

*C.C.O. Scacchi - Attualmente  
CesiRicerca, Milano.  
S. Caserini e L. Rigamonti -  
Politecnico di Milano,  
Dipartimento Diar-Ambiente,  
Milano.*

Nell'Unione europea il settore trasporti è responsabile di un valore stimato del 21% delle emissioni di gas serra (GS) che contribuiscono al riscaldamento globale, e tale percentuale è in continua crescita (Scacchi, 2008). Per questo motivo, l'uso di biocarburanti è una delle strategie proposte dalla Commissione europea per ridurre i GS provenienti da questo settore. A tale scopo è stata adottata nel 2003 la Direttiva sul trasporto rinnovabile, con il fine di aumentare la quota di biocarburanti nel settore trasporti al 2% nel 2005 e al 5,75% nel 2010 (Pce, 2003).

La proposta di utilizzo di biocarburanti e il conseguente uso dei prodotti agricoli, quali semi oleosi, frumento e zucchero come materie prime, ha provocato negli ultimi anni la nascita di un grande dibattito sulla relazione tra lo sviluppo della produzione di biocarburanti e le possibili conseguenze, soprattutto sul mercato delle materie prime alimen-

tari e sull'ambiente. Il passaggio all'uso di materie prime rinnovabili e naturali, scelta motivata dalla potenzialità di riduzione delle emissioni di gas serra, si rivela una scelta complessa che comporta la necessità di prendere in considerazione molti impatti ampi e indiretti, su scala mondiale. I biocarburanti possono essere prodotti con percorsi (denominati "filieri") molto diversi, e il solo bilancio, in termini di riduzione delle emissioni di biossido di carbonio nella fase finale di combustione non è sufficiente a giustificarne la produzione. Devono infatti essere tenuti in considerazione altri aspetti quali il conflitto con l'approvvigionamento alimentare, il benessere rurale e lo sfruttamento del suolo, la biodiversità, nonché le implicazioni potenziali sui prezzi delle materie prime. Valutare la capacità produttiva di bioenergia di un territorio significa calcolare il potenziale di energia ambientalmente compatibile, ossia quello tecnicamente disponibile da

biomassa primaria per generazione di energia, assumendo che non si verifichino pressioni aggiuntive sulla biodiversità, il suolo e le risorse idriche in confronto a uno scenario di sviluppo senza utilizzo di bioenergia (Scacchi, 2008). Numerosi studi hanno dimostrato come l'impatto ambientale dei biocarburanti sia variabile e dipenda in modo molto marcato dalla localizzazione e dalle filiere produttive rendendo quindi necessario effettuare una valutazione caso per caso (Scacchi, 2008).

Lo studio condotto ha considerato, come localizzazione geografica per la produzione del grano, la Lombardia, mentre la trasformazione per la produzione dei biocarburanti è stata ipotizzata in un impianto sito nel nord Italia.

#### **Definizione di scopi e obiettivi**

L'obiettivo principale di questo studio è valutare l'impatto di produzione e uso del bioetanolo at-

# IMPRONTA CARBONICA e richiesta energetica del bioetanolo come carburante

Lo studio ha analizzato il potenziale di produzione di bioetanolo prodotto a partire da grano di frumento in Lombardia, mostrando, con un approccio del ciclo di vita "from cradle to grave" ("dalla culla alla tomba"), ossia considerando tutte le fasi, dalla produzione della materia prima fino all'uso finale del carburante, le potenziali riduzioni di gas serra dal suo utilizzo. I risultati indicano che l'etanolo miscelato con la benzina può permettere di ridurre le emissioni di gas serra e la richiesta energetica. I risultati dell'analisi di sensibilità mostrano come il risparmio nelle emissioni di gas serra sia molto sensibile ad alcune assunzioni di base, quali il consumo specifico di combustibile, le emissioni di N<sub>2</sub>O dalla fase agricola, ma soprattutto il metodo di allocazione degli impatti ai sottoprodotti.

