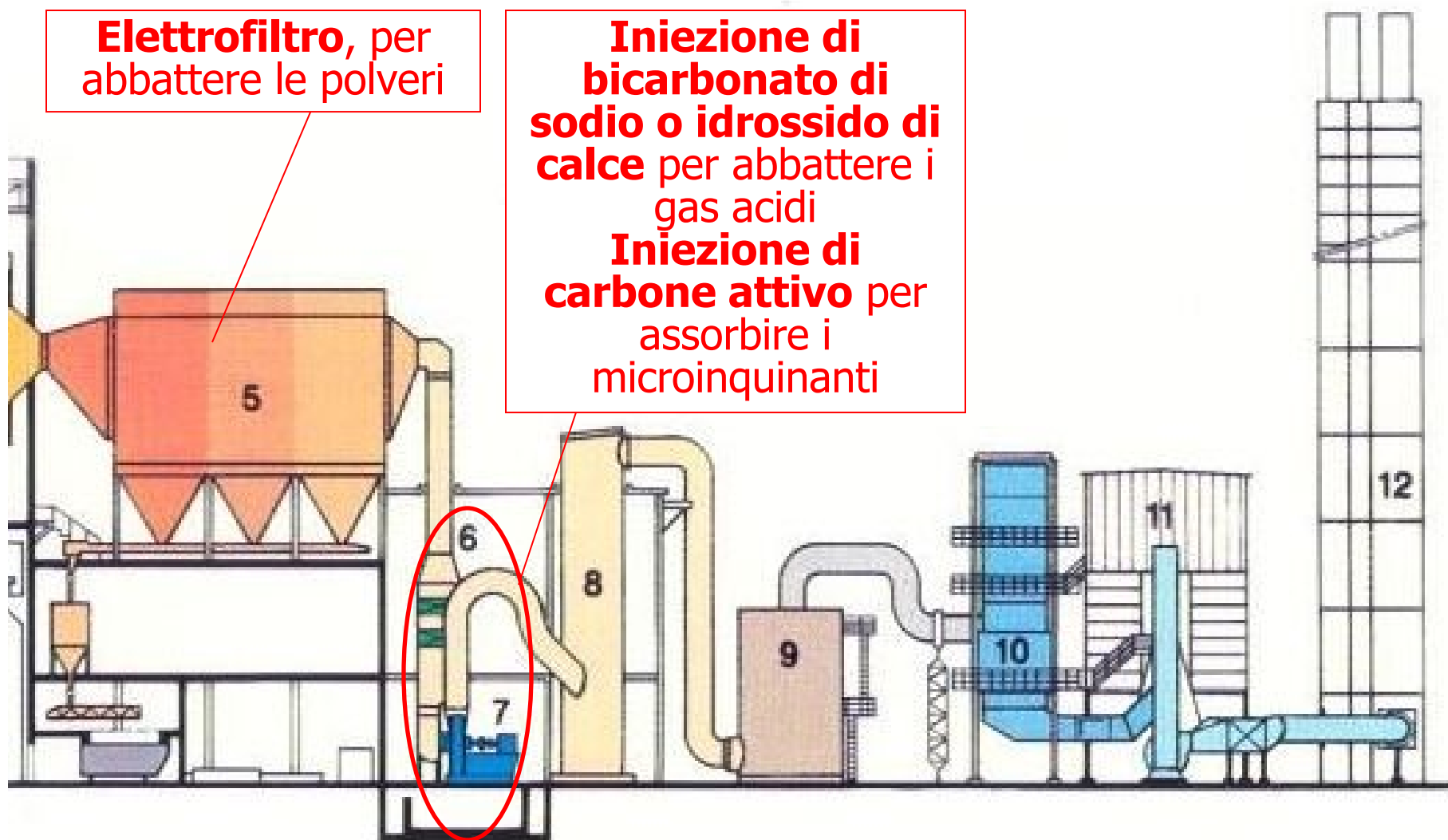
Concentrazioni di inquinanti misurate al camino di termovalorizzatori italiani prima della pubblicazione delle nuove BAT (fine 2019)



B

Elettrofiltro, per abbattere le polveri

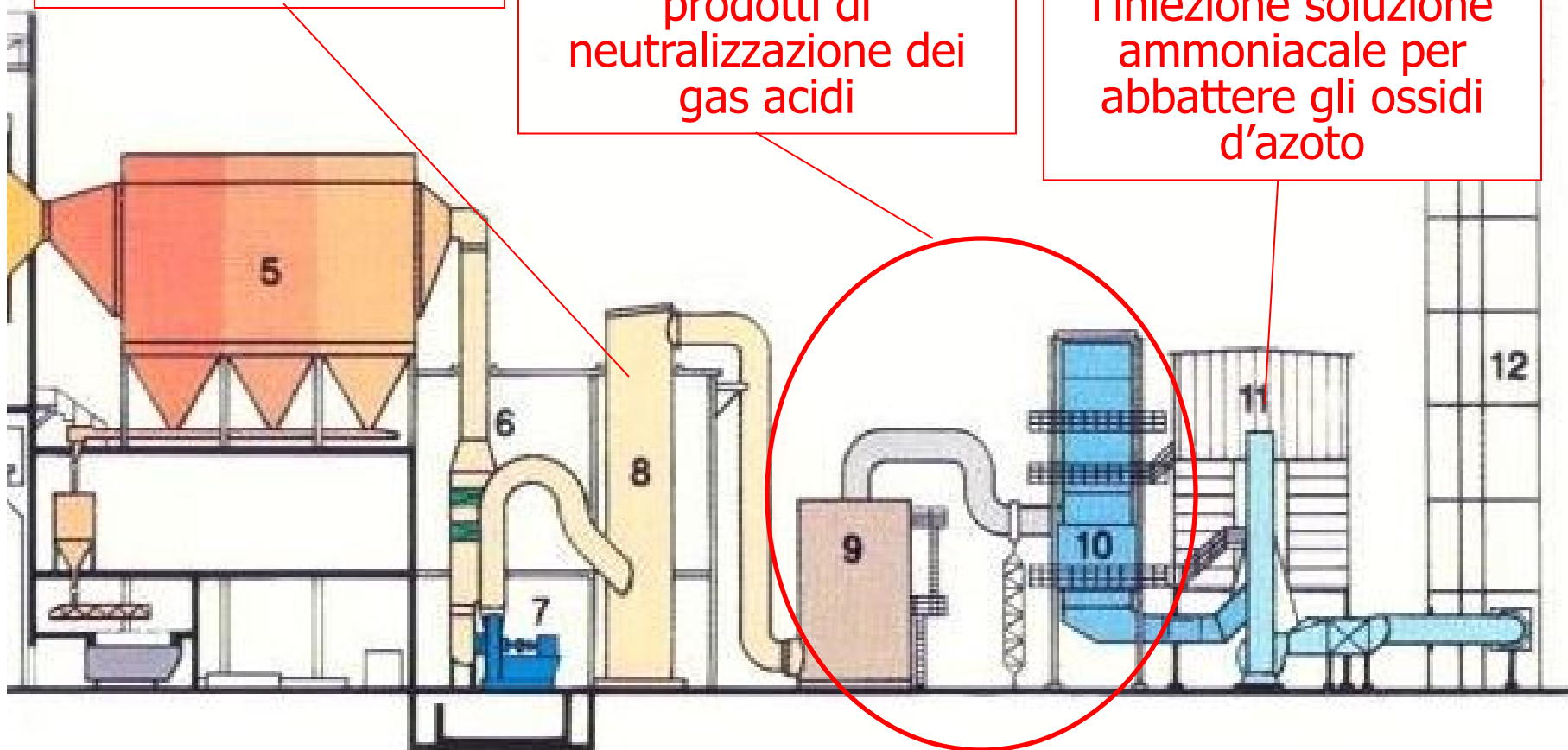
Iniezione di bicarbonato di sodio o idrossido di calce per abbattere i gas acidi
Iniezione di carbone attivo per assorbire i microinquinanti



Reattore, per il contatto tra i fumi e i reagenti

Stadio di filtrazione fine per abbattere le rimanenti polveri e i prodotti di neutralizzazione dei gas acidi

Sistema De-NO_x SCR (reattore catalitico) con l'iniezione soluzione ammoniacale per abbattere gli ossidi d'azoto



Contributo all'inventario emissivo di diversi contesti

	Italia Anno 2000			Italia Anno 2018				Lombardia, 2017 (13 impianti)			Emilia Rom., 2015 (8 imp.)		
Inquinante	Quantità emessa	% del totale	Rifiuti trattati, t/a	Quantità emessa	% del totale	Rifiuti trattati, t/a	Inquinante	Quantità emessa	% del totale	Rifiuti trattati, t/a	Quantità emessa	% del totale	Rifiuti trattati, t/a
SO ₂ , t/a	9.778	1,3%	2.236.774	110	0,1%	6.329.000	SO ₂ , t/a	116,8	1%	2.295.220	11,8	0,10%	1.108.126
NO _x , t/a	2.360	0,16%		3.798	0,1%		NO _x , t/a	1.172	1,05%		416,5	0,6%	
PM ₁₀ , t/a	35,3	0,01%		37	0,03%		PM ₁₀ , t/a	8,3	0,05%		3,9	0,04%	
CO, t/a	83,4	0,002%		447	0,02%		CO, t/a	119,3	0,05%		56,3	0,05%	
Cd, kg/a	140	2%		62,3	1%		Cd, kg/a	8,6	0,6%		1,9	0,3%	
Hg, kg/a	124,9	1%		202	2,2%		Hg, kg/a	39,7	2,1%		N.A.		
Pb, kg/a	2.597	0,3%		6.357	2,2%		Pb, kg/a	39,8	0,2%		65,8	1%	
PCDD/F, g _{TEQ} /a	21,4	5,3%		0,6	0,2%		PCDD/F, g _{TEQ} /a	0,05	0,0006%		N.A.		
IPA, kg/a	65,5	0,1%		3,3	0,004%		IPA, kg/a	0,0096	0,0004%		0,02	0,001%	

Source: Utilitalia, 2021, Libro bianco sull'incenerimento dei rifiuti.

Contributi dei principali settori alle emissioni in aria - 2000

ANNO 2000	Case e negozi	Produzione elettricità	Combust. industriale	Processi produttivi	Trasporti stradali	Incenerim. rifiuti
SO₂	3,5%	66,4%	14,2%	3,4%	1,6%	1,3%
NO_x	11,7%	11,6%	12,2%	0,4%	50,6%	0,16%
PM₁₀	35,0%	8,1%	8,6%	7,2%	21,2%	0,01%
CO	22,1%	1,2%	6,7%	2,6%	63,5%	0,002%
Cd	25,0%	0,0%	62,5%	12,5%	0,0%	2%
Hg	7,7%	46,2%	23,1%	23,1%	0,0%	1%
Pb	2,7%	0,5%	16,0%	6,9%	72,5%	0,3%
PCDD/F	41,7%	2,2%	22,0%	29,9%	4,2%	5,3%
IPA	79,6%	4,0%	0,0%	12,6%	3,3%	0,1%

Source: Utilitalia, 2021, Libro bianco sull'incenerimento dei rifiuti.

Contributi dei principali settori alle emissioni in aria - 2018

ANNO 2018	Case e negozi	Produzione elettricità	Combust. industriale	Processi produttivi	Trasporti stradali	Incenerim. rifiuti
SO₂	9,4%	33,3%	24,0%	12,4%	0,4%	1,2%
NO_x	13,0%	7,0%	9,4%	0,8%	43,5%	0,8%
PM₁₀	53,8%	1,0%	4,7%	9,3%	11,8%	0,02%
CO	61,9%	1,9%	4,1%	3,6%	19,9%	0,04%
Cd	9,4%	3,3%	38,1%	29,1%	7,7%	1,2%
Hg	7,0%	19,3%	27,4%	43,0%	2,6%	2,6%
Pb	6,8%	1,1%	44,8%	40,6%	5,1%	2,7%
PCDD/F	37,5%	1,7%	20,2%	32,1%	3,8%	0,2%
IPA	78,1%	0,7%	0,8%	13,9%	3,8%	0,007%

Source: Utilitalia, 2021, Libro bianco sull'incenerimento dei rifiuti.

Impianto / Progetto	NO _x (come NO ₂)		PM ₁₀	
	Variazione indotta μg/Nm ³	Valore di fondo (riferimento) μg/Nm ³	Variazione indotta μg/Nm ³	Valore di fondo (riferimento) μg/Nm ³
Milano «Silla 2»	0,17	34-56	0,0003	34-40
Torino	0,02 (max 0,3)	50-67	0,0004 (max 0,005)	54-62
Bolzano	0,015 (max 0,4)	31,3	0,0003 (max 0,01)	17
Brescia	1,1 (max)	44-70	0,005 (max)	39-54
Acerra (NA)	0,29 (max)	25-34	0,03 (include PM secondario)	35-56
Sud Milano*	0,08	39-55	0,008	48-60
Schio (VI)	0,08	21	0,0006	25

* Progetto per un nuovo impianto mai realizzato.

Source: Utilitalia, 2021, Libro bianco sull'incenerimento dei rifiuti.

- **Come? Quali sono le tecnologie disponibili?**
- **Ne vale la pena?**
- **Qual è il costo ambientale?**
- **Perché le prestazioni energetiche sono importanti?**
- **Qual è l'impatto in termini di cambiamento climatico?**
- **Conclusioni**

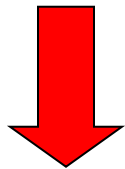
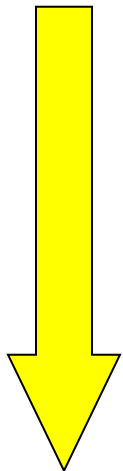
Qualsiasi valutazione di impatto ambientale ha senso solo in termini comparativi.

