



UNIVERSITÀ
DI TRENTO

Dipartimento di
Ingegneria Industriale

La riciclabilità dei materiali per contenitori: le specificità del vetro

Vincenzo M. Sglavo



INCONTRO E CENA CON LA STAMPA

Martedì 18 marzo 2025 - ore 18:00

Sommario

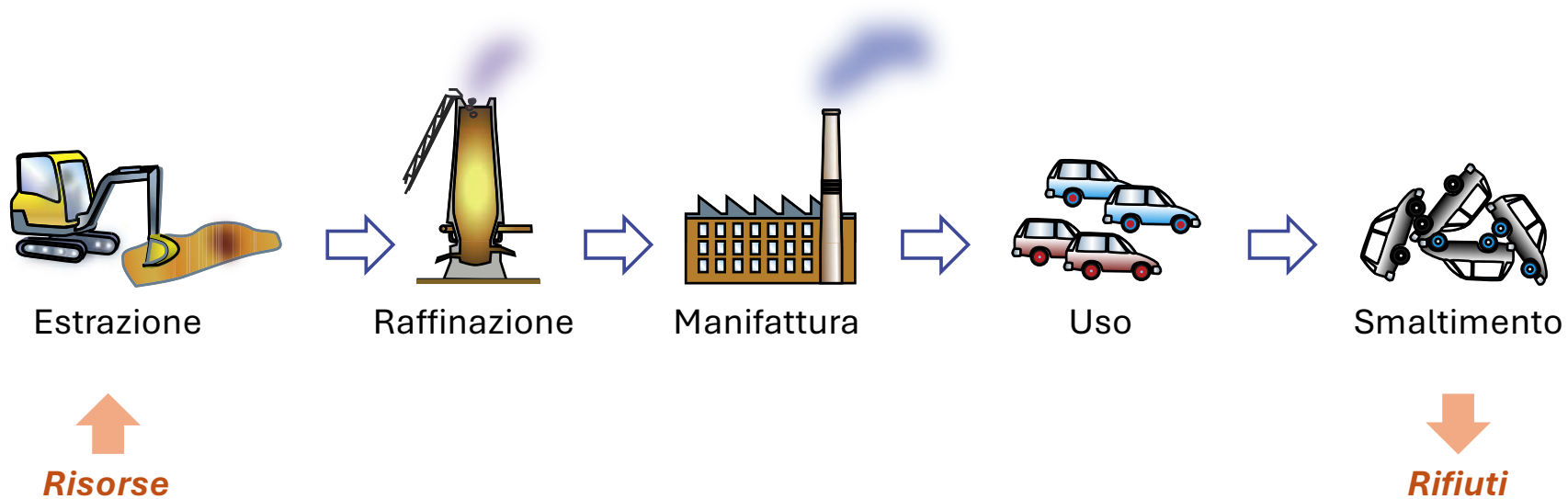
- **Economia lineare e circolare dei materiali**
 - Metafora ecologica e sistema industriale ideale
 - Misura della circolarità e del riciclo

- **Materiali considerati: alluminio, PET, multistrato, vetro**
 - Caratteristiche fondamentali e riciclabilità

