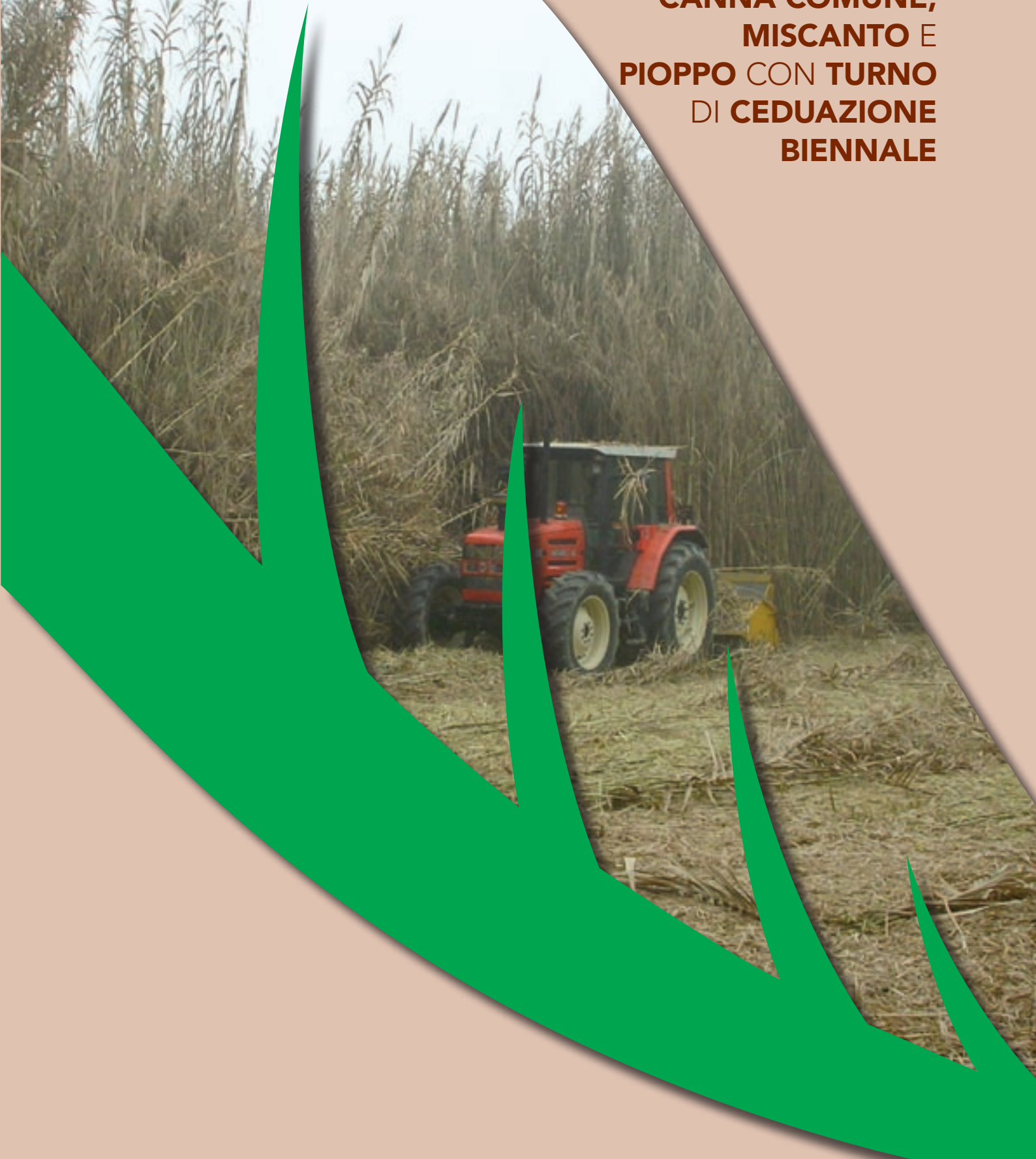


**SOSTENIBILITÀ DI UN MODELLO  
DI FILIERA "BIOMASSE  
COMBUSTIBILI – ENERGIA"  
ALLA PICCOLA SCALA:  
IL CASO DI  
CANNA COMUNE,  
MISCANTO E  
PIOPPO CON TURNO  
DI CEDUAZIONE  
BIENNALE**



## 7. SOSTENIBILITÀ DI UN MODELLO DI FILIERA "BIOMASSE COMBUSTIBILI – ENERGIA" ALLA PICCOLA SCALA: IL CASO DI CANNA COMUNE, MISCANTO E PIOPPO CON TURNO DI CEDUAZIONE BIENNALE

### 7.1 Definizione del modello di filiera agro-energetica

Ai fini della valutazione dei vari aspetti che contraddistinguono la sostenibilità di una filiera "biomasse combustibili – energia" e per poter confrontare le potenzialità delle principali colture energetiche lignocellulosiche è stato definito un apposito modello concernente lo sviluppo di una filiera agro-energetica, alla scala aziendale, per la produzione di biomassa da colture erbacee poliennali e legnose, destinata alla valorizzazione energetica, indirizzata alla copertura dei fabbisogni termici aziendali (autoconsumo).

#### **N.B.**

Nell'ambito del progetto Biocolt sono state studiate alcune delle principali colture agricole a ciclo poliennale atte alla produzione di biomassa lignocellulosica da destinare alla trasformazione in biocombustibili e, in una seconda fase, alla generazione di energia termica e/o elettrica.

All'interno del paniere delle colture considerate, che si ricorda essere la canna comune, il miscanto, il panico, la loiessa, la festuca ed il pioppo con turno di ceduzione biennale, sono state individuate tre colture di riferimento, alla luce delle risultanze sperimentali ottenute e dai ragguardevoli riscontri bibliografici: la canna comune, il miscanto ed il pioppo.

Il percorso seguito per definire gli assunti di base del modello di filiera agro-energetica prevede, in primo luogo, la stesura, per ogni singola coltura, di specifiche schede agronomiche che stabiliscano una corretta tecnica di coltivazione, dalla scelta del materiale di propagazione, alle fasi iniziali di impianto, alla fase di gestione e di raccolta, sino al ripristino del terreno a fine ciclo. Le schede agronomiche sono quindi il riferimento tecnico su cui sono stati stimati i costi di coltivazione e raccolta della biomassa. Trattandosi di una scheda agronomica "tipo", ogni operatore della filiera deve adattare il modello alle proprie specifiche esigenze per poter determinare con maggior precisione i costi di produzione della

biomassa e quindi valutare la sostenibilità economica dell'iniziativa.

In secondo luogo è stato dimensionato il modello di filiera agro-energetica, ipotizzando la realizzazione di una centrale termica a biomasse alimentata a trinciato o cippato, funzionale al soddisfacimento del fabbisogno energetico (termico) di una ipotetica azienda agricola nel comprensorio del Bacino Scolante in laguna di Venezia.

La scelta di alimentare la centrale termica con il materiale vegetale sminuzzato (trinciato o cippato), piuttosto che densificato, è basata su considerazioni di tipo economico. Il modello di filiera agro-energetica prevede la completa autogestione delle varie attività all'interno dell'azienda agricola: la realizzazione di un impianto di densificazione dedicato alla sola produzione del biocombustibile necessario ai fabbisogni della centrale termica comporta un incremento dei costi di produzione del biocombustibile tale da non rendere sostenibile economicamente l'iniziativa (come riportato al termine del presente capitolo).

La filiera agro-energetica è ipotizzata alla piccola scala, con un limitato raggio di approvvigionamento della biomassa (2 km); il trasporto del materiale vegetale raccolto è effettuato da una o più trattrici con carro (portata volumetrica di 30 m<sup>3</sup>). La centrale termica è situata all'interno del centro aziendale, quindi la movimentazione del biocombustibile è limitata ed interna alla stessa azienda, e viene realizzata mediante pala gommata.

Il modello definisce la potenza della centrale energetica, il fabbisogno di energia in ingresso alla centrale in relazione alle esigenze termiche aziendali ed al rendimento dell'impianto, il relativo fabbisogno di biomassa combustibile, le superfici agricole necessarie per la produzione della biomassa, la filiera di produzione e di approvvigionamento del biocombustibile, nonché tutti i fattori correlati alla logistica dei materiali vegetali (trasporto, movimentazione, stoccaggio).

In Tabella 7.1 sono riportate, per ogni coltura dedicata, le stime di produzione della biomassa al momento della raccolta. Per la canna comune ed il miscanto si prevede una raccolta annuale a partire dal secondo anno di impianto; per il pioppo è invece prevista una raccolta biennale della coltura, sempre a partire dal secondo anno. Sono definiti, inoltre, il

contenuto idrico della biomassa alla raccolta e le perdite di sostanza secca relative alla raccolta (perdite in campo) e allo stoccaggio (perdite per degradazione microbica).

**N.B.**

Il ciclo di vita utile degli impianti a colture poliennali è stato ipotizzato pari a 12 anni, anche se diverse esperienze mostrano che gli impianti di canna comune e di miscanto conservano buone produzioni di biomassa anche oltre il quindicesimo anno.

Per quanto attiene le stime produttive sono stati valutati sia i valori riscontrati nell'ambito del progetto Biocolt sia i numerosi dati disponibili in bibliografia. Le produzioni ipotizzate sono relative ad un terreno di medio-bassa fertilità, alla luce della propensione, in particolare per la canna comune ed il miscanto, di sviluppare tali colture su terreni marginali.

Al termine del periodo di condizionamento (essiccazione naturale) e di stoccaggio della biomassa, ipotizzabile in 7-8 mesi per la canna comune ed il miscanto e per un tempo potenzialmente maggiore per il pioppo SRF stante la raccolta biennale della

coltura, si otterrà un biocombustibile pronto all'utilizzo in caldaia.

In funzione della coltura energetica considerata, in Tabella 7.2 sono riportate le principali caratteristiche del biocombustibile ottenuto, relative al contenuto idrico ed al potere calorifico inferiore.

**N.B.**

Il modello prevede lo stoccaggio della biomassa trinciata in cumulo, su piazzale, mediante la copertura con uno speciale tessuto in polipropilene che permette di far traspirare l'umidità prodotta dal materiale stoccato e, contemporaneamente, impedisce la penetrazione dell'acqua meteorica, a garanzia di una graduale essiccazione e maturazione del biocombustibile.

Nel corso della fase di stoccaggio si assiste, in particolare per le colture di pioppo e di canna comune, all'instaurarsi di fenomeni fermentativi, dovuti all'elevato contenuto idrico del materiale vegetale alla raccolta; tali fenomeni determinano, oltre all'essiccazione della biomassa, anche una consistente diminuzione di peso dovuta sia alla perdita d'acqua per evaporazione, sia di sostanza secca per degradazione microbica.

**Tabella 7.1: definizione della filiera agro-energetica – sezione agronomica e di produzione della biomassa.**

	U.M.	Canna comune	Miscanto	Pioppo (taglio biennale)
Contenuto idrico della biomassa alla raccolta	(%)	55	15	55
Produzioni stimate di biomassa (tal quale)				
<i>I anno</i>	(t/ha)	-	-	-
<i>II anno (I ciclo taglio)</i>	(t/ha)	64,0 *	15,0	37,8
<i>III anno - XII anno (II - VI ciclo di taglio)</i>	(t/ha)	70,0	25,0	57,8
Produzioni stimate di biomassa (sostanza secca)				
<i>I anno</i>	(t/ha)	-	-	-
<i>II anno (I ciclo taglio)</i>	(t/ha)	28,8 *	12,7	17,0
<i>III anno - XII anno (II - VI ciclo di taglio)</i>	(t/ha)	31,5	21,3	26,0
Perdite di raccolta	(% s.s.)	5	7	5
Perdite di stoccaggio	(% s.s.)	20	3	15

\* raccolto della produzione di biomassa del primo e del secondo anno (la canna ha un ciclo di sviluppo biennale)

**Tabella 7.2: definizione della filiera agro-energetica – caratteristiche energetiche del biocombustibile prodotto.**

	U.M.	Canna comune	Miscanto	Pioppo (taglio biennale)
Contenuto idrico	(%)	20	15	20
Potere calorifico inferiore	(MWh/t)	3,70	4,00	4,00



Le produzioni in campo di biomassa tal quale, per unità di superficie, nei dodici anni di vita utile considerati per gli impianti coltivati a colture poliennali, sono riportate in Tabella 7.3. In relazione alle percentuali di perdita di biomassa nel corso della fase di raccolta, nonché delle perdite di sostanza secca e contenuto idrico durante la fase di stoccaggio in cumulo (variabili in funzione delle caratteristiche della biomassa di partenza), le colture energetiche poliennali considerate hanno evidenziato una contrazione rilevante in termini di produzione di biocombustibile per unità di superficie (Tabella 7.3): la densità energetica è pari a circa 101, 80 e 49 MWh/ha/anno, rispettivamente per la canna comune, il miscanto ed il pioppo.

Il modello evidenzia sin da subito la maggior rilevanza in termini energetici delle due colture erbacee poliennali rispetto alla coltura legnosa a ceduzione biennale.

Il modello prevede la realizzazione di una centrale termica della potenza nominale di 200 kW (Tabella 7.4). La caldaia utilizzata è di tipo innovativo, in grado di gestire biocombustibili dall'elevato contenuto in ceneri, in relazione alla presenza di una particolare griglia di combustione (mobile e/o vibrante), con sistemi automatici di rimozione delle ceneri e di pulizia dello scambiatore di calore, e sonda lambda per la gestione del processo di combustione.

Si stima un funzionamento dell'impianto pari a 1.500 ore/anno, a fronte di un fabbisogno di energia termica pari a 300 MWh/anno. In relazione al rendimento termico dell'impianto considerato, il fabbisogno

energetico in ingresso alla caldaia (*input energetico*) è pari a 353 MWh.

