



**IX Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria**  
*Ischia Porto, 12-16 settembre 2009*  
memoria n. 10-9

## **FILIERE AGRO-ENERGETICHE A CONFRONTO: BILANCIO ECONOMICO, ENERGETICO E AMBIENTALE**

*M. Fiala, J. Bacenetti*

Dipartimento di Ingegneria Agraria, Università degli Studi di Milano

### SOMMARIO

*Per tutte le diverse filiere agro-energetiche, risulta di cruciale importanza valutare correttamente oltre alla sostenibilità economica anche quella energetica e ambientale. A tale scopo è stato sviluppato un software in grado di simulare scenari concreti fornendo indicazioni sulla sostenibilità complessiva (economica energetica e ambientale) delle diverse filiere.*

*Parole chiave: sostenibilità, filiere agro-energetiche, biomassa.*

### **1 INTRODUZIONE**

L'importanza delle energie rinnovabili e il relativo dibattito sono aumentati negli ultimi anni; in ambito agricolo l'impiego di tali fonti si presenta spesso come una possibile diversificazione dell'attività aziendale e come un'importante fonte di reddito.

Lo sviluppo delle agro-energie è, in primo luogo, legato alla loro sostenibilità economica giacché appare irrealistico pensare che gli operatori agricoli, anche alla luce degli elevati investimenti necessari, si dedichino a quest'attività in assenza di un adeguato ritorno economico. A tal proposito, è importante sottolineare che frequentemente la produzione di energia rinnovabile in ambito agricolo beneficia di interessanti incentivi pubblici.

Ferma restando l'esigenza di verificarne la sostenibilità economica, appare di fondamentale importanza anche la loro analisi energetica e ambientale. Infatti, la presenza di una incentivazione pubblica non può essere giustificata come strumento unicamente mirato al sostegno del reddito agricolo ma deve necessariamente fondarsi su altri aspetti ugualmente importanti: sarebbe difatti irrazionale, oltre che eticamente discutibile, sostenere con denaro pubblico filiere inefficienti da un punto di vista energetico e/o ambientale.

Definiti i confini della filiera da studiare, la sua sostenibilità economica è legata alla possibilità di ottenere risultati positivi, mentre quella energetica e quella ambientale dipendono, rispettivamente, dal rapporto tra energia in ingresso e in uscita e dal flusso di gas serra liberati durante il processo produttivo.

Considerando, quindi, l'attualità del dibattito riguardo la sostenibilità dei consumi energetici e il loro impatto sull'ambiente, nell'ipotesi di una razionale concessione degli incentivi, il contributo pubblico dovrebbe essere vincolato non solo al raggiungimento

della sostenibilità economica della filiera ma anche di quella energetica e ambientale (sostenibilità complessiva).

Rispetto alla economica le altre valutazioni di una filiera si presentano meno agevoli e maggiormente soggette a variabilità dei risultati. Ciò perché, a differenza dell'analisi economica per la quale sono ormai recepite e consolidate metodologie di riferimento, per le valutazioni energetica e, soprattutto, ambientale le tecniche analitiche sono più recenti e, spesso, differiscono sostanzialmente tra loro.

## **2 ANALISI ENERGETICO-AMBIENTALE: PROBLEMATICHE**

Il problema principale riguardo alla valutazione energetico-ambientale delle diverse filiere agro-energetiche non è tanto dovuto alla mancanza di idonei strumenti per l'analisi, quanto piuttosto alla grande variabilità di risultati che si possono ottenere.

Alcune volte tali differenze sono giustificate dal fatto che l'analisi riguarda filiere simili ma attuate con "prodotti primari" diversi e in differenti aree geografiche (è il caso, a esempio, del bio-etanolo da granella di mais negli USA piuttosto che quello da canna da zucchero in Brasile).

Le differenze che si possono riscontrare si riconducono a:

- 1) fattori dipendenti dalla metodologia d'analisi impiegata;
- 2) fattori indipendenti dalla metodologia ma che riguardano la scelta dei parametri di input utilizzati.

