

# LCA di sistemi energetici per la produzione di energia da biomasse: come affrontare il problema dell'allocazione?

M. Cordella\*, F. Santarelli

*Alma Mater Studiorum – Università' di Bologna*

*Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e  
delle Tecnologie Ambientali (DICMA)*

\*[mauro.cordella@unibo.it](mailto:mauro.cordella@unibo.it)

- **Introduzione al problema dell'allocazione**
- **Obiettivo del lavoro**
- **Approccio metodologico**
- **Casi di studio:**
  1. *Produzione di energia elettrica da stocchi di mais*
  2. *Produzione di diesel FT da panico*
- **Conclusioni**

## Il problema dell'allocazione nelle analisi LCA

- **Co-prodotti** → risolvere un problema di ripartizione di I/O
- Allocazione spesso non trattata in maniera rigorosa in letteratura  
→ difficoltà di interpretazione e confronti incoerenti
- **Lista gerarchica dagli standard ISO** per trattare l'allocazione

1. **suddivisione virtuale** del sistema in processi mono-funzione;
2. **espansione dei confini** del sistema con o senza attribuzione di crediti;
3. selezione di un appropriato criterio fisico od economico per l'**allocazione**.

➤ Tuttavia...

- Esistenza di casi in cui l'allocazione non può essere evitata
- Mancanza di una procedura universalmente accettata.

## Affrontare il problema dell'allocazione nella valutazione LCA di sistemi bio-energetici:

1. Analizzando l'influenza che alcune scelte operative possono avere sui risultati;

2. Introducendo le basi per lo sviluppo di una procedura di analisi che possa essere seguita durante lo svolgimento di indagini LCA.



Più approcci con **diversi livelli di complessità** e differenti scenari previsti per la modellazione dell'inventario e la successiva valutazione degli impatti.

**L1) Ripartizione dei flussi elementari** dell'inventario sulla base di criteri fisici (es. massa, contenuto energetico) e funzionali alternativi (es. valore economico).

**L2) Attribuzione di un credito** al co-prodotto, derivante dal suo possibile utilizzo in sostituzione di un prodotto funzionalmente alternativo.

- a. Mercato economico → **paniere di prodotti funzionalmente equivalenti**
- b. **Molteplicità di prodotti** potenzialmente individuabili
- c. Selezione di un'**opportuna base di equivalenza**;
- d. Effettiva **disponibilità di dati di input-output**.
- e. Allocazione effettivamente evitata se e solo se **i prodotti sostituiti non presentano** a loro volta degli input e degli output condivisi con altri co-prodotti.

Differenti **scenari** di analisi → **intervalli di variazione** dei risultati

## 2 casi di studio esaminati:

1. Filiera per la produzione di energia elettrica da stocchi di mais
  2. Filiera per la produzione di diesel FT da panico
- Problema **allocazione** interviene in **diversi punti del ciclo di vita**

## Filiera per la produzione di energia elettrica da stocchi di mais

*U.F. = produzione di 1 kWh<sub>el</sub>*

### *Indicatori di impatto considerati:*

1. consumi energetici da fonte non rinnovabile (CED<sub>nr</sub>);
2. emissioni di CO<sub>2eq</sub> di origine non biogenica (CO<sub>2eq</sub>);
3. occupazione di terreno (LO).

### *Filiera, ipotetica e semplificata:*



**Problema allocazione!**

$P = 10 \text{ MW}_e$ ;  
 $\eta = 23\%$ ;  
 $f.c. = 0.8$

## Dati relativi alla produzione della biomassa (rif. 1 ha di superficie coltivata)

Input		Output	
Superficie (ha)	1.0	<b>Stocchi di mais (t<sub>ss</sub>)</b>	<b>8.0</b>
Diesel (L)	257.0	<b>Granella mais (t<sub>ss</sub>)</b>	<b>10.0</b>
Perfosfato triplo (kg)	96.0	CO <sub>2</sub> (kg)	688.6
Urea agricola (kg)	207.0	N <sub>2</sub> O (kg)	4.9
Glyphosate (kg)	1.7		
Sementi (kg)	25.0		
Acciaio macchinari (kg)	50.5		

Stocchi separati da granella durante la trebbiatura.

