

Adele Finco*
Deborah Bentivoglio*
Luca Mazzoni*
Peter Nijkamp**1

Valutazione ambientale della filiera biocarburanti. L'approccio multicriteriale come strumento di meta-analisi per le scelte politiche sostenibili

* *Università Politecnica delle Marche, Facoltà di Agraria - Dip. SAIFET- Sc. Economiche Estimative*

** *Free University, Faculty of Economics and Business Administration - Dept. of Spatial Economics*

Introduzione

Nell'ultimo ventennio, il cambiamento climatico globale, ha assunto un ruolo sempre più centrale nella definizione delle politiche internazionali. La presa di coscienza dell'esistenza di tematiche ambientali legate a fattori antropici ha portato infatti alla ricerca delle cause del degrado ambientale e alla proposta di soluzioni che possano mitigare se non annullare il procedere di questo trend negativo. In particolare, è stato riconosciuto che l'incremento di alcuni gas detti a "effetto serra" (Greenhouse Gases o GHG) dovuto soprattutto ai settori del trasporto, ha contribuito notevolmente ad un innalzamento della temperatura media della Terra (EEA, 2009). Per ovviare a tale problema, le principali politiche internazionali (Protocollo di Kyoto) e soprattutto europee (Direttiva 2009/28/CE) hanno cercato di porre dei limiti nelle emissioni di tali gas tramite l'incentivazione della produzione di biocombustibili il cui consumo è diventato obbligatorio in miscelazione con il combustibile fossile. Tra le fonti agro-energetiche, il biodiesel rappresenta ad oggi la fonte di energia rinnovabile maggiormente disponibile sul mercato europeo (Sorda *et al.*, 2010), nonché il biocarburante che permette di soddisfare i principi di sostenibilità attualmente dibattuti (Finco *et al.*, 2010). Infatti, negli ultimi anni il settore dei biocarburanti ha vissuto un periodo di straordinaria crescita, alimentata dall'incremento dei prezzi dei carburanti, dalle norme sulla miscelazione, dalle

¹ L'articolo è frutto di un lavoro congiunto. Tuttavia, Adele Finco ha curato il paragrafo 4 e le conclusioni, Deborah Bentivoglio ha curato il paragrafo 3, Luca Mazzoni ha curato il paragrafo 2; Peter Nijkamp ha curato il paragrafo 1. Comune è l'introduzione.

esenzioni fiscali e dalla protezione sulle importazioni. Nel 2009 il leader del mercato europeo è la Germania, seguita dalla Francia, dalla Spagna e dall'Italia. Tuttavia, l'aumento dei prezzi degli oli vegetali e la crisi economica hanno esercitato un impatto negativo sulla produzione di biodiesel da biomassa agricola. Inoltre, l'impatto ambientale dei biocarburanti e la potenziale concorrenza con la produzione alimentare hanno creato un'immagine negativa dell'opinione pubblica sui biocarburanti (Takahashi and Nijkamp, 2010).

Al fine di valutare le performance ambientali delle diverse tipologie di biomassa utilizzata per la produzione di biodiesel in confronto con i combustibili fossili, il presente contributo ha voluto identificare i criteri ambientali per valutare l'impatto della filiera biodiesel dalla produzione della materia prima alla distribuzione finale. Le produzioni considerate sono state colza, girasole e soia, prodotte nell'ambito europeo. Inoltre si è preso in considerazione il palma, proveniente dalla Malesia.

Lo studio è iniziato con un'analisi comparativa, seguita da una meta-analisi esplorativa dei lavori tecnico-scientifici prodotti dalla ricerca internazionale, riguardanti gli aspetti ambientali più significativi per i diversi tipi di biomassa considerata. La sintesi delle informazioni reperite in letteratura tramite meta-analisi ha consentito poi l'impostazione di una metodologia multicriteriale come supporto alle scelte di politica pubblica volte all'ottenimento di un processo di sviluppo sostenibile.

Infine, poiché la produzione del biodiesel costituisce un'attività imprenditoriale che risponde quindi a precise logiche economiche e di mercato, nell'analisi sono stati considerati oltre agli aspetti ambientali anche quelli economici.

1. La politica per i biocarburanti

L'Unione Europea si è posta l'obiettivo di aumentare la quota di energia rinnovabile sul totale di energia impiegata, allo scopo di ridurre le emissioni di gas serra e in particolare di CO₂. Questo tipo di politica è inoltre stimolata dal desiderio di ridurre la dipendenza dalle importazioni dei combustibili fossili e di incoraggiare lo sviluppo rurale e il settore agricolo in genere (Banse *et al.*, 2010). Diverse misure di politica agricola e di politica energetica, stimolano direttamente e indirettamente la produzione di energia rinnovabile dal settore agricolo (Banse *et al.*, 2008; Bureau *et al.*, 2010). A livello europeo, rivestono un ruolo fondamentale nell'espansione dei biocarburanti tre decisioni politiche: la PAC, la Direttiva del 2003 (2003/30/CE) e l'ultima direttiva del 2009 (2009/28/CE).

La Direttiva Europea sulle energie rinnovabili, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, è una misura forte all'interno della politica energetica e climatica Europea. Essa stabilisce due obiettivi finalizzati alla promozione di energia da fonti rinnovabili. Il primo fissa al 20% la quota comunitaria di energia da fonti rinnovabili entro il 2020, con livelli di impiego differenziati per ogni Stato membro. Il secondo promuove specificatamente l'uso di energia da fonti rinnovabili nel settore dei trasporti, richiedendo una quota pari al 10% di energia da fonti rinnovabili in tutti i carburanti per il trasporto entro il 2020.

Inoltre, la Direttiva europea introduce criteri di sostenibilità (Demirbas, 2009). In particolare, indica come requisito un risparmio minimo del 35% di emissioni di gas serra entro il 2010 che si dovrà elevare al 45% entro il 2013 e al 50% entro il 2017. Per evitare il cambiamento d'uso del suolo viene vietata la coltivazione di colture energetiche su alcuni tipi di terreni (Art. 17-18-19, annesso V), scoraggiando la produzione di materie da terreni con elevata biodiversità (es. foreste primarie o altri terreni boschivi), dai pascoli e da terreni che presentano un elevato stock di carbonio (es: zone umide e torbiere).