Per quanto riguarda la metodologia d'analisi è importante sottolineare che non ne esiste una di riferimento o, comunque, uniformemente applicata; per l'analisi della medesima filiera se ne possono applicare diverse con risultati differenti

Nel caso dell'analisi energetica di una filiera, una delle metodologie più diffuse prevede la suddivisione dei fattori produttivi (input) in diretti, ovvero legati direttamente al processo (fertilizzanti, fitofarmaci, sementi, ecc.) e indiretti, ovvero non legati direttamente al processo produttivo ma, comunque, necessari per attuarlo (trattori e macchine operatrici impiegate, impianti di trasformazione). Numerose analisi vengono tuttora condotte senza computare gli input indiretti, causa le difficoltà nella loro quantificazione, supponendone un "impatto" nullo tra flusso in entrata e in uscita e un peso relativamente modesto sul bilancio complessivo di filiera.

Nel caso delle filiere agro-energetiche, la cui fase di campo è intensamente meccanizzata, l'incidenza degli input indiretti sul totale può tuttavia arrivare al 20% e, dunque, trascurare queste voci può comportare errori di non poco conto.

Inoltre, sempre con riferimento alle differenze legate alla metodologia d'analisi impiegata, per quelle filiere agro-energetiche nelle quali vi è una rilevante produzione di sottoprodotti (bio-etanolo, olio grezzo, bio-diesel) la loro valorizzazione o meno nel calcolo degli output influenza, spesso in modo sostanziale, il risultato.

Viceversa, si osserva che, pur in presenza di analisi condotte con identica metodologia, i risultati ottenuti sono differenti in quanto a essere diversi sono i parametri impiegati nel calcolo (produzioni per ettaro, rendimenti di trasformazione, valorizzazione dei diversi fattori produttivi impiegati e dei sottoprodotti di filiera ecc.).

### **3 MODELLI PER LA VALUTAZIONE ENERGETICO-AMBIENTALE**

Negli ultimi anni sono stati sviluppati numerosi modelli e software specifici per la valutazione energetica e/o ambientale di filiere per la produzione di energie da fonti rinnovabili. La loro complessità e completezza è variabile in funzione dell'obiettivo specifico per cui sono stati sviluppati; tuttavia e generalizzando, la gran parte di tali strumenti presenta alcuni limiti che ne rendono spesso complicato l'utilizzo per una analisi completa della sostenibilità di una filiera.

Brevemente, i principali limiti riscontrabili sono riconducibili ai seguenti aspetti:

- non vengono considerate tutte le filiere agro-energetiche attualmente diffuse;
- l'analisi è limitata alle fasi più importanti e caratteristiche della filiera trascurando gli altri step indispensabili per la produzione e che, comunque, comportano una "spesa" sia economica che energetica e ambientale;
- la flessibilità è limitata, rendendo difficoltosa la valutazione di filiere simili a quelle originarie.

Alla luce di quanto appena detto e con riferimento alle condizioni climatiche del nostro Paese, nell'ambito del Dottorato di Ricerca in Innovazione Tecnologica per le Scienze Agro-Alimentari ed Ambientali tenuto presso l'Università di Milano si sta mettendo a punto un nuovo modello di calcolo in grado sia di simulare diversi scenari relativi a differenti filiere, sia di fornire indicazioni omogenee sulla sostenibilità complessiva (economica, energetica e ambientale) delle più diffuse filiere agro-energetiche.

### **4 SEA: SOFTWARE PER L'ANALISI ECONOMICA, ENERGETICA ED AMBIENTALE**

Il modello di calcolo, denominato SEA (Software per l'Analisi Economica, Energetica e Ambientale) consente una valutazione contemporanea dei tre aspetti legati alla sostenibilità complessiva del processo produttivo affrontando con grande grado di dettaglio la fase agricola della filiera, spesso trascurata.

Allo stato attuale SEA è implementato per la sola fase di campo delle differenti filiere; successivamente verrà completato in modo da considerare anche le fasi di trasporto, stoccaggio e trasformazione.

La metodologia d'analisi adottata prevede, sia per gli aspetti economici che per quelli energetico-ambientali, il computo di tutte le voci di input, sia dirette che indirette.

Per la filiera oggetto di studio il programma esegue i bilanci output/input individuando, oltre al cantiere di lavoro più razionale, i valori della spesa energetica per unità di "prodotto energetico" e il relativo rapporto output/input (EROEI).

