



 POLITECNICO DI MILANO

# Convegno Scientifico “La metodologia LCA: approccio proattivo per le tecnologie ambientali. Casi studio ed esperienze”

giovedì 22 aprile 2010



## LCA PER LA VALUTAZIONE DEI BENEFICI ASSOCIATI AL RICICLO DEI MATERIALI SEPARATI CON LA RACCOLTA DIFFERENZIATA

L. Rigamonti, M. Grosso

Politecnico di Milano - DIAR – Sezione ambientale

E-mail: [lucia.rigamonti@polimi.it](mailto:lucia.rigamonti@polimi.it)



# MATERIALI ANALIZZATI: QUELLI SEPARATI CON LA RD RELATIVI AL CONAI

carta



plastica

ferrosi e alluminio



legno

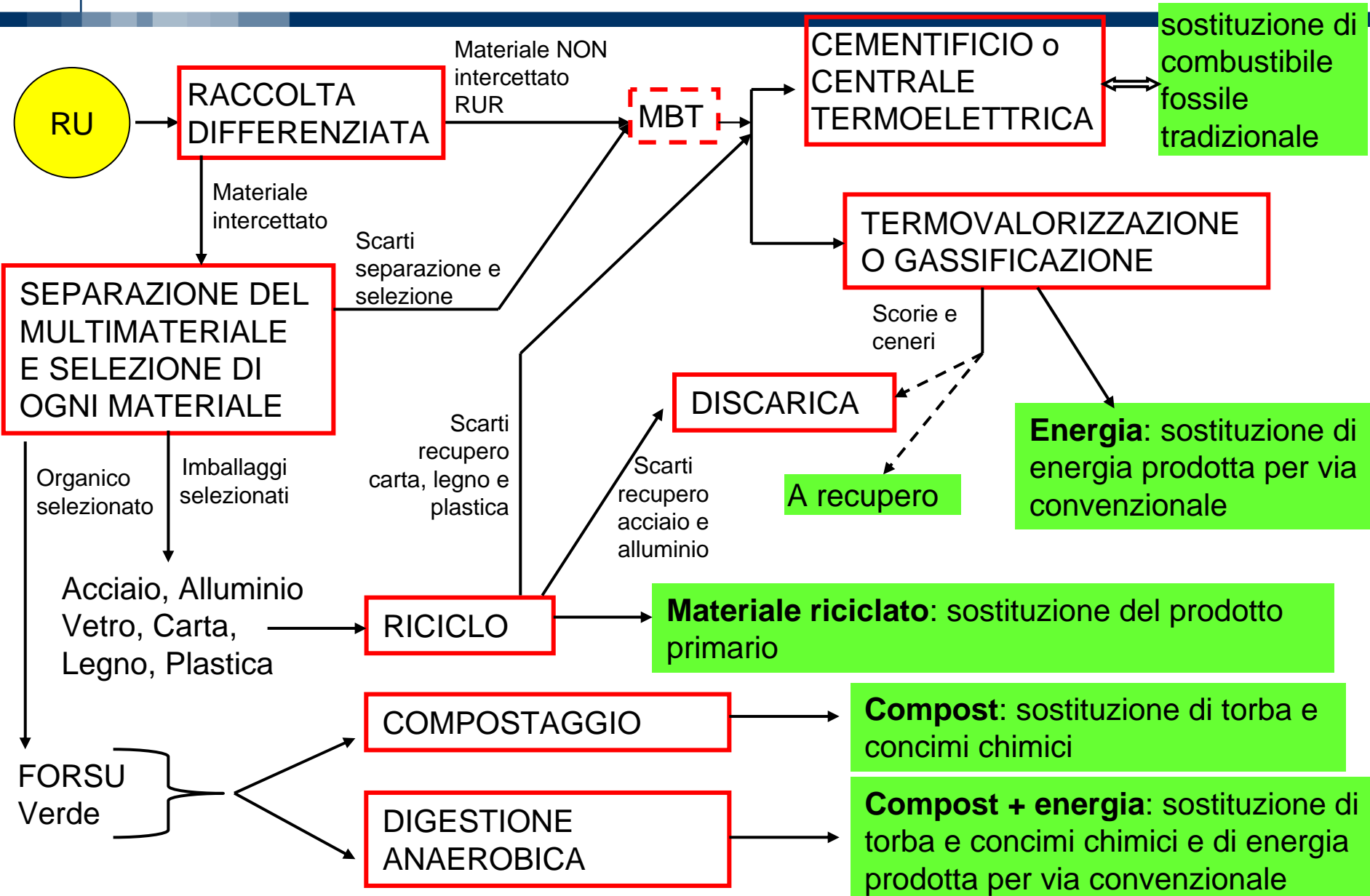


vetro



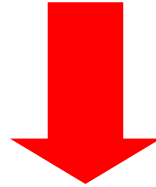


# SISTEMA INTEGRATO DI GESTIONE DEI RIFIUTI





## ANALISI DEL CICLO DI VITA



### CONFRONTO TRA

i consumi di energia e materia,  
le emissioni e gli impatti  
associati al riciclo dei diversi  
materiali  
**(produzione secondaria)**

e

i consumi di energia e materia, le  
emissioni e gli impatti associati  
alla produzione del corrispondente  
materiale a partire dalle materie  
prime vergini  
**(produzione primaria)**

I risultati della valutazione dell'attività di riciclo per ciascuno dei sei materiali analizzati sono quindi calcolati andando a sottrarre agli impatti determinati dalla produzione secondaria quelli della corrispondente produzione primaria.

Hp: I prodotti secondari vengono assorbiti dal mercato



# MATERIALI/PRODOTTI CONFRONTATI

<b>Materiale</b>	<b>Prodotto secondario</b>	<b>Prodotto primario</b>
Acciaio	<u>Acciaio liquido</u> (pretrattamento rottame, fusione in forni ad arco elettrico)	<u>Acciaio liquido</u> (ciclo integrato: cokeria, agglomerazione, altoforno, acciaieria ad ossigeno)
Alluminio	<u>Lingotto</u> (pretrattamento rottame, fusione in forni rotativi salini)	<u>Lingotto</u> (estrazione bauxite, raffinazione ad allumina con processo chimico, produzione alluminio metallico per via elettrolitica)
Vetro	<u>Contenitore generico</u> (rottame e materie prime vergini)	<u>Contenitore generico</u> (solo da materie prime vergini)
Legno	<u>Pannello truciolare</u> (particelle di legno)	<u>Pannello compensato</u> (fogli di legno)