*Cordella, M. (2010)  
Ph.D thesis*

*Dati I/O: Ecoinvent 2, IT/RER*

### PROCEDURA "L1"

Flussi elementari dell'inventario della fase agricola ripartiti tra i prodotti sulla base di criteri fisici e funzionali alternativi.

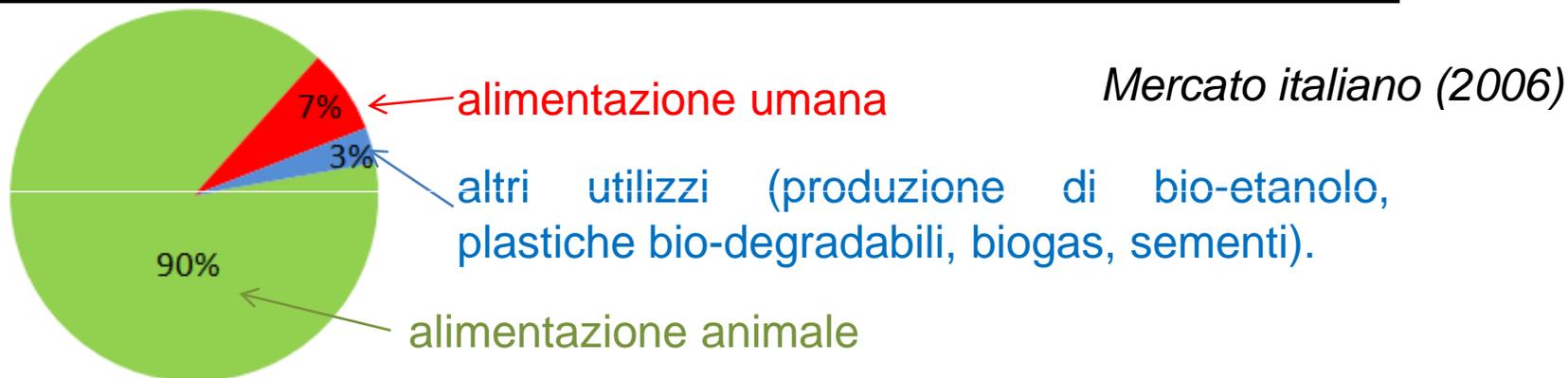
#### **Fattori di allocazione:**

Base di allocazione	Carichi ambientali della fase agricola allocati alla produzione degli stocchi (%)
A1. Energetica	46.0
A2. Ponderale	44.4
A3. Economica	22.7
A4. Qualitativa	0.0

*Cordella, M. (2010)  
Ph.D thesis*

## PROCEDURA "L2": Attribuito un credito alla granella di mais

- Selezionare un paniere di prodotti funzionalmente equivalenti.**
- Verificare l'effettiva disponibilità di dati di input-output;**
- Verificare l'assenza di un aggiuntivo problema di allocazione**
- Selezionare un'opportuna base di equivalenza.**



*Prodotti selezionati (tra piu' ampia scelta possibilita')*

Mercato	Prodotto	Processo (Ecoinvent 2.0)	Criterio di equivalenza
Zootecnico	erba medica	"grass silage IP, at farm/CH"	contenuto proteico (1 kg <sub>ss</sub> di mais = 0.44 kg <sub>ss</sub> di erba medica)
Alimentare	patata	"potatoes IP, at farm/CH"	contenuto energetico (1 kg <sub>ss</sub> di mais = 1.15 kg <sub>ss</sub> di patata).