L'EROEI indica sinteticamente la convenienza della filiera in termini energetici: con  $EROEI < 1$  la filiera consuma più energia di quanta non se ne ricavi e, conseguentemente, risulta irrazionale.

Il software si presenta, dunque, come uno strumento in grado di fornire indicazioni sulla attuale sostenibilità delle filiere agro-energetiche e come supporto decisionale multi-obiettivo di medio-lungo periodo.

#### 4.1 Descrizione di SEA

Nella versione attuale il modello è sviluppato in ambiente MS Office Excel; SEA è suddiviso in più sezioni alcune delle quali dedicate all'inserimento dei parametri di calcolo, altre alla definizione delle costanti utilizzate nelle simulazioni mentre, altre ancora alla "caratterizzazione" della filiera che si intende analizzare.

Trattandosi di biomasse, nella prima sezione l'operatore, innanzitutto, deve caratterizzare la coltura energetica oggetto di studio e inserire i parametri necessari per la simulazione (Tabella 1).

Aspetto	Voci	Unità di misura	Tipo
Azienda / Coltura	Durata del ciclo colturale	anni	P
	Densità dell'impianto	p/ha	P
	SAU totale e SAU dedicata a coltura energetica	ha	P - V
	Resa produttiva	t <sub>iq</sub> /ha	P/V
	Umidità	%	P
Analisi economica	Spese di gestione	€/ha	P
	Valore del terreno	€/ha	P
	Beneficio fondiario	%	P
	Costo dei fattori produttivi	€/kg; €/m <sup>3</sup>	P
	Tariffa operatori agricoli/ Trattoristi	€/h	P
	Tariffa contoterzista	€/ha	P
	Tasso di interesse	%	P
	Prezzo di vendita prodotto energetico	€/t <sub>iq</sub>	P/V
	Input energetico per i fattori produttivi	MJ/kg	K
	Input energetico per macchine e attrezzature	MJ/kg	K
	Input energetico per operazioni svolte da contoterzista	MJ/ha	K
PCI del prodotto energetico utilizzato	GJ/t <sub>ss</sub>	K	
Analisi ambientale	Emissione unitaria media	kg CO <sub>2</sub> eq/MJ	P
	Fattore d'emissione per il gasolio	kg CO <sub>2</sub> eq/kg	K
	Contenuto in C della biomassa epigea e ipogea	%	P
	Rapporto Fusto/Radici	-	P
	Coef. per il sequestro del C da parte del suolo	t C/ha-anno	K

Note: V = Variabile; P = Parametro, grandezza che può essere variata tra simulazioni diverse; K = Costante, grandezza che non varia tra simulazioni successive

**Tabella 1.** Variabili, parametri e costanti impiegate in SEA.

Nella seconda sezione l'operatore definisce la sequenza di operazioni del ciclo colturale e, successivamente per ognuna di esse, identifica la meccanizzazione impiegata per la sua esecuzione. La selezione delle macchine operatrici avviene grazie a un DataBase appositamente predisposto. Nella terza sezione, l'operatore procede all'accoppiamento operatrice-trattore selezionando questi ultimi tra quelli disponibili nel parco aziendale; è il modello stesso che, in funzione del bilancio dinamico della potenza, ne verifica la razionalità. La scelta dei trattori avviene attraverso un DataBase, simile a quello delle operatrici, nel quale sono elencate le caratteristiche dei trattori disponibili in azienda. In questa sezione è necessario anche definire il numero di volte che un'operazione viene ripetuta nel corso degli anni del ciclo colturale e, eventualmente, definirne la tariffa applicata dai contoterzisti per le operazioni non sono svolte con macchine aziendali.

Attraverso un pulsante di comando vengono eseguite le macro di calcolo ed è, dunque, possibile visualizzare, nell'apposita quarta sezione, i risultati (Tabella 2).