*This study focuses on the potential production of grain wheat-based bioethanol, in Lombardia (Italy), with a "well-to-wheel" approach (i.e. taking into account the production and use phase). Results show that ethanol fuel used in the form of blends in gasoline can help reduce energy use and Ghg emissions. The sensitivity analysis performed to test the robustness of results shows the influence on GHGs saving of the allocation method, the specific fuel consumption and N<sub>2</sub>O emissions from agricultural phase.*

traverso il confronto di 5 diverse miscele, considerando l'uso energetico totale (tutti gli input, inclusa l'energia fossile e rinnovabile) e l'impatto ambientale, in termini di emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente (impronta carbonica). Il metodo usato per valutare l'impatto di questi prodotti è l'Analisi del Ciclo di Vita, che è strutturata in quattro fasi (Iso 14040, 2006): definizioni di scopi e obiettivi, analisi dell'inventario, valutazione degli impatti e interpretazione dei risultati. L'unità funzionale, UF, selezionata (i.e. l'unità alla quale faranno riferimento tutti gli impatti e i risultati ottenuti nello studio e rappresenterà l'unità di riferimento del sistema analizzato, (Iso 14040, 2006) è la quantità in massa di carburante richiesta per percorrere la distanza di riferimento (1 km), che dipende dal contenuto energetico del carburante considerato e dalle performance del veicolo con le diverse miscele. In Figura 1 è rappresentato il dia-

gramma di flusso del sistema oggetto dello studio:

- Sistema Agricolo (S1): il frumento viene coltivato in un'azienda agricola Lombarda tipica (agricoltura intensiva, coltura non irrigata, da ottobre/novembre a giugno/luglio). Questo sottosistema comprende le operazioni colturali, la produzione e il trasporto all'azienda agricola di semi di frumento, trattori, macchinari agricoli, fertilizzanti e pesticidi e del diesel agricolo.

- Sistema di Raffineria (S2): il grano raccolto viene trasferito all'impianto, dove è trasformato in bioetanolo attraverso la fermentazione e distillazione, processo che consuma energia e vapore. Sono considerati anche il trasporto del grano e dei reagenti chimici (rispettivamente 200 km e 110 km con autocarri).

- Sistema di produzione della Benzina (S3): questo sistema descrive la produzione e distribuzione della benzina fossile, comprendendo l'estrazione, la produzione dell'olio grezzo, la raf-

	Dati di letteratura	Dati Lombardia
<b>Agricoltura</b>		
Tecniche agricole, produzione specifica, fertilizzanti/prodotti chimici, diesel, trattori/macchinari, sementi	X	sondaggio agricoltori
Trasporti	X	
<b>Raffineria etanolo</b>		
Modello e struttura impianto, produzione specifica dati impianto	X	
Reagenti chimici, vapore, elettricità	X	dati impianto
<b>Produzione benzina</b>		
Estrazione, produzione, trasporto, raffineria	X	
<b>Uso finale</b>		
Caratteristiche carburanti	X	
Benzina a basso contenuto di zolfo	X	
<b>Trasporto</b>		
Campo - impianto - stazione di servizio	X	distanze reali

fineria e la distribuzione a scala regionale.

- Sistema di Uso del Carburante (S4): per la combustione di 5 diverse miscele (da EO - tutta benzina - a E100 - tutto bioetanolo) utilizzate in un veicolo flexi-