- **Peculiarità del vetro**

Economia lineare dei materiali

Prendere – Produrre – Utilizzare – Smaltire

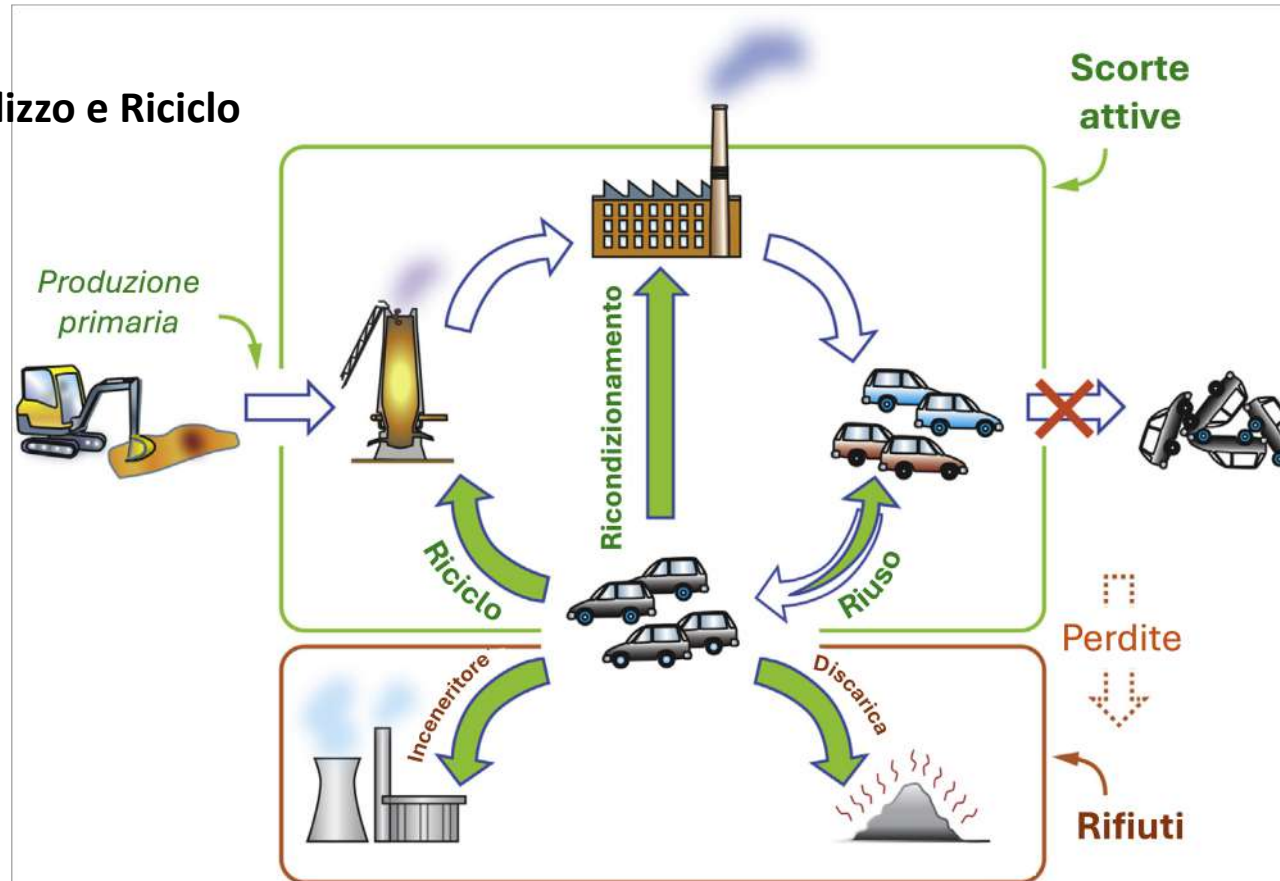


✓ *costo dei materiali ridotto*

✓ *costo della manodopera elevato*

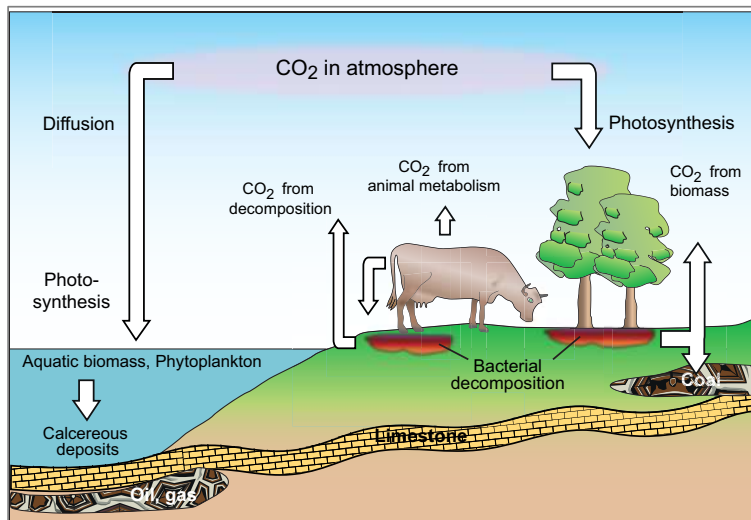
Economia circolare dei materiali

Riparazione, Riutilizzo e Riciclo

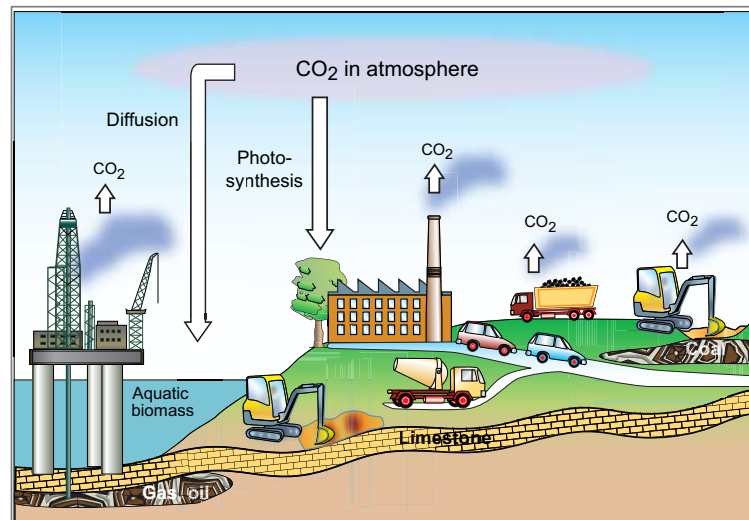


La metafora ecologica

Sistema naturale



Sistema industriale