Carta	<u>Pasta da macero</u> (no disinchiostrazione)	<u>Pasta termomeccanica</u>
Plastica	<u>Granulo di PET</u> (riciclo meccanico)	<u>Granulo di PET</u>
	<u>Granulo di HDPE</u> (riciclo meccanico)	<u>Granulo di HDPE</u>
	<u>Barra profilata di poliolefine</u> (riciclo meccanico; sostituisce un materiale diverso)	<u>Asse di legno</u>

Il confronto si arresta laddove produzione primaria e secondaria giungono ad un prodotto con la stessa unità funzionale, sia questo il prodotto finito vero e proprio o un semilavorato.



# MODELLIZZAZIONE DEI PROCESSI DI RICICLO

Materiale	Produzione primaria	Produzione secondaria
<b>Acciaio</b>	<i>Ecoinvent: Steel, converter, unalloyed, at plant/RER</i> modificate le emissioni in aria nel processo di produzione del coke; modificato il termine di richiamo dei COV in Ecoinvent	<i>Ecoinvent: Steel, electric, un- and low- alloyed, at plant/RER</i> modificate le emissioni in aria della fusione; aumentato il consumo elettrico del pretrattamento del rottame
<b>Alluminio</b>	<i>Ecoinvent: Aluminium, primary, at plant/RER</i> aggiornati per quanto riguarda il consumo di materie prime, elettricità e combustibili, le emissioni in aria e acqua e la produzione di rifiuti solidi i sottomoduli estrazione di bauxite, produzione di allumina, produzione dell'anodo, produzione di alluminio per elettrolisi, produzione di energia elettrica usata nell'elettrolisi	<i>Ecoinvent: Aluminium, secondary, from old scrap, at plant/RER</i> modificati il rendimento del forno, i consumi energetici sia della fase fusoria che della fase di pretrattamento, le emissioni in aria sia della fase fusoria che della fase di pirolisi, i quantitativi a smaltimento sia nella fase di preparazione del rottame che nella fase della fusione
<b>Vetro</b>	<i>Ecoinvent: Glass, virgin/RER</i> modificate le emissioni in aria; aggiunta l'infrastruttura come uguale a quella della produzione secondaria	<i>Ecoinvent: Packaging glass, green, at plant/RER</i> modificati i consumi di energia del forno, tolti i trasporti nel modulo del forno, modificate alcune emissioni del forno, aggiunto il consumo elettrico per la selezione