Impianti sostituiti:

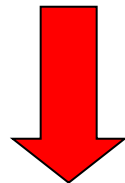
Rifiuti



**Termovalorizzatore
cogenerativo**



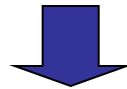
Teleriscaldamento



**Energia
elettrica**

**Riscaldamento
degli ambienti**

Rifiuti

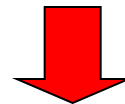


Discarica

**Combustibile
fossile**



**Caldaie
domestiche**

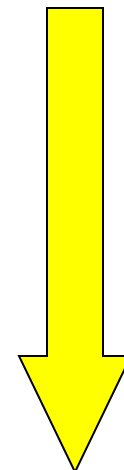


**Riscaldamento
degli ambienti**

**Combustibile
fossile**



**Centrale
termoelettrica**



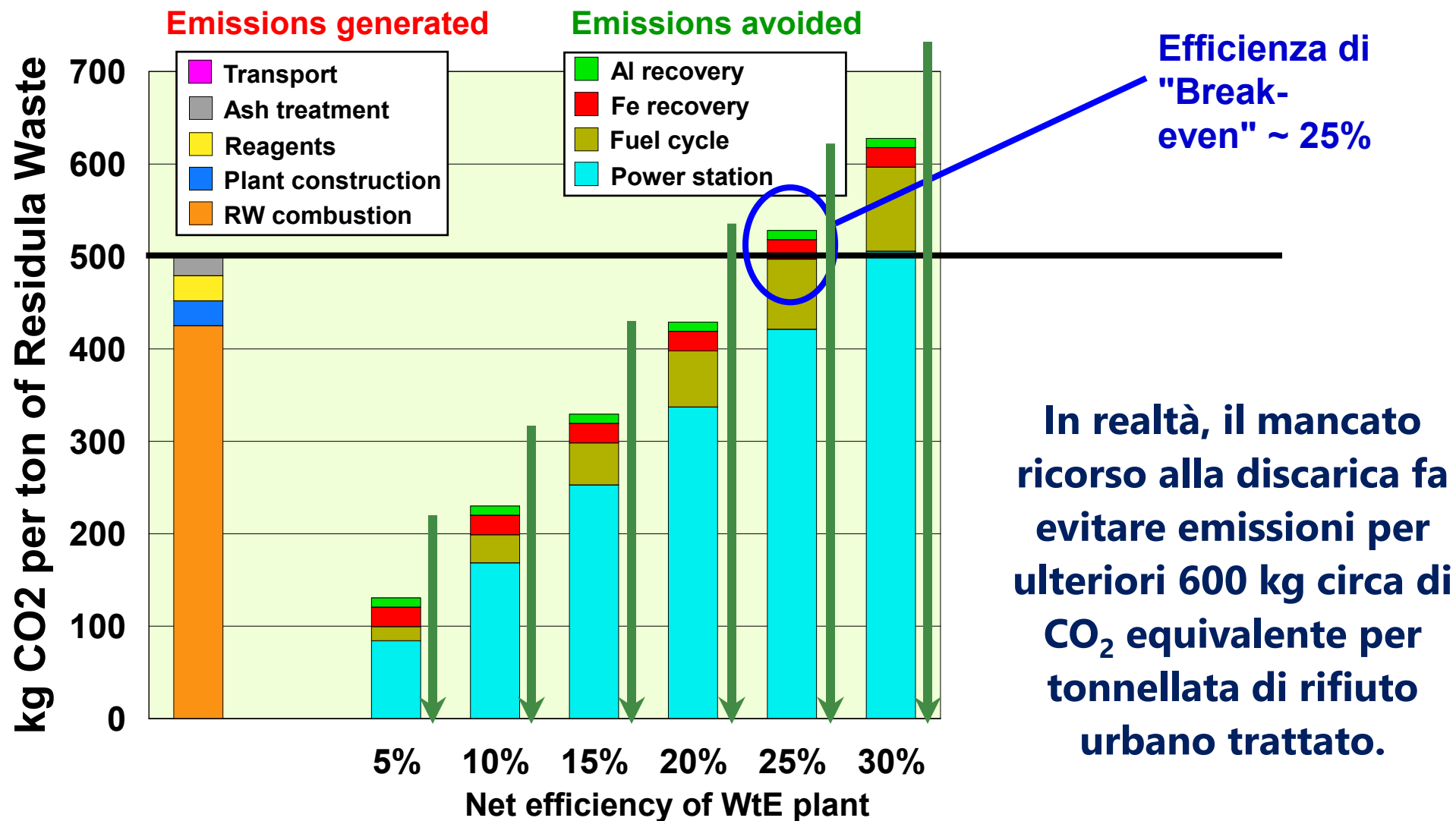
**Energia
elettrica**

Effetti utili:

- 1 -
**Trattamento
rifiuti**

- 2 -
**Produzione
elettrica**

- 3 -
**Produzione
termica**

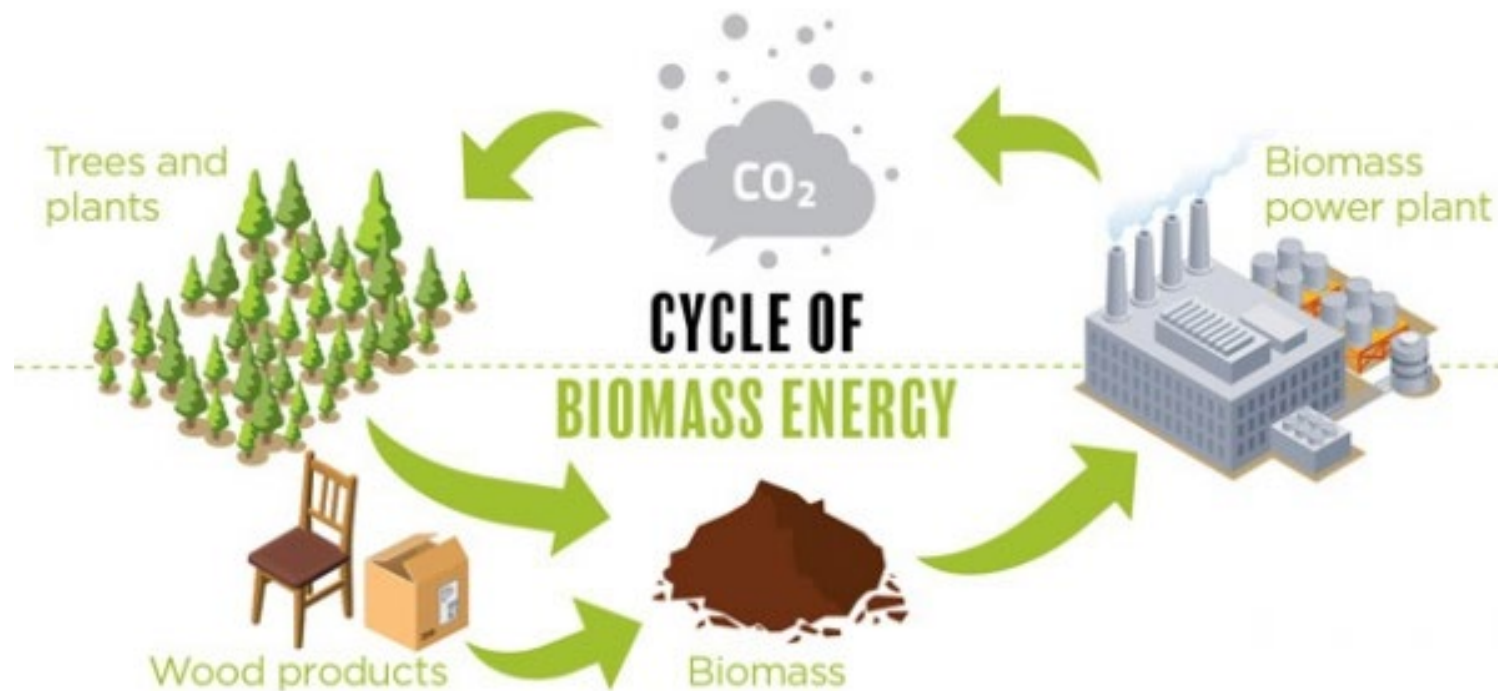


- **Come? Quali sono le tecnologie disponibili?**
- **Ne vale la pena?**
- **Qual è il costo ambientale?**
- **Perché le prestazioni energetiche sono importanti?**
- **Qual è l'impatto in termini di cambiamento climatico?**
- **Conclusioni**

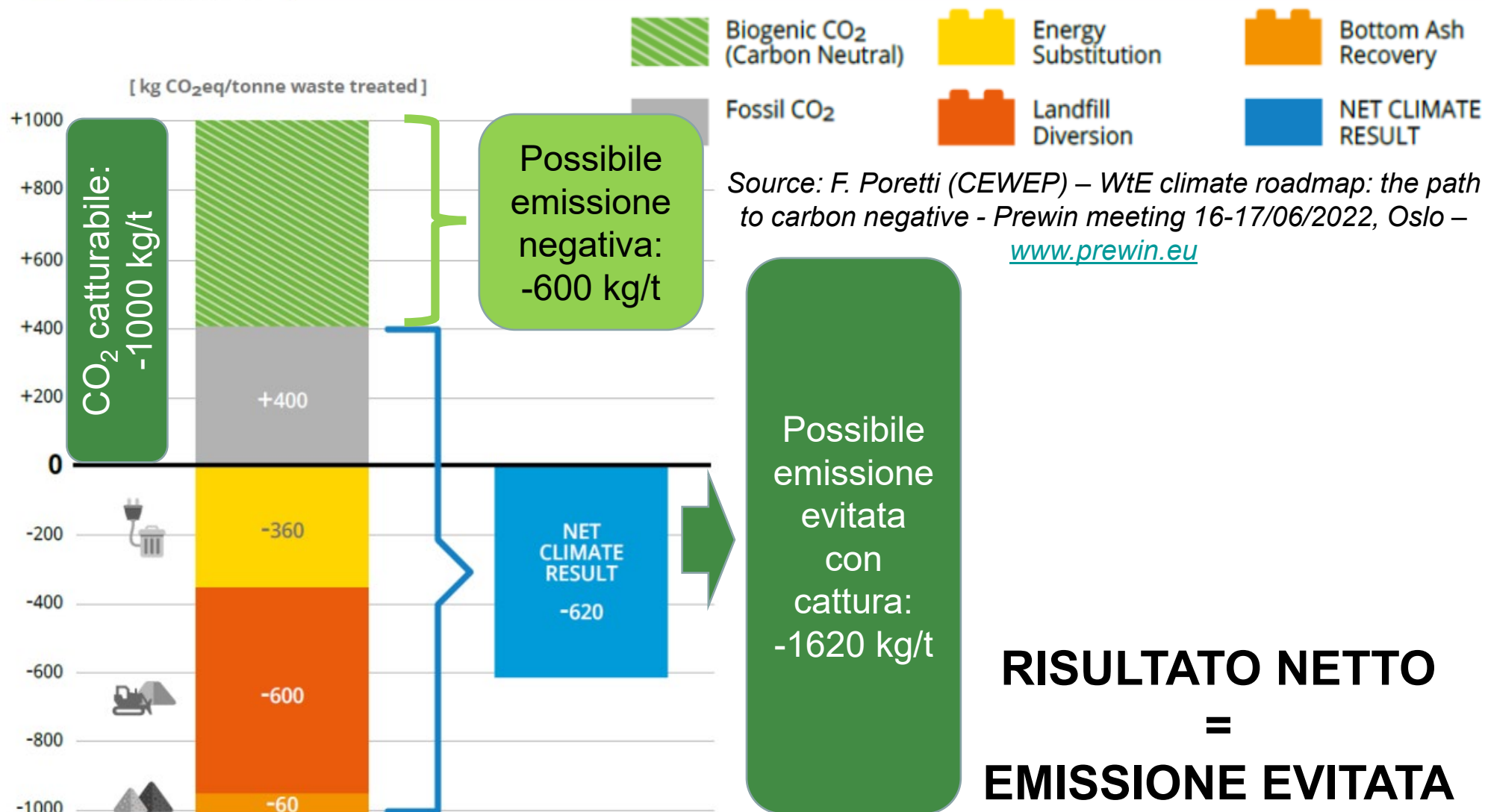
La combustione di una tonnellata di rifiuto urbano residuo attuale produce circa una tonnellata di CO₂, di cui:

Il 40-50% (400-500 kg per t di rifiuto) è FOSSILE, quindi CLIMALTERANTE

Il 50-60% (500-600 kg per t di rifiuto) è BIOGENICA, quindi NON CLIMALTERANTE



Quali emissioni climalteranti dalla termovalorizzazione?



**RISULTATO NETTO
=
EMISSIONE EVITATA
≠
EMISSIONE NEGATIVA**



Waste-to-Energy in Europe in 2019

Source: <https://cewep.eu>

- WtE Plants operating in Europe
(not including hazardous waste incineration plants) : **499**
- Waste thermally treated in WtE plants
(in million tonnes): **99**

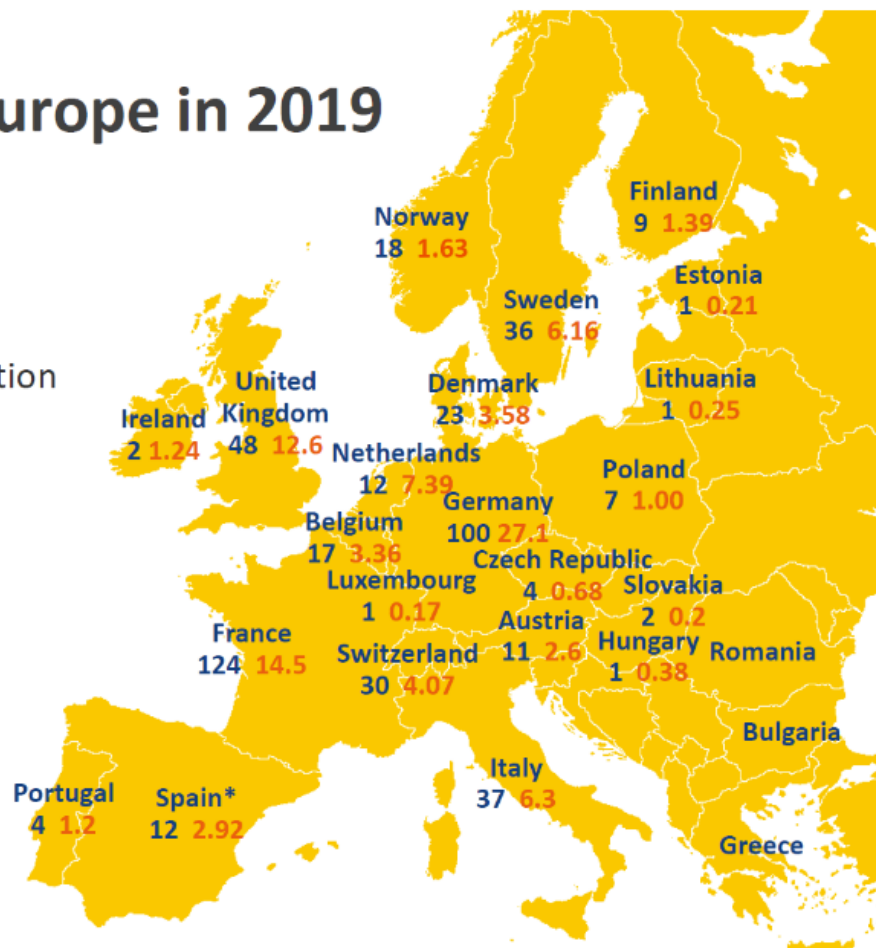
Data supplied by CEWEP members
and national sources