#### N.B.

Il modello ha ipotizzato un valore di efficienza energetica pari all'85%, stante la soglia minima fissata nel Piano di Sviluppo Rurale della Regione Veneto, programmazione 2007-2013, per poter accedere alle misure contributive previste; si tratta di un valore di efficienza energetica elevato, che comporta l'acquisizione di impianti termici di alta qualità.

Sulla base delle ipotesi convenute nel modello, si stima un fabbisogno annuo di biocombustibile variabile tra 88 e 95 t/anno; in relazione alla coltura energetica considerata, si ricava che le superfici agricole necessarie a coprire tale fabbisogno variano tra circa 3 ha per la canna comune ed i quasi 7 ha per il pioppo; il miscanto si pone in una situazione intermedia con quasi 4 ha (Tabella 7.5). Si osserva, quindi, il maggior impiego di superficie agricola nel caso siano utilizzati biocombustibili provenienti dalla coltivazione di pioppo a ceduzione biennale, rispetto alla coltivazione di colture erbacee di canna comune e miscanto.

Nell'analisi economica della filiera (vedi paragrafo 7.2.1) il maggior "impiego" di superficie agricola è stato computato introducendo la voce "interesse sul capitale fondiario".

**Tabella 7.3: definizione della filiera agro-energetica – produzione di biomassa e di biocombustibile di un impianto dedicato, nei 12 anni di vita utile.**

	U.M.	Canna comune	Miscanto	Pioppo (taglio biennale)
Produzione di biomassa *	(t/ha)	764,0	265,0	310,0
Produzione di biocombustibile **	(t/ha)	326,6	239,1	148,4

\* contenuto idrico della biomassa alla raccolta del 55%, 15% e 55% rispettivamente per canna comune, miscanto e pioppo

\*\* contenuto idrico del biocombustibile prodotto del 20%, 15% e 20%, rispettivamente per canna comune, miscanto e pioppo

**Tabella 7.4: definizione del modello di filiera agro-energetica – sezione energetica.**

	U.M.	Valore
Potenza nominale centrale termica	(kW)	200
Ore di funzionamento annuo	(h)	1.500
Rendimento medio caldaia	(%)	85
Output della centrale termica	(kWh/anno)	300.000
Input della centrale termica	(kWh/anno)	353.000

**Tabella 7.5: definizione del modello di filiera agro-energetica – superfici agricole coinvolte.**

	U.M.	Canna comune	Miscanto	Pioppo (taglio biennale)
Fabbisogno in biocombustibile dell'impianto termico	(t/anno)	95,39	88,24	88,24
Superficie a colture dedicate (piena produzione)	(ha)	3,19	3,91	6,73

## 7.2 Sostenibilità economica del modello di filiera "biomasse combustibili – energia"

La stima del costo di produzione di un biocombustibile di origine agricola deve tener conto di diverse voci, che vanno dai costi di produzione della biomassa in campo (comprensivi dei costi di raccolta e trasporto al centro aziendale), agli interessi sul capitale fondiario, ai costi di movimentazione e stoccaggio della biomassa ed ai costi di trasporto del biocombustibile ottenuto alla bocca dell'impianto energetico. La somma di tutti i costi sostenuti nel corso dei dodici anni di vita utile dell'impianto produttivo, espressi per unità di superficie agricola coltivata (ha), opportunamente attualizzati, suddivisa per il quantitativo di biocombustibile complessivamente prodotto, permette in primo luogo di stimare il costo di produzione del biocombustibile (€/t), ed in secondo luogo di stimare il costo di produzione dell'energia in esso contenuta (€/MWh), vero para-

metro di riferimento per il raffronto tra le diverse colture energetiche dedicate.

### 7.2.1 ANALISI DELLE VOCI DI COSTO PER LA PRODUZIONE DELLA BIOMASSA

In Tabella 7.6 è riportata la sintesi della valutazione dei costi annuali di coltivazione della canna comune, comprensivi dei costi di impianto mediante trapianto di rizomi, dei costi annui di conduzione delle pratiche agronomiche e dei costi di ripristino finale del terreno al dodicesimo anno (i costi sono stati stimati in funzione delle schede agronomiche riportate nel capitolo 3). Analogamente, nella Tabella 7.7 e nella Tabella 7.8 sono riportati, rispettivamente, i costi annuali di coltivazione di miscanto e di pioppo a ce-duazione biennale.

I costi sono sinteticamente suddivisi in due distinte voci, i mezzi tecnici (rizomi o talee, fertilizzanti, diserbanti, insetticidi, ecc.) e le operazioni colturali (aratura, erpicatura, trattamenti, raccolta, trasporto, ecc.).

**Tabella 7.6: costi di impianto, coltivazione, espianto e ripristino terreno (€/ha) della canna comune nel corso dei dodici anni di vita utile dell'impianto (ref.: agosto 2009).**

Operazioni	Impianto e I anno		II anno		III – XI anno		XII anno	
	Costi mezzi tecnici	Costi mezzi meccanici	Costi mezzi tecnici	Costi mezzi meccanici	Costi mezzi tecnici	Costi mezzi meccanici	Costi mezzi tecnici	Costi mezzi meccanici
Preparazione del terreno <sup>1</sup>		170						
Concimazione <sup>2</sup>	410	65	50	25	50	25	50	25
Impianto <sup>3</sup>	5.500	1.075						
Diserbo <sup>4</sup>	160	35		40				
Raccolta				400		400		400
Trasporto <sup>5</sup>				365		399		399
Ripristino del terreno <sup>6</sup>							200	845
<b>COSTO ANNUALE</b>	<b>6.070</b>	<b>1.345</b>	<b>50</b>	<b>830</b>	<b>50</b>	<b>824</b>	<b>250</b>	<b>1.669</b>

<sup>1</sup> aratura profonda + 2 erpicature

<sup>2</sup> all'impianto e di copertura con sarchiatura

<sup>3</sup> 0,50 €/rizoma (11.000 rizomi/ha) con intervento irriguo

<sup>4</sup> diserbo chimico e/o meccanico

<sup>5</sup> distanza media di 2 km

<sup>6</sup> trinciatrice forestale + diserbo chimico + aratura

**Tabella 7.7: costi di impianto, coltivazione, espianto e ripristino terreno (€/ha) del miscanto nel corso dei dodici anni di vita utile dell'impianto (ref.: agosto 2009).**

Operazioni	Impianto e I anno		II anno		III – XI anno		XII anno	
	Costi mezzi tecnici	Costi mezzi meccanici	Costi mezzi tecnici	Costi mezzi meccanici	Costi mezzi tecnici	Costi mezzi meccanici	Costi mezzi tecnici	Costi mezzi meccanici
Preparazione del terreno <sup>1</sup>		170						
Concimazione <sup>2</sup>	410	65	50	25	50	25	50	25
Impianto <sup>3</sup>	2.860	875						
Diserbo <sup>4</sup>	175	65						
Raccolta		50		150		150		150
Trasporto <sup>5</sup>				210		350		350
Ripristino del terreno <sup>6</sup>							200	645
<b>COSTO ANNUALE</b>	<b>3.445</b>	<b>1.225</b>	<b>50</b>	<b>385</b>	<b>50</b>	<b>525</b>	<b>250</b>	<b>1.170</b>

<sup>1</sup> aratura profonda + 2 erpicature

<sup>2</sup> all'impianto e di copertura con sarchiatura

<sup>3</sup> 0,22 €/rizoma (13.000 rizomi/ha) con intervento irriguo

<sup>4</sup> diserbo chimico e/o meccanico

<sup>5</sup> distanza media di 2 km

<sup>6</sup> trinciatrice forestale + diserbo chimico + aratura

**Tabella 7.8: costi di impianto, coltivazione, espianto e ripristino terreno (€/ha) del pioppo a ceduzione biennale nel corso dei dodici anni di vita utile dell'impianto (ref.: agosto 2009).**

Operazioni	Impianto e I anno		II anno		III - V - VII - IX - XI anno		IV - VI - VIII - X anno		XII anno	
	Costi mezzi tecnici	Costi mezzi meccanici	Costi mezzi tecnici	Costi mezzi meccanici	Costi mezzi tecnici	Costi mezzi meccanici	Costi mezzi tecnici	Costi mezzi meccanici	Costi mezzi tecnici	Costi mezzi meccanici
Preparazione del terreno <sup>1</sup>		170								
Concimazione <sup>2</sup>	385	75			66	25				
Impianto <sup>3</sup>	1.200	940								
Diserbo <sup>4</sup>	175	330		110	80	195		110		80
Trattamento insetticida	100	70	100	70	100	70	100	70	100	70
Raccolta				400				400		400
Trasporto <sup>5</sup>				257				393		393
Ripristino del terreno <sup>6</sup>										490
<b>COSTO ANNUALE</b>	<b>1.860</b>	<b>1.585</b>	<b>100</b>	<b>837</b>	<b>246</b>	<b>290</b>	<b>100</b>	<b>973</b>	<b>100</b>	<b>1.433</b>

<sup>1</sup> aratura profonda + 2 erpicature

<sup>2</sup> all'impianto e di copertura con sarchiatura

<sup>3</sup> 0,20 €/talea (6.000 talea/ha) con intervento irriguo

<sup>4</sup> diserbo chimico e/o meccanico

<sup>5</sup> distanza media di 2 km

<sup>6</sup> trinciatrice forestale + estirpatura

#### N.B.

Nella valutazione dei costi di trasporto della biomassa raccolta verso il centro aziendale (distanza media 2 km) è stato considerato il diverso peso specifico del materiale trinciato o cippato, ed il quantitativo complessivo di materiale vegetale da movimentare.

Il peso specifico stimato del materiale trinciato è pari a 260 kg/m<sup>3</sup> per la canna comune (umidità del 55%), a 110 kg/m<sup>3</sup> per il miscanto (umidità del 15%) ed a 360 kg/m<sup>3</sup> per il pioppo (umidità del 55%).

La stima dei costi di trasporto del materiale vegetale è quindi pari a 6,00, 15,05 e 7,16 €/t, rispettivamente per canna comune, miscanto e pioppo.

Ai costi annuali di coltivazione delle diverse colture energetiche occorre aggiungere quelli correlati all'interesse sul capitale fondiario. La stima di tale voce è stata fatta in riferimento al canone di affitto medio per terreni da considerarsi marginali, quali sono quelli solitamente utilizzati per la coltivazione di colture energetiche dedicate, depurato di tutte le spese che colpiscono il capitale fondiario (imposte, contributi consortili, ammortamenti, manutenzioni, ecc.); tali costi sono stimati in 400,00 €/ha/anno.

#### 7.2.2. ANALISI DELLE VOCI DI COSTO PER LO STOCCAGGIO E LA MOVIMENTAZIONE DELLA BIOMASSA E DEL BIOCOMBUSTIBILE

Lo stoccaggio della biomassa tal quale è stato ipotizzato su platea in cemento, in cumulo coperto mediante tessuto traspirante, la cui vita utile è fissata in 4 anni. È stata quindi ipotizzata la formazione di due cumuli modulari, in grado di stoccare rispettivamente circa 109 t/cad. di trinciato di canna comune, 46 t/cad. di trinciato di miscanto e 185 t/cad. di cippato di pioppo.

Sono stati considerati i costi di movimentazione per la formazione del cumulo con pala gommata, i costi per l'acquisto del tessuto traspirante (ogni quattro anni), nonché i costi per la definizione finale del cumulo (principalmente manodopera).

Infine, sono stati considerati i costi di movimentazione del biocombustibile mediante pala gommata dal sito di stoccaggio verso il silos dell'impianto termico.

#### N.B.

Il costo di acquisto del telo traspirante è stimato in 2,10 €/m<sup>2</sup>, mentre i costi di formazione del cumulo con pala gommata sono variabili tra 0,40 e 0,60 €/t.

Il costo di movimentazione del biocombustibile verso il silos di stoccaggio della caldaia è stimato in 2,00 €/t per la canna comune ed il pioppo; mentre, in ragione della minore densità del biocombustibile, è pari a 3,00 €/t per il miscanto.

### 7.2.3 ANALISI DEI COSTI DI

#### APPROVVIGIONAMENTO DEL BIOCOMBUSTIBILE

Per la valutazione del costo di produzione ed approvvigionamento di biocombustibile da colture poliennali, quindi del costo del biocombustibile alla bocca dell'impianto termico (€/t), è stato ipotizzato un periodo di coltivazione di 12 anni ed un saggio di attualizzazione dei costi del 2,5%. La sintesi dei risultati, comprensiva dell'analisi del costo dell'energia contenuta nel biocombustibile (€/kWh), è riportata in Tabella 7.9.

Secondo il modello, la canna comune presenta il minor costo di produzione del biocombustibile ma evidenzia un costo di produzione dell'unità di energia contenuta nel biocombustibile intermedio tra le colture di pioppo e di miscanto.

Il miscanto ha evidenziato il minor costo di produzione dell'energia contenuta nel biocombustibile, circa il 7% in meno rispetto alla canna comune ed il 38% in meno rispetto al pioppo a ceduzione biennale.

Il pioppo a turno di ceduzione biennale presenta il maggior costo di produzione del biocombustibile e dell'energia in esso contenuta; tuttavia occorre considerare che la tecnica agronomica prevedeva rilevanti interventi fitosanitari e livelli di fertilizzazione

chimica. In prima analisi, a parità di biocombustibile prodotto, il costo di approvvigionamento stimato può essere ridotto del 15% circa nel caso non siano strettamente necessari gli interventi fitosanitari e si riducano gli *input* alla coltura (nessuna irrigazione e minori apporti di fertilizzanti, in particolare nella concimazione di fondo).

Le tre colture energetiche dedicate considerate nel modello di filiera agro-energetica sono caratterizzate da specifici punti di forza e di debolezza, sintetizzati in Tabella 7.10, fondamentali nella definizione della sostenibilità economica.