Processi modificati sulla base di visite tecniche e di dati di letteratura di modo da rappresentare la situazione italiana



# MODELLIZZAZIONE DEI PROCESSI DI RICICLO

Materiale		Produzione primaria	Produzione secondaria
<b>Legno</b>		<i>Ecoinvent: Plywood, indoor use, at plant/RER</i>	<i>Ecoinvent: Particle board, indoor use, at plant/RER</i> modificati i consumi energetici e di alcune materie prime, tolto l'input di legno
<b>Carta</b>		<i>Ecoinvent: Thermo-mechanical pulp, at plant/RER</i> tolti gli additivi utilizzati per il bleaching	Pasta da macero (costruito ex novo)
<b>Plastica</b>	<b>PET</b>	<i>Ecoinvent: Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant/RER</i>	Riciclo di PET (costruito ex novo)
	<b>HDPE</b>	<i>Ecoinvent: Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER</i>	Riciclo di HDPE (costruito ex novo)
	<b>Mix</b>	<i>Sawn timber, softwood, planed, air dried, at plant/RER</i>	Riciclo del mix (costruito ex novo)

Processi modificati o creati ex-novo sulla base di visite tecniche e di dati di letteratura di modo da rappresentare la situazione italiana



# BILANCIO DI MATERIA

1000 kg di  
materiale raccolti

**SELEZIONE**

scarti

RICICLO

< 1000 kg di  
materiale  
selezionato

**RECUPERO**

scarti

<< o <<< 1000 kg  
di materiale  
primario

<< 1000 kg  
di materiale  
secondario



N.B. L'efficienza della selezione dipende dal tipo di RD implementata



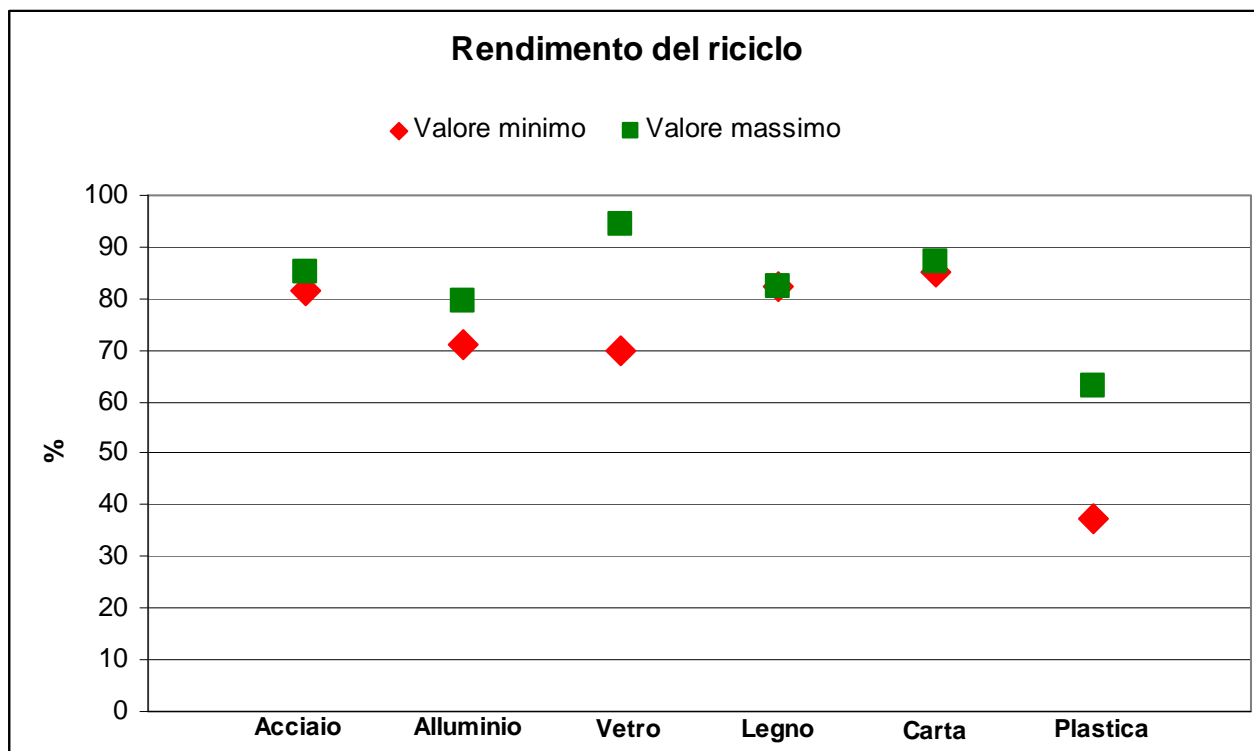


# BILANCIO DI MATERIA DELLE ATTIVITA' DI RICICLO

Materiale	Efficienza di selezione (% in peso)	Efficienza di recupero (% in peso)
Acciaio	90-94	90,5 (forno di fusione)
Alluminio	85-95	83,5 (fonderia)
Vetro	70-94,2	100 (forno della vetreria)
Legno per pannello	86,5	95 <sup>(1)</sup> (pannellificio)
Pasta per carta	95,5-98	89 (cartiera)
Plastica	50-84,5 <sup>(2)</sup>	75,5 (riciclo PET)
		90 (riciclo HDPE)
		60 (riciclo mix)

(1) Senza considerare le perdite di processo causate dalla fase di essiccazione.

(2) Il flusso di plastica dopo la selezione è costituito per il 55% da PET, per il 20% da HDPE e per il 25% da un mix di poliolefine.



## SCADIMENTO QUALITATIVO DELLE CARATTERISTICHE INTRINSECHE DEL PRODOTTO SECONDARIO:

- Il prodotto secondario può essere usato solo in alcune applicazioni
- Può esserci un limite sul massimo numero di cicli di riciclo
- Può servire più materiale per avere la stessa funzionalità