Il rispetto delle quote di mercato dei biocarburanti risulta un obiettivo ambizioso e necessita pertanto dell'attuazione di strumenti di politica efficace. Ciò richiederà strumenti complementari come sovvenzioni per gli impianti di produzione, incentivi all'utilizzo dei biocarburanti o sussidi alla coltivazione delle materie prime a scopo energetico. La necessità di strumenti politici efficienti diventa evidente anche per quanto riguarda i volumi di mercato che sono richiesti. Attualmente i biocarburanti in commercio non sono competitivi con i combustibili fossili, tuttavia possono diventarlo una volta che i loro benefici esterni alla società, cioè la riduzione della CO₂, la sicurezza energetica e lo sviluppo rurale, sono contabilizzati.

2. Una meta-analisi comparativa

Nella letteratura internazionale si trovano diversi studi che si occupano dei biocarburanti. Per cercare di valutare gli impatti ambientali dovuti al loro utilizzo e di verificare il rispetto dei criteri di sostenibilità, sono stati realizzati diversi studi che prendono in considerazione le diverse fasi del ciclo di vita dei biocombustibili. Al fine di sintetizzare le informazioni messe a disposizione da tali ricerche è stata condotta una meta-analisi comparativa esplorativa². La meta-analisi può essere definita come una metodologia di analisi statistica inerente alla raccolta di risultati analitici, provenienti da studi diversi, e avente come scopo l'integrazione delle conoscenze. Il suo compito è quello di combinare informazioni provenienti da ricerche per ottenere un unico dato di sintesi quantitativo. Nel nostro caso non offriamo un quadro esplicativo, ma solo una media esplorativa.

Dall'approccio meta-analitico, che ha preso in considerazione 32 studi internazionali di carattere tecnico e scientifico³, è emerso che gli aspetti più interessanti da porre a confronto per la valutazione dell'impatto ambientale del biodiesel sono:

1. il risparmio delle emissioni di gas ad effetto serra (GHG) nella produzione del biodiesel rispetto ai combustibili fossili;
2. il miglioramento del bilancio di energia fossile nella fase di produzione e di utilizzo del biodiesel rispetto ai combustibili fossili;
3. il cambiamento dell'uso del suolo.

² Per ulteriori approfondimenti vedi Nijkamp *et al.*, 1997.

³ I 32 studi sono riportati nella bibliografia dedicata. In realtà risultano 31 studi, uno dei quali con una duplice analisi.

La scelta dei criteri sopra elencati è così giustificata. Per quanto riguarda il primo criterio, si è deciso di considerare il risparmio delle emissioni di GHG perché essendo questi (in particolare CO₂, N₂O e CH₄) i maggiori responsabili dell'innalzamento della temperatura media della Terra, il miglioramento di tale aspetto risulterebbe di estrema importanza sia dal punto di vista ambientale che sociale.

Per ciò che concerne il secondo criterio, si è stabilito di valutare il miglioramento del bilancio energetico fossile del biodiesel rispetto al gasolio in quanto esiste il duplice problema di riuscire ad individuare una fonte di energia rinnovabile in grado sia di sostituire le fonti fossili in via di esaurimento, che di migliorarne le prestazioni ambientali, senza provocare una perdita di efficienza energetica (De Vries *et al.*, 2010; Lechon *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2005).

Infine, si è ritenuto importante prendere in considerazione il cambiamento dell'uso del suolo, aspetto molto spesso non considerato da chi conduce studi di questo genere. Il cambio della destinazione dei terreni a colture energetiche per la produzione di biodiesel (come ad esempio la deforestazione o la conversione di prati-pascoli in terreni ad uso energetico) comporta la perdita di biodiversità, la riduzione di stock di carbonio e la riduzione di terreni a scopo alimentare e pertanto deve essere valutato (Helmann e Verburg, 2010). È importante sapere che il cambiamento d'uso del suolo per la produzione di biocarburante può verificarsi in due casi:

- direttamente: quando per la produzione di biocombustibili viene messo a coltivazione un ecosistema naturale come torbiere, foreste e praterie, oppure quando vengono rimessi in coltivazione terreni incolti o abbandonati;
- indirettamente: quando per la produzione di biocombustibili vengono impiegati territori adibiti a produzioni non energetiche (ad uso alimentare e foraggiero). Le coltivazioni così sostituite devono essere comunque prodotte e ciò avviene tramite la messa a coltura di ecosistemi naturali (Ravindranath *et al.*, 2009).

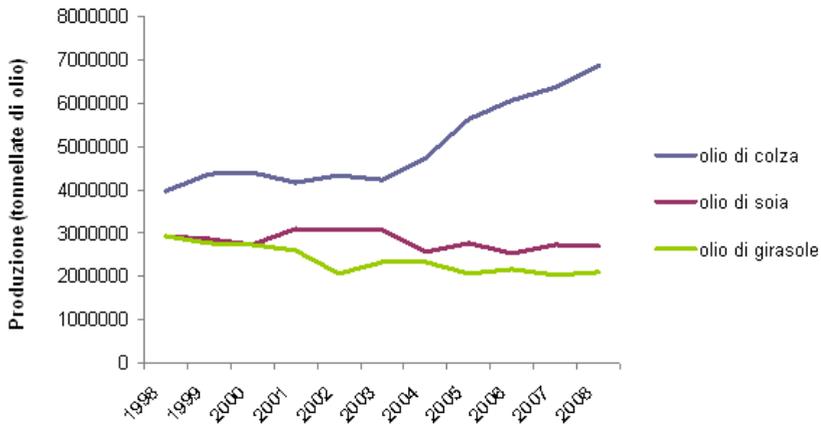
Per ciò che concerne la scelta del tipo di biodiesel da porre a confronto con i combustibili fossili, si è optato per il biodiesel derivato da oli vegetali, in particolare da colza, girasole, soia e palma. La scelta del biodiesel da oli vegetali è derivata dalla considerazione che tali oli sono molto più comuni negli attuali mercati rispetto agli oli di origine non vegetale (esausti e da grassi animali).

La selezione delle materie prime per la produzione di olio da biodiesel, invece, può essere così giustificata: l'olio di colza, l'olio di girasole e l'olio di soia sono i tre oli vegetali maggiormente prodotti in Europa e quindi vanno assolutamente tenuti in considerazione (Figura 1). Infine è stato preso in considerazione l'olio di palma proveniente dalla Malesia in quanto è l'olio maggiormente importato in Europa per la produzione di biodiesel e quindi entra in competizione sia con l'olio di colza sia con quello di girasole e di soia (Figura 2).