Aspetti	Risultato	Unità di misura
Analisi economica	Spese/ Ricavi totali	€
	Costo di produzione	€/ha; €/t <sub>iq</sub> ; €/t <sub>ss</sub>
	Redditività	€/ha; €/t <sub>iq</sub> ; €/t <sub>ss</sub>
Analisi energetica	Input e Output energetico totale	GJ
	Spesa energetica per unità di prodotto	MJ/kg <sub>ss</sub> prodotto
	"Guadagno" energetico per unità di prodotto	MJ/kg <sub>ss</sub> prodotto
	EROEI	-
Analisi ambientale	Emissioni/ Assorbimenti totali	t CO <sub>2</sub> eq
	Assorbimento/Emissione per unità di prodotto	kg CO <sub>2</sub> eq/kg prodotto

Tabella 2. Risultati proposti da SEA.

## 4.2 Metodologia di calcolo

SEA è stato sviluppato per condurre simulazioni riguardo la sostenibilità di filiere agro-energetiche su scala aziendale; pertanto - considerando poco realistica l'ipotesi che gli agricoltori convertano, in assenza in un profitto "verificato" tutte le proprie superfici - la sostenibilità complessiva della filiera è valutata in corrispondenza di valori crescenti di SAU destinata a coltura energetica (SAU<sub>ene</sub>). La rimanente superficie SAU<sub>trad</sub> è destinata a colture tradizionali.

### 4.2.1 Analisi economica

La valutazione degli aspetti economici della sostenibilità complessiva fa riferimento al metodo di calcolo dei Costi Fissi e dei Costi Variabili (Lazzari, Mazzetto; 2005). Nel caso in cui la macchina operatrice viene utilizzata sia su SAU<sub>ene</sub> che su SAU<sub>trad</sub>, il modello esegue la ripartizione dei Costi Fissi in funzione delle ore annualmente lavorate sulle due superfici (Fiala, 2008).

### 4.2.2 Analisi energetica

L'analisi è condotta suddividendo gli input tra diretti e indiretti; nei primi vengono considerati tutti i fattori di produzione a logorio totale (carburanti, lubrificanti, fertilizzanti, fitofarmaci, sementi/talee ecc.), mentre tra i secondi si computa l'energia necessaria per la produzione dei fattori a logorio parziale (trattori, operatrici, ecc.).

Analiticamente, si ha:

$$Inp_{EN} = Inp_{DIR} + Inp_{IND} + Inp_{CT} \quad [MJ]$$

essendo:

- Inp<sub>EN</sub> = Input energetici totali [MJ];
- Inp<sub>DIR</sub> = Input energetici diretti [MJ];
- Inp<sub>IND</sub> = Input energetici indiretti [MJ];
- Inp<sub>CT</sub> = Input energetici per le operazioni svolte in conto terzi. [MJ].

Gli input diretti possono essere suddivisi in:

$$Inp_{DIR} = Inp_{GAS} + Inp_{OLIO} + Inp_{MAN} + Inp_{FER} + Inp_{ERB} + Inp_{ANT} + Inp_{H2O} + Inp_{MI} \quad [MJ]$$

essendo:

- Inp<sub>GAS</sub> = Input energetico per il consumo di carburante [MJ];
- Inp<sub>OLIO</sub> = Input energetico per il consumo di lubrificante [MJ];
- Inp<sub>MAN</sub> = Input energetico per la manodopera [MJ];
- Inp<sub>FER</sub> = Input energetico per il consumo di fertilizzanti [MJ];

- $Inp_{ERB}$  = Input energetico per il consumo di erbicidi [MJ];
- $Inp_{ANT}$  = Input energetico per il consumo di antiparassitari [MJ];
- $Inp_{H_2O}$  = Input energetico per il consumo di acqua [MJ];
- $Inp_{MI}$  = Input energetico per materiale di impianto [MJ];

mentre quelli indiretti risultano dalla:

$$Inp_{IND} = \sum Inp_M \quad [MJ]$$

essendo:

- $Inp_M = Inp_{TR/SMV} + Inp_{MO}$ , input energetico per l'impiego di macchine-impianti [MJ];

in cui:

- $Inp_{TR/SMV}$  = Input energetico per trattori e macchine semoventi [MJ];
- $Inp_{MO}$  = Input energetico per macchine operatrici [MJ];

Gli input energetici diretti vengono calcolati sulla base dei consumi di carburante e lubrificante precedentemente definiti nell'analisi economica e delle dosi applicate per i diversi prodotti.