#### N.B.

La voce di costo relativa all'interesse sul capitale fondiario incide in modo diverso sulla formazione del costo di produzione ed approvvigionamento del biocombustibile per le tre colture energetiche considerate: per la canna comune ed il miscanto tale incidenza è del 15% circa, mentre per il pioppo in SRF (*Short Rotation Forestry*) sale al 22%: questa differenza è direttamente imputabile alla bassa produzione di biocombustibile per unità di superficie del pioppo rispetto alle due colture erbacee.

**Tabella 7.9: costi di produzione del biocombustibile (€/t) e dell'energia in esso contenuta (€/MWh) per le colture di canna comune, miscanto e pioppo.**

	Costo di produzione unità peso biocombustibile (€/t)	Costo di produzione unità energetica biocombustibile (€/MWh)	Variazione percentuale (Costo energia ref. pioppo) (%)
Canna comune	72,52	19,60	- 33,0
Miscanto	72,82	18,21	- 37,8
Pioppo	117,05	29,26	0

**Tabella 7.10: punti di forza e di debolezza delle colture energetiche per la produzione di biocombustibili.**

	PUNTI DI FORZA	PUNTI DI DEBOLEZZA
Canna comune	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ridotto fabbisogno di <i>input</i> colturali</li> <li>Limitate problematiche fitosanitarie</li> <li>Elevate produzioni annuali di biomassa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prolungata occupazione delle superfici agricole</li> <li>Alti costi di impianto (rizomi e messa a dimora)</li> <li>Meccanizzazione da perfezionare</li> <li>Elevata umidità della biomassa alla raccolta (stoccaggio)</li> <li>Ripristino dei terreni a fine ciclo produttivo</li> <li>Qualità della biomassa combustibile</li> </ul>
Miscanto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ridotto fabbisogno di <i>input</i> colturali</li> <li>Limitate problematiche fitosanitarie</li> <li>Buone produzioni annuali di biomassa</li> <li>Bassa umidità della biomassa alla raccolta (stoccaggio)</li> <li>Qualità del biocombustibile (in funzione del cantiere di raccolta)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prolungata occupazione delle superfici agricole</li> <li>Alti costi di impianto (rizomi)</li> <li>Meccanizzazione da perfezionare</li> <li>Bassa densità del trinciato (movimentazione e stoccaggio)</li> <li>Ripristino dei terreni a fine ciclo produttivo</li> </ul>
Pioppo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualità del biocombustibile</li> <li>Sviluppo della meccanizzazione dei cantieri di raccolta</li> <li>Incentivi per la realizzazione degli impianti (es. PSR)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prolungata occupazione delle superfici agricole</li> <li>Alti costi di impianto (talee)</li> <li>Numero di trattamenti fitosanitari</li> <li>Elevata umidità alla raccolta</li> <li>Diffusione delle macchine per la raccolta</li> <li>Ripristino dei terreni a fine ciclo produttivo</li> </ul>

#### 7.2.4. BILANCIO ECONOMICO DEL MODELLO DI FILIERA "BIOMASSE COMBUSTIBILI – ENERGIA"

Sulla base degli assunti del modello di filiera e della stima del costo di produzione ed approvvigionamento del biocombustibile alla bocca dell'impianto termico, in Tabella 7.11 è stato riportato il confronto tra i costi di produzione dell'unità energetica termica erogata (€/MWh), alimentando l'impianto termico con biocombustibili o con combustibili di origine fossile (metano e gasolio).

Questa valutazione economica è quindi comprensiva dell'investimento e delle spese accessorie per il funzionamento dell'impianto termico. Le assunzioni fatte (es. la scelta del saggio di interesse, della durata dell'investimento, del rendimento medio annuo del generatore, ecc.) ed i valori utilizzati si riferiscono a condizioni medie, tenendo comunque presente il livello di innovazione tecnologica necessario per l'impianto termico ai fini della combustione delle biomasse erbacee.

##### N.B.

Per le biomasse agricole il costo di produzione dell'energia termica, nelle condizioni previste dal modello di filiera, è sempre inferiore rispetto alle fonti fossili. Si conferma quindi la convenienza economica degli impianti a biomassa, in particolare se alimentati con le colture erbacee poliennali di miscanto e di canna comune.

Nel Grafico 7.1 sono riportati i costi di produzione dell'unità energetica erogata (€/MWh) in funzione

del combustibile utilizzato con le medesime assunzioni riportate nella tabella precedente; pur con l'inserimento di un altro combustibile fossile, il GPL, si conferma la convenienza economica nell'utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili studiate.

##### N.B.

Il costo di produzione dell'energia termica dai biocombustibili è inferiore mediamente del 41-49% rispetto al gasolio; tale valore si riduce al 12-24% se il confronto viene fatto con il metano.

Raffrontando i vari biocombustibili studiati, il modello di filiera agro-energetica che prevede la coltivazione del miscanto si è dimostrato il più sostenibile economicamente, con un costo di produzione dell'unità energetica inferiore del 2,8% rispetto alla canna comune e del 13,4% rispetto al pioppo a ceduzione biennale.

Nel Grafico 7.2 è riportata la variazione del costo di produzione dell'unità energetica erogata (€/MWh) in funzione del costo di produzione ed approvvigionamento del biocombustibile (€/t), a parità di costo di investimento iniziale per la realizzazione dell'impianto termico. Dall'analisi del grafico si evince che:

- il costo di produzione dell'energia termica dalle biomasse combustibili (canna comune, miscanto e pioppo) è sempre inferiore rispetto all'utilizzo di fonti fossili (metano, gasolio e GPL, quest'ultimo non riportato);
- rispetto al gasolio la convenienza nell'utilizzo della biomassa si mantiene nell'eventualità di un au-

**Tabella 7.11: costo dell'energia termica erogata (€/MWh) nel caso di utilizzo come combustibile di canna comune, miscanto, pioppo, metano e gasolio (ref.: agosto 2009).**

Impianti e costi operativi	U.M.	Canna comune	Miscanto	Pioppo	Metano	Gasolio
Saggio di interesse	(%)	4	4	4	4	4
Durata dell'investimento	(anni)	15	15	15	15	15
Potenza nominale caldaia	(kW)	200	200	200	200	200
Ore annuo funzionamento	(h)	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
Energia termica utile - Output impianto	(MWh/anno)	300	300	300	300	300
Rendimento medio annuo	(%)	85	85	85	90	88
Fabbisogno energia in ingresso - Input impianto	(MWh/anno)	353	353	353	333	341
<b>Costi di investimento (IVA inclusa)</b>	<b>(€)</b>	<b>115.000</b>	<b>115.000</b>	<b>112.000</b>	<b>26.000</b>	<b>36.000</b>
Costi di capitale (a)	(€/anno)	14.180	14.180	13.810	3.210	4.440
Costo/prezzo unitario del combustibile (IVA inclusa)	(€/U.M.)	72,52	72,82	117,05	0,74	1,12
Spesa annua combustibile (b)	(€/anno)	6.918	6.425	10.328	25.694	38.567
Manutenzione ordinaria e straordinaria (c)	(€/anno)	1.859	1.718	1.641	500	500
<b>COSTI ANNUI (a + b + c)</b>	<b>(€/anno)</b>	<b>22.956</b>	<b>22.323</b>	<b>25.779</b>	<b>29.404</b>	<b>43.507</b>
<b>COSTI UNITÀ ENERGIA EROGATA</b>	<b>(€/MWh)</b>	<b>76,52</b>	<b>74,41</b>	<b>85,93</b>	<b>98,01</b>	<b>145,02</b>

Poteri calorifici impiegati: canna comune (M20) 3,70 kWh/kg; miscanto (M15) 4,00 kWh/kg; pioppo (M20) 4,00 kWh/kg; metano 9,6 kWh/m<sup>3</sup>; gasolio 9,90 kWh/l

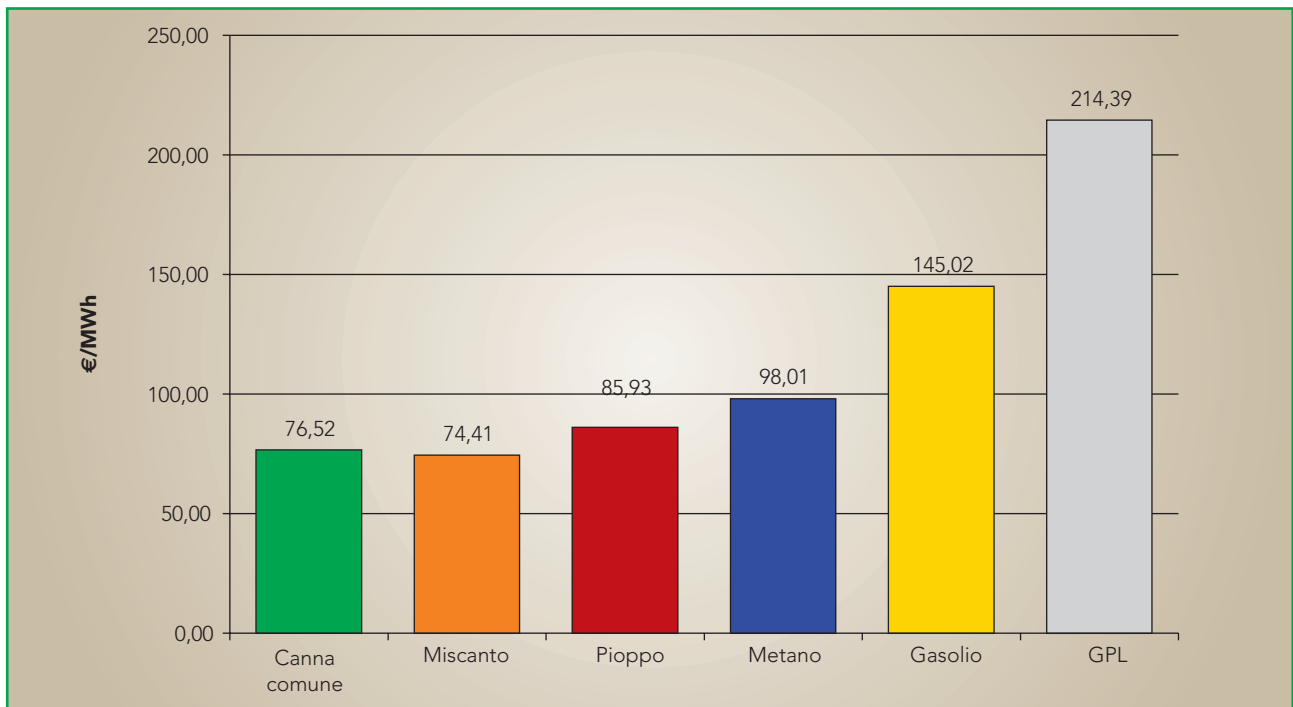


mento dei costi di produzione, che possono derivare sia da un aumento dei quantitativi e/o dei prezzi degli *input* colturali utilizzati, sia da eventuali minori produzioni di biomassa ad ettaro rispetto a quelle attese. Nel caso di diminuzione dei costi di produzione del biocombustibile, che possono derivare sia da maggiori produzioni ad ettaro di biomassa, sia da una riduzione dei costi legati alla tecnica colturale applicata (modalità di raccolta e densificazione, costi di approvvigiona-

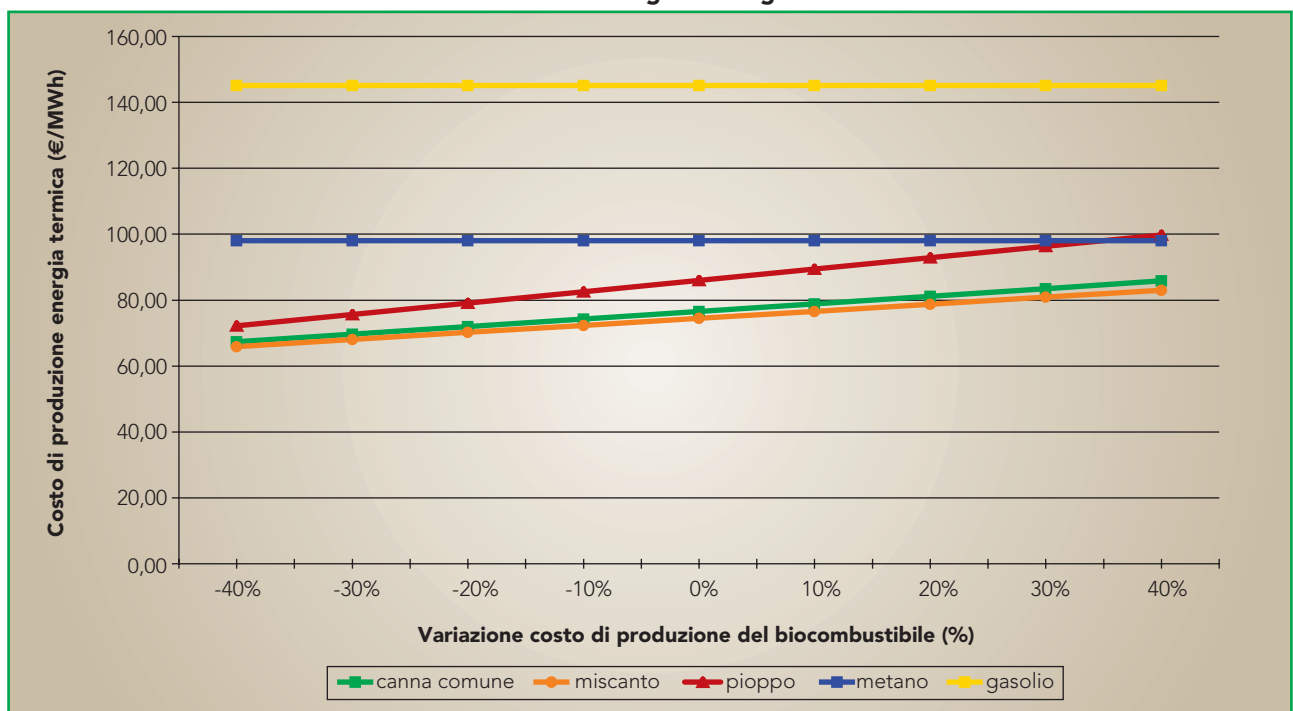
mento materiale di propagazione, ecc.), tale convenienza cresce ulteriormente, rendendo la filiera sempre più sostenibile;

- rispetto al metano, per tutte le colture energetiche considerate si possono prevedere aumenti dei costi di produzione del biocombustibile sino al 30%, pur mantenendo una certa convenienza economica nella produzione di energia termica. Ad ogni modo, la concreta possibilità di competere con il metano si ravvisa solamente nel caso

**Grafico 7.1: costo dell'energia erogata in funzione della tipologia di combustibile utilizzato.**



**Grafico 7.2: analisi di sensitività del costo dell'unità energetica erogata.**



di una riduzione consistente dei costi di produzione del biocombustibile (almeno del 10-20% per il pioppo). La scelta di un'opportuna tecnica di raccolta e densificazione, l'ulteriore sviluppo dei cantieri meccanizzati di raccolta, l'abbattimento dei costi di impianto (grazie ad incentivi dal PSR o mediante lo sviluppo di sistemi vivaistici atti alla

produzione dei rizomi), l'incremento delle produzioni per unità di superficie di biomassa (miglioramento genetico, scelta delle condizioni edafiche ottimali, riduzione delle perdite di raccolta e stoccaggio, ecc.) e la scelta e lo sviluppo di cloni resistenti alle principali fitopatie possono aiutare a raggiungere questo ambizioso obiettivo.