La scelta dei criteri sopra elencati ha permesso una selezione degli studi. In base al primo criterio, sono stati selezionati studi che fossero in grado di:

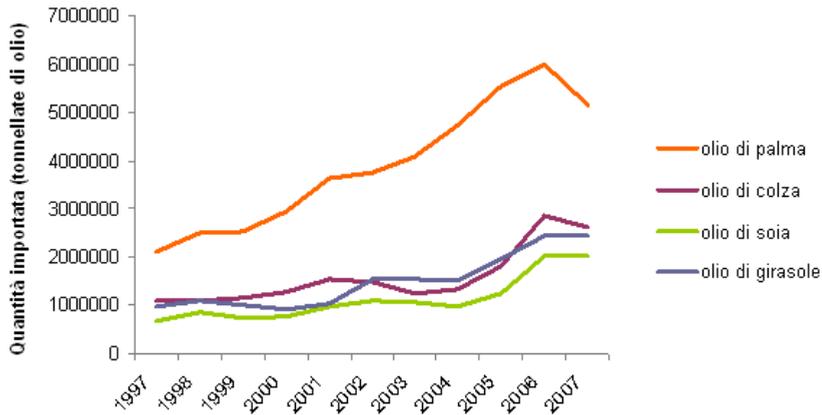
- fornire la percentuale di miglioramento delle emissioni totali di GHG del biodiesel rispetto al gasolio senza considerare il cambiamento d'uso del suolo, o che fornissero comunque valori necessari per ricavare rapidamente questo dato;
- prendere in considerazione possibilmente tutti e quattro gli oli di riferimento

Figura 1. Produzione europea di oli vegetali dal 1998 al 2008.



Fonte: FAOSTAT 2010.

Figura 2. Quantità di oli vegetali importati nell'UE dal 1997 al 2007.



Fonte: FAOSTAT 2010.

(colza, girasole, palma e soia) per la produzione del biodiesel, o almeno tre di questi oli;

- fornire dati ottenuti applicando metodologie di calcolo simili, o fornire almeno valori sulle stesse fasi del ciclo di vita.

Sulla base di queste caratteristiche, sono stati scelti 6 studi.

In base al secondo criterio, sono stati selezionati gli studi in grado di:

- prendere in considerazione gli aspetti energetici possibilmente di tutti i quattro tipi di biodiesel di interesse (colza, girasole, soia e palma);

- fornire il rapporto (o i dati necessari a ricavarlo) tra l'energia sviluppata nella fase utilizzo finale del biodiesel nel settore degli autotrasporti e l'energia fossile utilizzata nella fase di produzione, trasformazione e trasporto dello stesso biodiesel.

Al fine di valutare la sostenibilità del bilancio energetico nell'impiego delle biomasse in sostituzione dei combustibili fossili, ovvero la capacità di fornire più energia di quanta viene spesa per la produzione, trasformazione e trasporto, è importante analizzare il bilancio energetico delle diverse filiere.

Nella scelta degli studi il confronto tra il bilancio di energia fossile del gasolio e quella del biodiesel è stato dato per assodato in quanto tutte le indagini che valutano questo aspetto mostrano che il biodiesel ha un bilancio input/output di energia migliore rispetto al gasolio. Viceversa è sembrato più significativo mettere a confronto il biodiesel ottenuto da diverse tipologie di olio vegetale per vedere quale di loro presentasse il miglior rapporto output/input. Gli studi presi in considerazione sono stati 7.

Infine gli studi analizzati per la valutazione del cambiamento d'uso del suolo diretto sono stati 2. Mentre per quanto riguarda la valutazione del cambiamento indiretto d'uso del suolo, è stato preso in considerazione un solo studio.

La scelta degli studi sopra indicati ha permesso di poter costruire delle tabelle che andranno a fornire i dati finali della meta-analisi quantitativa. Per ogni criterio stabilito è stata creata una tabella indicante i dati di interesse per ogni tipologia di biodiesel contemplato nella meta-analisi, compreso il valore medio finale (valore in rosso).

Nella tabella 1 sono riportati i dati relativi al risparmio delle emissioni di gas a effetto serra (GHG) nella produzione del biodiesel rispetto ai combustibili fossili. Tutti i valori sono espressi in termini di percentuale di miglioramento del biodiesel rispetto al gasolio.

Tabella 1. Percentuali di miglioramento delle emissioni di GHG dei biodiesel rispetto al gasolio e valori medi.

COLTURE ENERGETICHE UTILIZZATE				
	Colza	Girasole	Palma	Soia
	37	–	45	37
	38	51	56	31
	48	–	70	62
	46	–	69	60
	45	58	62	40
	25	–	55	20
Media	40	55	60	42

Dalla tabella emerge che la produzione di biodiesel consente in qualunque caso un effetto positivo sulle emissioni di GHG rispetto al gasolio. Tra le diverse tipologie di biomassa utilizzate, il biodiesel da palma consente un maggior risparmio in termini di emissioni di GHG attestandosi ad un valore medio del

40%. Tale valore è piuttosto simile a quello del girasole, mentre la soia e la colza presentano prestazioni inferiori. Comunque la variazione delle emissioni di gas a effetto serra è dovuta non solo alla tipologia di biomassa utilizzata, ma anche alle differenti pratiche agricole, di trasformazione e di trasporto adottate per produrre il biocombustibile.

Per quanto concerne il secondo criterio, i risultati sono stati riportati nella tabella 2. I dati sono espressi come rapporto tra l'energia fornita dal biodiesel (MJ) e l'energia fossile utilizzata per la produzione, la trasformazione e il trasporto della stessa quantità di biodiesel (MJ).

Tabella 2. Rapporto tra energia fornita ed energia fossile utilizzata (MJ/MJ) e valori medi.