- Il materiale secondario può dover venire mescolato al materiale primario per soddisfare le specifiche tecniche minime



nella modellizzazione si ha il credito di (si “sostituisce”)  
un minore quantitativo del materiale vergine

Per tenere conto dell'eventuale scadimento qualitativo del materiale dovuto alle attività di riciclo, la "sostituzione" del prodotto primario può avvenire in un rapporto inferiore a 1

Materiale		Rapporto di sostituzione	Ipotesi
Acciaio		1:1	Stessa qualità acciaio secondario e primario.
Alluminio		1:1	Stessa qualità alluminio secondario e primario (EAA, 2007).
Vetro		1:1	Caratteristiche del contenitore realizzato con vetro riciclato uguali a quelle del contenitore prodotto dalle materie prime vergini. Nel riciclo del vetro si utilizza l'83,5% di rottame di vetro e il 16,5% di materie prime vergini.
Legno per pannello		1:1 e 1:0,6	Rapporto di sostituzione <1 calcolato sulla base delle differenti prestazioni di resistenza meccanica dei due prodotti primario e secondario.
Pasta per carta		1:1 e 1:0,83	Rapporto di sostituzione <1 calcolato sulla base del numero di cicli di riciclo possibili (ISO 14044), assunto pari a 5.
Plastica	PET	1:1 e 1:0,81	Rapporto di sostituzione <1 calcolato sulla base del valore economico del polimero riciclato confrontato con quello del polimero vergine.
	HDPE	1:1 e 1:0,81	
	Mix di poliolefine	1:1	Barra profilata e assi in legno con uguali caratteristiche meccaniche.



nella modellizzazione si ottiene il credito di un minore quantitativo del materiale

\*ILCD handbook: General guide for Life Cycle Assessment – Detailed guidance. EC, JRC, Institute for Environment and Sustainability, 2010. <http://lct.jrc.ec.europa.eu/assessment/data>

1. Se noto, si considera l'effettivo quantitativo sostituito
2. Altrimenti, si usa il “value correction approach”: si utilizza cioè la percentuale ottenuta dal rapporto tra il prezzo di mercato del materiale secondario e il prezzo di mercato del materiale primario

Altro approccio: considerare, quantificandoli, i cambiamenti nelle caratteristiche tecniche del prodotto, ma

- scelta soggettiva su quale caratteristica considerare
- le proprietà tecniche non riflettono l'esistenza di un mercato effettivo per il prodotto secondario
- le informazioni tecniche sono tipicamente più difficili da ottenere/misurare che non i prezzi di mercato