### Riduzione degli input colturali

A titolo esplicativo si fa presente che per la coltura del pioppo l'eliminazione o la riduzione di alcuni input colturali in condizioni di non stretta necessità, quali trattamenti fitosanitari, irrigazione, apporti minerali di sintesi (concimazione di fondo e di mantenimento, in terreni fertili), può determinare, a parità di biomassa prodotta, un abbattimento del costo di produzione del biocombustibile del 14%, che si riflette in una riduzione del costo di produ-

zione dell'unità energetica erogata del 6%, pari a circa 81,00 €/MWh (Tabella 7.12).

Nel caso di canna comune e miscanto, stante il già limitato fabbisogno di input alla coltura, la medesima riduzione porterebbe ad un calo dei costi di produzione del biocombustibile nell'ordine del 3-4%, abbassando il relativo costo di produzione dell'energia erogata rispettivamente a 75,78 €/MWh e 73,47 €/MWh.

**Tabella 7.12: ipotesi di riduzione degli input colturali in condizioni favorevoli e stima del costo di produzione del biocombustibile e dell'unità energetica utile (tra parentesi le relative variazioni rispetto agli assunti del modello).**

	Assunti del modello Costo di produzione		Condizione di riduzione input colturali Costo di produzione	
	Unità biocombustibile (€/t)	Unità energetica utile (€/MWh)	Unità biocombustibile (€/t)	Unità energetica utile (€/MWh)
Canna comune	72,52	76,52	70,18 (-3%)	75,78 (-1%)
Miscanto	72,82	74,41	69,62 (-4%)	73,47 (-1%)
Pioppo	117,05	85,93	100,24 (-14%)	80,99 (-6%)

### Il pioppo in SRF e le misure di sostegno del PSR della Regione Veneto

Il Piano di Sviluppo Rurale della Regione Veneto ha attivato specifiche misure di sostegno (es. la misura 121 per il pioppo) che consentono di ridurre i costi di impianto per alcune colture energetiche. In questo caso la convenienza economica non è in termini assoluti, ma di deciso interesse per l'agricoltore. Nel caso del pioppo a ceduzione breve, in zone non montane, sono previsti incentivi alla realizzazione dell'impianto per una spesa massima ammissibile di 4.000 €/ha, con percentuali di contribuzione variabili dal 30 al 40%, in funzione della tipologia di imprenditore agricolo (giovane o non giovane).

Si tratta di contributi in conto capitale che consentono di ottenere all'agricoltore una riduzione del costo di produzione dell'unità di biocombustibile nell'ordine del 7% e della relativa unità di energia termica, nelle condizioni supposte dal modello di filiera, nell'ordine del 2-3% (Tabella 7.13).

In condizioni di limitati apporti alla coltura (*low input*) e di contemporaneo accesso alla misura 121 del PSR, si stima una riduzione complessiva del costo di produzione del biocombustibile del 20%, mentre il costo dell'unità energetica si può ridurre del 7-9%.

**Tabella 7.13: costi di produzione del biocombustibile e dell'unità energetica utile nel caso di accesso alle misure di sostegno previste dal PSR 2007-2013 per la coltura del pioppo in SRF (misura 121) e contemporanea riduzione degli input alla coltura.**

		Costo produzione unità biocombustibile (valori indicativi) (€/t)	Costo produzione unità energetica utile (valori indicativi) (€/MWh)
Pioppo	Accesso alla misura 121 - PSR Regione Veneto	108,00 – 110,00 (-7%)	83,60 (-2/3%)
	Accesso alla misura 121 - PSR Regione Veneto e riduzione input colturali	93,00 – 95,00 (-20%) *	79,00 (-7/9%) *

\* condizioni *low input* alla coltura di pioppo: irrigazione, fertilizzazione, trattamenti fitosanitari.

Nei Grafici 7.3 e 7.4 sono riportati i flussi di cassa attualizzati (costo opportunità fissato al 4%) derivanti dall'investimento iniziale per la realizzazione della centrale a biomasse, valutando i mancati costi derivanti dall'utilizzo del biocombustibile (canna comune, miscanto e pioppo) in sostituzione del combustibile di origine fossile (metano e gasolio); il periodo di riferimento dell'analisi economica è di 10 anni.

L'analisi economica riporta la variazione del Valore Attuale Netto (VAN) in relazione alla possibilità o meno di accedere ad incentivi di natura pubblica per la realizzazione dell'impianto energetico, attraverso le tradizionali misure di sostegno (es. PSR). Sono state quindi considerate due situazioni economiche:

- nessun incentivo;
- incentivo del 30% sull'investimento iniziale (impianto termico) – livello di contribuzione previsto dal PSR della Regione Veneto (misure 121 o 311).

All'interno di queste casistiche si riscontrano la maggior parte dei livelli di contribuzione percepibili da parte delle aziende agricole in Veneto per la realizzazione di un impianto destinato alla produzione ed

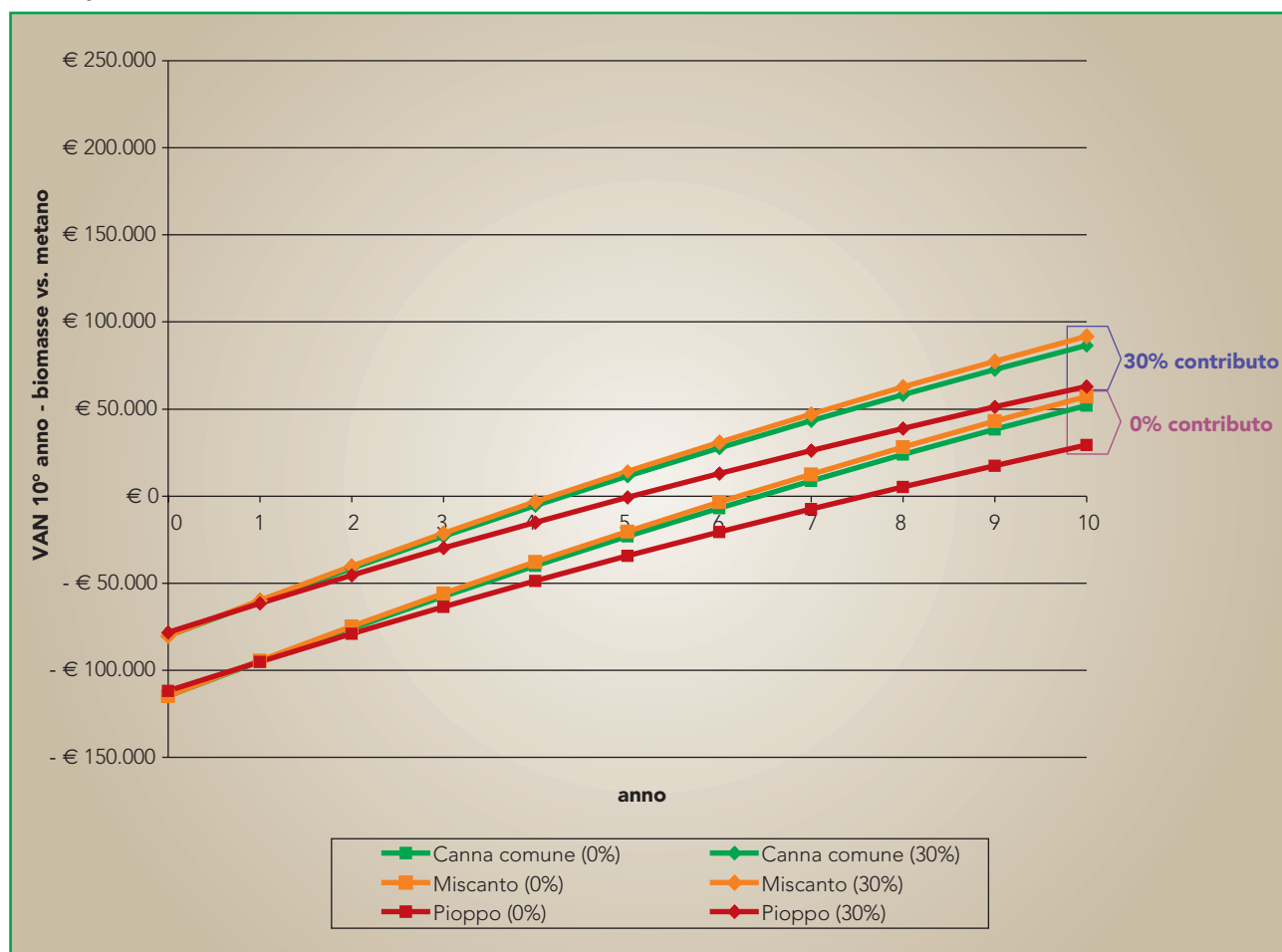
autoconsumo di energia da fonte rinnovabile e/o per la cessione dell'energia a terzi.

Il modello di studio ha evidenziato che la sostituzione di un impianto termico alimentato a gasolio, o a metano, con una centrale termica a biomasse, il cui approvvigionamento di biocombustibile è garantito dalla realizzazione di una specifica filiera agro-energetica rivolta alla coltivazione di colture erbacee poliennali o legnose a breve turno di ceduzione, è sempre sostenibile economicamente.

Per quel che riguarda il gasolio, in ragione del maggior costo del combustibile sostituito, l'applicazione del modello di filiera a realtà agricole appare economicamente molto interessante, indipendentemente dalla coltura energetica coltivata. Nel caso del metano, invece, l'applicazione del modello di filiera agro-energetica evidenzia che solamente le colture erbacee poliennali possono dar luogo a tempi di ritorno dell'investimento accettabili (6 anni).

L'accesso alle misure di sostegno per la realizzazione della centrale a biomassa consente di ridurre in modo consistente i tempi di ritorno dell'investimen-

**Grafico 7.3: variazione del Valore Attuale Netto (VAN) della centrale a biomasse, in relazione al combustibile fossile sostituito (metano), al biocombustibile utilizzato ed alla percentuale di contribuzione alla realizzazione dell'impianto termico.**



to iniziale, rendendo di fatto interessante anche la coltura legnosa del pioppo a turno di ceduzione breve, per la sostituzione di impianti a metano, abbattendo i tempi di ritorno dell'investimento a 5 anni.

La possibilità di accedere a ulteriori finanziamenti di natura pubblica, che possono essere legati alla realizzazione degli impianti per la coltivazione delle biomasse (misura 121 del PSR per la realizzazione dei pioppeti SRF), nonché l'utilizzo di tecniche di coltivazione a basso *input* e la realizzazione di sistemi di produzione del materiale di propagazione a basso costo (es. attività vivaistica per la produzione dei rizomi), consentirebbero di rendere economicamente molto più interessante per il settore agricolo l'avvio di queste filiere agro-energetiche e quindi di favorire la diffusione sul territorio.