COLTURE ENERGETICHE UTILIZZATE				
	Colza	Girasole	Palma	Soia
	2,4	2,3	-	-
	2,4	-	9,1	2,6
	2,5	-	9	1,9
	2,5	2,5	-	-
	3,2	2,8	-	-
	1	1,2	-	-
	1,3	1,9	-	3,3
Media	2,5	2,4	9,1	2,3

Dalla revisione bibliografica è emerso come il biodiesel da olio di palma presenta un bilancio nettamente superiore rispetto alle altre tre tipologie di biocarburanti, le quali si attestano su valori simili. La performance dell'olio di palma pari ad una media del 9,1 può essere giustificato dall'alta produttività della coltura nell'ambiente tropicale e dal basso input energetico nella fase di produzione oltre che alla poca energia richiesta per l'estrazione dell'olio dai semi.

Per quanto riguarda il cambiamento diretto dell'uso del suolo, in tabella 3 sono riportati i dati relativi alla variazione delle emissioni per ciascuna tipologia di biomassa. Vale a dire che il cambiamento d'uso del suolo può comportare una diminuzione (o al limite un aumento) dello stock di carbonio nel terreno. Pertanto, i valori negativi indicano un aumento delle emissioni, ovvero una perdita di carbonio dal sistema suolo-pianta verso l'atmosfera.

Come si osserva dal prospetto le performance sono sostanzialmente negative. Il valore particolarmente negativo della palma indica le emissioni dovute alla sostituzione di torbiere in Malesia. Va da sé che nel confronto tra l'impatto del gasolio e del biodiesel si deve tenere conto anche del cambiamento d'uso del suolo che può incidere notevolmente sul bilancio delle emissioni complessive, trasformando paradossalmente il vantaggio acquisito in termini di risparmio di GHG in uno svantaggio netto.

Tabella 3. Cambiamento d'uso del suolo diretto – Variazione emissioni GHG (%) - valori medi.

COLTURE ENERGETICHE UTILIZZATE				
	Colza	Girasole	Palma	Soia
	2	17	-71	4
	-18	-3	-192	-16
Media	-8	7	-132	-6

Tabella 4. Cambiamento d'uso del suolo indiretto – Variazione emissioni GHG (%) - valori medi.

COLTURE ENERGETICHE UTILIZZATE				
	Colza	Girasole	Palma	Soia
	-45	-30	26	-43
Media	-45	-30	26	-43

Per quanto riguarda il cambiamento indiretto dell'uso del suolo, i dati e le medie sono riportati nella tabella 4. Anche in questo caso, i valori sono espressi come variazione delle emissioni per ciascun tipologia di biomassa.

Vale la pena di ricordare che i risultati sono stati ricavati dall'unico studio attualmente rinvenibile in letteratura sul cambiamento indiretto e pertanto si manifesta la necessità di essere prudenti nell'interpretazione di tale evidenza.

Il valore positivo dell'olio di palma, infatti, potrebbe sembrare inappropriato vista la negatività espressa dal cambiamento d'uso del suolo diretto (Tabella 3) e dei dati riferiti alle altre tipologie di olio vegetali. Ciò potrebbe essere giustificato dal fatto che, se il cambiamento d'uso del suolo indiretto, dovuto alla produzione di olio di palma in Malesia, colpisse un terreno naturale con un basso stock di carbonio (ad esempio un incolto), si otterrebbe un risparmio netto delle emissioni.

3. L'analisi multicriteri

Le informazioni meta-analitiche hanno permesso l'implementazione della metodologia multicriteri per sostenere le scelte di politica pubblica volta a ottenere un processo di sviluppo sostenibile (Falcone et al., 2009; Nijkamp e van Delft, 1977; Nijkamp et al., 1989; Nijkamp et al., 1998; Rehman e Romero, 1993; Saaty, 1980).

L'analisi, basata sul *regime method*, è stata realizzata attraverso il software *Definite 3.1* di matrice Olandese (Janssen, 1992).

L'obiettivo è stato quello di individuare tra diverse tipologie di biomassa utilizzata (olio di colza, di girasole, di palma e di soia) l'alternativa migliore sia dal punto di vista ambientale che economico in diversi scenari. Le alternative progettuali prese in considerazione si identificano con i diversi input utilizzati nella pro-

duzione di biodiesel in termini di approvvigionamento di biomassa agricola, per le quali è stata svolta la meta-analisi. Essi sono le produzioni di colza, girasole, palma e soia. I criteri scelti per l'impostazione della matrice multicriteri sono quelli identificati nella meta-analisi svolta in precedenza: risparmio delle emissioni di GHG, bilancio energetico e cambiamento d'uso del suolo diretto e indiretto. È stata creata una matrice di valutazione (tabella 5) in cui vengono indicati nelle colonne i valori medi per ogni criterio in riferimento alla tipologia di biomassa utilizzata per la produzione di biodiesel.

Tabella 5. Matrice di valutazione per l'analisi multicriteri.

ALTERNATIVE	CRITERI			
	GHG	OUTPUT/INPUT	USO DEL SUOLO	USO DEL SUOLO
	%	MJ/MJ	(diretto)	(indiretto)
			%	%
Colza	40	2,5	-8,0	-45
Girasole	55	2,4	7,0	-30
Palma	60	9,1	-132,0	26
Soia	42	2,3	-6,0	-43

Una volta determinata la matrice di valutazione, i dati inseriti nella tabella sono stati standardizzati. Il metodo utilizzato per i primi due criteri è quello definito come *maximum standardization*. Per quanto riguarda il cambiamento d'uso del suolo (sia diretto che indiretto), si utilizza il metodo detto *goal standardization*.

L'assegnazione dei pesi attribuiti ai criteri scelti dipendono dal tipo di analisi che si vuole condurre. Verranno pertanto analizzati diversi scenari nei quali si attribuiranno di volta in volta pesi differenti ai vari criteri.

- **Scenario 1: Sistema pesi = 1 (solo criteri ambientali)**

Nel primo caso di studio, è stato attribuito lo stesso peso a tutti i criteri in quanto sono stati considerati di uguale importanza ai fini dell'impatto ambientale.

- **Scenario 2: Sistema pesi = Metodo Delphi con intervista ai policy maker (solo criteri ambientali)**

Il secondo caso di studio prevede l'utilizzo di pesi diversi per ogni criterio utilizzato. La scelta del valore da attribuire ai vari criteri è stata effettuata tramite il metodo Delphi, mediante intervista con questionario ai funzionari di un ente amministrativo regionale (Servizio Agricoltura, Forestazione e Pesca e Servizio Ambiente e Paesaggio della Regione Marche). Il questionario è stato rivolto con lo scopo di capire l'importanza attribuita dai decisori politici ai criteri presi in considerazione nell'analisi multi criteri.