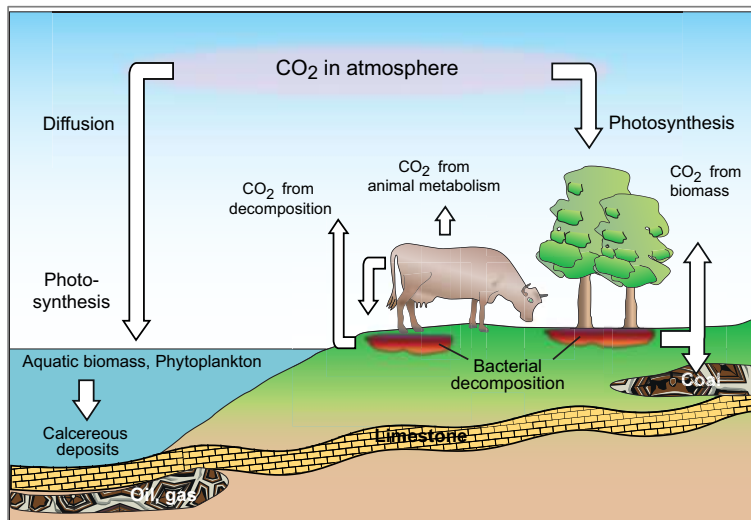
✓ *trasformazione di risorse (materiali ed energia) per creare funzionalità*

✓ *produzione di rifiuti*

✓ *all'interno dell'unica ecosfera globale*

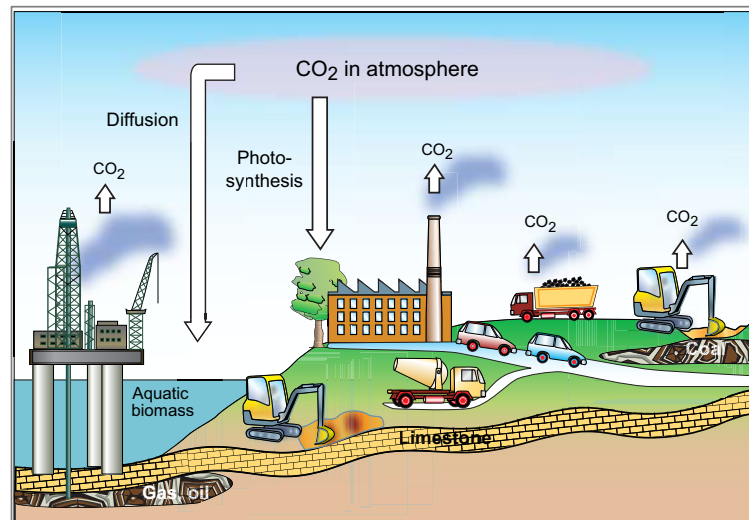
La metafora ecologica

Sistema naturale



- ✓ riciclo dei rifiuti con efficienza = 100%
- ✓ uso di energia rinnovabile (sole)
- ✓ in equilibrio con l'ecosfera
- ✓ uso di pochi elementi chimici