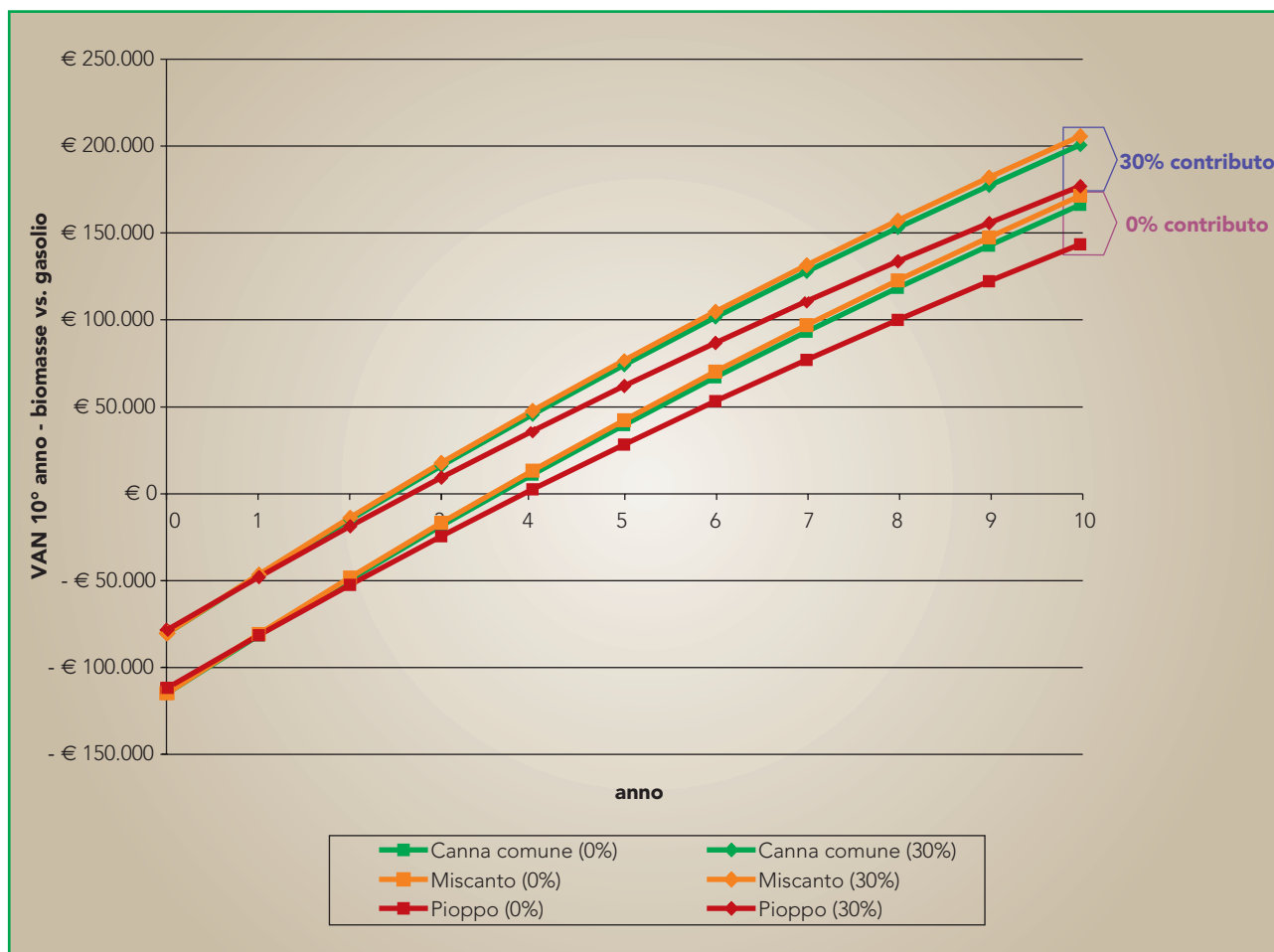
**N.B.**

Lo studio del valore attuale netto (VAN) e del tempo di ritorno dell'investimento (TRI) mette ancor più in evidenza la maggior sostenibilità economica delle filiere agro-energetiche che prevedono la coltivazione di colture erbacee poliennali (canna comune e miscanto) in luogo del pioppo a ceduzione biennale.

In assenza di aiuti agli investimenti, il TRI per le colture erbacee varia da 3 a 6 anni circa, a seconda del combustibile fossile sostituito. L'accesso a finanziamenti di natura pubblica per la realizzazione della centrale termica a biomassa permette di ridurre il TRI di circa uno o due anni.

In generale, per il pioppo a ceduzione biennale il TRI è superiore di circa uno o due anni rispetto alle colture erbacee poliennali.

**Grafico 7.4: variazione del Valore Attuale Netto (VAN) della centrale a biomasse, in relazione al combustibile fossile sostituito (gasolio), al biocombustibile utilizzato ed alla percentuale di contribuzione alla realizzazione dell'impianto termico.**



## 7.2.5 ANALISI DELLA MARGINALITÀ LORDA DELLE COLTURE ENERGETICHE POLIENNALI

Nell'ambito del territorio del Bacino Scolante, la coltura agricola prevalente è il mais; questa coltura è caratterizzata da elevati livelli di fertilizzazione azotata e rappresenta quindi uno dei principali fattori di rischio per l'inquinamento delle acque.

Il mais negli ultimi anni sta attraversando risultati economici di segno alterno, stante l'altissima variabilità del prezzo di mercato della granella, oggetto di speculazioni di ogni genere. La sostituzione di questa coltura, che può essere considerata di riferimento, con colture energetiche poliennali, dall'impatto ambientale sicuramente più contenuto, deve comunque presupporre una sostenibilità economica ed una marginalità lorda equiparabile e/o superiore a quella del mais.

In relazione a quanto premesso, sono stati stimati i costi medi di produzione del mais nel territorio del Bacino Scolante, ipotizzando una produzione media di 10 t/ha di granella verde, con un contenuto idrico del 25% (Tabella 7.14).

**Tabella 7.14: stima dei costi di produzione del mais nel territorio del Bacino Scolante (irriguo).**

Operazioni	Mais (€/ha)	
	Costi mezzi tecnici	Costi mezzi meccanici
Preparazione del terreno <sup>1</sup>		205,00
Concimazione <sup>2</sup>	345,00	47,00
Semina	159,00	45,00
Diserbo <sup>3</sup>	120,00	86,00
Irrigazione		200,00
Raccolta e trasporto <sup>4</sup>		160,00
<b>COSTO PARZIALE</b>	<b>624,00</b>	<b>743,00</b>
<b>COSTO TOTALE</b>	<b>1.367,00 €/ha</b>	

<sup>1</sup> Aratura + 2 erpature

<sup>2</sup> In pre-semina (8-24-24 per 300 kg/ha) e in copertura (urea 46%, 500 kg/ha)

<sup>3</sup> Diserbo chimico e meccanico (sarchiatura)

<sup>4</sup> Distanza media di 5 km



Per quanto riguarda le colture energetiche poliennali, in relazione alle considerazioni produttive ed economiche precedentemente esposte (modello di filiera), sono stati stimati i costi medi annuali di produzione e trasporto della biomassa tal quale e del biocombustibile, espressi per unità di superficie (Tabella 7.15).

**Tabella 7.15: stima dei costi medi annuali di produzione e trasporto della biomassa tal quale e del biocombustibile.**

	Biomassa tal quale (€/ha/anno)	Biocombustibile (€/ha/anno)
Canna comune	1.906,00	2.243,00
Miscanto	1.207,00	1.451,00
Pioppo	1.273,00	1.422,00

Le diverse colture sono state analizzate e confrontate calcolando il rispettivo margine lordo (valore medio per le colture poliennali) in funzione del prezzo di conferimento del prodotto (granella verde, biomassa tal quale e biocombustibile); in questo caso si considera quindi la vendita delle produzioni primarie e non la loro trasformazione energetica. Occorre comunque specificare che le valutazioni sulla coltura del mais sono state fatte considerando una realtà media del Bacino Scolante (come produttività, terreno, ecc.), mentre per le colture energetiche si è operato tendenzialmente su realtà marginali.

La valutazione del margine lordo medio annuo di una coltura energetica si scontra con la difficoltà nello stabilire il prezzo di vendita delle biomasse prodotte a pieno campo, in mancanza di un preciso mercato di riferimento (soprattutto per le biomasse erbacee). Nel Grafico 7.5 è riportata la valutazione del margine lordo delle coltivazioni in funzione del prezzo di conferimento sul mercato, nel caso di vendita della granella verde di mais (produzione di 10 t/ha) e delle biomasse trinciate tal quali (produzioni di 63,7 t/ha, 22,1 t/ha, 25,9 t/ha con un contenuto idrico del 55%, 15%, 55%, rispettivamente per canna comune, miscanto e pioppo).

Nel corso del secondo semestre dell'anno 2009, il mais ha evidenziato un prezzo medio variabile tra circa 120-140 €/t su base secca (fonte: ISMEA), corrispondente ad un prezzo della granella verde (25%) tra 100 e 120 €/t; il margine lordo della coltura del mais nel 2009 è quindi mediamente inferiore a zero; solo aziende o areali agricoli molto competitivi sono in grado, stante i prezzi attuali, di ottenere utili dalla coltivazione di questa coltura in relazione a produzioni più spinte.

Sulla base del margine lordo della coltura del mais

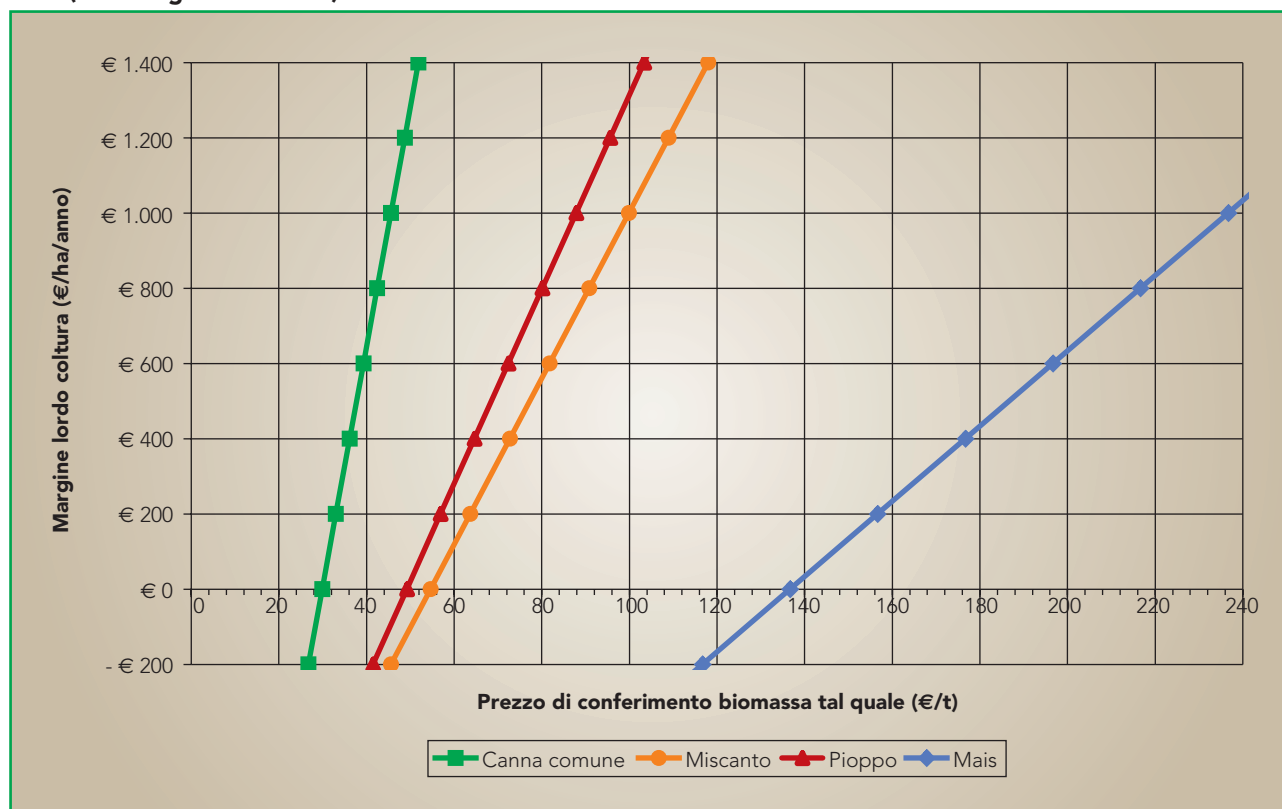
è possibile stabilire una soglia di convenienza, o di raffronto, della vendita della biomassa tal quale derivante dalla coltivazione delle colture energetiche poliennali:

- il prezzo di conferimento del cippato di pioppo (contenuto idrico del 55% - M60) può essere stimato in base alla proposta di mercato per i grandi impianti di combustione di biomassa. A titolo di esempio, il cippato di pioppo su base M40 può essere ritirato ad un prezzo di 80-85 €/t (Meda, comunicazione personale), grazie ad un prezzo minimo garantito (es. 45 €/t), a cui sono aggiunti specifici bonus (contratti pluriennali di ritiro delle produzioni, condivisione del premio sui Certificati Verdi, ecc., diversamente quantificabili). In funzione del contenuto energetico della classe di cippato M60, è possibile quindi stimare un prezzo di conferimento della biomassa tal quale pari a 45-55 €/t, che determina un margine lordo attorno allo zero. Per questa coltura si evidenzia quindi la necessità di ottenere maggiori produzioni di biomassa legnosa per unità di superficie, al fine di garantire un'equa marginalità, stante il già ottimo prezzo di conferimento. La vendita della produzione legnosa tipo "piante in piedi", con un pagamento medio di circa 14-15 €/t (prezzo di mercato), non garantisce invece alcuna redditività alla coltura. Solo specifiche filiere agro-

energetiche, anche su grande scala, in grado di diversificare e garantire il prezzo di conferimento della biomassa (es. legare il prezzo del cippato agli utili dell'impianto energetico - certificati verdi - ed alla durata del contratto di fornitura), possono rendere economicamente sostenibile il pioppo a ceduzione biennale qualora si opti per la vendita della produzione vegetale;

- il prezzo di conferimento del trinciato di canna comune può essere stimato sulla base del prezzo di mercato del cippato di legno, opportunamente ridefinito in relazione al minore potere calorifico e alla minore qualità del biocombustibile. Ipotizzando un prezzo di conferimento per il cippato di pioppo tal quale (M60) pari a 45-55 €/t, per la canna comune si stima un prezzo del trinciato tal quale tra 30 e 35 €/t, in grado di garantire una marginalità tra 0 e 400 €/ha (corrispondente ad un prezzo della granella verde di mais tra 135 e 175 €/t);
- il prezzo di conferimento del trinciato di miscanto può raggiungere prezzi di mercato raffrontabili al cippato M20, in relazione al ridotto contenuto idrico della biomassa alla raccolta e alla buona qualità del biocombustibile. Tale valore, stimabile tra 60 e 80 €/t, consente di ottenere marginalità comprese tra 100 e 600 €/ha (corrispondente ad un valore della granella verde di mais tra 150 e 195 €/t).