*: Includes plant in Andorra and SAICA
plant



EU-27: 407 plants, 80.6 Mt

CEWEP Confederation of European Waste-to-Energy Plants



**La termovalorizzazione in EU27 emette circa 40 Mt/a di emissioni climalteranti
cioè circa l'1% del totale**

**Il potenziale offerto dalla cattura, considerando anche la CO₂ biogenica è
tuttavia circa doppio**

- **Come? Quali sono le tecnologie disponibili?**
- **Ne vale la pena?**
- **Qual è il costo ambientale?**
- **Perché le prestazioni energetiche sono importanti?**
- **Qual è l'impatto in termini di cambiamento climatico?**
- **Conclusioni**

- 1) Varie tecnologie proposte
→ solo la combustione diretta in impianti a griglia o la produzione di SRF per successiva termovalorizzazioni sono opzioni che trovano diffusa applicazione industriale**
- 2) L'attenzione dell'opinione pubblica è particolarmente focalizzata sull'impatto della termovalorizzazione sul comparto ARIA**
- 3) Gli standard emissivi applicati alla termovalorizzazione sono i più stringenti tra quelli di tutte le fonti emissive regolamentate**
- 4) Gli inventari emissivi di vari contesti caratterizzati dal diffuso ricorso alla termovalorizzazione dei rifiuti mostrano che il contributo di questi ultimi risulta perlopiù marginale – ciò è particolarmente valido nell'attualità, ma lo era anche vent'anni orsono**
- 5) Tali dati evidenziano anche il significativo miglioramento della tecnologia, che a fronte di un maggior impiego ha mantenuto quasi inalterati i propri contributi emissivi assoluti**
- 6) Gli inventari emissivi mostrano anche che altri settori economici sono responsabili di contributi emissivi ben più rilevanti di quelli forniti dalla termovalorizzazione, in particolare anche per inquinanti da sempre considerati specifici della termovalorizzazione**
- 7) I modelli di simulazione dell'impatto sulla qualità dell'aria locale ascrivibile all'esercizio di termovalorizzatori di rifiuti sono concordi nel valutare l'entità di tali impatti sostanzialmente trascurabile**
- 8) La valutazione dell'impatto ambientale della termovalorizzazione dei rifiuti può essere correttamente interpretata solo in termini comparativi, poiché anche le alternative alla termovalorizzazione generano impatti ambientali**

- 9) **Nelle valutazioni comparative secondo un approccio LCA (Life Cycle Assessment) le prestazioni energetiche hanno un effetto rilevante, poiché determinano la consistenza di buona parte degli impatti evitati**
- 10) **Termovalorizzare una tonnellata di rifiuto urbano attuale corrisponde a emettere circa 500 kg di CO₂ fossile (quindi climalterante) e 500 kg di CO₂ biogenica (quindi *carbon-neutral*)**
- 11) **Il ricorso alla termovalorizzazione contrasta il cambiamento climatico, poiché le emissioni climalteranti associate al processo sono più che compensate dalle emissioni evitate**
- 12) **In EU27 la termovalorizzazione tratta circa 80 milioni di tonnellate all'anno di rifiuti urbani non riciclabili con conseguenti emissioni climalteranti per circa 40 milioni di tonnellate di CO₂, cioè circa l'1% delle emissioni complessive dell'EU27**
- 13) **Sono in corso diverse iniziative di ricerca e sviluppo e per la cattura della CO₂ dai fumi dei termovalorizzatori di rifiuti urbani:**
 - **Ciò offre la possibilità di rendere ancora più efficace il contrasto al cambiamento climatico operato dalla termovalorizzazione (con un potenziale EU27 del 2% delle emissioni complessive)**
 - **La cattura della CO₂ biogenica potrebbe rendere i termovalorizzatori impianti a «emissioni negative», ricadenti nella famiglia delle tecnologie BECCS (*BioEnergy with Carbon Capture and Storage*) e considerate dal *New Green Deal* quale elemento essenziale per raggiungere la neutralità climatica al 2050**

Grazie per l'attenzione!

federico.vigano@polimi.it



LEAP
FOUNDED IN 2005 BY
POLITECNICO DI MILANO



mater
materia & energia da rifiuti
materials & energy from refuse



POLITECNICO
MILANO 1863



FIL ROUGE 2024

17 ottobre 2024

RICICLO E TRATTAMENTI BIOLOGICI DEI RIFIUTI



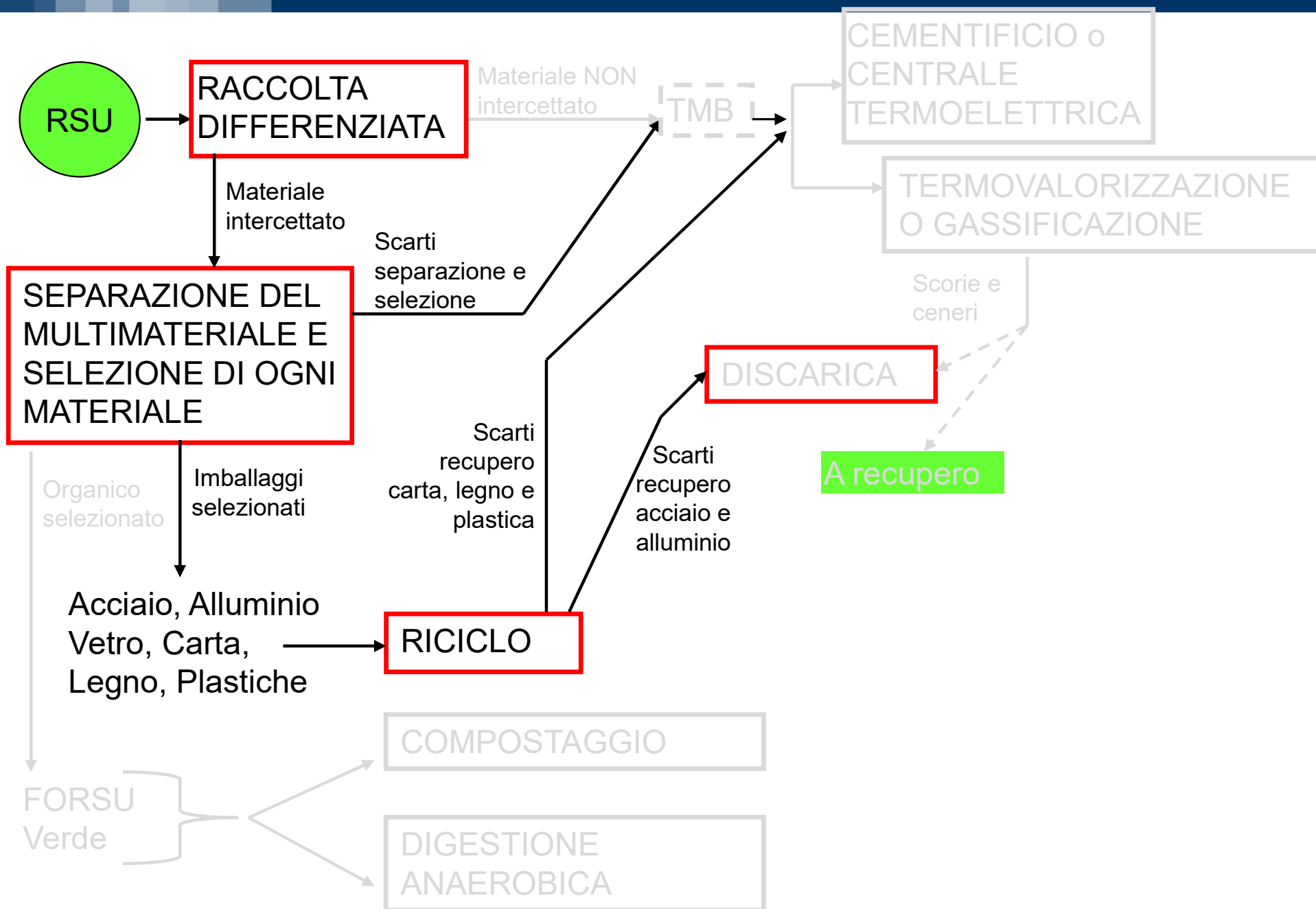
Assessment on WAsTe
and REsources

Prof. Mario GROSSO
Politecnico di Milano



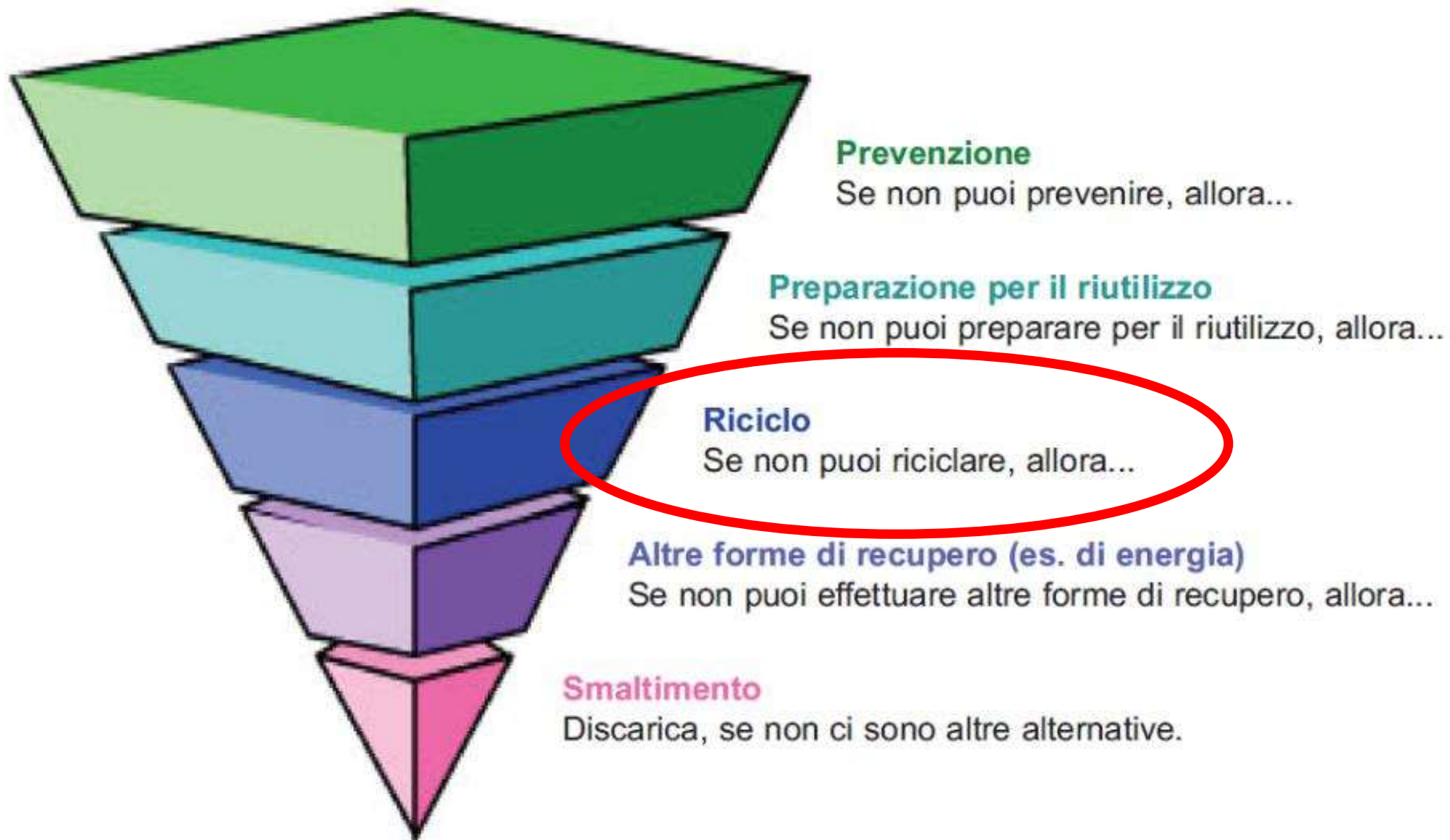


Il riciclo dei rifiuti





IL RICICLO NELLA GERARCHIA DEI RIFIUTI





Il pacchetto economia circolare (2018)

I principali elementi della nuova normativa sui rifiuti sono i seguenti:

@ 2025 (**→ 2030**):

- ✓ Obiettivo globale di riciclo: 65% (**→ 70%**)
- ✓ Obiettivi minimi di riciclo per ciascun materiale:
 - ✓ 75% carta e cartone (**→ 85%**)
 - ✓ 70% vetro (**→ 75%**) e acciaio (**→ 80%**)
 - ✓ 50% alluminio (**→ 60%**) e plastiche (**→ 55%**)
 - ✓ 25% legno (**→ 30%**)
 - ✓ 50% bioplastica (**→ 55%**)

Le percentuali di riciclo sono calcolate:

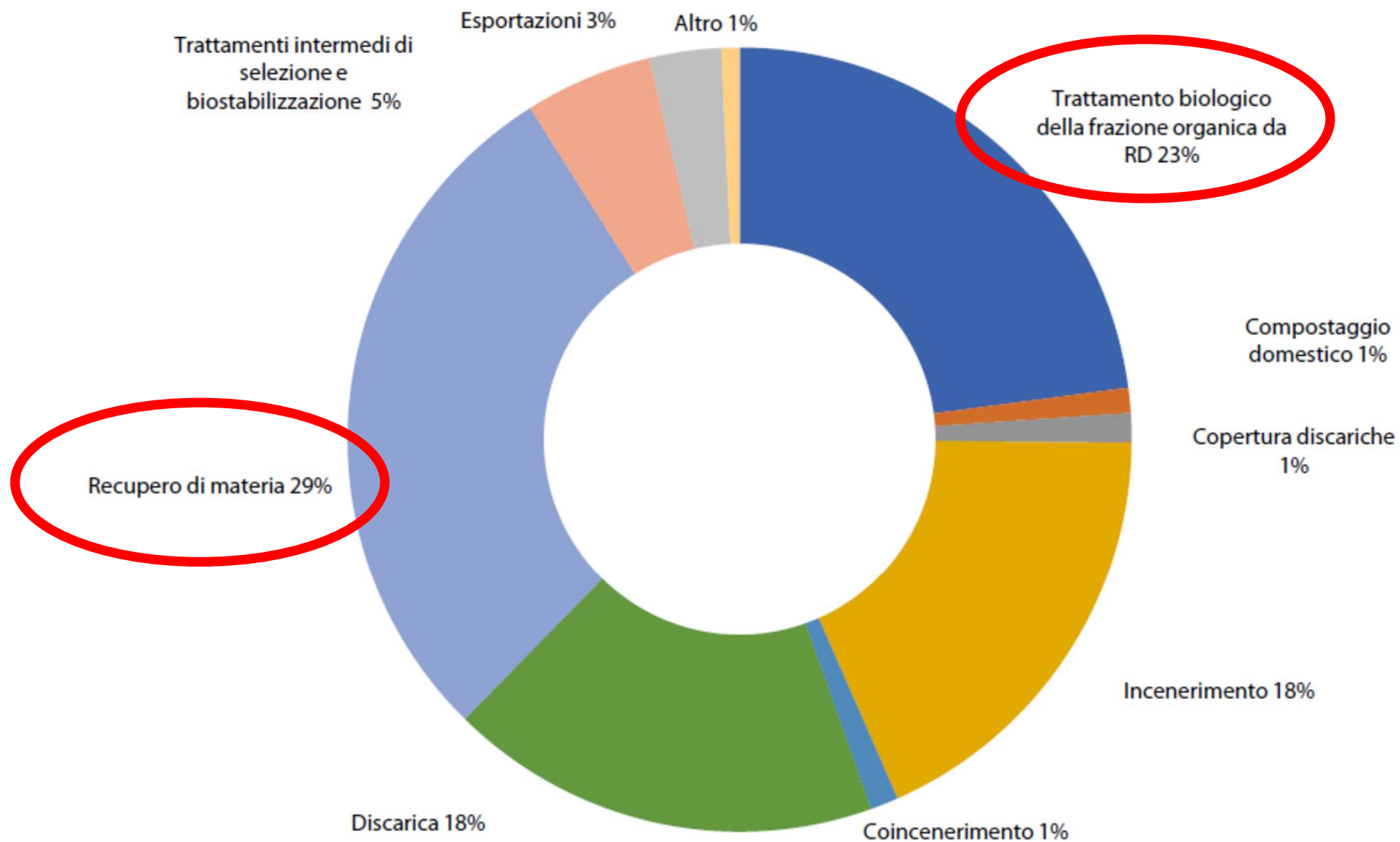
- Rispetto ai quantitativi di imballaggi immessi al mercato
- All'ingresso degli impianti di riciclo (punto di calcolo)

Non è più incluso il recupero energetico, ma può essere incluso il riciclo dei metalli che avviene a seguito dell'incenerimento (scorie)



Il riciclo in Italia

Gestione dei rifiuti urbani in Italia, anno 2022

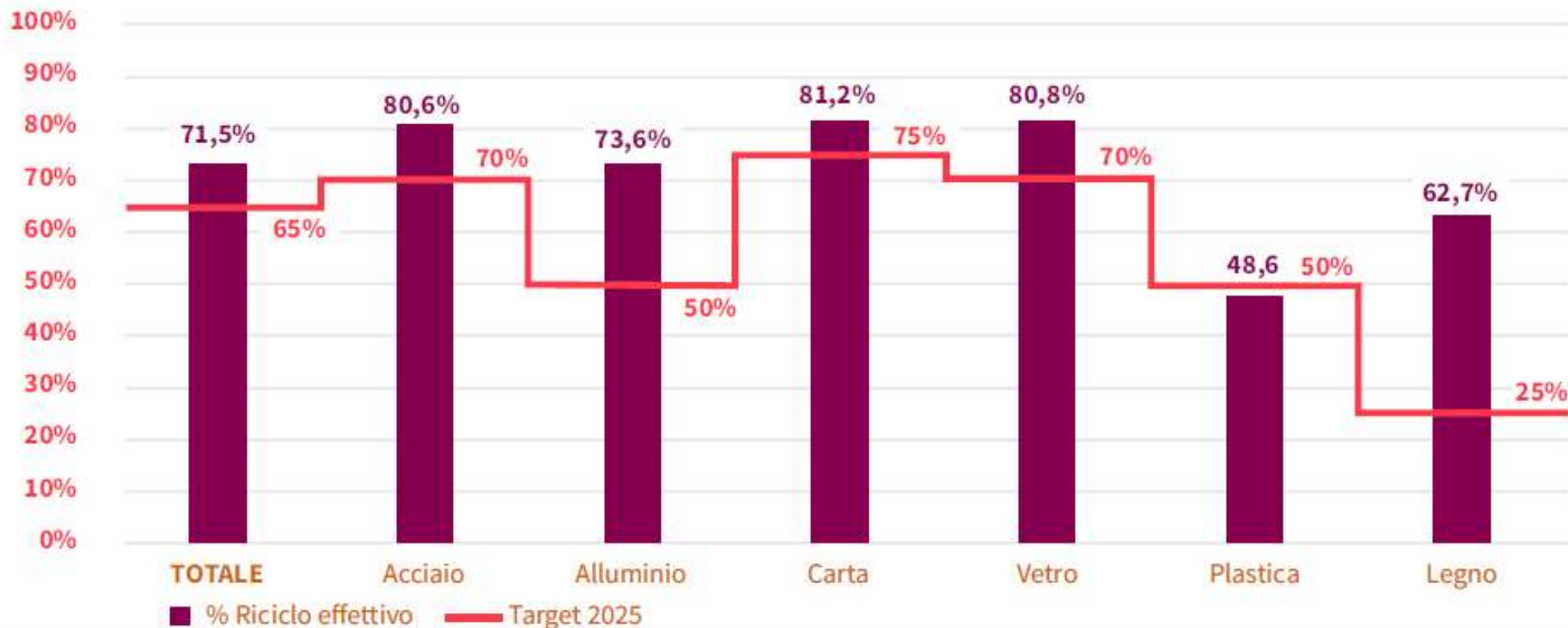


Fonte: Ispra



IL RICICLO DEGLI IMBALLAGGI

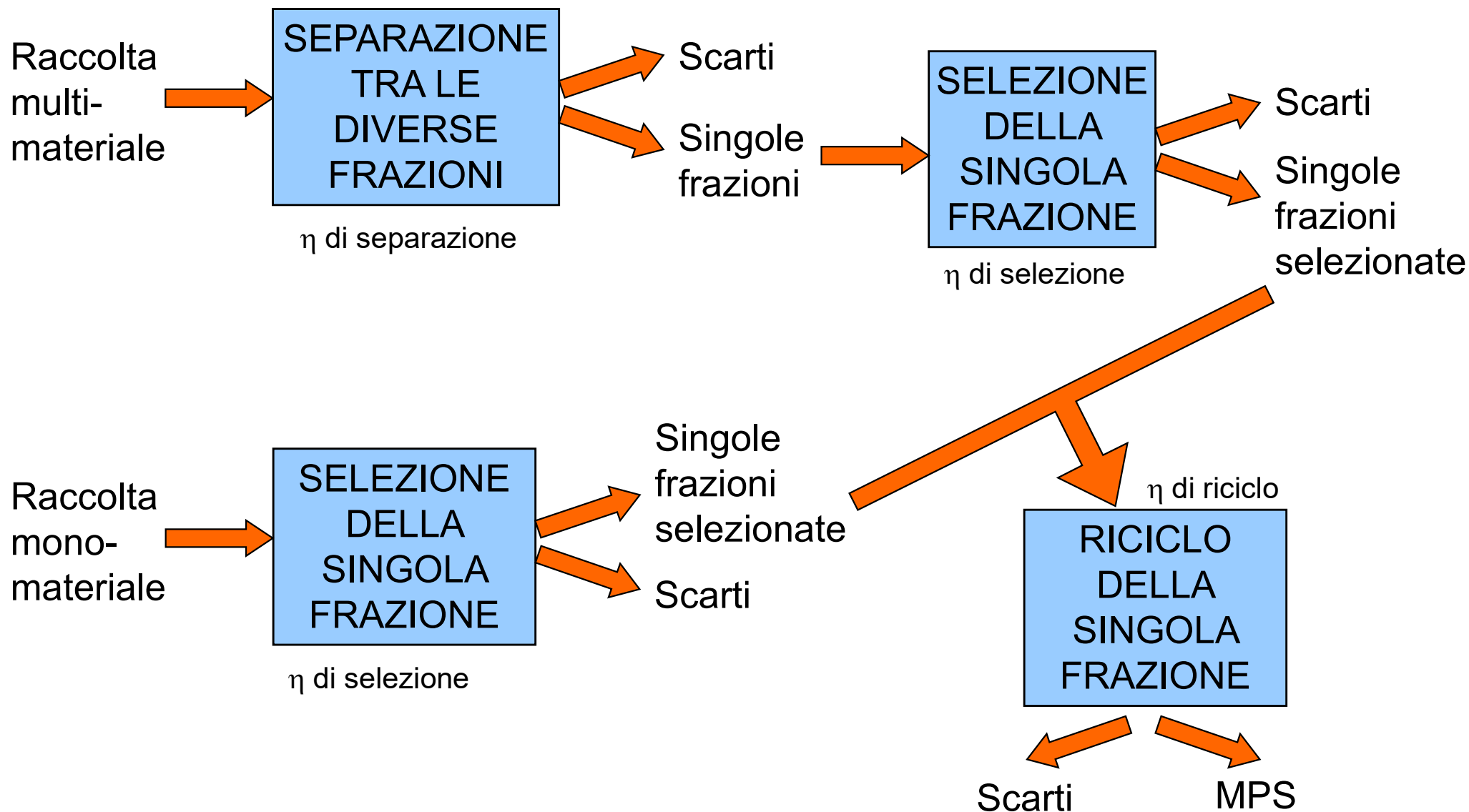
CONFRONTO RISULTATI RAGGIUNTI (RICICLO EFFETTIVO) CON OBIETTIVI 2025



Riciclo delle frazioni merceologiche nel 2022 a confronto con gli obiettivi al 2025 (Fonte: CONAI)



SCHEMA GENERALE DI SELEZIONE E RICICLO





SELEZIONE:

- Rimozione delle impurezze
- Eventuale separazione tra componenti (es. plastica)
- Predisposizione del materiale al successivo riciclo

RICICLO:

- In impianti dedicati (es. plastica, alluminio)
- In impianti esistenti (es. carta, vetro)



PRINCIPALI TIPOLOGIE DI POLIMERI TERMOPLASTICI



- ✓ *HDPE – Polietilene ad alta densità (flaconi per liquidi alimentari, per detersivi)*



- ✓ *LDPE – Polietilene a bassa densità (sacchetti, contenitori vari, dispenser)*



- ✓ *PET - polietilene tereftalato (flaconi per liquidi alimentari, fibre per abbigliamento e geotessili)*



- ✓ *PP – polipropilene (mobili da giardino, fibre per corde e sacchi, vassoi per cibo, posate e piatti da picnic)*



- ✓ *PS – polistirene (vaschette per alimenti, utensili, giocattoli, materiali isolanti)*



- ✓ *PVC – polivinilcloruro (tubazioni, tende per la doccia, mobili da giardino, flaconi non ad uso alimentare)*



Il materiale raccolto deve essere innanzitutto selezionato per:

1. Eliminare eventuali frazioni estranee (vetro, carta, alluminio)
2. Separare gli imballaggi in plastica secondo la tipologia del polimero e possibilmente per colore



Separazione automatica (sensori NIR*)



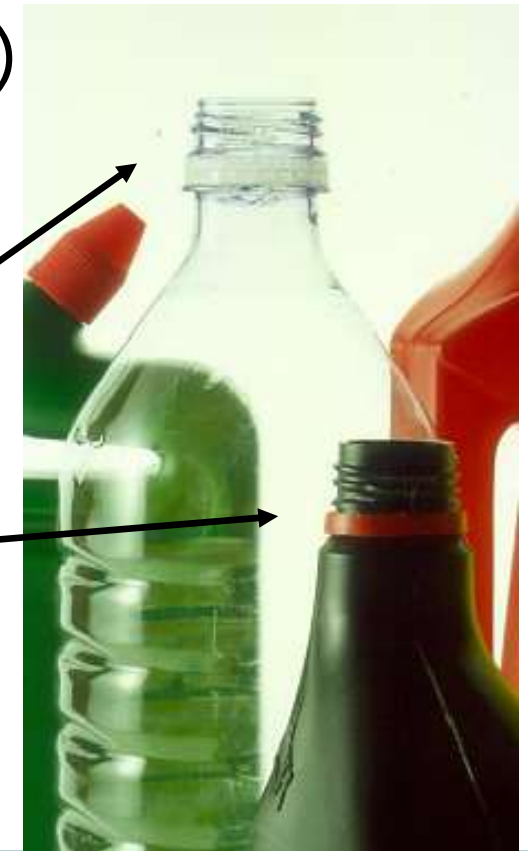
Raffinazione manuale (operatori)

PROBLEMI

flaconi e tappi in materiali diversi

guarnizioni in PVC all'interno dei tappi delle
bottiglie di PET

* *Near infra-red*





Vagliatura balistica (per forma)

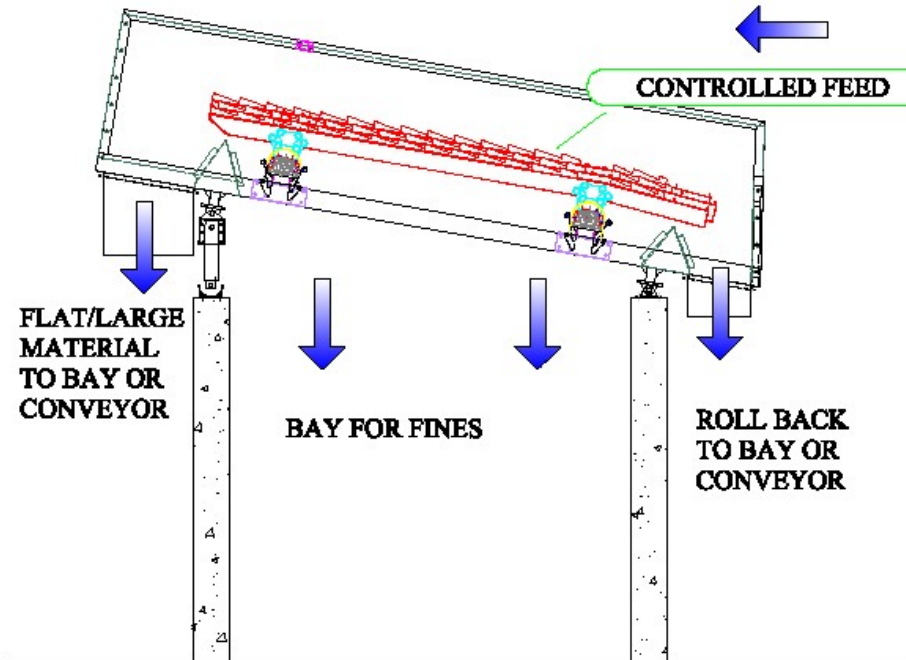
Cassone con il fondo inclinato con barre a movimento sussultorio.