- ⌘ il consumo di risorse energetiche (metodo CED)
- ⌘ il consumo di risorse abiotiche, che quantifica il consumo di risorse naturali quali i metalli e il petrolio greggio (metodo CML)
- ⌘ il riscaldamento globale, che tiene conto delle emissioni di gas ad effetto serra (metodo CML)
- ⌘ l'acidificazione, che contabilizza le emissioni di ossidi di azoto e di zolfo e di ammoniaca (metodo CML)
- ⌘ la tossicità umana, che include molte sostanze tossiche tra cui anche, in questo studio, il particolato secondario (metodo CML)
- ⌘ la formazione fotochimica di ozono, che tiene conto delle sostanze che causano la formazione fotochimica di ozono nella troposfera (metodo CML)





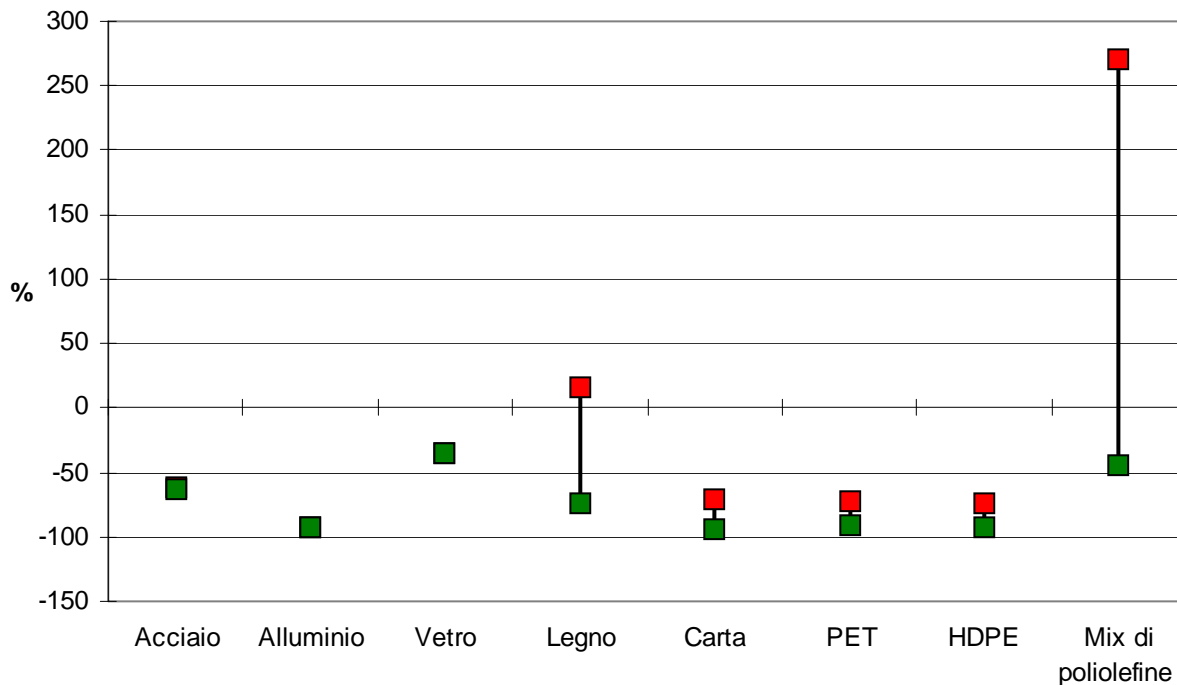
In tutti gli indicatori:

- ⌘ efficienza di selezione del materiale separato con la raccolta differenziata (dipendente dal tipo di raccolta differenziata)
- ⌘ rapporto di sostituzione tra prodotto secondario e prodotto primario (dipendente dalle caratteristiche del materiale ottenuto dal riciclo)

Solo nell'indicatore CED:

- ⌘ contabilizzazione o meno dell'energia *feedstock* ossia della quota di energia contenuta nel legno, materiale potenzialmente combustibile, che viene utilizzato come tale (nella produzione del pannello compensato, di pasta primaria e di assi) e non come combustibile. Questa energia non è una vera e propria energia consumata, in quanto utilizzando il legno nelle suddette produzioni, viene trasferita al prodotto rimanendo così ancora disponibile