**Grafico 7.5: analisi del margine lordo delle colture energetiche poliennali (vendita della biomassa tal quale) e del mais (vendita granella verde).**



Per quanto riguarda le colture erbacee poliennali, non è comunque possibile dare per certi i prezzi di cui sopra, stante la mancanza di un mercato già esistente in grado di confermare la validità delle stime.

In linea di principio è possibile affermare che la vendita della biomassa combustibile è una soluzione che non sempre garantisce la massima sostenibilità economica della filiera. La strategia attraverso la quale si utilizza la biomassa per la produzione diretta di energia (autoconsumo o vendita), quindi la completa realizzazione della filiera agro-energetica all'interno dell'azienda agricola, resta la soluzione che permette di far proprie le produzioni dal maggiore valore aggiunto (energia termica, elettrica, frigorifera), in grado quindi di garantire le marginalità più elevate.

Nel Grafico 7.6 è riportata la stima del margine lordo delle colture in funzione del prezzo di conferimento sul mercato della granella verde di mais e del biocombustibile condizionato (produzioni di 27,2 t/ha, 19,2 t/ha, 12,4 t/ha con un contenuto idrico del 20%, 15% e 20%, rispettivamente per canna comune, miscanto e pioppo).

Le evidenze grafiche dimostrano che per quanto riguarda le colture erbacee, con prezzi del trinciato tra 70 e 90 €/t, la marginalità non supera i 300 €/ha: i costi per il condizionamento e lo stoccaggio della biomassa vanno quindi ad erodere il valore aggiunto

del biocombustibile; solo la trasformazione energetica del biocombustibile in seno alla stessa filiera è in grado di giustificare questo ulteriore passaggio di condizionamento e stoccaggio.

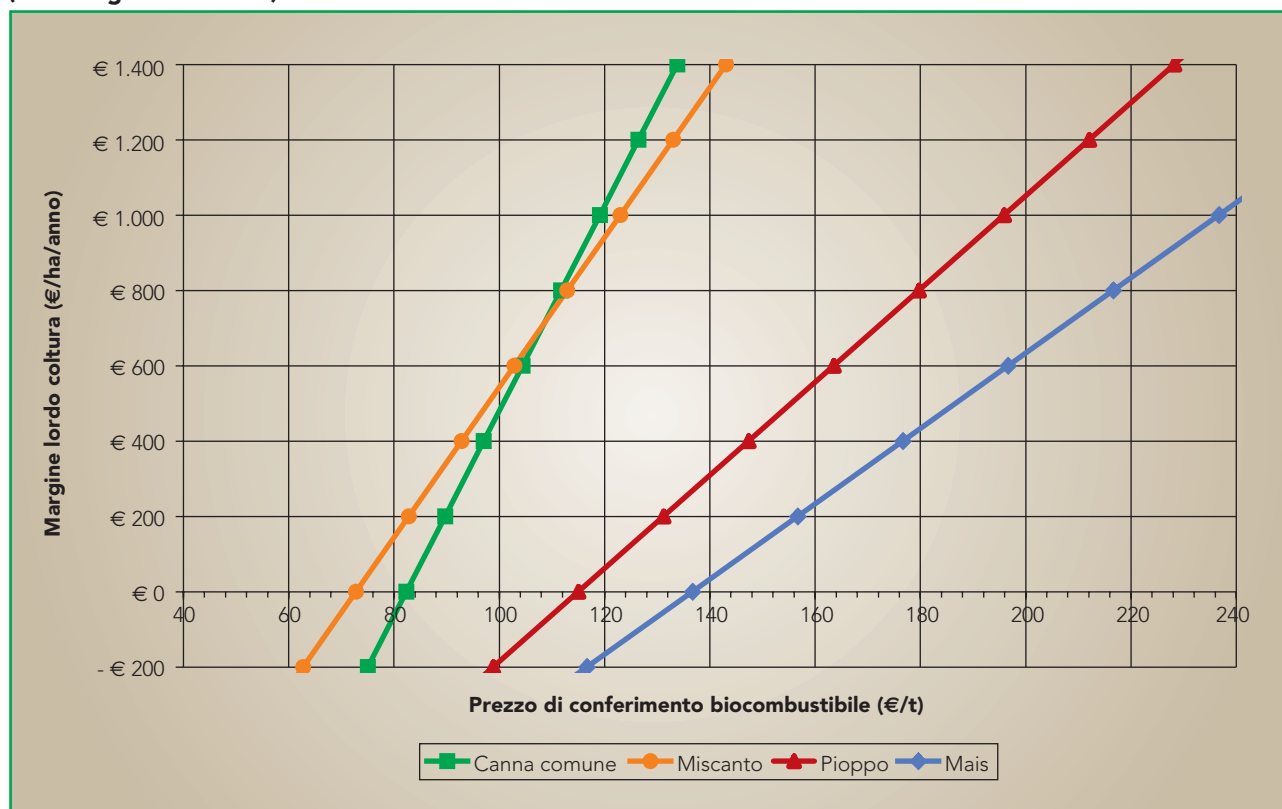
Per quanto riguarda la coltura del pioppo SRF, pur ipotizzando prezzi del cippato (M20) tra 100 e 120 €/t (valori comunque elevati), non si riscontrano marginalità positive; anche in questo caso solo la diretta valorizzazione energetica della biomassa all'interno dell'azienda agricola è in grado di garantire la sostenibilità economica dell'iniziativa.

## 7.2.6 ANALISI DEI COSTI DI DENSIFICAZIONE DELLE BIOMASSE COMBUSTIBILI

Nel presente paragrafo si riporta lo studio del costo di densificazione delle biomasse combustibili in impianti di pellettizzazione e bricchettatura specificatamente dedicati alla produzione della quota di biocombustibile da utilizzare nella centrale termica prevista nel modello di filiera agro-energetica analizzato.

È stata valutata la sola densificazione della biomassa di miscanto, in quanto il materiale, se opportunamente trinciato, è immediatamente pronto ad essere lavorato alla raccolta, stante il basso livello di umidità. Nell'analisi dei costi di densificazione non sono stati quindi considerati gli onerosi costi per l'essiccazione forzata, altrimenti necessari per altre tipologie di biocombustibile.

**Grafico 7.6: analisi del margine lordo delle colture energetiche poliennali (vendita biocombustibile) e del mais (vendita granella verde).**



Sulla base del fabbisogno energetico in ingresso all'impianto di combustione (320 MWh), ipotizzando il potere calorifico del pellet e del bricchetto di miscanto pari a 4,60 MWh/t, è stato stimato un fabbisogno in biocombustibile densificato di circa 77 t/anno. Il quantitativo è relativamente modesto per giustificare l'esistenza di un impianto di densificazione dedicato. La seguente simulazione è quindi un semplice esercizio a dimostrare la non sostenibilità economica dell'iniziativa se condotta alla piccola scala. Analogamente, sono state realizzate delle simulazioni di analisi in impianti industriali, al fine di verificare l'abbattimento dei costi di densificazione e la sostenibilità del progetto se concepito alla grande scala. Nell'analisi dei costi di produzione sono stati esclusi quelli relativi all'approvvigionamento della biomassa trinciata e alla realizzazione di un apposito capannone atto al contenimento dell'impianto di densificazione.

### 7.2.6.1 Pellettizzazione

La pellettizzazione della biomassa trinciata di miscanto può essere realizzata utilizzando uno specifico impianto di piccole dimensioni, con una potenziale produzione oraria di 200-220 kg/ora di pellet, da installarsi nei pressi del centro di stoccaggio per consentire l'abbattimento dei costi di carico, scarico e trasporto del materiale vegetale.

Il mini-impianto di pellettizzazione è composto essenzialmente da:

- un sistema di raffinazione con un minisilo di raccolta della biomassa;
- una pressa per pellet;
- un sistema di depolverizzazione dei pellet;

- un sistema di raffreddamento dei pellet;
- i necessari collegamenti elettrici ed idraulici.

In Tabella 7.16 sono riportati i costi di produzione dei pellet di miscanto sulla base dell'utilizzo esclusivo dell'impianto di pellettizzazione per la fornitura del quantitativo di biocombustibile necessario all'alimentazione dell'impianto termico ipotizzato (420 ore/anno, corrispondenti alla normale attività lavorativa di 3 mesi, compresi i tempi d'avvio dell'impianto e di pulizia a fine giornata).

Il costo di produzione del pellet di miscanto, nelle condizioni considerate, risulta pari a 215 €/t; tale valore risulta essere molto elevato (e fuori mercato), soprattutto in considerazione del fatto che la biomassa da pellettizzare è già trinciata e secca.

Ad incidere pesantemente sul costo di produzione sono le voci relative a:

- la quota di ammortamento della macchina pellettatrice; la macchina opera per un limitato numero di ore all'anno, con conseguente bassa produzione di pellet su cui ripartire tale quota;
- i costi della manodopera; l'impianto necessita comunque della presenza di un operatore durante le fasi di densificazione (seppur non completamente dedicato); questo comporta un onere elevato da distribuire su piccole produzioni di biocombustibile, a causa della bassa potenzialità produttiva dell'impianto;
- la tipologia di impianto e la relativa conduzione. Gli impianti di densificazione nascono come impianti industriali che operano a ciclo continuo; il numero di ore di utilizzo contenuto comporta bassi livelli produttivi su cui gravano elevati costi fissi.

**Tabella 7.16: stima dei costi di produzione del bricchetto di miscanto in impianto di bricchettatura alla piccola scala.**

Dati tecnici di funzionamento	U.M.	Impianto di pellettizzazione	Impianto di bricchettatura
Produzione oraria	(t/ora)	0,200	0,150
Potenza complessiva installata	(kW)	30	20
Ore di funzionamento annuo impianto	(ore/anno)	420	560
Produzione annuale	(t/anno)	84	84
<b>Analisi costo dell'impianto</b>			
Costo dell'impianto completo	(€)	75.000,00	65.000,00
Infrastrutture	(€)	0,00	0,00
Tasso di interesse	(%)	4,0	4,0
Rata ammortamento (10 anni)	(€/anno)	9.250,00	8.000,00
<b>Analisi dei costi di gestione</b>			
Costo approvvigionamento biomassa	(€)	0,00	0,00
Costi manutentivi, lubrificanti ed energia elettrica	(€)	2.450,00	600,00
Manodopera	(%)	6.400,00	11.200,00
Costo annuale di gestione	(€/anno)	8.850,00	11.800,00
<b>TOTALE COSTI DI PRODUZIONE</b>	(€/anno)	18.100,00	19.800,00
<b>COSTO UNITARIO DI PRODUZIONE</b>	<b>(€/t)</b>	<b>215,00</b>	<b>235,20</b>



L'operazione di pellettizzazione in piccoli impianti dedicati, funzionanti per brevi periodi di tempo, non è quindi sostenibile economicamente.

Analoghe stime di costo di produzione, in impianti di pellettizzazione alla scala industriale, operanti per 6.000 ore/anno, con presse da 2-4 t/ora, hanno evidenziato costi di produzione del pellet considerevolmente inferiori, nell'ordine dei 30-50 €/t (biomassa esclusa), grazie all'abbattimento dei costi relativi alla manodopera ed all'ammortamento dell'impianto.

Occorre comunque considerare che la voce di costo relativa al trasporto della biomassa aumenta notevolmente nel caso di conferimento a grandi impianti centralizzati.

### 7.2.6.2 Bricchettatura

L'operazione di bricchettatura può essere realizzata utilizzando un apposito impianto di piccole dimensioni, con una potenziale produzione oraria di 100-180 kg/ora di bricchetti, da installare nei pressi del centro di stoccaggio del miscanto trinciato.

Il mini-impianto di bricchettatura (con una produzione oraria stimabile in 150 kg/h) è composto essenzialmente da:

- un sistema di raffinazione con un minisilo di raccolta della biomassa;
- una pressa per bricchetti con chiller automatico di raffreddamento;
- un condotto di raffreddamento dei bricchetti;
- un sistema di taglio dei bricchetti;
- i necessari collegamenti elettrici ed idraulici.

Dalla Tabella 7.16 si evincono i costi di produzione dei bricchetti di miscanto sulla base dell'utilizzo dell'impianto di bricchettatura esclusivamente per la fornitura del quantitativo di biocombustibile necessario all'alimentazione dell'impianto termico



ipotizzato (560 ore di funzionamento annue, corrispondenti alla normale attività lavorativa di 4 mesi, compresi i tempi avvio dell'impianto e di pulizia a fine giornata).

Il costo di produzione del bricchetto di miscanto, nelle condizioni considerate, risulta essere pari a circa 235,20 €/t; anche in questo caso tale valore risulta essere decisamente elevato e le motivazioni sono da ricondursi a quelle già presentate per la pellettizzazione. La soluzione di bricchettatura della biomassa proposta non è quindi economicamente sostenibile.

#### N.B.

Gli impianti di bricchettatura sono caratterizzati da costi operativi e manutentivi da 5 a 6 volte inferiori rispetto a quelli di pellettizzazione. I maggiori costi di bricchettatura risultanti dall'analisi economica sono imputabili esclusivamente alla specifica scelta dell'impianto di densificazione; infatti, la minore potenzialità produttiva su base oraria dell'impianto di bricchettatura determina una maggiore incidenza del costo della manodopera rispetto a quanto riscontrato per l'impianto di pellettizzazione.

## 7.3 Sostenibilità energetica del modello di filiera "biomasse combustibili – energia"

Il successo e la diffusione sul territorio di una filiera agro-energetica deve necessariamente sottostare a legittime valutazioni di carattere economico-produttivo. Tuttavia il concetto di sostenibilità non si limita al solo aspetto monetario: criteri di sostenibilità energetica ed ambientale, i cui indicatori non sempre sono direttamente monetizzabili, devono essere rispettati per poter promuovere e sostenere la diffusione delle colture energetiche dedicate e delle filiere ad esse associate.