Fattore di produzione	Unità di misura	Valore
Gasolio	MJ/kg	51,50
Lubrificante	MJ/kg	83,70
Manodopera	MJ/h	2,30
Fertilizzanti azotati	MJ/kg	74,00
Fertilizzanti fosfatici	MJ/kg	13,74
Fertilizzanti potassici	MJ/kg	8,82
Erbicidi	MJ/kg	201,80
Antiparassitari	MJ/kg	149,60
Talee	MJ/kg <sub>ta</sub>	18,50

**Tabella 3.** Contenuti energetici dei fattori di produzione (Jarach, 1985).

Gli input energetici indiretti sono legati all'utilizzo nel corso del ciclo produttivo di impianti e macchine necessarie per l'esecuzione delle diverse operazioni di filiera. A tal proposito, il modello considera il contenuto di energia primaria di trattori e operatrici ( $C_{EMB}$ ) dato dalla somma dell'energia incorporata ("embedded") nelle materie prime e dei costi di produzione, trasporto e manutenzione (pari a 92 e 69 MJ/kg, rispettivamente, per trattori-operatrici semoventi e operatrici).

Il contenuto di energia primaria ( $C_M$ ) di un trattore, di un'operatrice o, eventualmente, di un impianto di massa  $M$  è, pertanto, dato da:

$$C_M = M \cdot C_{EMB} \quad [MJ]$$

Il contenuto energetico di ogni fattore di produzione a logorio parziale così calcolato deve essere, in ogni caso, distribuito nel corso di tutti gli anni della sua vita utile. Tale ripartizione, per trattori e macchine, avviene generalmente secondo la seguente espressione:

$$Inp_M = C_M / (V_u \cdot h_{aa})$$

essendo:

- $Inp_M$  = Input energetico "embedded" macchina per l'operazione specifica [MJ/anno];

- $C_M$  = contenuto di energia primaria [MJ];
- $V_u$  = vita utile [h];
- $h_{aa}$  = impiego annuo [h/anno].

Tale approccio però, non considerando che macchine e impianti possono venir utilizzati per un periodo di tempo inferiore alla loro vita utile, può comportare una sottostima degli input indiretti. Poiché, in Italia, soprattutto per quanto riguarda i trattori si registra un impiego annuo modesto e assai lontano dalla vita utile annua (h/anno) (Pellizzi, 1996), SEA, per tener conto di questa realtà e del fatto che una macchina può essere utilizzata anche su SAU<sub>trad</sub>, calcola  $Inp_M$  come:

$$Inp_M = [C_M / (h_{aa} \cdot D_E)] \cdot h_{aaCE}$$

essendo:

- $Inp_M$  = Input energetico “*embedded*” macchina per l’operazione specifica [MJ/anno];
- $C_M$  = contenuto di energia primaria [MJ];
- $h_{aa}$  = impiego annuo [h/anno];
- $D_E$  = obsolescenza tecnica [anni];
- $h_{aaCE}$  = impiego annuo su SAU<sub>ene</sub> [h/anno].

Per quanto riguarda eventuali operazioni svolte da aziende agromeccaniche ( $Inp_{CT}$ ), la spesa energetica totale viene ottenuta moltiplicando la “tariffa energetica” di ciascuna specifica operazione per il numero di volte che, nel corso dell’intero ciclo, la stessa viene eseguita. La “tariffa energetica” è calcolata con metodologia identica a quella delle altre operazioni ma adottando un impiego annuo, ottenuto dividendo la vita utile per l’obsolescenza tecnica dell’operatrice impiegata.

Gli output energetici ( $Out_{EN}$ ) derivano dalla somma tra l’energia contenuta nel prodotto principale di filiera e quella negli eventuali sottoprodotti.

Noti output e input di filiera vengono calcolati l’EROEI (rapporto  $Out_{EN}/Inp_{EN}$ ) e la spesa energetica per unità di prodotto (rapporto  $Inp_{EN}/$ massa totale di prodotto).