Tabella 1 - Fonti dei Dati



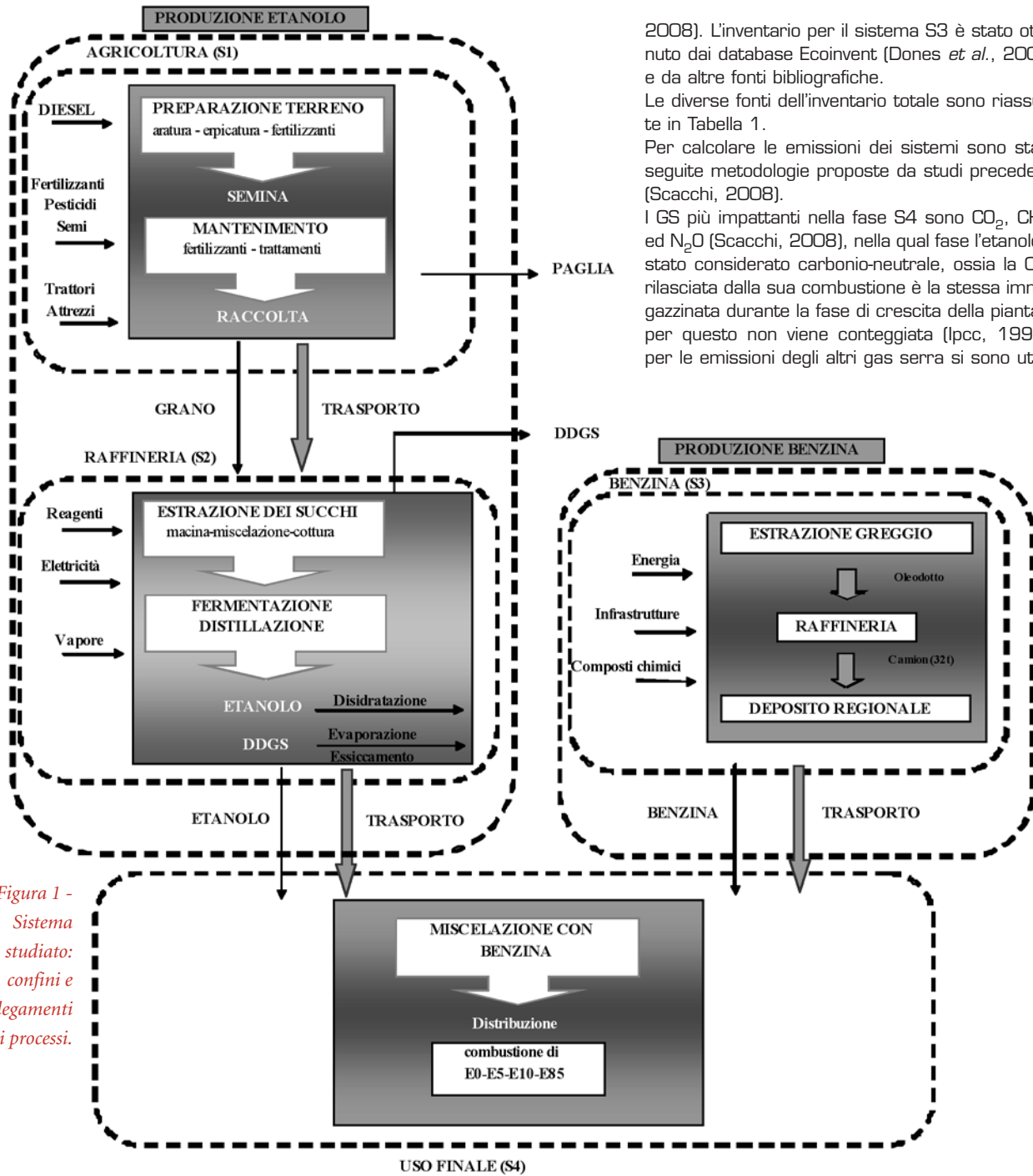


Figura 1 - Sistema studiato: confini e collegamenti tra i processi.

2008). L'inventario per il sistema S3 è stato ottenuto dai database Ecoinvent (Dones *et al.*, 2004) e da altre fonti bibliografiche.

Le diverse fonti dell'inventario totale sono riassunte in Tabella 1.

Per calcolare le emissioni dei sistemi sono state seguite metodologie proposte da studi precedenti (Scacchi, 2008).

I GS più impattanti nella fase S4 sono CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, ed N<sub>2</sub>O (Scacchi, 2008), nella qual fase l'etanolo è stato considerato carbonio-neutrale, ossia la CO<sub>2</sub> rilasciata dalla sua combustione è la stessa immagazzinata durante la fase di crescita della pianta e per questo non viene conteggiata (Ipcc, 1996); per le emissioni degli altri gas serra si sono utiliz-

fuel, il consumo specifico di carburante (considerato linearmente dipendente al contenuto di etanolo), e i fattori di emissione sono stati stimati in accordo con il contenuto di etanolo di ogni miscela.

### Inventario del Ciclo di Vita

Per quantificare gli input ed output al sistema S1 diversi questionari sono stati compilati da agricoltori del posto e completati con valori di letteratura (Istat, 2007; Scacchi, 2008), che rispecchiassero la realtà regionale. Per il sistema S2 i dati utilizzati sono stati forniti dall'impianto stesso e corrispondono a misure *in situ*. Anche questi sono stati completati con fonti bibliografiche (Scacchi,

zati valori di letteratura (Scacchi, 2008). I sottoprodotti generati nell'S1 ed S2 sono la paglia di frumento e il Ddgs (distilled dried grain with solubles), che possono essere utilizzati come risorsa energetica, grazie al loro notevole Pci, o come mangime animale, in ragione del buon contenuto proteico (Edwards *et al.*, 2007).

L'uso dei co-prodotti non è stato considerato e l'allocazione è stata basata sul valore in massa di tali sotto prodotti.

Nel sistema S1 i carichi sono stati suddivisi in maniera uguale tra grano e paglia (50% al grano e 50% alla paglia); in modo simile l'allocazione è stata effettuata nell'S2 (50% al Ddgs e 50% all'etanolo).