In base ai loro giudizi, è stato attribuito un peso ad ogni criterio.

- Scenario 3: Sistema pesi = Criteri ambientali + criterio economico (prioritario)**
 Al fine di considerare oltre agli aspetti di sostenibilità ambientale anche quelli di sostenibilità economica, è stato inserito nell'analisi il prezzo dell'olio vegetale rilevato nel mercato internazionale⁴ (tabella 6), che vien considerato come criterio economico di scelta. L'attribuzione dei pesi è stata effettuata tenendo conto in questo caso degli obiettivi dell'imprenditore. Il profitto, derivante dalla convenienza economica degli input impiegati nel processo produttivo, è il criterio principale di valutazione dell'imprenditore e pertanto al prezzo dell'olio viene attribuito il peso massimo. Seguono in ordine di importanza il bilancio energetico e le emissioni GHG, mentre al cambiamento d'uso del suolo è stato attribuito un peso pari a zero.

Tabella 6. Matrice di valutazione per l'analisi multicriteri.

ALTERNATIVE	CRITERI				
	GHG %	OUTPUT/INPUT MJ/MJ	USO DEL SUOLO (diretto) %	USO DEL SUOLO (indiretto) %	PREZZI €/ton
Colza	40	2,5	-8,0	-45	703
Girasole	55	2,4	7,0	-30	897
Palma	60	9,1	-132,0	26	632
Soia	42	2,3	-6,0	-43	678

Per il calcolo degli ordinamenti il metodo utilizzato è quello della somma pesata o *Weighted Summatium*, in cui i valori della matrice di valutazione vengono ponderati sulla base dei pesi precedentemente attribuiti.

4. Risultati dell'analisi

L'implementazione dell'analisi multi criteri attraverso il programma dedicato permette di stilare una graduatoria delle alternative a seconda dello scenario preso in considerazione.

I risultati sono esposti dal programma in forma grafica e tabulare e la loro analisi permette di poter giungere a delle conclusioni.

- Scenario 1**

Dall'analisi del primo caso di studio, ovvero quello che attribuiva lo stesso peso ai quattro criteri presi in esame, risulta che il miglior bilancio ambientale/

⁴ Per l'analisi multicriteriale sono stati presi in considerazione i prezzi dell'olio vegetale disponibili sul sito www.palmoil.com espressi in euro per tonnellata.

energetico è fornito dal biodiesel da olio di palma (Figura 3). Questo tipo di combustibile, infatti, registra le migliori performance per tre criteri considerati (GHG, bilancio energetico e cambiamento d'uso del suolo indiretto) dei quattro analizzati. Soltanto per quanto riguarda il cambiamento diretto dell'uso del suolo il suo valore è nettamente inferiore a quello degli altri biocarburanti (grafico giallo della figura 3).

Gli altri biodiesel, prodotti a partire da olio di colza, girasole e soia, mostrano risultati finali piuttosto simili. Il biodiesel da girasole è quello che più si avvicina alle prestazioni dell'olio di palma ed è quello che fornisce il risultato migliore per quanto riguarda il cambiamento d'uso del suolo diretto.

- **Scenario 2**

Il secondo caso di studio è stato condotto assegnando diversi pesi ai differenti criteri in base ai risultati del questionario posto ai policy maker della Regione Marche. È evidente che i decisori politici danno molta importanza al cambiamento diretto e indiretto dell'uso del suolo rispetto agli altri criteri. Il dato più interessante osservato in questo caso (Figura 4) è la migliore performance finale del girasole rispetto alle altre fonti energetiche, in particolare rispetto all'olio di palma, che secondo la precedente assegnazione di pesi risultava essere l'alternativa migliore. Il motivo è dovuto al fatto che il cambiamento d'uso del suolo, in questo caso, assume un'importanza molto più elevata degli altri due criteri, e l'insostenibilità ambientale del biodiesel di palma ne compromette il risultato finale. L'olio di colza e di soia producono un biodiesel dalle performance ambientali leggermente inferiori al girasole, anche se il loro bilancio energetico è

Figura 3. Risultati del primo caso di studio.

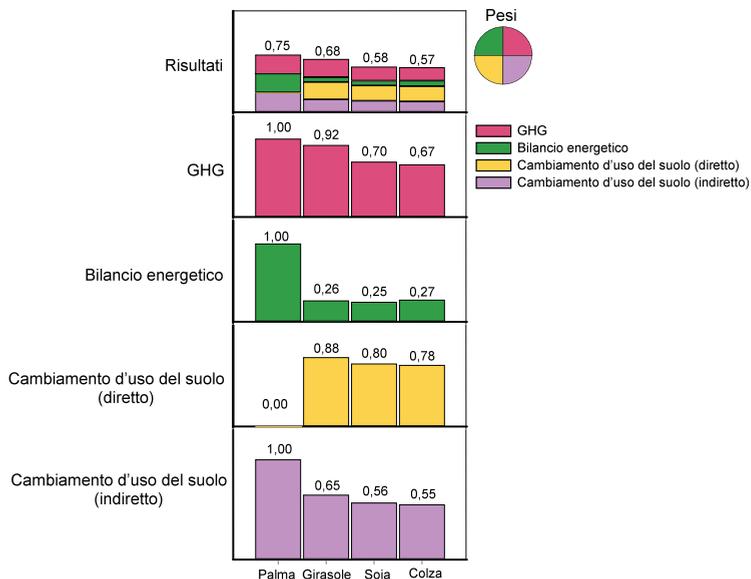
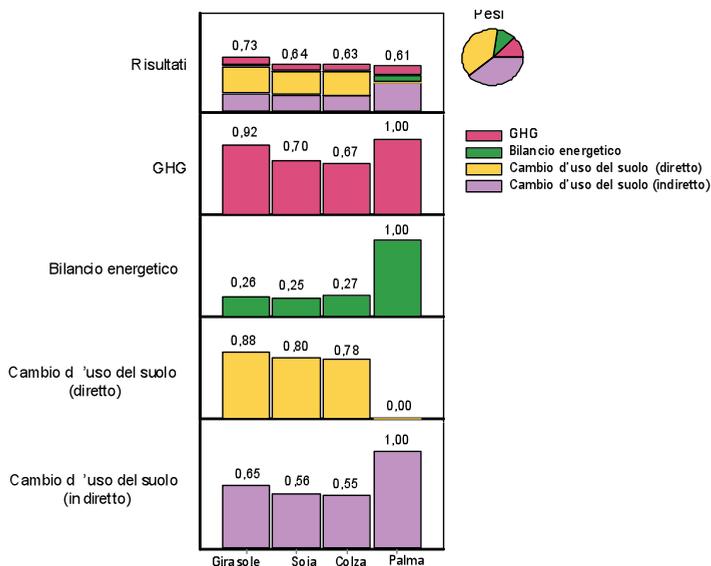