### Risparmio energetico

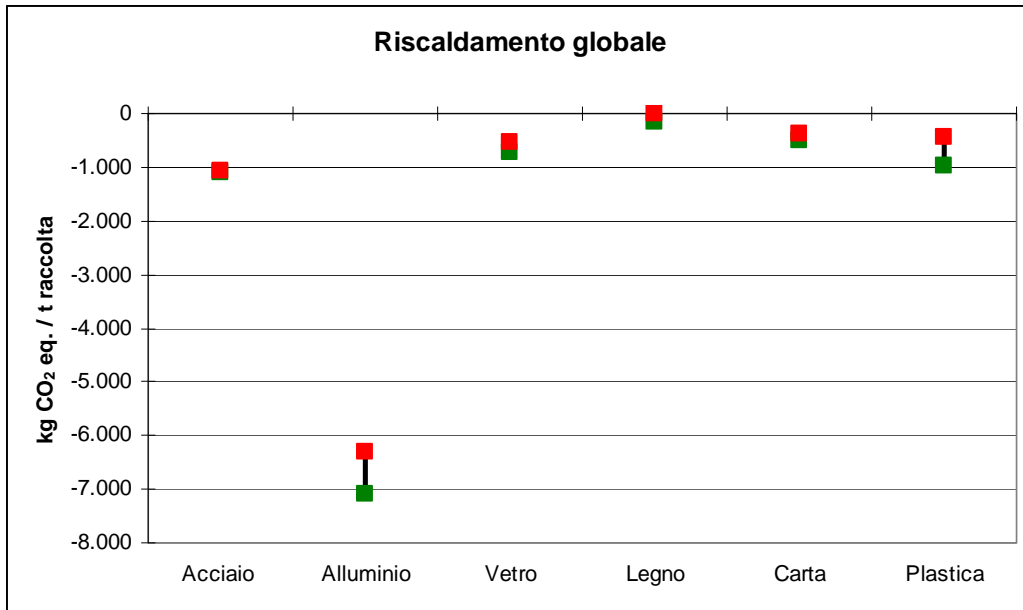


⌘ nella maggior parte dei casi si ottengono valori di segno negativo, quindi il riciclo permette di conseguire un risparmio rispetto alla produzione primaria

⌘ le uniche due eccezioni riguardano il riciclo del mix di poliolefine e il riciclo del legno

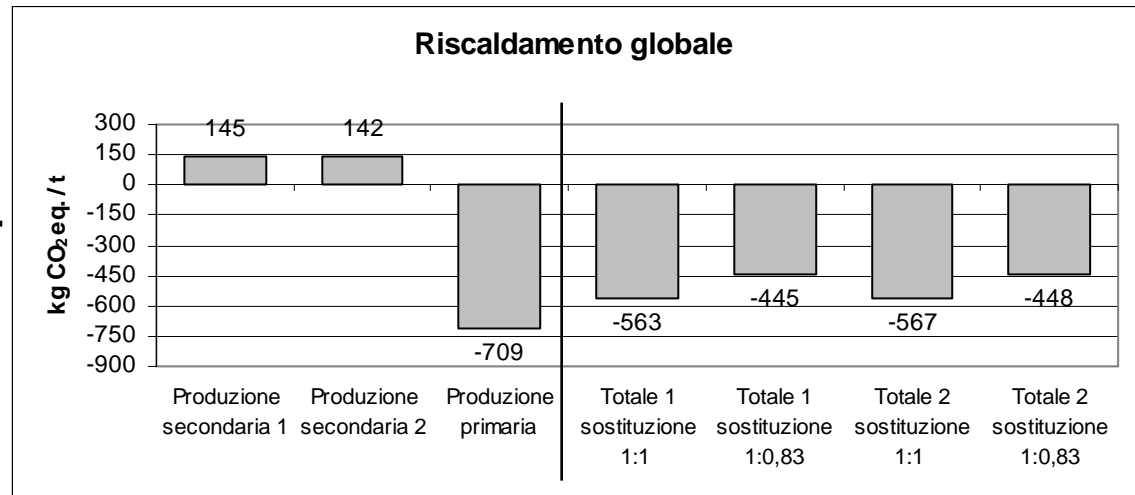
⌘ il riciclo dell'alluminio è quello che permette il maggior risparmio di energia rispetto alla produzione primaria: con il riciclo si risparmia circa il 93% dell'energia utilizzata per la produzione primaria, ossia la produzione secondaria richiede soltanto il 7% circa dell'energia utilizzata a partire dalle materie prime vergini

# RISULTATI: RISCALDAMENTO GLOBALE



⌘ Il riciclo dell'alluminio permette un risparmio di emissioni di CO<sub>2</sub> eq. pari a 6000-7000 kg CO<sub>2</sub> eq. per t raccolta ed inviata al riciclo. Il riciclo del legno presenta un risparmio di CO<sub>2</sub> eq. che può azzerarsi.