## Risultati e commento

Il confronto tra le cinque miscele, riguardante l'impronta carbonica e l'energia, è rappresentato nella Figura 2. Il calcolo dell'impronta carbonica è stato eseguito con la metodologia Cmi 2 baseline 2000 e l'indicatore del flusso energetico è stato calcolato con l'Ecoindicator 95. Il presente studio conferma che il bioetanolo è ambientalmente positivo sulla base del ciclo di vita, in accordo con quanto affermato in altri studi (Scacchi, 2008). Le miscele di etanolo e benzina (E5, E10, E85 e E100) permettono di evitare emissioni di GS e consumo energetico rispetto alla benzina. La differenza tra E100 ed E85 è limitata, a causa del forte impatto associato alla produzione dell'etanolo valutato in questo studio, e confermato dai risultati di altri studi (Scacchi, 2008). Come affermato in studi precedenti (Scacchi, 2008), le differenze tra le miscele a basso contenuto di etanolo (E5 e E10) e benzina sono minime (<5%) e molto dipendenti dal consumo specifico del veicolo.

## Analisi di sensibilità

L'analisi di sensibilità dei risultati è stata condotta cambiando alcune assunzioni di base dello studio. Sono stati confrontati con il caso base altri tre casi (denominati con la sigla AS - Analisi di Sensibilità):

- Caso Base: consumo specifico linearmente crescente con il contenuto di etanolo; emissioni di  $N_2O$  dall'S1 pari all'1,25% dell'N applicato come fertilizzante (Scacchi, 2008); allocazione

dei carichi ambientali sulla base del valore in massa dei sottoprodotti;

- AS 1: consumo specifico assunto pari per le miscele a basso contenuto di etanolo (E0, E5 e E10) come affermato in altri studi (Scacchi, 2008);

- AS 2a/b/c: emissioni di  $N_2O$  dall'S1 pari al 2% - 3% - 5% dell'N applicato come fertilizzante (Crutzen *et al.*, 2008);

- AS 3: allocazione dei carichi ambientali basata sul valore economico dei sottoprodotti (73% al grano e 27% alla paglia; 84% all'etanolo e 16% al Ddgs; Scacchi, 2008).

I risultati sono schematizzati nella Figura 3. Tra i casi analizzati, il metodo di allocazione risulta essere il più influente ai fini della riduzione di GS. I risultati sono sensibili anche al fattore di emissione dell' $N_2O$ , a causa del suo elevato potenziale di riscaldamento globale. I fattori di emissione di  $N_2O$ , proposti da Crutzen *et al.* (2008) e applicati nei casi AS 2a/b/c, che di fatto quasi vanificano gli effetti

positivi dei biocarburanti in termini di riduzioni di GS, sono plausibili, ma sembrano basati su assunzioni che sovrastimano l'emissione (Rauh, 2007); a questo proposito sono auspicabili dunque approfondimenti, volti a stimare in modo più preciso le emissioni di  $N_2O$  durante la fase di coltivazione. L'impronta carbonica di S1 ed S2 può essere stata sovrastimata, non avendo considerato la possibilità di riutilizzo dei sottoprodotti (paglia e Ddgs), né l'uso di energie rinnovabili durante il processo, come invece proposto da molti altri studi, che ne hanno dimostrato l'influenza sui risultati finali (Edwards *et al.*, 2007).

## Conclusioni e raccomandazioni

Pur se lo studio ha considerato il caso della regione Lombardia, i risultati possono tuttavia essere applicati anche ad altre aree del Nord Italia che presentino le stesse condizioni climatiche e simili tecniche di coltura. Sulla base dei dati utilizzati in questo