Sistema industriale



- ✓ riciclo dei rifiuti inefficiente
- ✓ uso di energia non rinnovabile (combustibili fossili)
- ✓ risorse esaurite ed ecosistemi contaminati
- ✓ uso di tutti gli elementi chimici, spesso senza alcun equilibrio

Equilibrio

Parametro del benessere

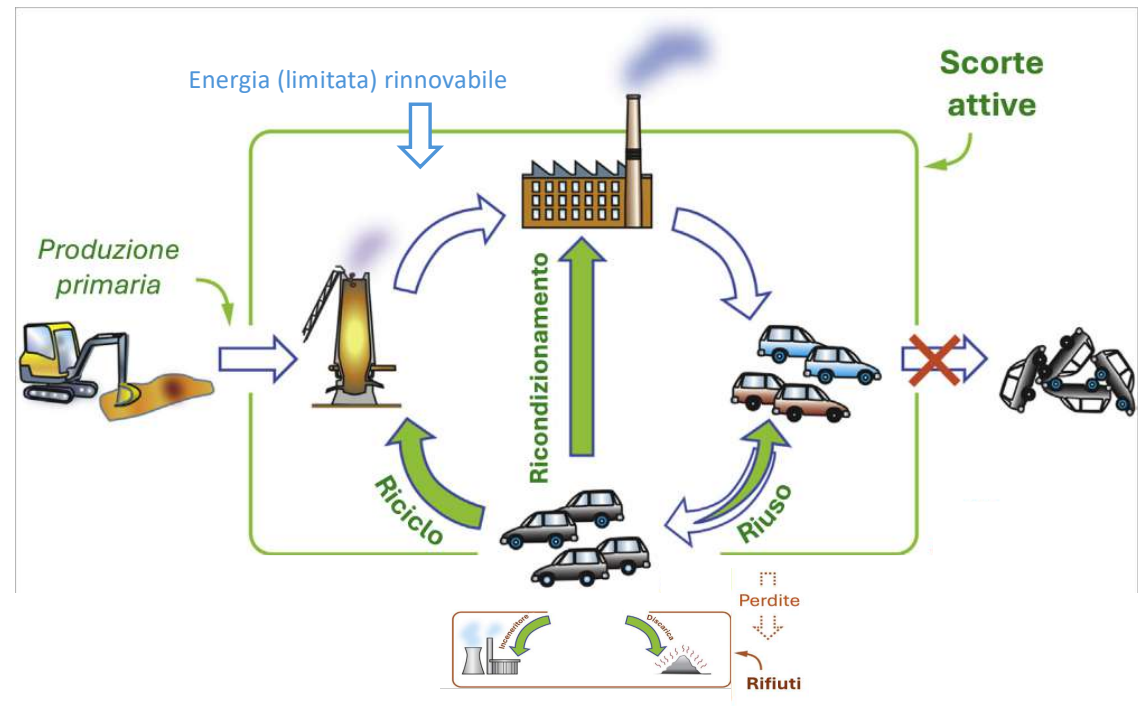
Crescita

La metafora ecologica

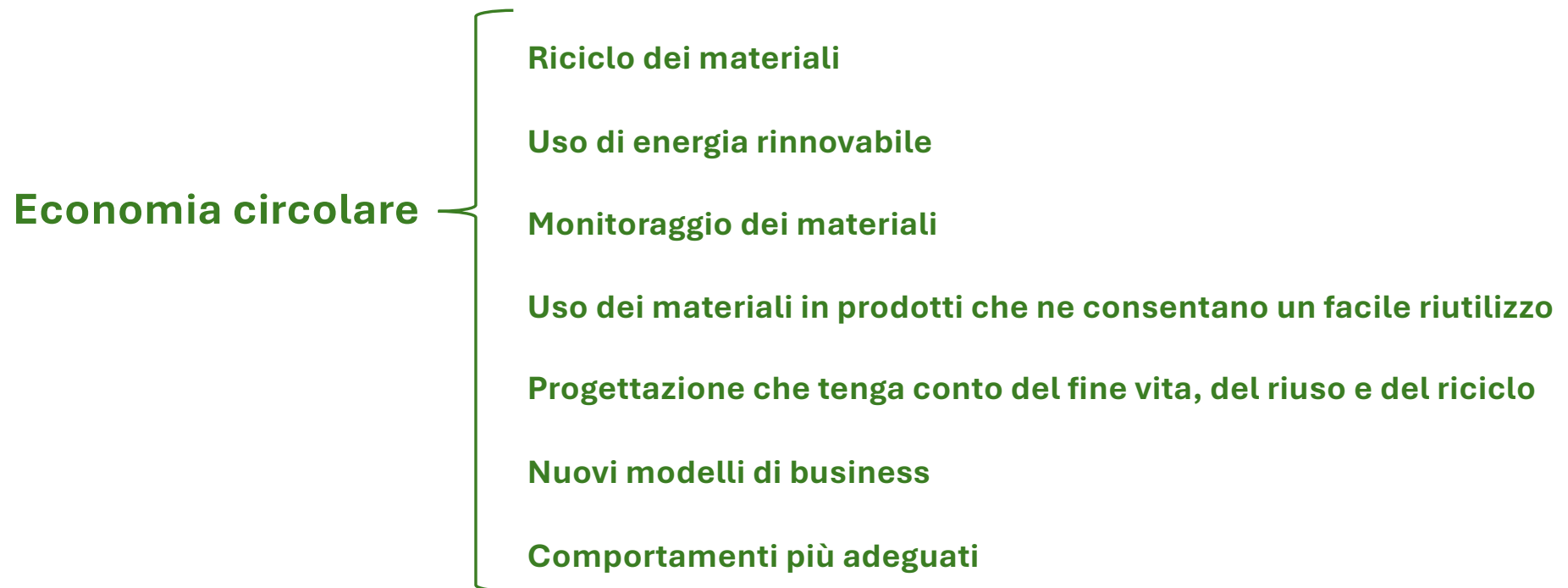
Sistema industriale: sostenibilità e materiali