## Risultati relativi a intera filiera

### Riferimenti per il confronto

Scenario	CED <sub>nr</sub> (MJ <sub>eq</sub> /kWh <sub>e</sub> )	CO <sub>2eq</sub> (kg CO <sub>2eq</sub> /kWh)	LO (m <sup>2</sup> ·a/kWh)
<b>R1. Allocazione fase agricola a stocchi, nessun credito a granella</b>	<b>5.52</b>	<b>0.52</b>	<b>1.34</b>
<b>R2. Mix en.el Italia [Ecoinvent]</b>	<b>8.86</b>	<b>0.57</b>	<b>0.00</b>
A1. Allocazione energetica	3.52	0.30	0.63
A2. Allocazione ponderale	3.46	0.29	0.61
A3. Allocazione economica	2.66	0.21	0.32
A4. Allocazione qualitativa (fase agricola totalmente allocata a granella)	1.81	0.12	0.02
S1. Sostituzione, erba medica	4.67	0.40	0.90
S2. Sostituzione, patata	-1.31	-0.17	-0.69

R1 = caso conservativo

R1 < R2 per CED e CO<sub>2</sub>

R1 > R2 per LO

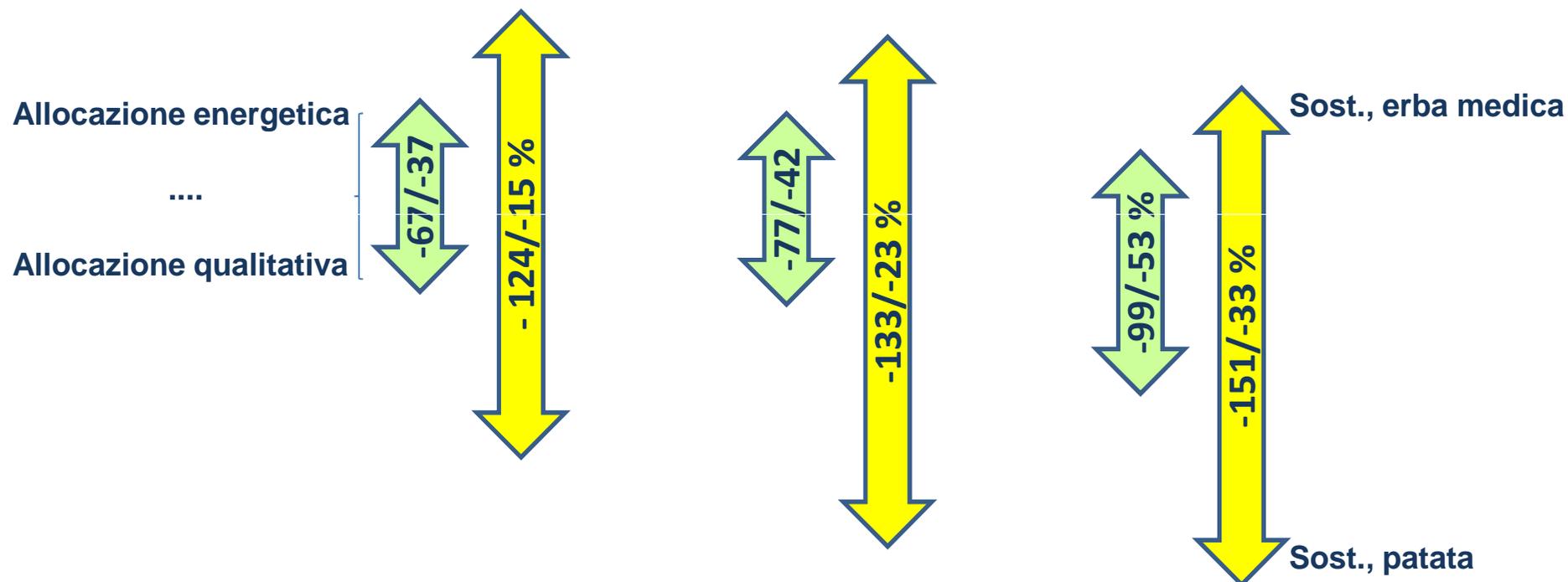
## Percentuale di riduzione impatti rispetto scenario rif.