- I corpi tridimensionali (es. bottiglie o flaconi) rotolano verso il basso
- I corpi bidimensionali (es. film), aiutati da una corrente d'aria generata da ventilatori, risalgono verso l'alto
- Le componenti più piccole attraversano il vaglio e vengono scartate

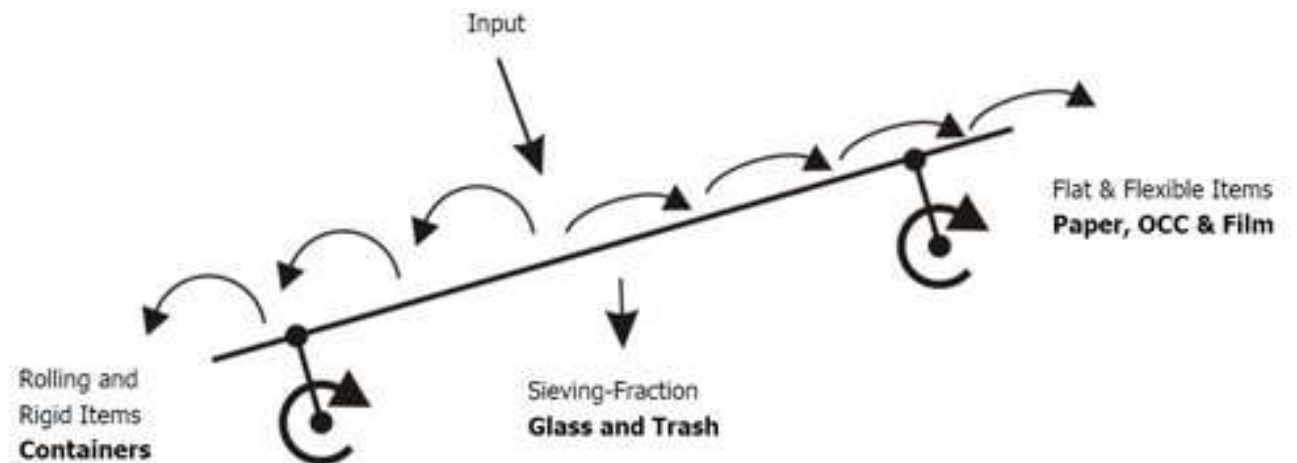




Separatore balistico

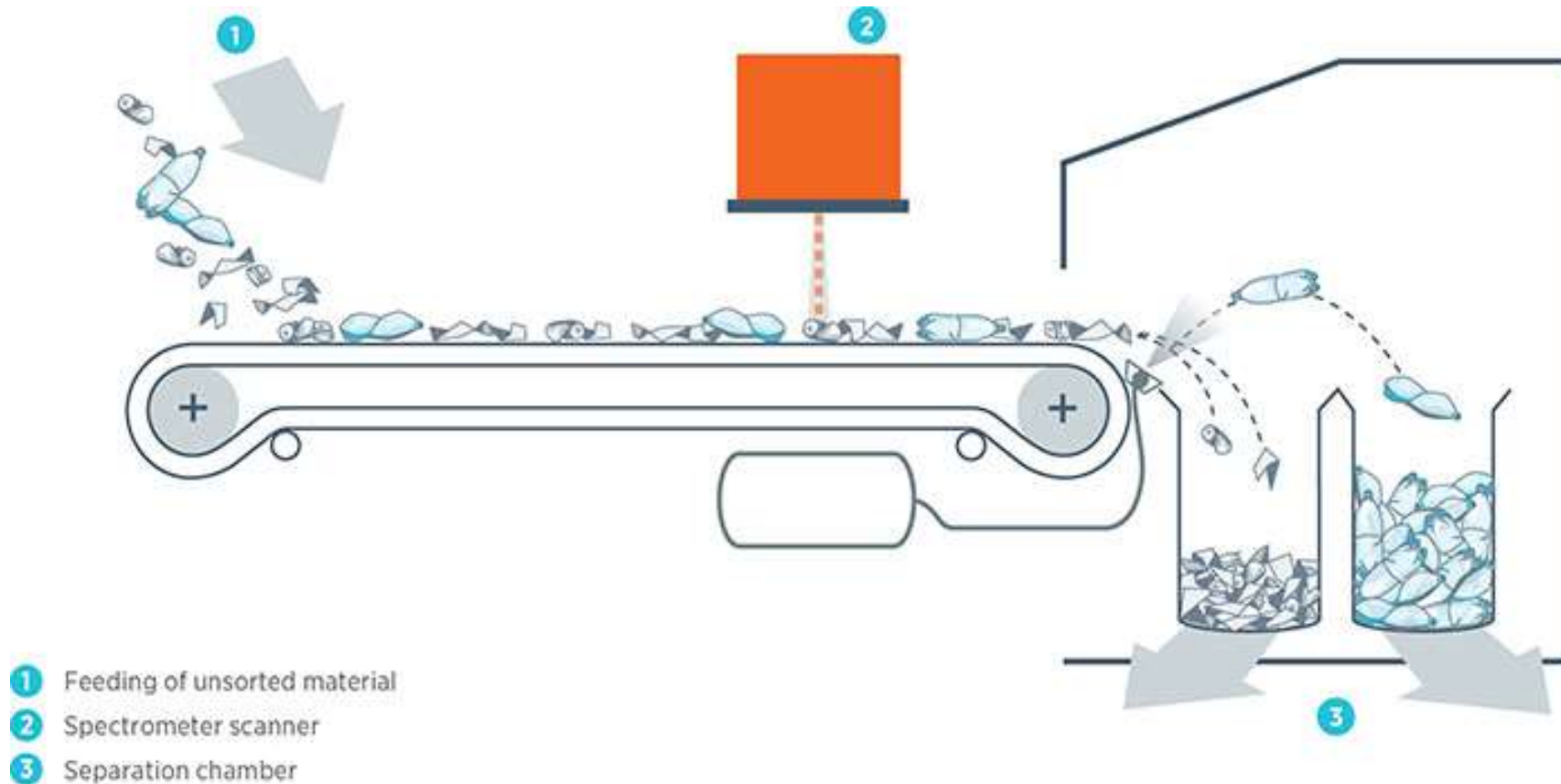


*Separazione
«2D vs. 3D»*





Sensori NIR per separazione per polimero e per colore

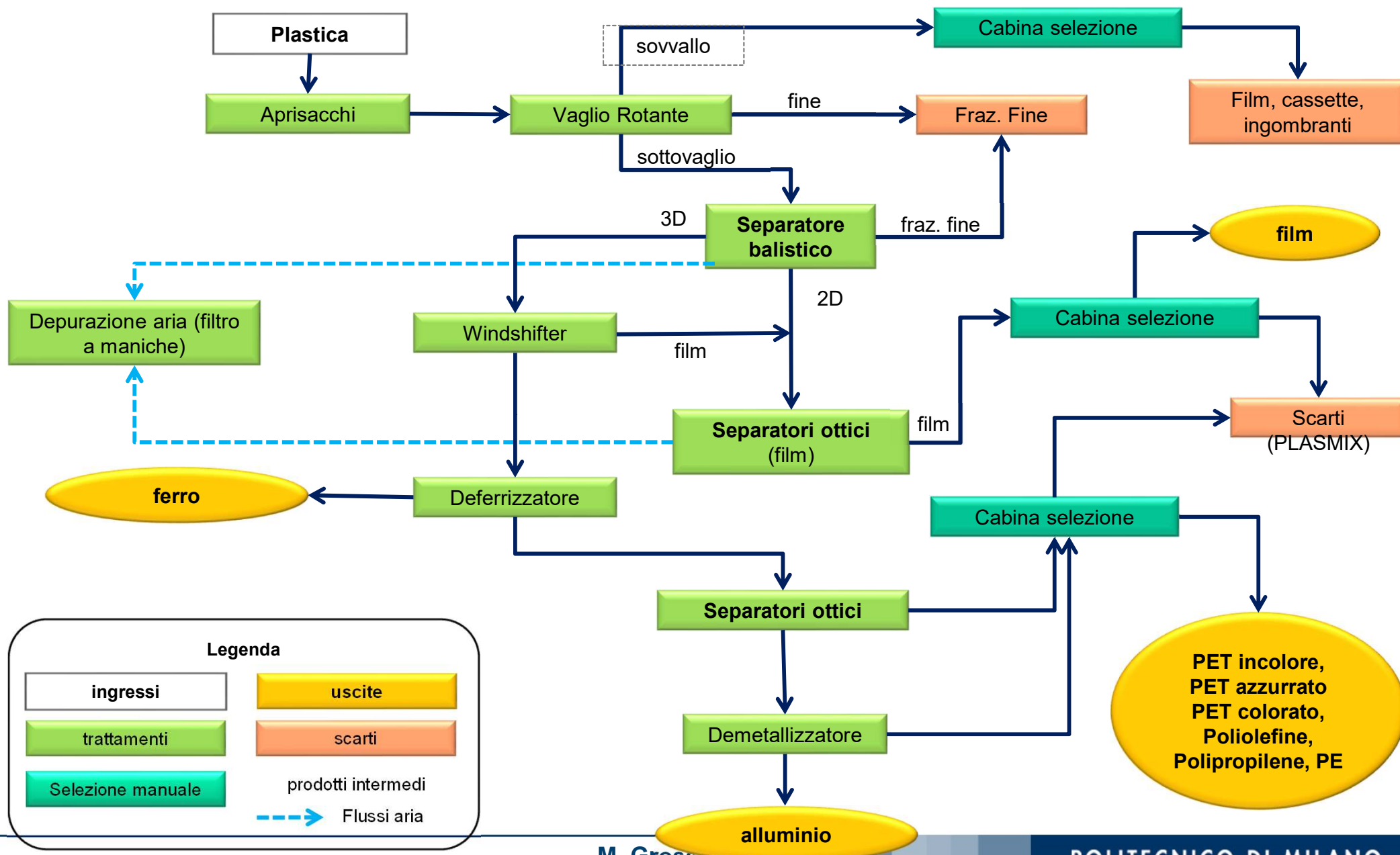


Il sensore riconosce i diversi polimeri grazie alla riflessione della radiazione infrarossa, che è specifica per ciascuno di essi: il sensore analizza la luce riflessa e identifica il polimero

Ugelli ad aria compressa separano il singolo manufatto identificato



Esempio di una linea di selezione della plastica





Per il singolo polimero, quale ad es. il PET:

1. Selezione: sia manuale sia automatica (PET, metal e PVC detector)



2. Triturazione: produce la frantumazione grossolana del materiale, portando lo stesso ad assumere dimensioni di pezzatura omogenea anche se irregolare. Il materiale subisce una considerevole riduzione del volume iniziale (1:5)



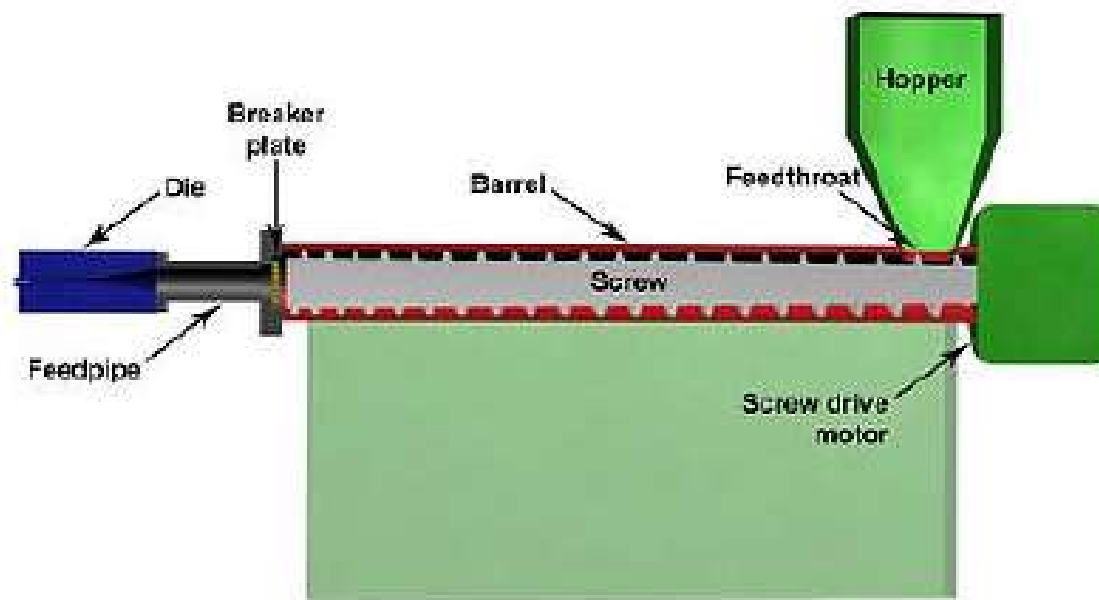
3. Lavaggio: per separare quelle parti che potrebbero essere dannose alla successiva fase di trasformazione (terra, parti metalliche, etichette, colle, frammenti di tappi in HDPE).
4. Macinazione: per ridurre ulteriormente la pezzatura del materiale. Per manufatti morbidi quali film e fogli tale operazione viene effettuata dopo quella di essiccamento.
5. Essiccamento: per raggiungere un residuo di acqua dell'ordine del 2-3%. Il materiale essiccato viene inviato ai silos di stoccaggio.