#### 4.2.3 Analisi ambientale

Anche nella valutazione ambientale, per il calcolo delle emissioni totali ( $EM_{GHG}$ ) legate al processo produttivo, sono distintamente computate le emissioni dirette ( $EM_{DIR}$ ) e quelle indirette ( $EM_{IND}$ ). A differenza dall’analisi energetica, in questo caso, tra quelle dirette vengono considerate solo le emissioni derivanti dal consumo dei fattori produttivi a logorio totale mentre in quelle indirette si considerano le emissioni legate alla produzione dei fattori produttivi immessi nella filiera:

$$EM_{GHG} = EM_{DIR} + EM_{IND} \quad [t \text{ CO}_2 \text{ eq}].$$

Mediante opportuni fattori di conversione (Tabelle 3 e 4), noti i consumi di carburante nelle varie operazioni (cfr. analisi economica), si ottengono le emissioni di  $CO_2$ ,  $CH_4$  e  $N_2O$  nonché quella in  $CO_2$  equivalente.

Per quanto riguarda le emissioni indirette dovute all’impiego di altri fattori di produzione (fertilizzanti, fitofarmaci, talee-sementi, ecc.) SEA considera l’energia necessaria per produrli e calcola l’emissione in  $CO_2$  equivalente sulla base dell’emissione unitaria media ( $kg \text{ CO}_2/MJ$  di energia prodotta). Tale fattore, variabile su base nazionale, indica la quantità di gas a effetto serra, espressa in  $CO_2$  equivalente,

immessa nell'atmosfera per unità di energia prodotta; nelle simulazioni è impostato come valore di default 0,575 kg CO<sub>2</sub>/kWh.

$$EM_{IND} = (Inp_{FER} + Inp_{ANT} + Inp_{ERB} + Inp_{MI} + Inp_{H2O}) \cdot 0,575 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$$

Gas	Fattori emissivi [kg CO <sub>2</sub> eq/MJ]	GWP(*)
CO <sub>2</sub>	0,074	1
CH <sub>4</sub>	4·10 <sup>-6</sup>	21
N <sub>2</sub> O	2,8·10 <sup>-5</sup>	310

Note: (\*) Global Warming Potential: misura il contributo di un gas all'effetto serra ed è calcolato per uno specifico periodo di tempo. Questo indice è basato su una scala relativa che confronta il gas considerato con un'uguale massa di CO<sub>2</sub>, il cui GWP è, per definizione, pari a 1. Complessivamente vengono emesse circa 3,6 kg di CO<sub>2</sub>eq/kg di gasolio

**Tabella 4.** Fattori emissivi per il gasolio (PCI = 42,69 MJ/kg).

Calcolate le emissioni complessive (t CO<sub>2</sub> eq) la stima degli assorbimenti è ottenuta considerando che il sequestro di CO<sub>2</sub> può avvenire nella parte epigea della coltura in quella ipogea e anche nel suolo (principalmente per le colture poliennali).

Noti il contenuto in C della biomassa e la biomassa totale prodotta, è possibile calcolare la quantità di CO<sub>2</sub> rimossa:

$$SE_{CO_2} = [(B_{EPI} \cdot C_{BEP}) + (B_{IPO} \cdot C_{BIP}) + B_{SUO}] \cdot k$$

essendo:

- SE<sub>CO<sub>2</sub></sub> = CO<sub>2</sub> sequestrata nel corso del ciclo colturale;
- B<sub>EPI</sub> = Biomassa epigea (t<sub>ss</sub>/ha), è la più importante fonte di accumulo del C sequestrato dall'atmosfera; per le colture in cui il prodotto utile è costituito dall'intera pianta può essere assimilata alla resa. Per le coltivazioni poliennali (es. SRF) è data dalla somma della biomassa prodotta nel corso dell'intero ciclo;
- B<sub>IPO</sub> = Biomassa ipogea (t<sub>ss</sub>/ha); rappresenta il C accumulato negli apparati radicali, per valutarne l'entità si fa riferimento al rapporto Radici/Fusto che è caratteristico per ogni specie e coltura (Fiorense et al., 2007) (Anfodillo et al., 2007);
- C<sub>BEP</sub> / C<sub>BIP</sub> = Percentuale in C della biomassa epigea (varia in funzione della specie coltivata) (Waring, 1998) e ipogea (generalmente assunta pari al 50%);
- B<sub>SUO</sub> = C rimosso dal suolo (per le colture energetiche 0,2 t C/ha · anno, per le colture erbacee annuali tende a essere nullo, causa frequenti arature) (IPCC, 2000);
- k = 3,66, fattore di conversione tra C e CO<sub>2</sub>.