Figura 4. Risultati del secondo caso di studio.



leggermente migliore. Tra le due, la soia rappresenta la materia prima che fornisce un miglior bilancio ambientale, anche se le differenze sono davvero minime. Il biodiesel di soia, infatti, presenta performance migliori sia per il cambiamento d'uso del suolo che per il risparmio delle emissioni di GHG, mentre quello di colza permette di ottenere un bilancio energetico leggermente superiore.

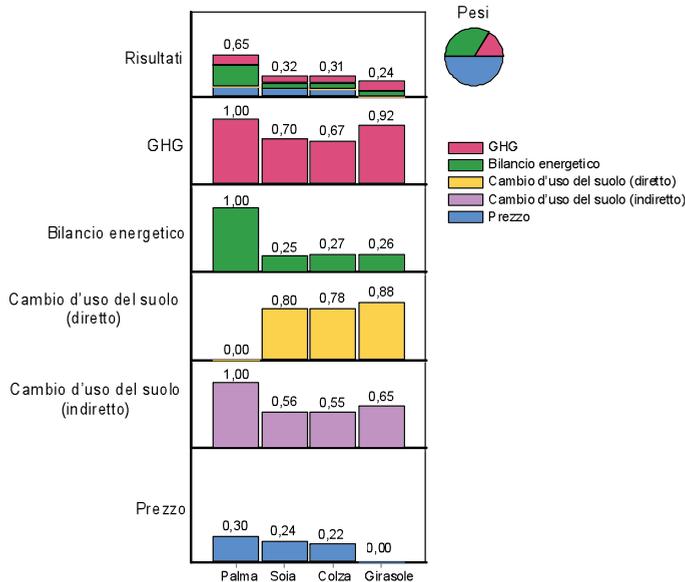
- **Scenario 3**

Nell'ultimo caso di studio viene conferito un peso maggiore all'aspetto economico rispetto ai criteri ambientali, rispecchiando il punto di vista dell'imprenditore economico. Il risultato di questo scenario (Figura 5) che privilegia l'aspetto economico indica il biodiesel da olio di palma come l'alternativa migliore, essendo la materia prima con il più basso prezzo sul mercato internazionale delle commodities. Viceversa il criterio del cambiamento dell'uso del suolo, pur essendo un aspetto fortemente penalizzante in termini ambientali non incide nella valutazione finale perché assume per l'imprenditore un'importanza pari a zero. Per quanto riguarda il biodiesel da girasole essa risulta l'alternativa meno preferita, in quanto i prezzi di mercato non lo rendono competitivo con le altre materie prime, pur avendo una performance ambientale superiore al palma. Colza e da soia si situano in una posizione intermedia tra palma e girasole.

Conclusioni

La riduzione delle emissioni di gas a effetto serra prevista dal Protocollo di Kyoto prima e dalla Direttiva 2009/28/CE poi, prevede come passaggio cruciale e

Figura 5. Risultati del secondo caso di studio.



fondamentale l'utilizzo di biocarburanti in luogo dei combustibili fossili, in modo particolare per quanto riguarda il settore dei trasporti, uno dei maggiori responsabili delle emissioni di GHG. Tra le fonti agro-energetiche, il biodiesel rappresenta ad oggi la fonte di energia rinnovabile maggiormente disponibile sul mercato europeo, nonché il biocarburante che permette di soddisfare i principi di sostenibilità attualmente dibattuti.

Dall'approccio meta-analitico, che ha preso in considerazione 32 studi internazionali di carattere tecnico e scientifico, è emerso che il biodiesel permette un elevato risparmio di emissioni di CO₂ in termini percentuali rispetto al gasolio convenzionale ed un bilancio energetico positivo all'interno della filiera di produzione. Tuttavia, per quanto riguarda il terzo criterio ambientale, ovvero il cambiamento dell'uso del suolo (Land Use and Land Use Change) derivante dall'incremento della destinazione dei terreni a colture oleaginose, l'evidenza scientifica dimostra che la filiera biodiesel derivando in gran parte da olio di palma, impatta negativamente sull'ambiente, determinando fenomeni di deforestazione o conversione di terreni naturali, perdita di biodiversità, riduzione degli stock di carbonio nonché di sottrazione dei terreni a scopo alimentare. Questo aspetto negativo comporta un peggioramento del bilancio delle emissioni di gas serra, fino ad avere delle emissioni maggiori rispetto al combustibile fossile. I criteri appena visti variano notevolmente a seconda della materia prima utilizzata.

La metodologia multicriteri implementata grazie alle informazioni desunte dalla meta-analisi, ha permesso di delineare tra gli scenari ipotizzati la migliore alternativa tra le materie prime utilizzabili, in base ai criteri ambientali.

I risultati dell'analisi multi criteri evidenziano l'importanza della scelta dei criteri di sostenibilità ambientale come attributi prioritari in ottemperanza alle politiche ambientali ed energetiche dell'Europa sottoscritte con la Direttiva 2009/28/CE.

Nell'ipotesi in cui, come si è verificato nel caso analizzato (Studio 2), il decisore politico consideri prioritari i criteri di sostenibilità ambientale e tra i tre criteri attribuisca un'importanza maggiore al cambiamento dell'uso del suolo, la soluzione migliore a livello europeo sarebbe quella del biodiesel da girasole. Tale soluzione risulterebbe molto interessante per l'Europa, ma soprattutto per l'Italia e per l'area geografica del Centro Sud Italia, areale questo particolarmente vocato per la produzione di questa coltura, diversamente dal Nord Europa e dalla Francia, dove prevale la produzione di colza.