Si ottengono
scaglie





6. Granulazione: il materiale viene alimentato ad un estrusore munito di una piastra forata con fori del diametro finale di 2-4 mm. Il polimero fuso uscente dalla filiera viene poi "affettato", a formare dei granuli

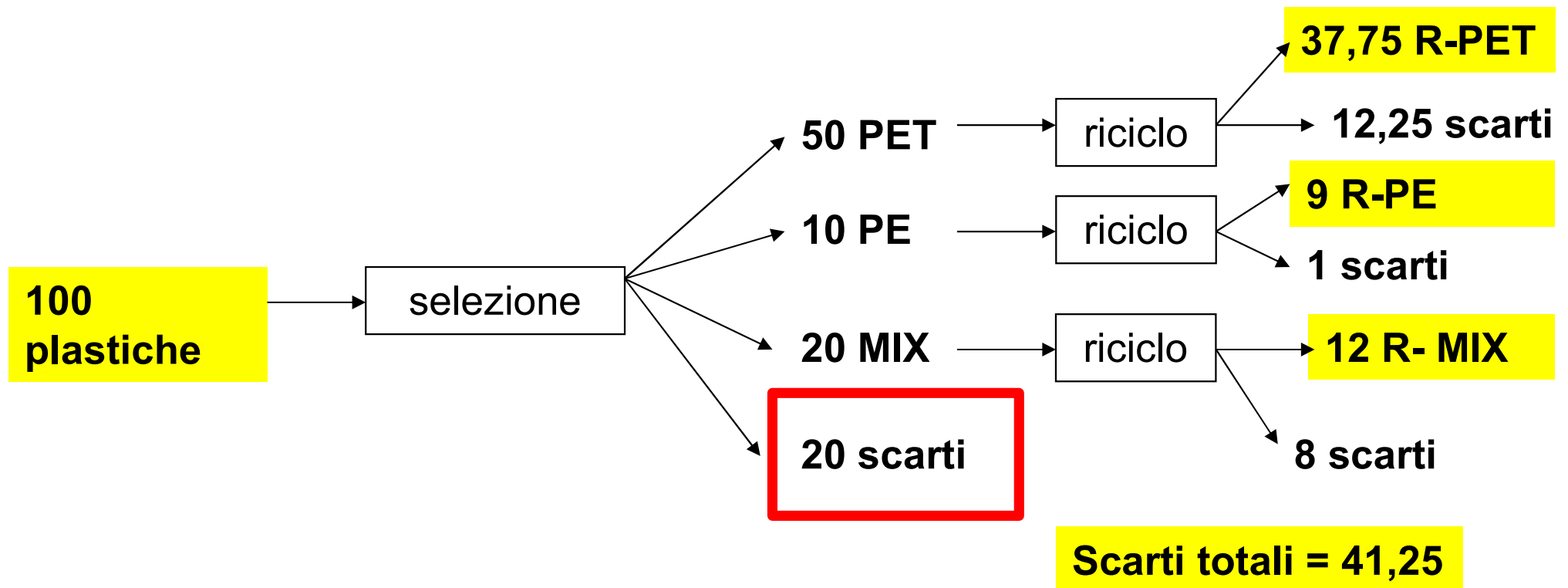


Si ottengono
granuli





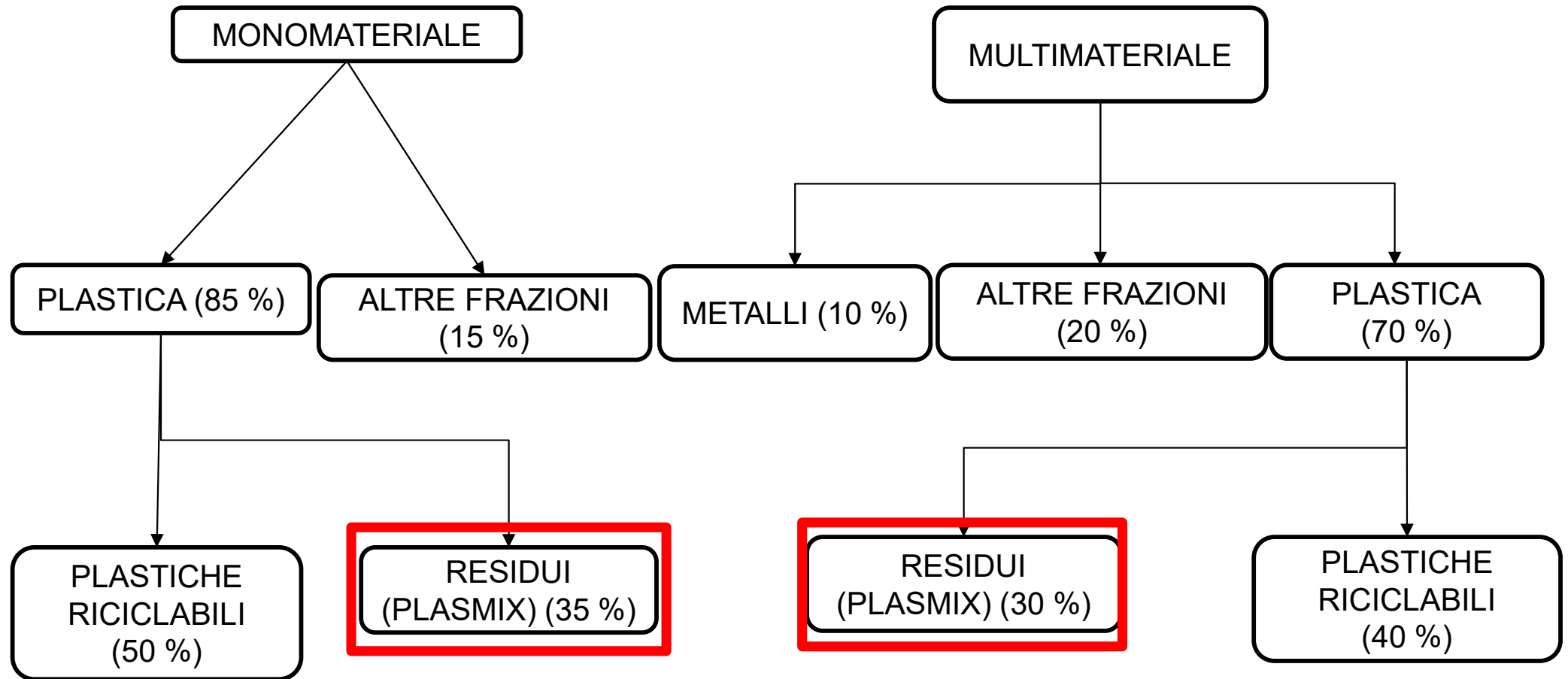
BILANCIO DI MATERIA



L. Rigamonti, M. Grosso and M. Giugliano (2009). Waste Management, 29, 934-944



Bilancio di materia della selezione della plastica nel 2019



Nonostante il miglioramento tecnologico,
gli scarti di selezione sono notevolmente aumentati!



Bilancio di materia delle fasi di selezione e riciclo

MATERIALE	EFFICIENZA di SELEZIONE (% in peso) (A)	EFFICIENZA del RICICLO (% in peso) (B)	EFFICIENZA del RECUPERO (% in peso) (A × B)
Acciaio	92	90 (forno fusorio)	82,8
Alluminio	90	83 (forno fusorio)	74,7
Vetro	94	100	94
Carta	95	90	85,5
Legno	86	95	81,7 (44,5 dopo essiccazione)
Plastica	80	73,5	58,75



Acciaio e ferro

Le impurità di **rame** e **stagno** si accumulano e non possono essere rimosse nei processi di rifusione

Alluminio

La qualità dell'alluminio secondario è influenzata dal suo livello di **ossidazione** e dal contenuto di alliganti

Plastiche

Stabilizzanti come cadmio, piombo e stagno, così come **ritardanti di fiamma**, potrebbero contaminare i prodotti riciclati, così come la presenza di additivi (es. Cr)

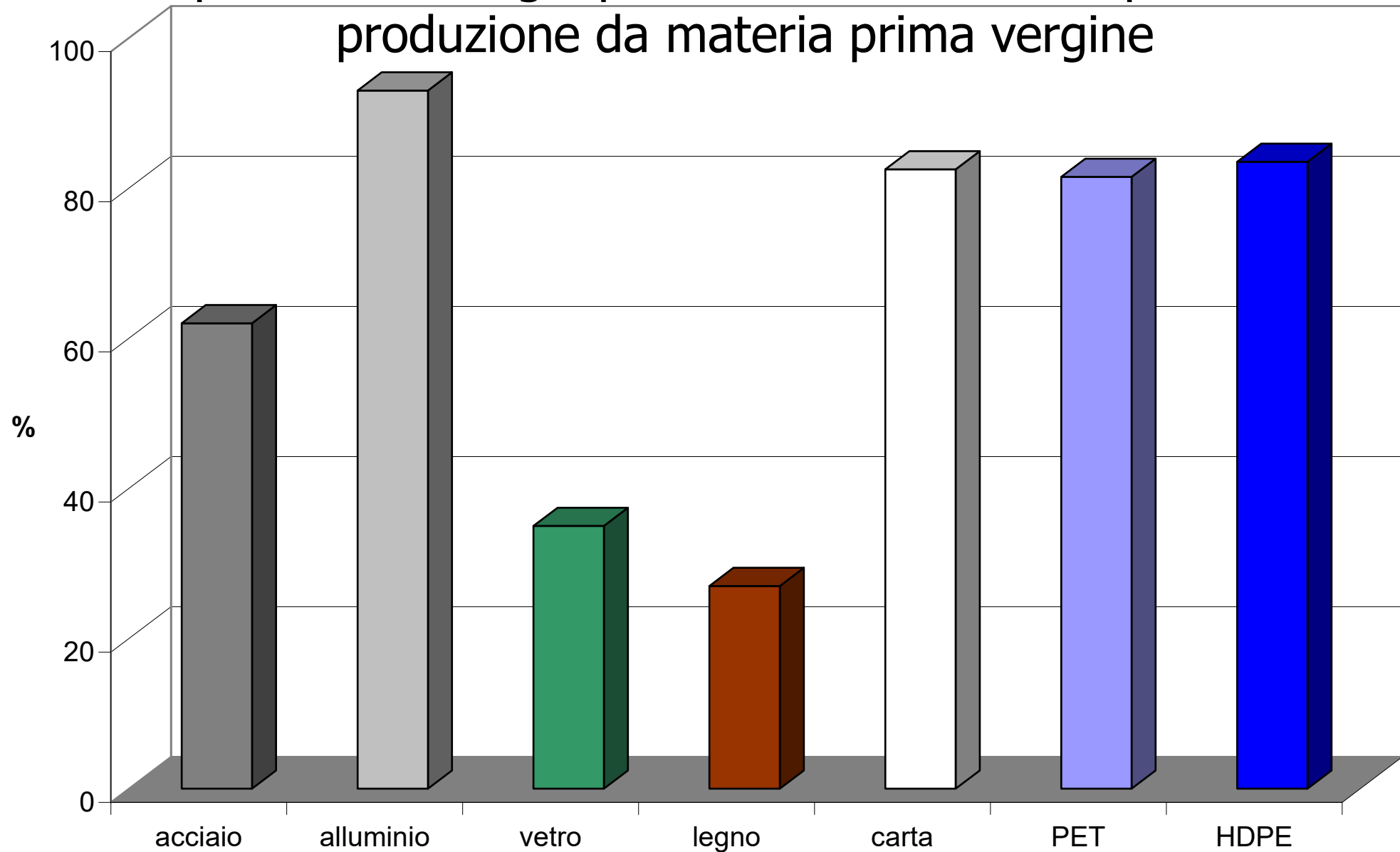
Carta

Gli **oli minerali** possono contaminare la carta riciclata, limitandone l'uso nel settore del packaging alimentare



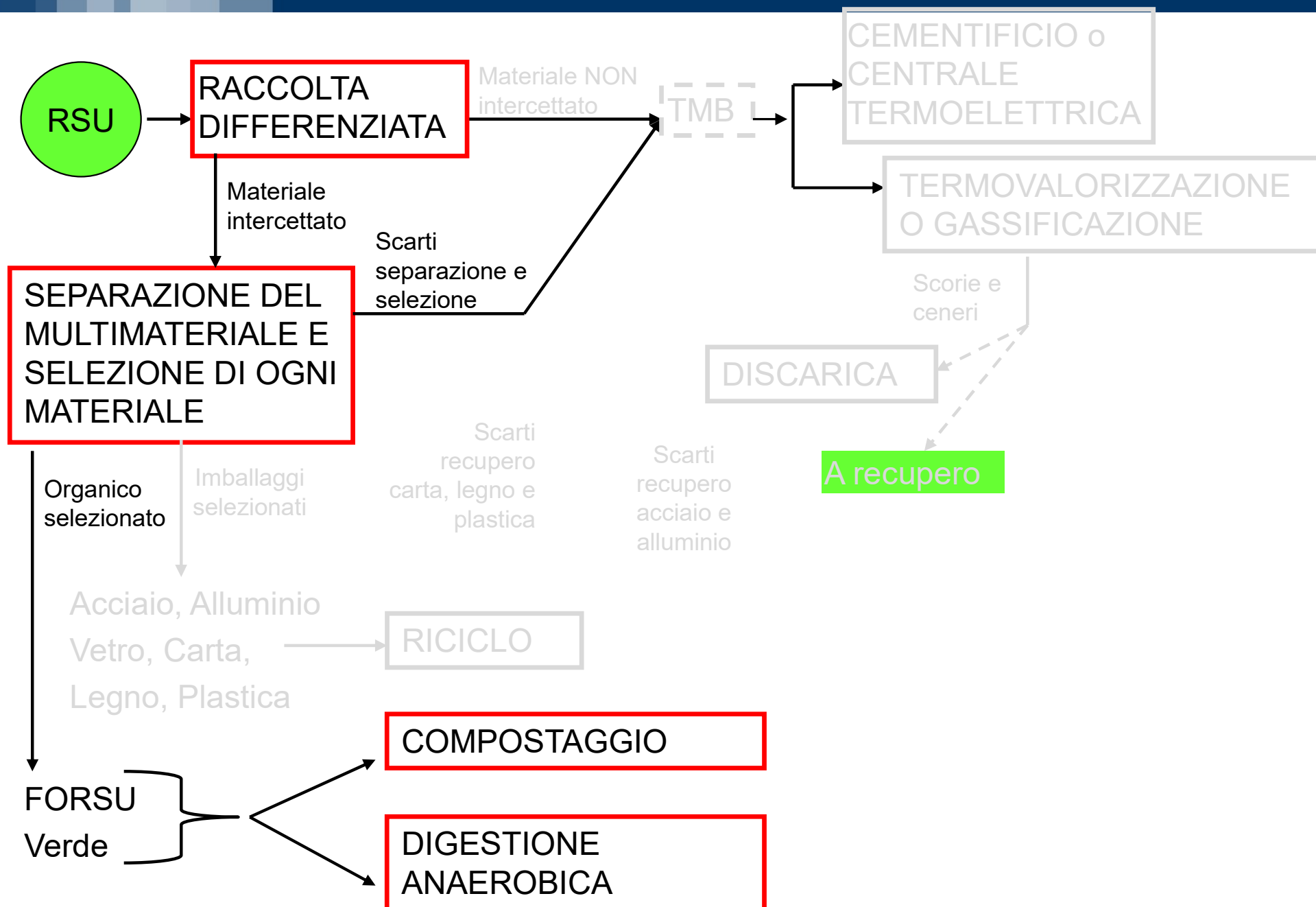
RICICLO DEI MATERIALI DA IMBALLAGGIO

Risparmio di energia primaria con il riciclo rispetto alla produzione da materia prima vergine