#### 4.3 Applicazione di SEA: un esempio

Di seguito viene riportata l'applicazione di SEA alla filiera legno-energia in Pianura Padana in aziende in cui parte della SAU è convertita a pioppo da biomassa. La SAU<sub>TOT</sub> è pari a 60 ha, nella simulazione viene ipotizzata la conversione a SRF di quote crescenti di superficie (SAU<sub>ene</sub>) mentre su SAU<sub>trad</sub> è ipotizzata la coltivazione di mais da foraggio.

La SRF è condotta secondo l'apposito disciplinare di produzione (CNER, 2006); in Tabella 5 sono riportate le operazioni condotte nel corso dell'intero ciclo colturale (15 anni) e la relativa meccanizzazione. Il turno di ceduzione è biennale, la resa è pari a 30

$t_{iq}$ /ha·anno ( $U = 55\%$ ) e il prezzo di vendita di 30 €/t<sub>iq</sub>; tutti gli impianti beneficiano dei contributi previsti dal PSR Regione Lombardia (70% delle spese di impianto). Per quanto riguarda i fattori di produzione (talee, fertilizzanti, diserbanti, anticrittogamici, acqua, ecc.) l'esempio riportato considera i livelli di Tabella 6.

OPERAZIONE	MACCHINE OPERATRICI		TIPO ACCOPP., DIMENSIONE (*)	IMPIEGO ANNI [PASSAGGI]	
				su SRF	su SAU <sub>trad</sub>
Diserbo (rizomatose)	Irroratrice	parco aziendale	PP, 15 m, 1000 dm <sup>3</sup>	1-2 [1]	-
Diserbo (non rizomatose)	Irroratrice	parco aziendale	PP, 15 m, 1000 dm <sup>3</sup>	2 [1]	da 1 a 15 [1]
Lavorazione 1aria	Aratro versoio	parco aziendale	P, bivomere	2 [1]	da 1 a 15 [1]
Lavorazione 2aria	Erpice rotativo	parco aziendale	PP, 2,40 m	2 [1]	da 1 a 15 [1]
Concimazione P e K	Spandiconcime centrifugo	parco aziendale	PP, 1500 dm <sup>3</sup>	2 [1]	da 1 a 15 [1]
Trapianto talee	Trapiantatrice	impresa di servizi	T, monofila	2 [1]	-
Diserbo	Irroratrice	parco aziendale	PP, 15 m, 1000 dm <sup>3</sup>	4-6-8-10-12-14 [1]	-
Concimazione N	Spandiconcime centrifugo	parco aziendale	PP, 1500 dm <sup>3</sup>	3-5-7-9-11-13-15 [1]	da 1 a 15 [1]
Diserbo meccanico	Erpice rotativo	parco aziendale	PP, 2,40 m	da 2 a 15 [3]	-
Trattamento antiparassitario	Irroratrice	parco aziendale	PP, 15 m, 1000 dm <sup>3</sup>	4-6-8-10-12-14 [1]	da 1 a 15 [1]
Taglio e cippatura	FTC +Testata cippatrice	impresa di servizi	Semovente	3-5-7-9-11-13-15 [1]	-
Carico e trasporto in azienda (d = 2 km)	Rimorchi	parco az. e impresa di servizi	T, 22 m <sup>3</sup>	3-5-7-9-11-13-15 [1]	da 1 a 15 [1]
Ripristino finale	Zappatrice	impresa di servizi	P, 1,2 m	15 [1]	-

Note: Accoppiamento: (\*) PP = portato con pdp; P = portato senza pdp; T = trainato