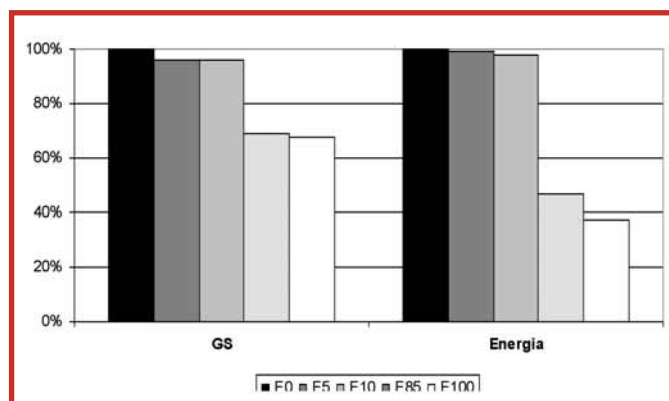
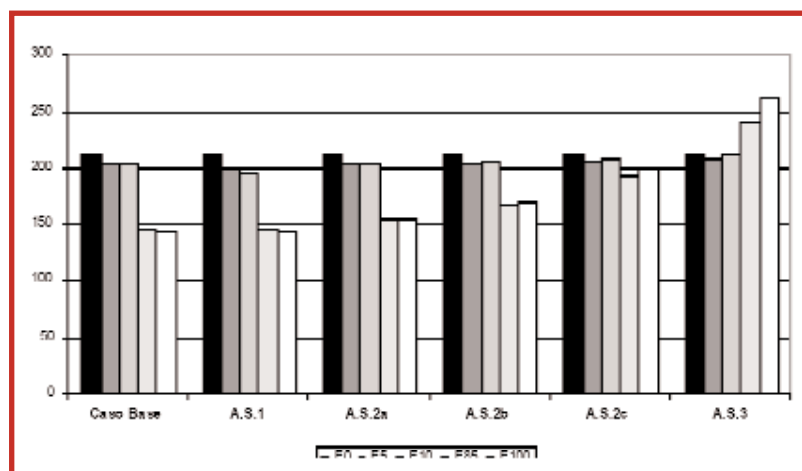


Figura 2 - Profilo ambientale relativo delle miscele di etanolo, confrontate con l'E0, che rappresenta il riferimento (Indice =100).

Figura 3 - Risultati dell'analisi di sensibilità: AS (Analisi Sensibilità)1: stesso consumo specifico per le miscele a basso contenuto di etanolo; AS 2: emissioni di  $N_2O$  assunte pari al 2%-3%-5% (rispettivamente nel caso a-b-c) dell'N applicato come fertilizzante; AS 3: allocazione basata sul valore economico dei sottoprodotti.



studio di Lca, l'etanolo può permettere di evitare emissioni di GS e consumo di energia rispetto alla benzina fossile. La soluzione più interessante sembra essere l'etanolo puro, che permette il maggior risparmio di energia e di GS. L'Lca dell'etanolo prodotto da frumento è risultato molto sensibile al metodo di allocazione selezionato per i sottoprodotti. Numerosi studi precedenti sui biocarburanti hanno riscontrato la stessa sensibilità (Scacchi, 2008) ed è importante riconoscere che non esiste un metodo di allocazione definito come il più appropriato per i processi che coinvolgono la produzione dei biocarburanti. Oltre all'espansione dei confini del sistema, atta ad includere i possibili usi

dei sottoprodotti evitando di ricorrere ad allocazione, la riduzione dell'incertezza sui risultati dell'Lca può derivare anche da un maggior approfondimento sulla stima delle emissioni di  $N_2O$  dalla coltivazione del frumento.

#### Ringraziamenti

Questo progetto è stato sviluppato grazie all'appoggio del programma Erasmus di scambio europeo, in cooperazione con l'Università di Santiago de Compostela e il Politecnico di Milano.

## BIBLIOGRAFIA

- P.J. Crutzen *et al.*, "N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels". *Atmos. Chem. Phys.*, 2008, **8**, 389.
- R. Dones *et al.*, "Life Cycle Inventories of Energy Systems: Results for Current Systems in Switzerland and other Ucte Countries". Ecoinvent report No. 5. Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf. 2004.
- R. Edwards *et al.*, "Well-To-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains on the European context". Eucar Concawe Jrc, Well-to-Wheels Report, 2007.
- International Panel on Climate Change (Ippc), "Revised 1996 Ippc guidelines for National greenhouse gases inventories". National greenhouse gases Programme, 1996.
- International Standard Organization (Iso), 14040. 2006.
- Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework.
- Istituto Italiano di Statistica (Istat). 2007. Database Agricolo, disponibile on-line a <http://www.istat.it>.
- Parlamento e Consiglio europeo (Pce), 2003. Direttiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'8 maggio 2003 sulla promozione dell'uso dei biocarburanti o di altri carburanti rinnovabili nei trasporti. Disponibile on-line a <http://europa.eu.int>.
- S. Rauh, 2007. *Interactive comment on "N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels"* di P.J. Crutzen *et al.*, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 2007, **7**, S4616.
- C. Scacchi. "Riduzioni delle emissioni di gas serra dall'utilizzo di biocarburanti: il caso della Lombardia". Tesi di laurea specialistica. Politecnico di Milano, 2008.

# DOSEURO®

*The right dosing choice*



**www.doseuro.com**  
 20093 Cologno M.se (MI)  
 tel. (+39) 02 2730 1324  
 fax (+39) 02 2670 0883