La produzione del biodiesel da girasole porterebbe ad una serie di esternalità positive tra cui si ricordano la parziale autosufficienza energetica rispetto agli attuali paesi esportatori di combustibili fossili, il mantenimento della produzione autoctona utilizzando l'approccio della filiera corta, la valorizzazione di produzioni agricole con impatto minimo sull'ambiente e il paesaggio per effetto della messa a coltura di terre incolte o abbandonate, fenomeno sempre più in crescita vista la crisi perdurante dei mercati delle commodities. Fondamentale, però, è l'appoggio che le politiche devono dare alla produzione del biodiesel da girasole per affrontare il mercato internazionale; come dimostra lo Studio 3, infatti, se il mercato viene lasciato in mano ai produttori di biodiesel senza strumenti correttivi, gli aspetti da questi considerati conducono unicamente alla massimizzazione dei profitti a spese dell'aspetto ambientale, mostrando come soluzione ottimale la produzione di biodiesel da olio di palma, di derivazione estera, che è economicamente più vantaggioso nel mercato mondiale. Pertanto, una politica energetica sostenibile dovrebbe tenere in considerazione questo aspetto e mettere in pratica i propri strumenti correttivi (defiscalizzazione) per sostenere la filiera biodiesel da girasole rendendo competitivo il suo utilizzo rispetto all'olio di palma ed internalizzando in questo modo le esternalità positive derivate all'ambiente.

L'olio di soia e di colza possono rappresentare delle soluzioni intermedie (*blend*) e presentano un buon compromesso tra l'aspetto ambientale e quello economico, tenendo in considerazione che il blend tra questi oli vegetali fornisce performance qualitative molto elevate del biodiesel derivato.

Sulla base dei risultati forniti dall'analisi multicriteri, emergono dunque evidenze significative circa i criteri generali di scelta per la valutazione degli investimenti strutturali sia nella politica di sviluppo rurale che nella più generale politica delle strutture espressa, come noto, da specifici Programmi, cosiddetti Programmi Operativi (PO) sia Regionali (POR) sia Sovraregionali (PON), che all'interno dei loro assi di intervento per la programmazione 2007-2013 prevedono forti sostegni all'energia rinnovabile e all'efficienza energetica.

Bibliografia Meta-analisi

Azman A. (2001), Proposal for biodiesel production facility, *Biodiesel Handling and use Guidelines*, National Renewable Energy Laboratory, September 2001.

- BIOBUS Project Committee Members (2003), *Biobus: biodiesel demonstration and assessment with the Société de Transport de Montréal (STM). Final report*, May 2003.
- Bracco S., Chinnici G., Longhitano D., Santeramo F.G. (2008), Prime valutazioni sull'impatto delle produzioni agroenergetiche in Sicilia, *XLV Convegno SIDEA Sessione parallela: "Bioenergie"*, Portici, 25-27 Settembre 2008.
- Brauer S., Vogel A., Müller-Langer F. (2008), *Cost and Life-Cycle Analysis of Biofuels. Long version*, UFOP;
- Connor D.J., Hernandez C.G. (2009), Crops for biofuel: current status and prospects for the future, *Biofuels: Environmental Consequences and Interactions with Changing Land Use*, chapter 4, p. 65-80, Howarth R.W. and Bringezu S.
- CTI (Comitato Termotecnico Italiano)-Energia e Ambiente (2002), *Riduzione dell'impatto ambientale dei motori diesel. Sintesi delle tecnologie oggi disponibili e allo studio con particolare riferimento ai combustibili alternativi (Biodiesel e Emulsioni acqua-gasolio)*.
- Delhagen E. (2006), The Vermont biodiesel project. Building demand in the biofuels sector, *Final Project Report*, Vermont Biodiesel Project, October 2006.
- Fehrenbach H., Fritsche U.R., Giegrich J. (2008), *Greenhouse Gas Balances for Biomass: Issues for further discussion*, Bruxelles, 25 January 2008.
- Gärtner S.O., Reinhardt G. A. (2005), *Final Report. Biodiesel initiatives in Germany*, IFEU (Institute for Energy and Environmental Research Heidelberg Germany), Heidelberg, May 2005.
- Gallagher E. (2008), *The Gallagher Review of the indirect effects of biofuels production*, RFA (Renewable Fuels Agency), July 2008.
- Gelleti R., Jodice R., Mauro G., Migliardi D., Picco D., Pin M., Tomasinsig E., Tommasoni L., Chinese D., Monaco B., Nardin G., Simeoni P. (2006), *Aspetti ambientali, Energia dalle biomasse. Le tecnologie, i vantaggi per i processi produttivi, i valori economici e ambientali*, capitolo 4, pagg. 155-165, AREA Science Park, n.24, aprile 2006.
- HBC (Hudson's Bay Company) (2006), *Freight transportation case studies. Hbc's biodiesel pilot project*, Transport Canada.
- Henke J., Schmitz N. (2008), *UFOP information on paradigm shift in biofuel policies: from volume quotas to a greenhouse gas avoidance quota and the effects on biofuels*, UFOP, February 2008.
- Hess P., Johnston M., Brown-Steiner B., Holloway T., B. de Andrade J., Artaxo P. (2009), Air quality issues associated with biofuel production and use, *Biofuels: Environmental Consequences and Interactions with Changing Land Use*, chapter 10, p. 169-194.
- Howarth R.W., Bringezu S., Martinelli L.A., Santoro R., Messer D., Sala O.E. (2009), Introduction: biofuels and the environment in the 21st century, *Biofuels: Environmental Consequences and Interactions with Changing Land Use*, chapter 1, p. 15-36.
- Kaltschmitt M., Reinhardt G.A., Stelzer (1997), Life cycle analysis of biofuels under different environmental aspects, *Biomass and Bioenergy*, volume 12, chapter 2, p. 121-134, Elsevier.
- Menichetti E., Otto M. (2009), Energy balance and greenhouse gas emissions of biofuels from a life cycle perspective, *Biofuels: Environmental Consequences and Interactions with Changing Land Use*, chapter 5, p. 81-109, Howarth R.W. and Bringezu S.
- Mortimer N.D., Ashley A., Evans A., Hunter A.J., Shaw V.L. (2008), *Support for the Review of the Indirect Effects of Biofuels*, North Energy, June 2008.
- Munack A., Herbst L., Kaufmann A., Ruschel Y., Schröder O., Krahl J., Bünger J. (2006), *Research Project Final Report. Comparison of Shell Middle Distillate, Premium Diesel Fuel and Fossil Diesel Fuel with Rapeseed Oil Methyl Ester*, FAL (Federal Agricultural Research Centre), Braunschweig, Coburg and Göttingen, April 2006.
- Munshaw S., Hertz P.B. (2006), *Saskatoon biobus - Phase II. Final Research report*, Western Economic Diversification Canada, March 2006.
- Piccioni E. (2006), *Biomasse da energia. Filiera biocombustibili liquidi*, Land Lab-Scuola Superiore Sant'Anna, Grosseto, Giugno 2006.
- Ravindranath N.H., Manuvie R., Fargione J., Canadell J. G., Berndes G., Woods J., Watson H., Sathaye J. (2009), *Greenhouse gas implications of land use and land conversion to biofuel crops*, *Biofuels: Environmental Consequences and Interactions with Changing Land Use*, chapter 6, p. 111-125, Howarth R.W. and Bringezu S.