La valutazione della sostenibilità energetica e lo studio delle esternalità ambientali di una filiera agro-energetica devono essere quindi affrontati per poter giustificare, da un lato la sussistenza della filiera stessa e, dall'altro, la possibilità di accedere a misure di sostegno che siano in grado di valorizzare le eventuali positive ricadute in termini energetici, ambientali e sociali. In tal senso, nella Direttiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, sulla promozione delle energie rinnovabili, sono stati inseriti precisi criteri di sostenibilità per i biocarburanti ed i bioliquidi, che devono essere rispettati per poter beneficiare delle misure di sostegno finanziario. Dai ragguardevoli riscontri bibliografici, le coltu-



re lignocellulosiche sono caratterizzate da bilanci energetici estremamente positivi, a differenza delle colture agricole (quali mais, barbabietola, girasole, colza, ecc.), destinate alla produzione di biocarburanti (es. bioetanolo, biodiesel).

Sono oramai molteplici gli studi che evidenziano il più che positivo bilancio energetico delle colture dedicate poliennali a pieno campo. Nella valutazione della sostenibilità energetica di una filiera occorre comunque considerare gli onerosi costi energetici relativi alla movimentazione e allo stoccaggio della biomassa post raccolta. Il limitato peso specifico del materiale trinciato determina infatti elevati costi energetici per il trasporto e la movimentazione, specie se le distanze in gioco sono ampie; inoltre, riduzioni anche considerevoli dell'*output* energetico della coltura sono causate dalle perdite di sostanza secca per la degradazione microbica nel corso dello stoccaggio. Queste fasi risultano quindi essere estremamente critiche e sono da considerare con attenzione nella predisposizione di una filiera, dal momento che, se mal gestite, possono innalzarne i costi energetici e ridurne sensibilmente la sostenibilità.

A fronte quindi di una sostenibilità energetica del modello da confermare, la relativa valutazione del bilancio risulta importante per poter confrontare tra di loro le diverse colture dedicate ed indirizzare eventuali forme di sostegno economico verso le filiere agro-energetiche in grado di garantire i migliori rapporti tra energia ottenuta (*output*) ed energia spesa (*input*).

### 7.3.1 METODOLOGIA DI ANALISI

Sulla base degli assunti del modello di filiera e delle relative schede agronomiche, per ogni singola coltura dedicata è stato valutato il fabbisogno energetico (*input*) per la produzione, la movimentazione e lo stoccaggio della biomassa, espresso per unità di superficie.

L'analisi energetica considera due distinte tipologie di *input*:

- gli *input energetici diretti*, ovvero quei costi agricoli imputabili all'utilizzo di carburanti, lubrificanti, elettricità, gas naturale all'interno dell'azienda;
- gli *input energetici indiretti*, che comprendono principalmente:
  - o i macchinari agricoli (energia per la costruzione, il trasporto e la manutenzione);
  - o i fertilizzanti, gli erbicidi ed i pesticidi (energia per la produzione, l'imballaggio, lo stoccaggio ed il trasporto);
  - o il tessuto traspirante per la copertura dei cumuli di stoccaggio (energia consumata e materiali per la produzione);
  - o gli *input intermedi* (produzione, movimentazione e trasporto di altri *input* alla coltura, quali il materiale genetico di propagazione).

La metodologia di calcolo utilizzata per la valutazione degli *input* energetici della sezione agronomica considera una serie di coefficienti di conversione in energia fossile riscontrabili in letteratura ed adattati al modello di tecnica agronomica supposto (Tabella 7.17).

**Tabella 7.17: coefficienti energetici utilizzati per la valutazione degli *input* agricoli.**

Macchinari e mezzi tecnici	U.M.	Coefficiente di conversione in energia fossile
Macchine *		
Trattrici	(MJ/kg)	108,00
Macchinari	(MJ/kg)	108,00
Carburante *	(MJ/kg)	42,70
Lubrificanti *	(MJ/kg)	80,00
Materiale di propagazione *		
Rizomi canna comune	(MJ/kg)	4,00
Rizomi miscanto	(MJ/kg)	4,00
Talee pioppo	(MJ/talea)	14,65
Fertilizzanti *		
Azoto (N)	(MJ/kg)	47,10
Fosforo (P)	(MJ/kg)	15,80
Potassio (K)	(MJ/kg)	9,30
Erbicidi **		
Glifosate	(MJ/kg)	454,00
Altri erbicidi (valore medio di più prodotti)	(MJ/kg)	238,00
Insetticidi ** (valore medio di più prodotti)	(MJ/kg)	199,00
Materiale per la copertura dei cumuli ***	(MJ/kg)	72,00

\* Angelini et al., 2009

\*\* Bullard e Metcalfe, 2001

\*\*\* Fricke K. e F. Kölsch, 2009

Gli *input* energetici di ogni singola operazione agricola sono stati calcolati separatamente per le seguenti voci: trattrici, macchinari, carburanti, lubrificanti ed *input* tecnici (rizomi, talee, erbicidi, pesticidi, fertilizzanti, tessuto traspirante). Gli *input* energetici per la costruzione, il deprezzamento e la manutenzione dei mezzi meccanici sono stati calcolati considerando il rispettivo ciclo di vita medio, il tempo di utilizzo per ogni operazione colturale ed il coefficiente di conversione di riferimento. La stima dei consumi di carburanti e lubrificanti per ogni singola operazione colturale considera anche i costi di movimentazione a vuoto delle macchine.

Per quanto attiene la stima degli *input* energetici relativi alla fase di valorizzazione energetica, sono stati conteggiati i soli consumi elettrici per l'alimentazione delle varie sezioni della centrale termica (coclee, soffianti, ecc.).

I consumi energetici derivanti da lavoro umano, stimati in meno dello 0,2% sul totale degli *input* energetici, non sono stati considerati.

### 7.3.2 BILANCIO ENERGETICO DELLA FILIERA "BIOMASSE COMBUSTIBILI - ENERGIA"

L'analisi degli *input* energetici del modello di filiera "biomasse combustibili-energia" è sintetizzata nella Tabella 7.18, dove sono stati considerati:

- i costi energetici di coltivazione e di raccolta della coltura, nonché quelli relativi al ripristino del terreno a fine ciclo (*fase agronomica*);
- i costi energetici di movimentazione della biomassa trinciata o cippata dal sito di coltivazione a quello di stoccaggio (*fase di trasporto*, considerando una distanza media pari a 2 km);
- i costi energetici relativi allo stoccaggio della biomassa (*fase di stoccaggio*, comprensivi dei costi energetici di formazione del cumulo e relativa copertura con tessuto traspirante);
- i costi energetici per la movimentazione del biocombustibile dal sito di stoccaggio ai silos della centrale termica (*fase di movimentazione*, considerando una distanza media pari a 0,1 km).

I consumi energetici riportati sono relativi all'intero



ciclo di vita utile della coltura agricola, pari a 12 anni, e considerano l'energia complessivamente immessa nel ciclo di produzione e movimentazione del biocombustibile.

La canna comune evidenzia il maggior fabbisogno di *input* energetici per unità di superficie, rispetto al miscanto ed al pioppo. Questo è direttamente correlato all'elevata spesa energetica per il reperimento del materiale di propagazione (rizomi) e per le relative fasi iniziali di impianto. Inoltre, in relazione alle consistenti produzioni di biomassa, risultano incrementati i relativi costi energetici della fase di raccolta e di trasporto.

Il miscanto presenta il minor fabbisogno energetico per la produzione e la movimentazione del biocombustibile; questo risultato è imputabile ai minori *input* energetici della fase agronomica. In particolare, i punti che qualificano la coltura del miscanto sono relativi al materiale genetico di propagazione (rizomi dal peso medio di 50 g rispetto ai 500 g della canna comune), all'ottima competitività con le malerbe (minori lavorazioni di pulizia delle interfile rispetto al pioppo) e all'assenza di problematiche fitosanitarie di rilievo.

**Tabella 7.18: analisi dei diversi *input* energetici nel modello di filiera, sezione di produzione del biocombustibile.**

	Input energetico (MJ/ha) – Produzione biocombustibile				
	Fase agronomica	Fase di trasporto *	Fase di stoccaggio **	Fase di movimentazione ***	TOTALE
Canna comune	141.486	22.962	10.757	2.026	177.230
Miscanto	86.780	16.143	14.867	2.026	119.816
Pioppo	104.358	11.292	9.086	2.763	127.499

\* trasporto della biomassa raccolta dal campo al sito di stoccaggio (media 2 km)

\*\* formazione cumulo di stoccaggio e tessuto traspirante

\*\*\* movimentazione del biocombustibile dal sito di stoccaggio ai silos della centrale energetica (interaziendale)



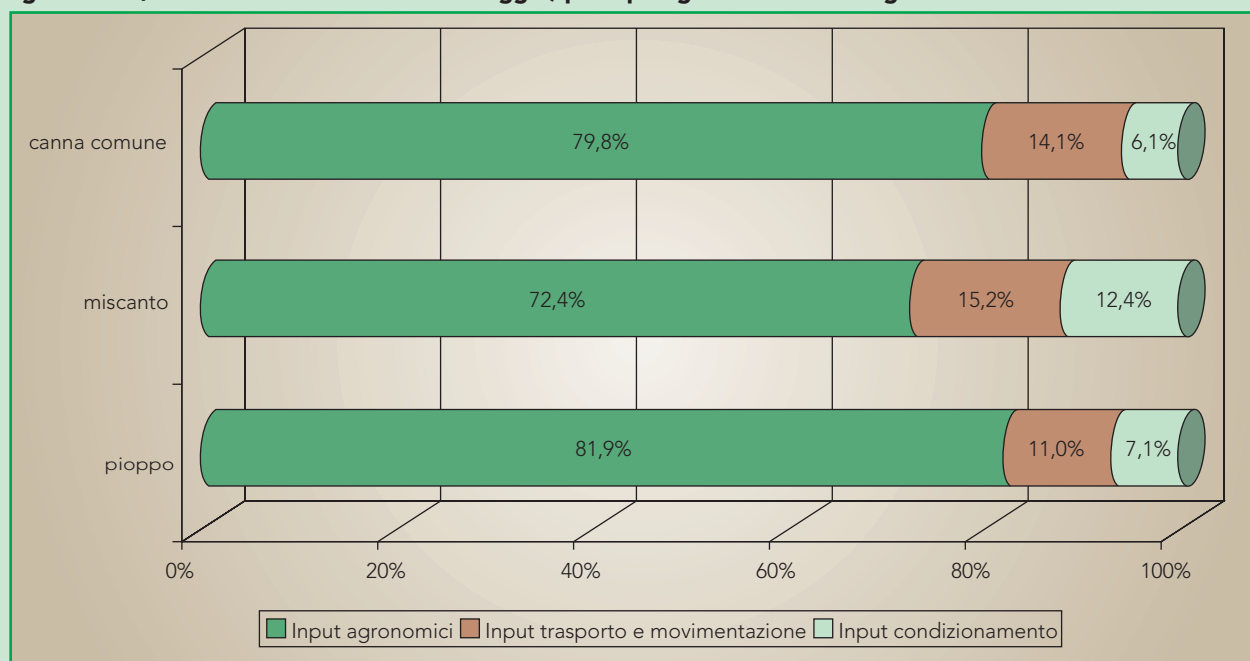
### N.B.

I costi energetici di trasporto, movimentazione e stoccaggio per la coltura del miscanto incidono per il 27,6% sul totale degli *input* energetici (Grafico 7.7), in modo significativamente superiore rispetto alla canna comune (20,2%) ed al pioppo (18,1%). Questa differenza è correlata in particolare al peso specifico del materiale trasportato e stoccato, relativamente basso per il miscanto (110 kg/m<sup>3</sup>, con un contenuto idrico del 15%) ed ai costi energetici agronomici, più bassi per il miscanto.

Le distanze di trasporto della biomassa assunte nel

modello sono molto limitate (mediamente 2 km); nell'ipotesi di un'espansione sul territorio della filiera, con l'aumento delle distanze medie tra i campi produttivi ed il centro di stoccaggio, il trasporto del miscanto comporterebbe un elevato incremento di spesa energetica ed economica. A tal riguardo, Giovanardi et al. (2009) riportano che, per il miscanto, l'incidenza dei costi energetici di trasporto e di condizionamento sull'*input* energetico totale è superiore al 40%, nel caso in cui il raggio di approvvigionamento della biomassa aumenti a soli 5 km.

**Grafico 7.7: analisi dell'incidenza energetica delle diverse fasi di produzione della biomassa combustibile (fase agronomica, di movimentazione e di stoccaggio) per tipologia di coltura energetica.**



### Come migliorare il bilancio energetico

Fattori migliorativi del bilancio energetico in questa fase sono, in particolare per la coltura del miscanto, la densificazione in campo della biomassa e del biocombustibile al fine di ridurre i costi energetici di trasporto e stoccaggio. A tal riguardo sono stati realizzati prototipi di macchine agricole in grado di effettuare in un solo passaggio la trinciatura e l'imballatura delle piante, evitando quindi che il materiale vegetale tocchi terra e peggiori la qualità del biocombustibile prodotto.