*R1 = Allocazione fase agricola a stocchi*

CED<sub>nr</sub> (R1)

CO<sub>2eq</sub> (R1)

LO (R1)



Forte peso fase agricola (CED = 67%; CO<sub>2</sub> = 78%; LO = 98%)

➔ Evidente **dipendenza dei risultati da criterio utilizzato** (specialmente per sostituzione)

## Filiera per la produzione di diesel FT da panico

*U.F. = produzione di 1 MJ di diesel FT*

### *Indicatori di impatto considerati:*

1. consumi energetici da fonte non rinnovabile ( $CE_{nr}$ );
2. emissioni di  $CO_{2eq}$  di origine non biogenica ( $CO_{2eq}$ );
3. occupazione di terreno (LO).

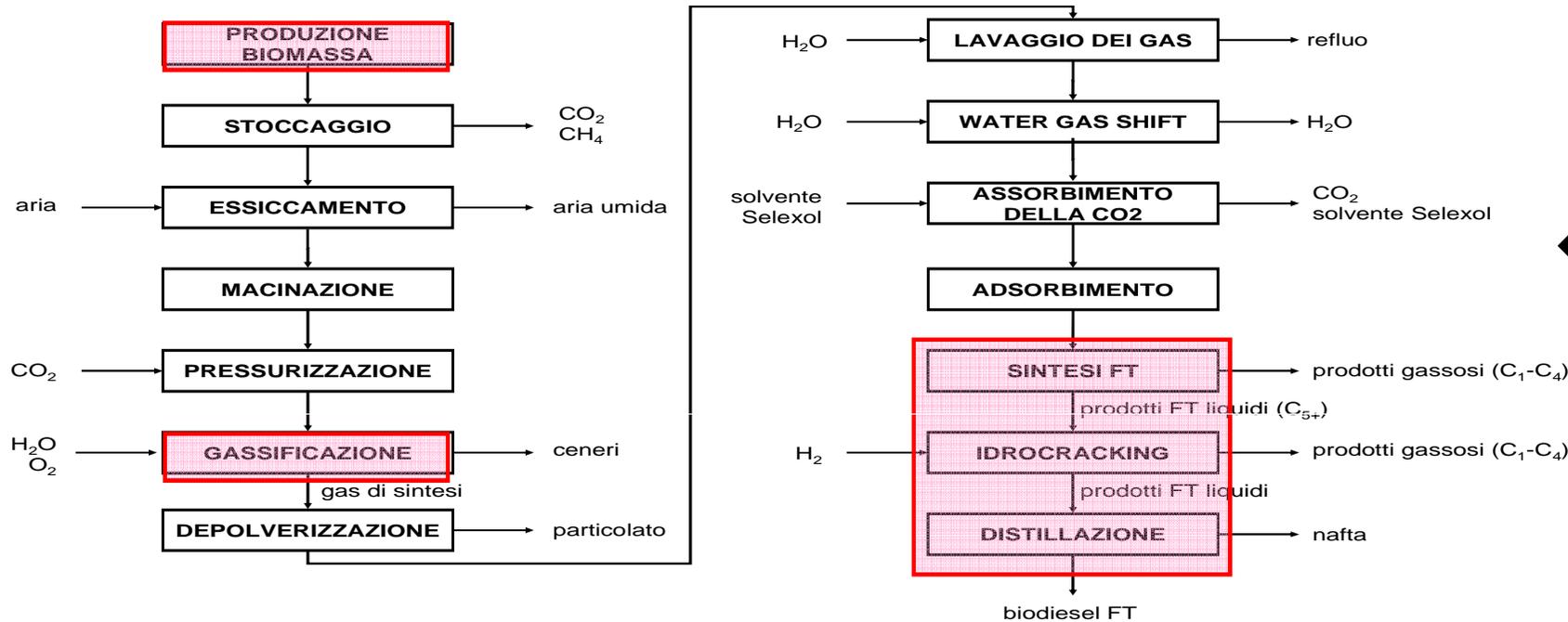
### *Filiera, ipotetica e semplificata:*