- ✓ *mancanza di sottosistemi adeguati a chiudere molti dei percorsi di riciclo*
- ✓ *sottosistemi di riciclo squilibrati in termini di velocità*

Sistema industriale ideale



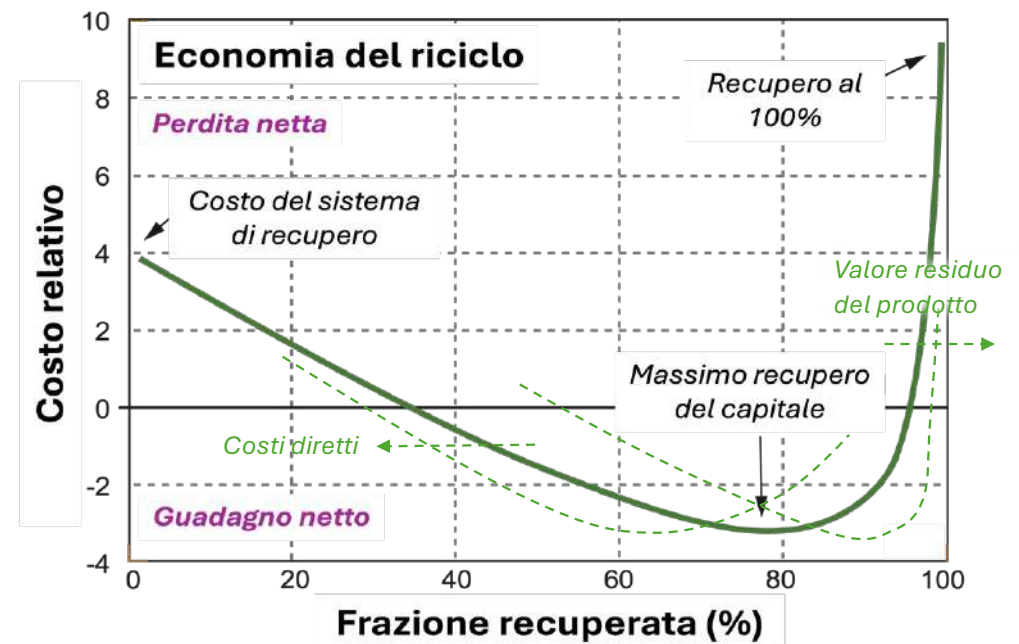
Economia circolare dei materiali



Economia circolare dei materiali

Ostacoli oggettivi al recupero totale dei materiali

- entropia di dispersione
- perdita di qualità (compositi, leghe...)
- dinamica delle scorte (rapporto domanda/recupero)
- economia del riciclo