- Riva G., Calzoni J., Panvini A. (1999), *Rapporto sul biodiesel. Prospettive nel breve termine dei combustibili rinnovabili derivati da oleaginose nel quadro delle nuove politiche agrarie e degli impegni assunti dall'Italia a Kyoto*, CTI (Comitato Termotecnico Italiano)-Energia e Ambiente.
- Scaravonati A. (2008), *Culture energetiche legnose, nuova opportunità, L'introduzione delle BAT per l'ambiente e la salute pubblica*, Rinnova Green Energy, Torino, Ottobre 2008.
- UNEP (United Nations Environment Programme), International panel for sustainable resource management (2009), *Towards sustainable production and use of resources: assessing biofuels*.
- US-EPA (United States - Environmental Protection Agency) (2002), *A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions. Draft Technical Report*, October 2002.
- UFOP (Union for the Promotion of Oilseeds and Protein Plants reg. Ass.) (2010), *Germany's bio-diesel sector has now to document its sustainability*, Dieter Bockey, February 2010.
- UFOP (Union for the Promotion of Oilseeds and Protein Plants reg. Ass.), *Biodiesel at a dead end!?*, 2009.
- UFOP (Union for the Promotion of Oilseeds and Protein Plants reg. Ass.) (2008), *German biomass sustainability ordinance. Commentary paper to the draft dated December 5th, 2007, Commentary paper for the German BioNachV*, January 2008.
- Venturi G. (2009), *Il ruolo dell'agricoltura e dell'industria sementiera per l'ottimizzazione della filiera. I Parte: il ruolo dell'agricoltura, Combustibili da biomasse: aspetti normativi*, Roma, Marzo 2009.
- Wolfkill feed & fertilizer inc. (2006), *Helping create sustainable agriculture in Snohomish and North King Counties*.

Bibliografia

- Banse M., van Meijl H., Tabeau A., Woltjer G., Hellmann F., Verburg P.H. (2010), *Impact of EU bio-fuel policies agricultural production and land-use*, Biomass and Bioenergy, Elsevier.
- Demirbas A. (2009), *Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review*, Applied Energy no. 86, S108-S117, Elsevier.
- De Vries S., van de Ven G.W.J., ven Ittersum M., Giller K.E. (2010), *Resource use efficiency and environmental performance of nine major biofuel crops, processed by first-generation conversion techniques*, Biomass and Bioenergy no. 34, 588-601.
- European Commission (2003), *Council Directive 2003/96/EC of 27 October 2003 restructuring the Community framework for the taxation of energy products and electricity*.
- European Commission (2003), *Directive 2003/30/EC of the European parliament and of the council of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport*.
- European Commission (2009), *Directive 2009/28/EC of the European parliament and of the council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC*.
- European Environmental Agency (EEA) (2009), *Greenhouse gas emissions trends and projections in Europe 2009 – Taking progress towards Kyoto targets*, Report no. 9/2009.
- Falcone D., De Felice F., Saaty T. (2009), *Il decision making e i sistemi decisionali multicriterio*, Hoepli, Milano.
- Finco A., Padella M., Spinozzi R., Benedetti A. (2010), *Biofuel and Policy Alternatives: a Firm Level Analysis*, Ravello, Italy, June 16-18, 2010.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2010), database. FAOSTAT, <<http://faostat.fao.org/>>.
- Hellmann F., Verburg P.H. (2010), *Impact assessment of the European biofuel directive on land-use and biodiversity*, Journal of Environmental Management no. 91, 1389-1396.
- Janssen R. (1992), *Multiobjective decision support for environmental management*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Kim S., Dale B.E. (2005), *Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: Bioethanol and biodiesel*, Biomass and Bioenergy no.29, 426-439.

- Lechon Y., Cabal H., de la Rúa C., Caldes N., Santamaria M., Saez R. (2009), *Energy and greenhouse gas emission savings of biofuels in Spain's transport fuel. The adoption of the EU policy on biofuels*, Biomass and Bioenergy no. 33, 920-932.
- Nijkamp P., Beinat E. (1998), *Multicriteria analysis for land-use management*, Kluwer, Dordrecht.
- Nijkamp P., Rietveld P., Voogd H. (1989), *Multicriteria analysis in physical planning*, North-Holland Publ. Co., Amsterdam.
- Nijkamp P., van Delft A. (1977), *Multicriteria analysis and regional decision making*, Kluwer Nijhoff, Boston.
- Nijkamp P., van den Bergh J.C.J.M., Button K., Pepping G. (1997), *Meta-analysis in environmental economics*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Ravindranath N.H., Manuvie R., Fargione J., Canadell J.G., Berndes G., Woods J., Watson H., Sathaye J. (2009), Greenhouse gas implications of land-use and land conversion to biofuel crops, in: R.W. Howarth and S. Bringezu (eds) *Biofuels: Environmental Consequences and Interactions with Changing Land-use*, Chapter 6, pp. 111-125.
- Rehman T., Romero C. (1993), *The application of the MCDM paradigm o the management of agricultural systems: Some basic considerations*, Agricultural Systems, 41 (2).
- Saaty T.L. (1980), *The analytic hierarchy process*, McGraw-Hill, New York.
- Takahashi Y., Nijkamp P. (2010), Multifunctional Agricultural Land-use in a Sustainable World – Design and Simulation of an Agricultural Economy Model, *Romanian Journal of Regional Science*, forthcoming.