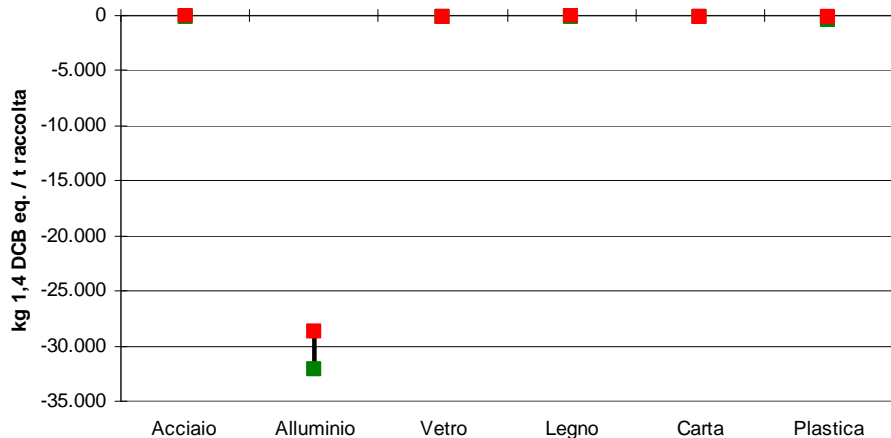
Esempio:  
riciclo della  
carta



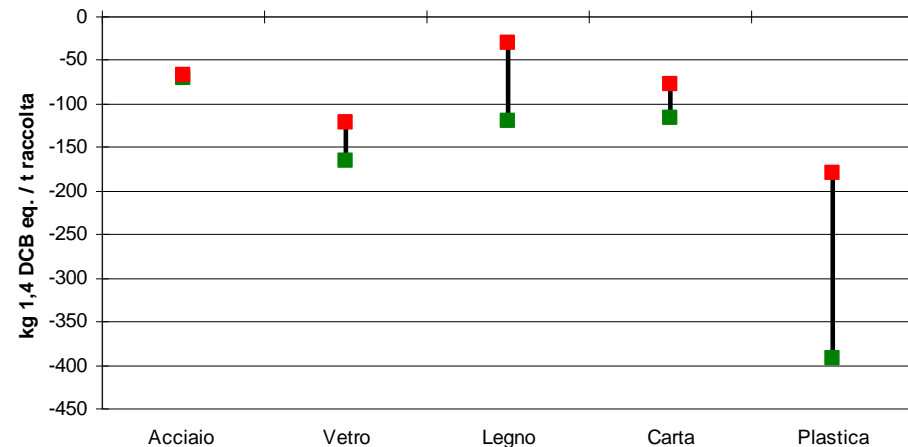


# RISULTATI: TOSSICITA' UMANA

Tossicità umana



Tossicità umana (no alluminio)

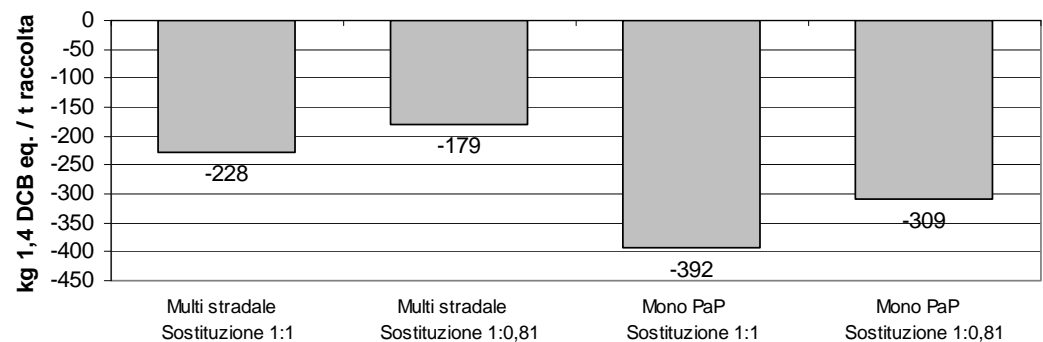


⌘ Il riciclo dell'alluminio implica un risparmio di emissioni con effetto tossico da due a tre ordini di grandezza superiore a quello di tutti gli altri materiali (circa -30 t 1,4 DCB eq. per t raccolta).