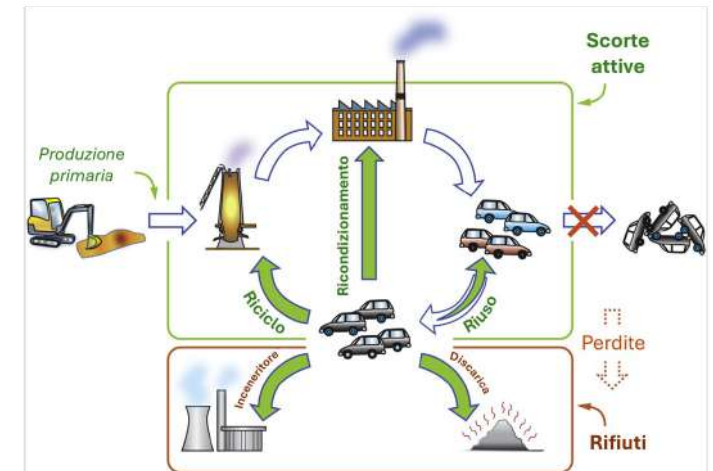
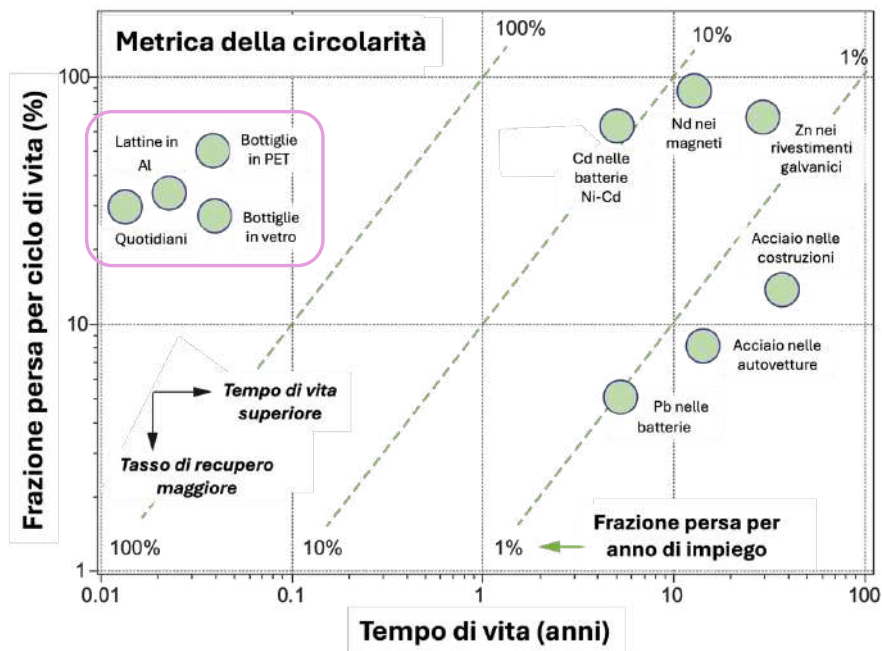


Economia circolare dei materiali

Misura della circolarità

frazione di materiale non recuperato / tempo di vita medio del prodotto

= perdita per anno di componenti attivi o utili = non efficienza del **ciclo 3R**



Economia circolare dei materiali

Misura del riciclato – metrica del riciclo

1. Riciclo = quantità di materiale recuperato da riciclare / produzione totale di nuovo materiale prodotto

Es.: tasso di riciclo dei rifiuti di imballaggio = quantità di rifiuti riciclati / quantità di rifiuti prodotti

1!! - perdite tra lo stadio di produzione e quello di raccolta

2!! - scopo del riciclo = riduzione degli impatti ambientali sostituendo la produzione di materiale da materia prima vergine