**Problema  
allocazione!**

Elaborazione da: Cordella, M. et al. (2010) "Biodiesel da sintesi Fischer-Tropsch: analisi LCA di consumi energetici ed emissioni di gas serra"

Dati I/O: Bilanci M&E + Ecoinvent 2



Hp.) Recupero gas, eccedenza = co-prodotto (precedentemente solo allocazione energetica)

## L1) Allocazione

Criterio di allocazione	Allocazione carichi a diesel FT (%)
A1. Economico	51.9
A2. Energetico	49.2
A3. Carbonio	48.6
A4. Ponderale	48.1

## L2) Crediti (Ecoinvent):

- Gas naturale (al netto quota riutilizzo interno)
- Nafta (raffineria!)

## Risultati relativi all'intera filiera

Scenario	CED <sub>nr</sub> (MJ <sub>eq</sub> /MJ)	CO <sub>2 eq</sub> (kg CO <sub>2eq</sub> /MJ)	LO (m <sup>2</sup> a/MJ)
<b>R1. Recupero gas, allocazione totale a diesel FT</b>	2.26	0.15	0.16
<b>R2. Diesel convenzionale (Ecoinvent)</b>	1.28	0.09	0.00
A1. Recupero gas, allocazione economica	1.17	0.08	0.08
A2. Recupero gas, allocazione energetica	1.11	0.07	0.08
(Allocazione energetica prodotti senza considerare recupero)	(1.16)	(0.06)	(0.06)
A3. Recupero gas, allocazione carbonio	1.10	0.07	0.08
A4. Recupero gas, allocazione ponderale	1.09	0.07	0.08
<b>S1. Recupero gas, crediti</b>	0.99	0.08	0.16

Combustibili fossili:  
inclusa anche CO<sub>2</sub> fase consumo

→ confronto consistente  
(CO<sub>2</sub> non biogenica!)

➤ Per tutte forme allocazione:

CED e CO<sub>2</sub>) Diesel FT < Diesel

LO) Diesel FT > Diesel

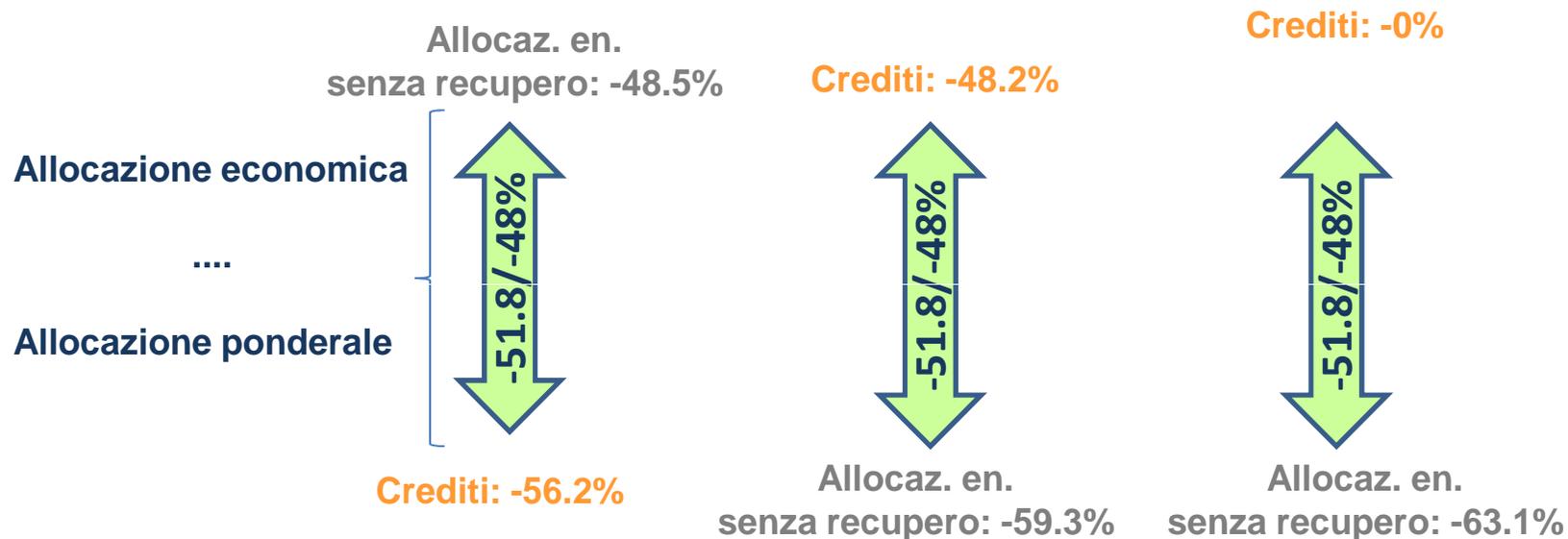
## Percentuale di riduzione impatti rispetto scenario rif.