Esempio:  
riciclo della  
plastica



Tossicità umana





## RISULTATI: ULTERIORE ANALISI DI SENSIBILITA' SUL RAPPORTO DI SOSTITUZIONE

Usando brutalmente un rapporto di sostituzione 1:0,5 per tutti i materiali:

- Acciaio: la tossicità umana diventa positiva
- Alluminio: indicatori ancora tutti negativi
- Vetro: gli indicatori diventano tutti positivi
- Legno: anche il riscaldamento globale diventa positivo (CED e consumo di risorse abiotiche da negativi a positivi passando da 1:1 a 1:0,6)
- Carta: indicatori ancora tutti negativi
- PET: indicatori ancora tutti negativi
- HDPE: tossicità umana positiva (come nell'analisi con 1:0,8)
- Mix plastiche: indicatori tutti positivi tranne formazione fotochimica di ozono (come nell'analisi 1:1)
- Plastica nel suo complesso: indicatori ancora tutti negativi



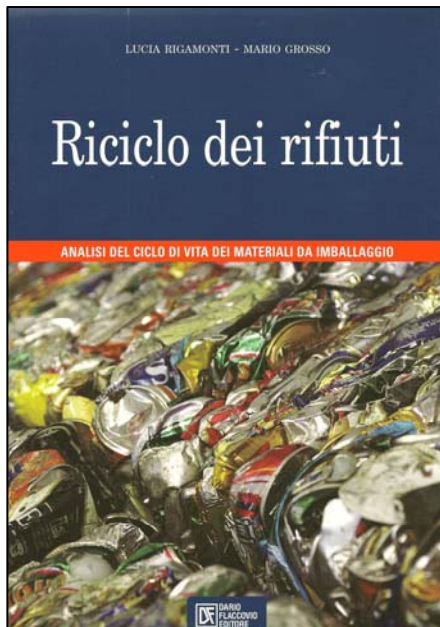


- ⌘ Bisogna tener conto della capacità o meno del mercato di assorbire il materiale prodotto dal riciclo.
- ⌘ I risultati mostrano che in generale le emissioni e i consumi di energia associati alle attività di riciclo sono inferiori a quelli associati alla produzione dello stesso materiale a partire dalle materie prime vergini. Questo significa che l'attività di riciclo nel suo complesso implica nella maggior parte dei casi (le sole eccezioni si hanno sotto certe ipotesi per il riciclo del legno e del mix di poliolefine) un beneficio energetico ed ambientale.
- ⌘ Fondamentali sono le ipotesi effettuate su efficienza di selezione (dipendente dalla tipologia di RD) e rapporto di sostituzione tra prodotto secondario e primario.
- ⌘ Le indicazioni fornite possono essere utilizzate nell'analisi LCA di un sistema integrato di gestione dei rifiuti urbani, dove si andranno ad aggiungere le analisi relative al trattamento del residuo indifferenziato, degli scarti delle attività di recupero di materia e della frazione organica eventualmente separata alla fonte.



Rigamonti L., Grosso M., Giugliano M., 2009. *Life cycle assessment for optimising the level of separated collection in integrated MSW management systems*. Waste Management, 29, 934-944.

Rigamonti L., Grosso M., Sunseri M.C., 2009. *Influence of assumptions about selection and recycling efficiencies on the LCA of integrated waste management systems*. International Journal of Life Cycle Assessment, vol. 14, n. 5, pp. 411-419.



Rigamonti L., Grosso M., 2009. *Riciclo dei rifiuti – Analisi del ciclo di vita dei materiali da imballaggio*; p. 286; edito da Dario Flaccovio, Palermo, settembre 2009. ISBN 978-88-7758-897-5.



Giugliano M., Grosso M., Rigamonti L. (A cura di), 2009. *La gestione integrata dei rifiuti*; p. 453; CIPA editore, Milano, maggio 2009; ISBN 978-88-95591-04-9.