2. Riciclo = quantità di materiale riciclato in ingresso / quantità di materiale in ingresso totale

Riduzione dell'impatto ambientale ← Raccolta e riciclo dei rottami che creano quote di mercato

Materiali considerati



Eco-data

	Alluminio	PET	Multistrato	Vetro
Densità (g/cm³)	2.8	1.3	1.0	2.5
<i>Eco-proprietà</i>				
Materiale				
Energia richiesta (MJ/kg)	190	82	47	11
Impronta di CO ₂ (kg/kg)	12	2.7	1.6	0.8
Uso d'acqua (L/kg)	1000	130	1350	14
Processo				
Energia richiesta (MJ/kg)	14	21	14	10
Impronta di CO ₂ (kg/kg)	1.0	1.3	1.0	0.6
Riciclo				
Energia richiesta (MJ/kg)	33	28	24	9
Impronta di CO ₂ (kg/kg)	2.6	1.5	0.8	0.5



**Presenza del tappo-etichetta ↔
energia richiesta / impronta di CO₂:**

- vetro < 5%

- PET e multistrato ≈ 15-25%

Alluminio



Coperchio: lega 5xxx (al Mg)

Corpo: lega 3xxx (al Mn) - *scrap friendly*

Vernice organica (3-5%)

- ✓ *Resistenza meccanica*
- ✓ *Lavorabilità*
- ✓ *Elevata resistenza chimica e alla corrosione*

Alluminio



Recupero/ riciclo

Lattine di alluminio raccolte assieme al vetro o ai contenitori in plastica o in poliaccoppiato/multistrato

Separazione e selezione fisico-chimica

Trattamento termico per rimuovere le vernici a $\approx 550^{\circ}\text{C}$

Sottoprodotti e rifiuti $\approx 15\%$ del peso del materiale recuperato in entrata (\leftarrow ossidazione)

Riciclo nel 2022:

In Europa, 75%

In Italia, 92%

Polietilentereftalato - PET



Tappo: HDPE

Corpo: PET (colorato, semicristallino) – PET 1

Etichetta: PETG, polipropilene o carta incollata

- ✓ *Resistenza meccanica*
- ✓ *Resistenza chimica*
- ✓ *Leggerezza*

Polietilentereftalato - PET



Recupero/ riciclo

Contenitori in PET raccolti assieme al vetro, alluminio, multistrato, altre plastiche (PVC, LDPE, HDPE, PE, PP), imballaggi leggeri ecc.

Separazione e selezione chimico-fisica

Riciclo:

- meccanico (→ granulato in rPET) – reazioni di degradazione (resa = 60% - 95%)
- chimico (→ monomeri)
- biologico (→ monomeri e oligomeri)

Raccolta nel 2022:

In Europa, 72%

In Italia, 60%

Multistrato



Tappo: HDPE (due-tre materiali diversi)

Corpo: multistrato di carta stampata ($\approx 75\%$),
plastica - PE o PP o PLA ($\approx 20\%$), alluminio ($\approx 5\%$)
– C/PAP84

- ✓ *Forma squadrata*
- ✓ *Leggerezza*
- ✓ *Proprietà di barriera*

Multistrato



Recupero/ riciclo

Contenitori in multistrato / poliaccoppiato raccolti i) assieme alla carta senza alcuna separazione a valle, ii) congiuntamente alla carta ma con separazione e invio alle cartiere in grado di riciclare il materiale, iii) assieme ad altri contenitori in plastica, alluminio e acciaio

Separazione e selezione chimico-fisica

Riciclo simile alla carta:

- separazione della fibra di cellulosa da PE e alluminio
- utilizzo della miscela acqua-frazione cellulosica per carta riciclata
- *down-cycling* del granulato umido rimanente ($\approx 50\%$) in prodotti simil-plastici

***Raccolta nel 2022:
In Italia, 40%***

Vetro



Tappo: plastica (polietilene, poliuretano, silicone, gomma ecc.), metallo (alluminio o acciaio), sughero o vetro, eventualmente con guarnizione polimerica o elastomerica