*R1 = Allocazione totale a diesel FT*

**CED<sub>nr</sub> (R1)**

**CO<sub>2eq</sub> (R1)**

**LO (R1)**



Natura simile prodotti

→ **Variazione indicatori piu' contenute** rispetto al caso precedente ma comunque sensibili

- Due casi studio relativi a sistemi bio-energetici sono stati realizzati al fine di **comprendere le incertezze sui risultati dovute al problema dell'allocazione**
- Il presente lavoro conferma la **forte influenza che alcune scelte di allocazione** possono avere sui risultati di uno studio LCA.
- **Risultati influenzati da:**
  1. **Punto del ciclo di vita** in cui si presenta problema di allocazione
  2. **Caratteristiche dei co-prodotti**
- ➔ **Secondo fattore preponderante!!**
- L'indicazione è di affrontare criticamente il problema **effettuando più ipotesi operative** e definendo un **intervallo di variazione dei risultati**

- **Alcune scelte operative risultano caratterizzate da un maggiore livello di incertezza** (es. criteri di allocazione economica e assegnazione di crediti)

**Criteri di allocazione** maggiormente robusti quando:

- Facenti riferimento **situazioni “reali”** (es. 100% carichi fase agricola a granello);
- Basati su **criteri fisici stabili** e non variabili nel tempo

Per la **sostituzione** e' fondamentale ridurre il piu' possibile i margini di discrezionalità e le incertezze legate alla quantificazione dei crediti. E' necessario:

- conoscere la **collocazione dei prodotti** analizzati all'interno del mercato economico (soprattutto in analisi svolte su macro scala territoriale);
- favorire la selezione di **prodotti piu' possibilmente simili**
- comprendere se la sostituzione virtuale proposta e' **metodologicamente corretta.**

Restano aperti alla discussione scientifica e a **successivi approfondimenti metodologici**:

- la selezione di basi di allocazione consone per specifiche valutazioni,
- la definizione di regole di ampio consenso per la sostituzione e l'individuazione di processi di riferimento standard,
- l'analisi degli effetti dovuti ad una modellazione delle conseguenze su micro e macro scala.

**GRAZIE  
PER L'ATTENZIONE!**

**Ing. Mauro Cordella, Ph.D**  
*Assegnista di ricerca post-dottorale*

*Alma Mater Studiorum – Università' di Bologna*

*Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e  
delle Tecnologie Ambientali (DICMA)*

**[mauro.cordella@unibo.it](mailto:mauro.cordella@unibo.it)**

**(+39) 051-2090290**