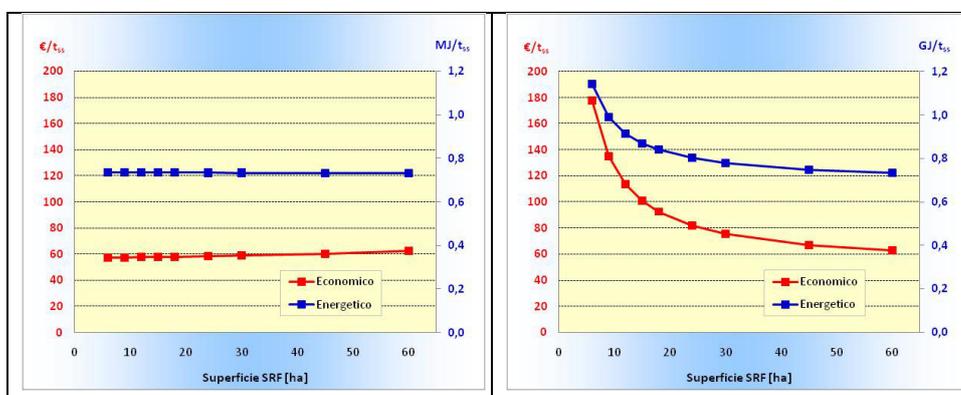
Tabella 5. Operatrici e loro impiego nella meccanizzazione aziendale.

FATTORE PRODUTTIVO	UNITA' MISURA	DOSE
Materiale di impianto	talee/ha	6000
Concimazione azotata di fondo	kg/ha	150
Concimazione fosfatica di fondo	kg/ha	280
Concimazione potassica di fondo	kg/ha	300
Concimazione azotata in copertura	kg/ha·anno	80
Antiparassitari	kg/ha·ciclo	24
Erbicidi	kg/ha·ciclo	40
Acqua	m <sup>3</sup> /ha·anno	400

Tabella 6. Livelli dei fattori di produzione utilizzati nella simulazione.

Considerando i parametri e le informazioni riportate nelle Tabella 5 e 6, il costo di produzione del cippato varia da 57 a 63 €/t<sub>ss</sub> (Figura 1, a sinistra); a tale costo corrisponde una redditività compresa tra 17 e 23 €/t<sub>ss</sub>. Relativamente agli aspetti energetico, il costo di produzione è di circa 0,7 GJ/t<sub>ss</sub> con un “guadagno” energetico di circa 14,5 GJ/t<sub>ss</sub> e un EROEI pari a 21.

In Figura 1 a destra sono, invece, riportati i risultati che si otterrebbero non considerando la ripartizione dei costi (economici e energetici) per le macchine impiegate anche su SAU<sub>trad</sub>. Relativamente al bilancio ambientale al variare della SAU<sub>ene</sub> l’andamento è il medesimo delle prestazioni economiche ed energetiche assestandosi su un valore di 1,13 t CO<sub>2</sub> eq sequestrata per t<sub>ss</sub> di cippato prodotto.



**Figura 1.** A sinistra, prestazioni economiche e energetiche cippato applicando la ripartizione dei Costi Fissi tra le due superfici; a destra, senza ripartizione dei Costi Fissi.

Il completamento di SEA per quanto riguarda le altre fasi di filiera è in fase di studio; ciò comporterà l’aggiunta di altri costi a quelli fin qui computati con l’evidente peggioramento di tutte le prestazioni e, dunque, della sostenibilità complessiva di filiera.

#### BIBLIOGRAFIA

- Anfodillo T., Indagine preliminare sullo stock di carbonio nelle foreste del Veneto, *Regione Veneto*, 2006  
 Fiala, M., Costo di produzione e profitto del pioppo da cippato, *Estimo e Territorio*, 2008, 11.  
 Fiorense G., Energia e nuove colture agricole, *Polipress*, 2007  
 Jarach M., Sui valori di equivalenza per l’analisi e il bilancio energetici in agricoltura, *Rivista di ingegneria agraria*, 1985, 2, 102-114  
 Lazzari M., Mazzetto F., Prontuario di Meccanica Agraria e Meccanizzazione, *Reda*, 2005  
 Pellizzi, G., Meccanica e Meccanizzazione agricola, *Edagricole*, 1996  
 Waring R., Net primary Production of forest: a constant fraction of gross primary production? *Tree Physiology*, 1998, 18, 129-134