Corpo: vetro di silicato sodico calcico

Etichetta: carta incollata

✓ *Inerzia chimica*

✓ *Trasparenza*

Vetro

Recupero/ riciclo

Contenitori in vetro raccolti in specifici sistemi («campane») a volte assieme a lattine e contenitori di plastica; raramente suddivisi per colore (chiaro-trasparente, verde, ambra-marrone)

Separazione e selezione chimico-fisica

- Cernita per colore
- Eliminazione di etichette, tappi, particelle “refrattarie” e corpi estranei
- Macinazione (granulometria < 70 mm, frazione inferiore a 5 mm $< 12\%$)



Cullet o rottame (in Europa ≈ 30 -35% dell’intera produzione di vetro)

Riciclo nel 2022:

In Europa, 80%

In Italia, 81%



Vetro



Riciclo infinito senza degrado (vetro a base di ossidi, inerte all'ambiente e ai processi tecnologici)

Riciclo a circuito chiuso (*closed-loop*)

Rottame «pregiato» per produzione di vetro cavo

Vantaggi ambientali:

- riutilizzo al 100% di materia prima seconda e riduzione dei rifiuti
- riduzione nell'uso di energia (solo fusione e non decomposizione)
10% di rottame → 3% risparmio di energia – 1 T rottame → -300 kg CO₂
- durata superiore del forno fusorio (≈ 30%) – meno reazioni chimiche

Vetro



Riciclo a circuito aperto (*open-loop*)

Rottame «meno pregiato» per produzione di

- microsfere (1-60 μm) - altamente riflettenti per segnaletica orizzontale e verticale, indumenti di sicurezza riflettenti o schermi –
- lana di vetro per isolamento termico e acustico
- vetro cellulare per isolamento termico e acustico
- ceramica o prodotti abrasivi (come additivo)

Peculiarità del vetro

Superiori potenzialità in un'ottica di economia circolare che preveda il riutilizzo anche più volte del materiale “imprigionato” nel manufatto per la produzione di nuovi componenti senza perdite e con un utilizzo contenuto di energia

Composizione chimica del vetro di silicato sodico calcico:

- caratteristiche chimico-fisiche e meccaniche del materiale
- materiale immutabile sia durante i processi di raccolta, cernita, pulizia, lavaggio e lavorazione meccanica (→ *cullet*), sia nell'utilizzo del rottame come materia prima seconda per produrre nuovi contenitori

Peculiarità del vetro

Sistema consolidato di raccolta e riciclo dei contenitori in vetro in Italia e in Europa, con mercato ben strutturato

→ tasso di riciclo $\approx 80\%$ (target UE = 75%)

→ produzione di contenitori in vetro con miscele vetrificabili contenenti $> 90\%$ di *cullet*

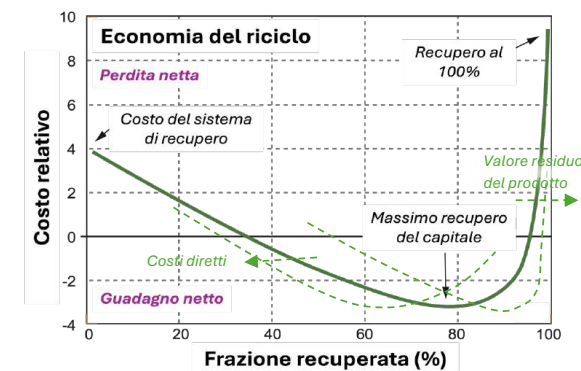
Cullet di qualità \leftrightarrow fattori esterni legati alle fasi di conferimento, a carico del singolo cittadino

Possibilità di *up-cycling*: *cullet* \rightarrow manufatti di vario genere (microsfere, fibre o isolanti termici e acustici, ulteriormente riciclabili al 100%)

Peculiarità del vetro

Possibile aumento del tasso di riciclo?

- aumento del valore residuo dei contenitori a fine vita (*poco ragionevole*)
- incentivi finanziari per il riacquisto o penalità per gli scarti



Possibile miglioramento della sostenibilità ecologica dei contenitori in vetro?

- riduzione del peso dei manufatti: nuove forme e profili, trattamenti post-produzione per il rinforzo meccanico
- declinazione della regola fondamentale della sostenibilità dei materiali, le 3R (Riusa – Ripara - Ricicla): nuove pratiche / tecnologie per riparare / riusare i contenitori