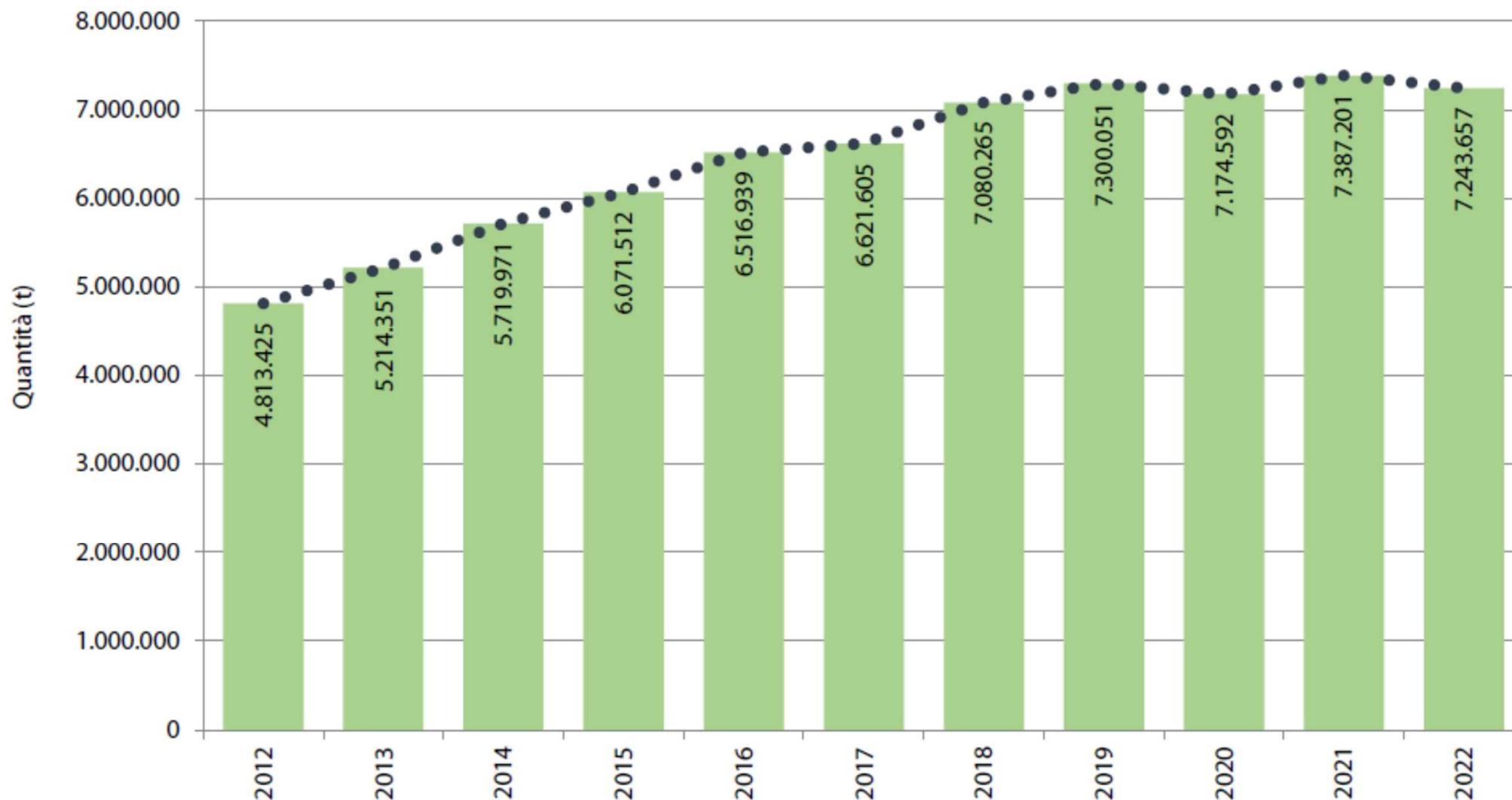
I trattamenti biologici dei rifiuti





Raccolta differenziata dell'organico

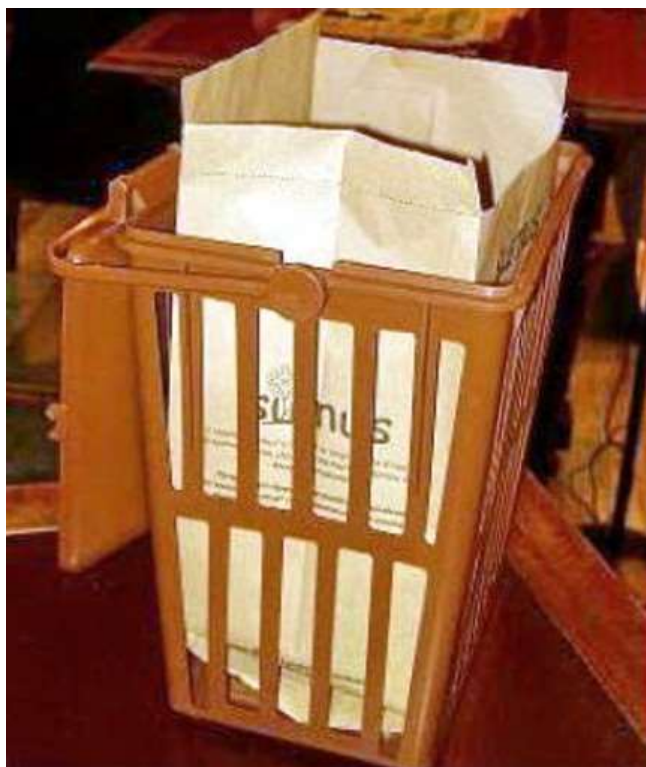
FONTE: ISPRA



Evoluzione della raccolta dell'organico (umido + verde) in Italia



Contenitori aerati e sacchetti in carta



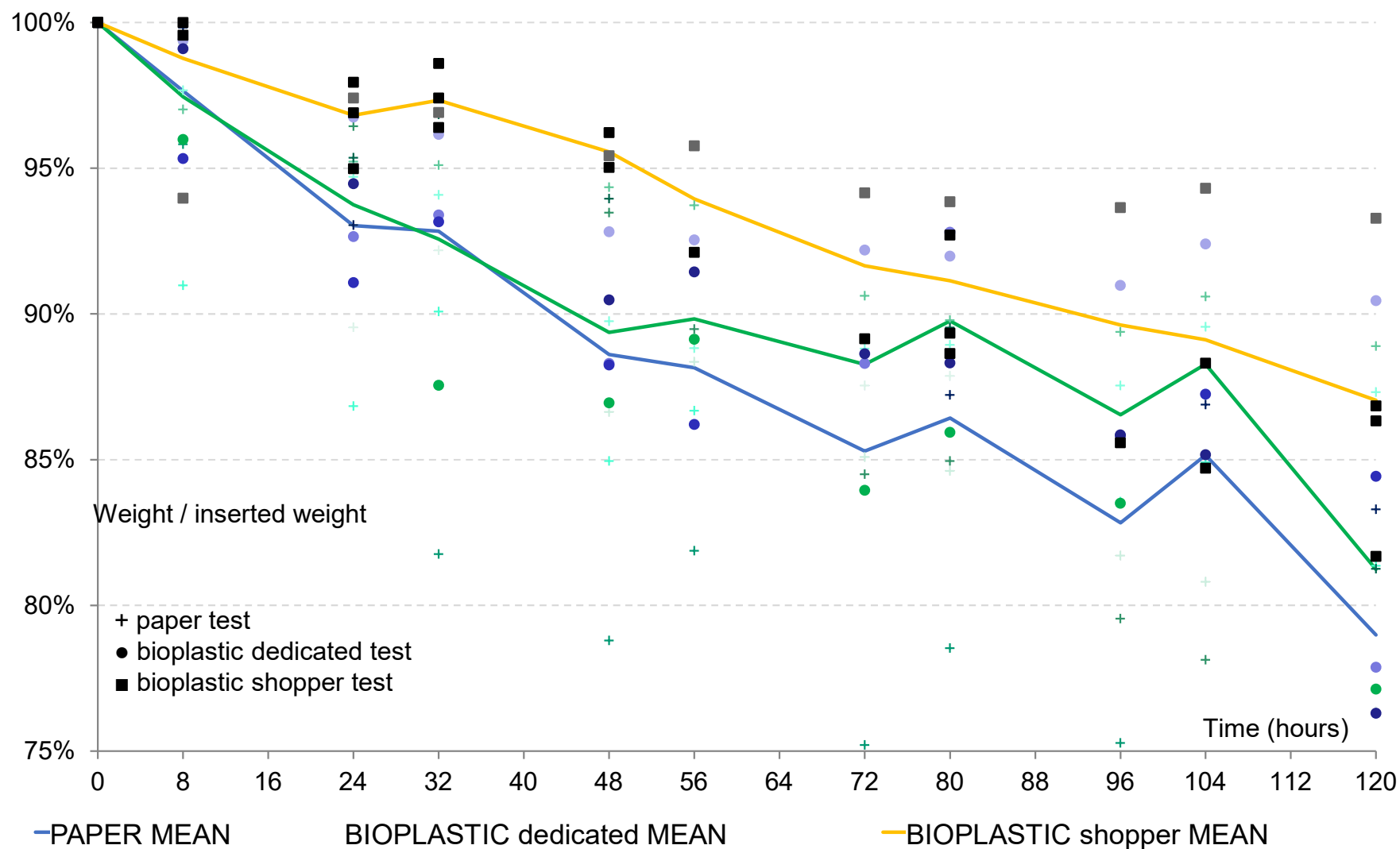
Consentono di:

- Controllare gli odori
- Diminuire la massa del rifiuto fino al 10-15%

Una buona gestione inizia a casa!



Raccolta differenziata dell'organico

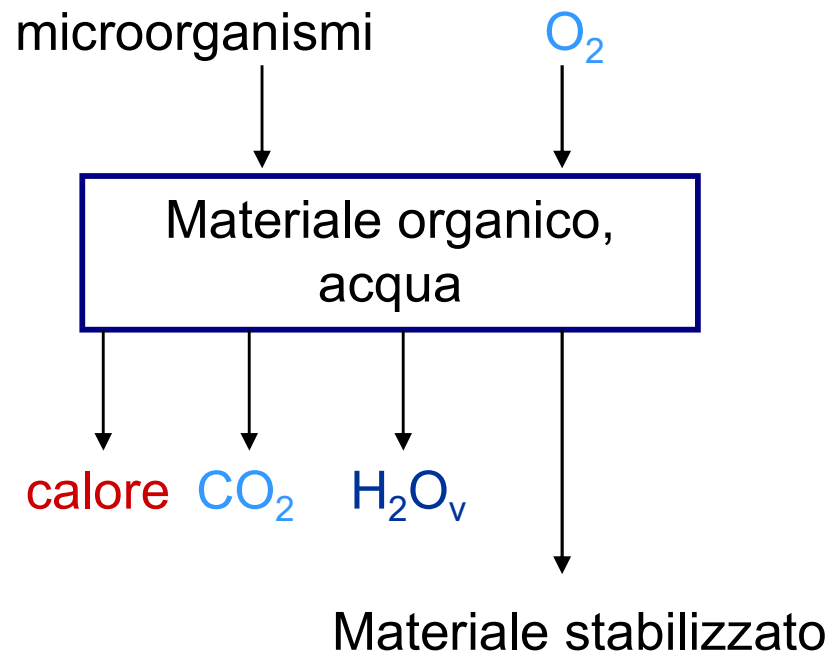


Diminuzione del peso durante lo stoccaggio in casa

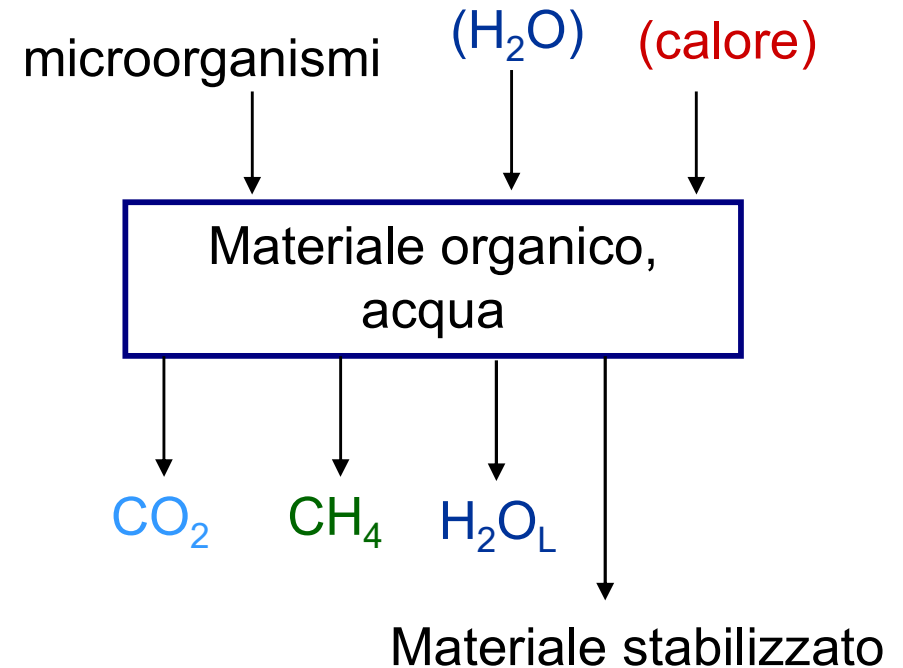


Principi generali

DEGRADAZIONE AEROBICA



DEGRADAZIONE ANAEROBICA





Quando applicati alla frazione organica dei rifiuti

DEGRADAZIONE AEROBICA



COMPOSTAGGIO



Produzione di compost

DEGRADAZIONE ANAEROBICA



DIGESTIONE ANAEROBICA

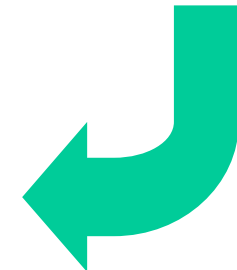


Produzione di energia + digestato

Compost



POST-COMPOSTAGGIO





Temperatura e tempo di residenza

Il nuovo regolamento (UE) 2019/1009 ha introdotto importanti novità sui processi biologici:

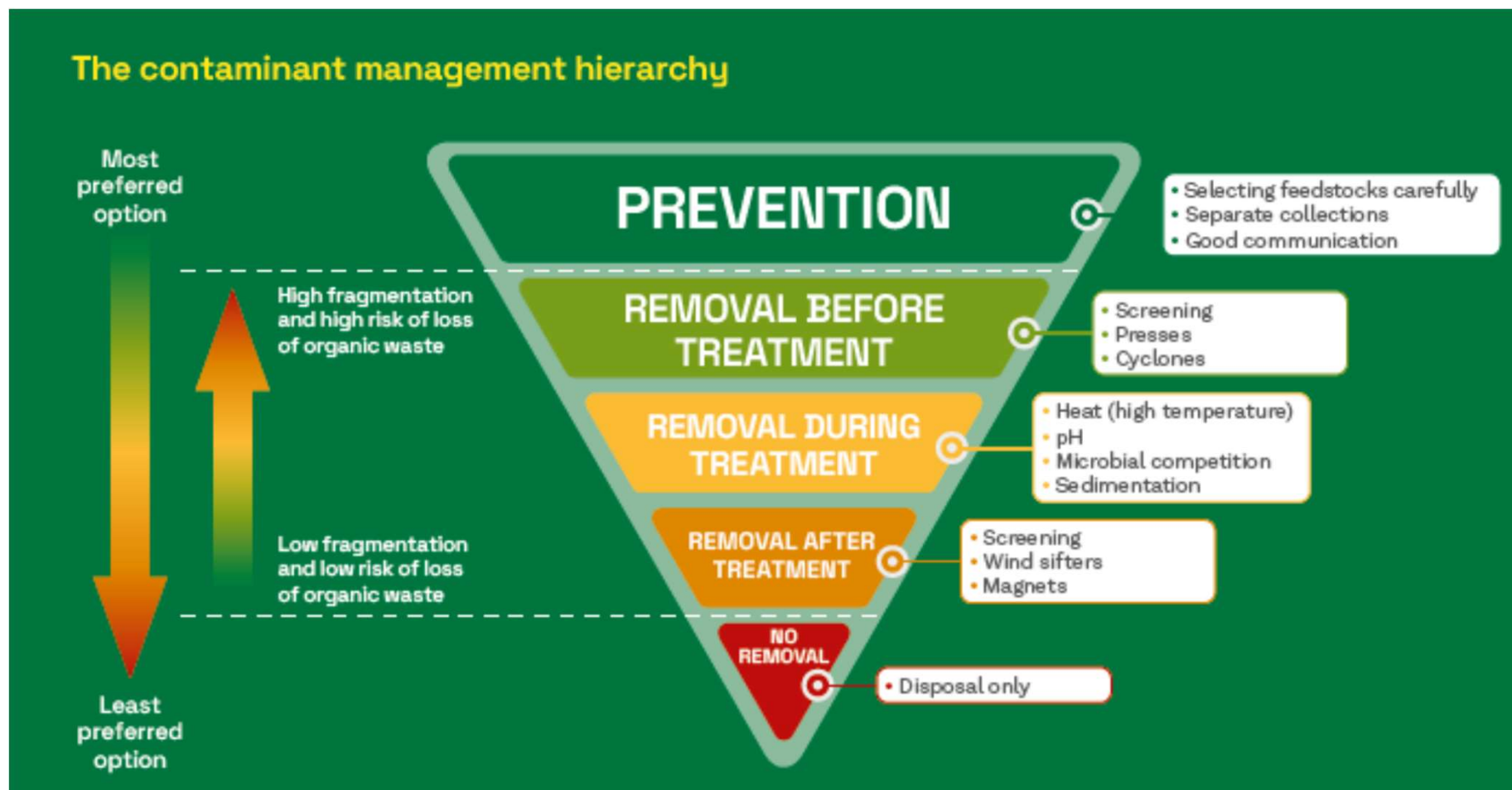
"Durante il processo di compostaggio, tutte le parti di ciascun lotto devono avere uno dei seguenti profili temperatura-tempo:

- uguale o superiore a 70 °C per almeno 3 giorni,*
- uguale o superiore a 65 °C per almeno 5 giorni,*
- uguale o superiore a 60 °C per almeno 7 giorni, oppure*
- uguale o superiore a 55 °C per almeno 14 giorni"*

Entrato in vigore nel 2022



Il problema delle impurezze



Fonte: A Practitioner's Guide to Preventing and Managing Contaminants in Organic Waste Recycling. ISWA (2023)



CARATTERISTICHE DEL BIOGAS

BMP (potenziale di biometanazione): $0,3 \text{ m}_n^3 \text{ kg}_{\text{SV}}^{-1}$ (FORSU)

Produzione di biogas: $100\text{-}150 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$

Potere calorifico: $23\text{-}25 \text{ MJ m}^{-3}$

Composizione	%
CH_4	50–75
CO_2	25–50
N_2	0–10
H_2	0–1
H_2S	0–3
O_2	0–2



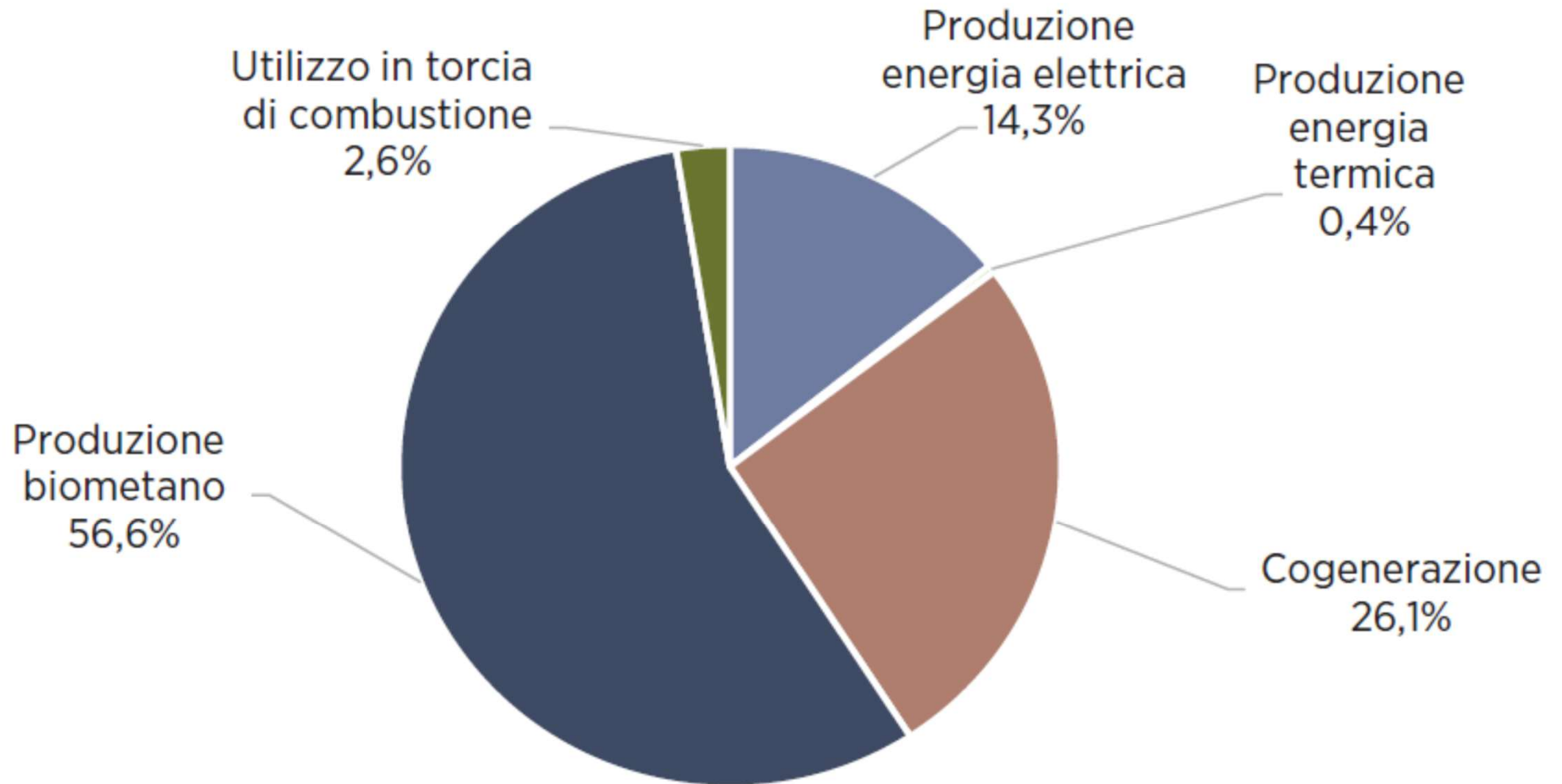
- Produzione di energia elettrica (150-300 kWh/t) e/o termica (cogenerazione)
 - motori a combustione interna
 - turbine a gas

NB: parte dell'energia termica deve essere utilizzata per la termostatazione del reattore

- Upgrading a biometano mediante rimozione della CO₂ (assorbimento, adsorbimento, membrane)
 - immissione nella rete di distribuzione
 - utilizzo come carburante per autotrazione



UTILIZZI DEL BIOGAS



Fonte: Rapporto sul recupero energetico da rifiuti in Italia. Utilitalia, 2023

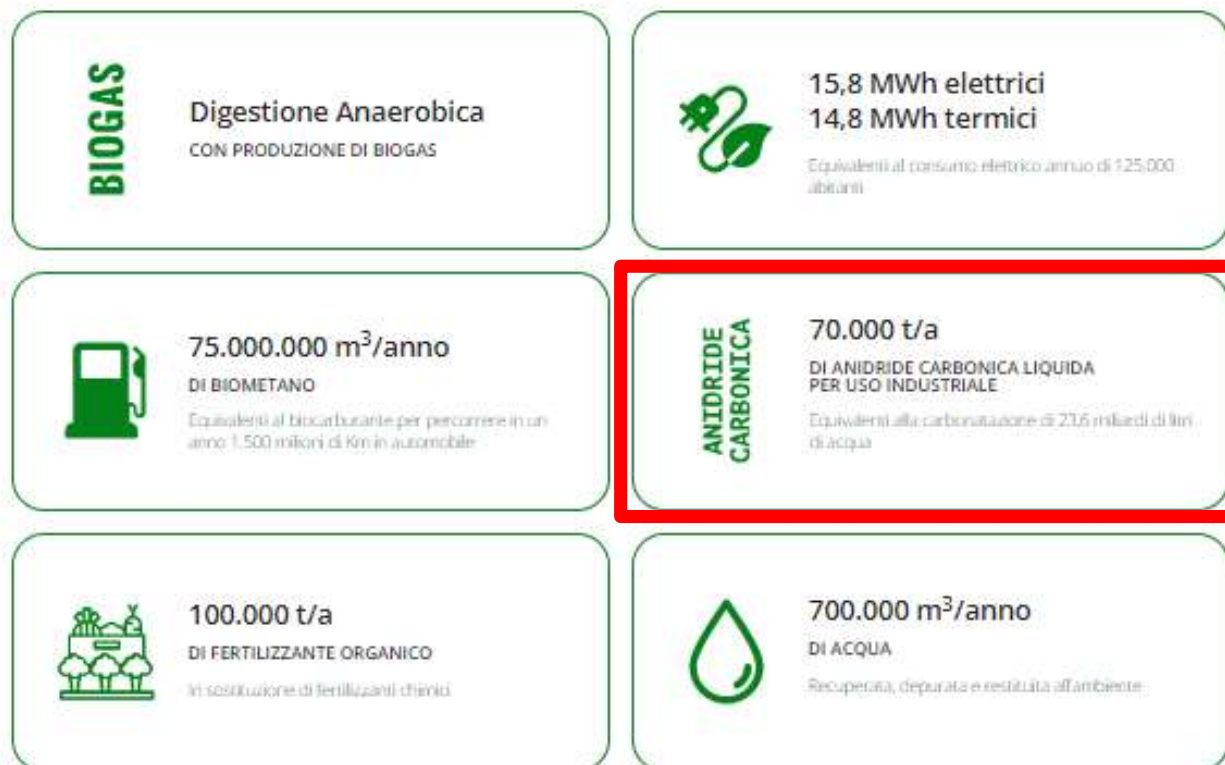


INPUT: RIFIUTI ORGANICI



OUTPUT:

BIOMETANO – ANIDRIDE CARBONICA PER USO INDUSTRIALE
FERTILIZZANTE ORGANICO



Circularità nella gestione e trattamento del rifiuto organico – il caso dell'impianto di Montello (BG)



Situazione impiantistica attuale

- Digestori sia mesofili che termofili
- Tecnologia a secco/semisecco e a umido (circa 50/50)
- Netta preferenza per gli impianti monostadio
- Prospettive interessanti di:
 - ✓ integrazione con di trattamento acque reflue e di codigestione con altri substrati (reflui zootecnici, scarti agroindustriali, colture energetiche)
 - ✓ integrazione con impianti di compostaggio esistenti (aumento potenzialità di trattamento FORSU, ridimensionamento problematiche olfattive)



Confronto con il processo aerobico (compostaggio)

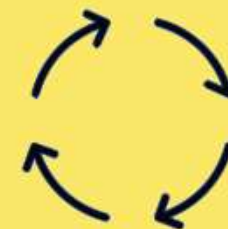
- Costi di investimento più elevati
- Bilancio energetico più favorevole (biogas)
- Migliore controllo delle emissioni nell'ambiente (reattori ermeticamente chiusi)
- Maggiore difficoltà di controllo del processo
- Maggiori rischi (incendi, esplosioni)
- Minore impegno di superficie



- Introduzione di sistemi DRS per PET, cartoni per bevande,...
- L'intelligenza artificiale inizia a farsi strada nelle filiere
- Verso un rinnovato ruolo degli impianti TMB per il recupero di materiali?



Giornata di studio
"Rifiuti e Life Cycle Thinking"
7^a edizione



POLITECNICO
MILANO 1863

28 GENNAIO 2025

*Evento in Aula Magna
Campus Leonardo - Politecnico di Milano*



La giornata è dedicata alla presentazione e discussione di lavori sul tema:

"Avanzamenti metodologici e applicazioni innovative delle metodologie basate sul concetto del ciclo di vita per una gestione sostenibile dei rifiuti e delle risorse".

La call for abstracts è ora aperta!

Invio abstract
www.aware.polimi.it



**GRAZIE PER LA VOSTRA
ATTENZIONE!**

mario.grosso@polimi.it