Per quanto riguarda la canna comune ed il pioppo, l'elevato contenuto in acqua della biomassa alla raccolta comporta onerosi costi di trasporto e determina una certa facilità nell'instaurarsi di fenomeni di degradazione microbica nella fase di stoccaggio. Per la canna comune sono allo studio cantieri di raccolta che consentano la parziale essiccazio-

ne in campo del materiale vegetale (trinciatura a terra ed imballatura) al fine di abbattere i costi di trasporto; restano comunque da verificare alcuni aspetti inerenti le perdite di materiale vegetale in campo, i costi per la raccolta in due passaggi e soprattutto la qualità finale del trinciato. Per il pioppo a ceduzione breve esiste la possibilità di effettuare la raccolta e la trinciatura delle piante in due distinti momenti: in questo caso si parla di cippatura su "secco". Le piante vengono abbattute intere ed accatastate a bordo campo dove sono sottoposte ad essiccazione naturale e solo successivamente vengono cippate; questo consente di ridurre notevolmente le perdite di sostanza secca per degradazione microbica (il fusto intero è meno soggetto ad attacchi microbici) e quindi di contenere le perdite in termini di *output* energetico.

In Tabella 7.19 è riportato il bilancio energetico complessivo di canna comune, miscanto e pioppo SRF, relativamente alla sola fase agronomica e di trasporto al centro di stoccaggio. Per quanto riguarda gli *input* energetici alla coltura, sono considerate le fasi di impianto, di conduzione delle attività agronomiche, di raccolta e di trasporto della biomassa presso il piazzale di stoccaggio. Gli *output* energetici sono relativi al contenuto energetico della biomassa effettivamente raccolta e trasportata, riferito alla sostanza secca. L'analisi del rapporto *output/input* (O/I) a questo livello della filiera conferma la piena sostenibilità energetica delle colture lignocellulosiche poliennali. In particolare, le colture erbacee evidenziano un rapporto O/I superiore a 30, in relazione alle elevate produzioni di biomassa, mentre la coltura del pioppo, a fronte di produzioni complessive di biomassa secca inferiori, evidenzia un rapporto O/I decisamente più basso, pari a 21,5.

Il rapporto tra l'*input* energetico per la produzione ed il trasporto del biocombustibile ed il suo contenuto energetico, sul tal quale (*output* energetico), evidenzia la piena sostenibilità energetica dell'iniziativa, con un rapporto O/I sempre maggiore a 15 (Tabella 7.20). Rispetto ai dati precedentemente esposti si osserva la contrazione del rapporto O/I per tutte le colture energetiche: questo fatto è da ricondursi principalmente ai costi energetici della fase di stoccaggio ma, soprattutto, alle perdite di sostanza secca a causa dei fenomeni fermentativi in cumulo.

Il miscanto si conferma la coltura lignocellulosica dal miglior rapporto O/I, mentre il pioppo, in relazione alle basse produzioni di biomassa e alle consistenti perdite nella fase di stoccaggio, è la coltura con il rapporto O/I più basso.

#### N.B.

La valutazione degli *input* energetici per la gestione dell'impianto termico è stata semplificata considerandone i soli consumi di energia elettrica: l'utilizzo come combustibile della canna comune comporta maggiori consumi elettrici in virtù della qualità più scadente del biocombustibile (movimentazione automatica delle ceneri e pulizia automatica delle varie sezioni della caldaia più frequente).

Il modello di filiera assume pertanto un consumo energetico dell'impianto termico pari a 7.560 MJ/anno per il miscanto ed il pioppo, mentre tale valore è incrementato a 8.640 MJ/anno per la canna comune.

Il bilancio energetico complessivo del modello di filiera, comprendente anche i consumi energetici per la gestione ordinaria dell'impianto termico, conferma la piena sostenibilità energetica per tutte le colture agricole analizzate, con un guadagno energetico medio di circa 1.000 GJ/anno (Tabella 7.21).

**Tabella 7.19: sintesi dei bilanci energetici delle filiere considerate nella fase agronomica di produzione biomassa. (12 anni)**

	<i>Input</i> (Coltivazione, raccolta e trasporto)	<i>Output</i> * (Biomassa raccolta)	<i>Output/Input</i>
	(MJ/ha)	(MJ/ha)	
Canna comune	164.447	5.552.370	<b>33,8</b>
Miscanto	102.923	3.624.134	<b>35,2</b>
Pioppo	115.650	2.485.770	<b>21,5</b>

\* p.c.i. biomassa: canna comune = 17,0 MJ/kg s.s.; miscanto = 17,3 MJ/kg s.s.; pioppo = 17,8 MJ/kg s.s.

**Tabella 7.20: sintesi dei bilanci energetici delle filiere considerate sino alla fase di produzione e trasporto biocombustibili alla bocca dell'impianto termico.**

	<i>Input</i> (Produzione biocombustibile)	<i>Output</i> (Energia biocombustibile)	<i>Output/Input</i>
	(MJ/t)	(MJ/t)	
Canna comune	542,6	13.320	24,5
Miscanto	501,5	14.400	28,7
Pioppo	859,3	14.400	16,8

**Tabella 7.21: sintesi del bilancio energetico del modello di filiera "biomasse lignocellulosiche - energia".**

	Totale <i>input</i> energetici	Totale <i>output</i> energetici	Bilancio energetico	<i>Output/Input</i>
	(MJ/anno)	(MJ/anno)	(MJ/anno)	
Canna comune	60.402	1.080.000	+ 1.019.598	17,9
Miscanto	51.785	1.080.000	+ 1.028.215	20,9
Pioppo	83.382	1.080.000	+ 996.618	13,0



Quella del miscanto (rapporto O/I pari a 20,9) si è dimostrata la filiera dal bilancio energetico migliore, superiore alla canna comune (O/I pari a 17,9) e soprattutto al pioppo a ceduzione biennale (O/I pari a 13,0). Tale risultato è raggiunto grazie al giusto connubio tra le ottime produzioni di biomassa per unità di superficie, al basso contenuto in acqua della biomassa raccolta – con conseguenti contenute perdite di sostanza secca durante la fase di stoccaggio – e alla buona qualità del biocombustibile finale. Considerando le superfici necessarie a coprire il fabbisogno di biocombustibile del modello, pari a 3,19 ha, 3,91 ha e 6,73 ha, rispettivamente per canna comune, miscanto e pioppo, e rapportando a queste il guadagno energetico complessivo annuale, si riscontra che la canna comune è la coltura poliennale che garantisce i migliori guadagni energetici per unità di superficie (+320 GJ/ha/anno), seguita dal miscanto (+263 GJ/ha/anno) ed infine dal pioppo a ceduzione biennale (+148 GJ/ha/anno). Anche in questo caso si conferma la maggior sostenibilità energetica delle colture erbacee rispetto a quelle di natura legnosa.

## 7.4 Sostenibilità ambientale del modello di filiera “biomasse combustibili – energia”

Come già riportato nel capitolo 4, sono diversi gli aspetti che definiscono la sostenibilità ambientale di una coltura poliennale. Nell’ambito del progetto Biocolt sono stati valutati e quantificati due specifici parametri, stimandone i potenziali benefici ambientali sulla base dell’applicazione del modello di filiera “biomasse combustibili – energia” al territorio del Bacino Scolante in laguna di Venezia.

In particolare, sono stati stimati:

- il bilancio delle emissioni di anidride carbonica in atmosfera;
- la riduzione di perdite di azoto, sulla base della capacità di attenuazione dei suoli, per la sola coltura di canna comune.

### 7.4.1 BILANCIO DELLE EMISSIONI DI GAS AD EFFETTO SERRA

La sostituzione del carbone o altri combustibili fossili nei processi di produzione dell’energia con la biomassa determina un generale miglioramento della qualità dell’aria: questo aspetto è oramai noto ed accertato. La quantificazione del miglioramento della qualità dell’aria può essere raggiunta attraverso la stima delle emissioni di gas ad effetto serra, in particolare di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>). Si ritiene che la coltivazione di una coltura da biomassa ed il suo utilizzo energetico, stante i tempi relativamente stretti tra il momento di rilascio della CO<sub>2</sub> rispetto a quello di organizzazione della stessa, abbiano un bilancio

teorico tra emissioni ed assorbimenti in sostanziale pareggio; in realtà occorre effettuare un calcolo più preciso delle emissioni in atmosfera valutando e correlando ad esse tutti i consumi di energia, diretti ed indiretti, delle diverse attività previste per la coltivazione ed il trasporto della biomassa.

Il contributo di una determinata attività all’aggravamento dell’effetto serra può essere stimato calcolando l’ammontare, ad essa imputabile, delle emissioni di gas con potere di trattenimento delle radiazioni infrarosse considerate responsabili dei cambiamenti climatici in atto; ne sono esempi l’anidride carbonica, il protossido d’azoto ed il metano.

L’impatto complessivo può essere misurato calcolando le emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq), ovvero riconducendo le emissioni di ciascun gas serra a quelle dell’anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), secondo alcuni coefficienti di conversione calcolati tenendo conto dell’effetto che tali composti hanno sul fenomeno rispetto all’effetto della CO<sub>2</sub>, considerato pari a 1.

I fattori di conversione, riconosciuti a livello internazionale, sono i seguenti:

- anidride carbonica fossile (CO<sub>2</sub>) = 1
- metano (CH<sub>4</sub>) = 21
- protossido di azoto (N<sub>2</sub>O) = 310

Ai fini del calcolo del bilancio delle emissioni di gas serra, nell’ambito del presente lavoro è stata considerata esclusivamente l’anidride carbonica come gas generato nella filiera, in quanto è uno dei principali gas serra per volume di emissioni annue da tutti i comparti.

#### 7.4.1.1 Approccio metodologico

L’approccio metodologico adottato per la stima del bilancio della CO<sub>2</sub> è simile a quello già illustrato per la stima del bilancio energetico.

Il bilancio ambientale delle filiere agro-energetiche di canna comune, miscanto e pioppo a ceduzione biennale è stato espresso, per unità di superficie coltivata (ha), come mancate emissioni in atmosfera di CO<sub>2</sub> medie annue, rispetto all’utilizzo di combustibili fossili.

Ai fini della valutazione delle emissioni di CO<sub>2</sub> della sezione agronomica (produzione e stoccaggio biomassa) e della sezione di condizionamento e trasporto del biocombustibile, sono state considerate le emissioni derivanti dall’utilizzo delle macchine agricole, dei carburanti di origine fossile, dei fertilizzanti, di diserbanti e pesticidi, del materiale di copertura del cumulo e dalla produzione del materiale genetico di propagazione. Per quanto riguarda la fase di conversione energetica della biomassa, è stato considerato il solo consumo di energia elettrica per la gestione dell’impianto termico.

La metodologia di calcolo si avvale di differenti coefficienti di conversione (detti anche fattori di emissione) degli *input* energetici in emissioni di CO<sub>2</sub>. Sulla base

dei diversi valori riscontrati in letteratura, i coefficienti di conversione utilizzati nel presente studio sono riportati in Tabella 7.22.

**Tabella 7.22: coefficienti di conversione utilizzati per la valutazione delle emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera nel modello di filiera agro-energetica.**

Macchinari e mezzi tecnici	U.M.	Fattore di emissione
Macchine *		
<i>Trattrici</i>	(kg CO <sub>2</sub> /MJ)	0,074
<i>Macchinari</i>	(kg CO <sub>2</sub> /MJ)	0,074
Carburante (gasolio) **	(kg CO <sub>2</sub> /kg)	3,130
Lubrificanti **, ***	(kg CO <sub>2</sub> /kg)	3,150
Metano **	(kg CO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> )	1,930
Energia elettrica dalla rete **	(kg CO <sub>2</sub> /kWh)	0,670
Materiale di propagazione		
<i>Rizomi canna comune</i>	(kg CO <sub>2</sub> /rizoma)	0,028
<i>Rizomi miscanto *</i>	(kg CO <sub>2</sub> /rizoma)	0,014
<i>Talee pioppo</i>	(kg CO <sub>2</sub> /talea)	0,077
Fertilizzanti *		
Azoto (N)	(kg CO <sub>2</sub> /kg)	0,442
Fosforo (P)	(kg CO <sub>2</sub> /kg)	1,116
Potassio (K)	(kg CO <sub>2</sub> /kg)	0,617
Erbicidi *		
<i>valore medio di più prodotti</i>	(kg CO <sub>2</sub> /kg)	5,408
Insetticidi ****		
<i>valore medio di più prodotti</i>	(kg CO <sub>2</sub> /kg)	5,408
Materiale per la copertura dei cumuli **, ***	(kg CO <sub>2</sub> /kg)	3,150

\* Bullard e Metcalfe, 2001      \*\*\* equiparato a olio denso  
 \*\* Regione FVG, 2006      \*\*\*\* equiparato a erbicidi

#### 7.4.1.2 Bilancio delle emissioni di CO<sub>2</sub> della filiera "biomasse combustibili – energia"

In Tabella 7.23 sono sintetizzati i risultati dell'analisi ambientale, espressi come emissioni di CO<sub>2</sub> per unità di superficie, inerenti la sezione agronomica, di condizionamento e di trasporto del biocombustibile alla bocca dell'impianto termico, per la canna comune, il miscanto ed il pioppo a ceduzione biennale. Il miscanto, con emissioni medie di CO<sub>2</sub> pari a 462 kg CO<sub>2</sub>/ha/anno, risulta essere la coltura meno impattante, mentre la canna comune, alla luce degli elevati *input* energetici nella fase di impianto, risulta essere la coltura con le maggiori emissioni medie di CO<sub>2</sub> per unità di superficie (742 kg CO<sub>2</sub>/ha/anno). Occorre comunque considerare anche la densità energetica della coltura (MJ/ha), che varia in funzione della produttività, per poter confrontare le diverse colture dedicate. In relazione alle diverse superfici agricole coinvolte nel modello di filiera, inversamente proporzionali alla densità energetica della coltura, le emissioni complessive di CO<sub>2</sub> per la produzione e la movimentazione del biocombustibile sono pari a 2.366, 1.806 e 4.199 kg CO<sub>2</sub>/anno rispettivamente per la canna comune, il miscanto ed il pioppo. Da ciò emerge nuovamente che le due colture erbacee poliennali sono le migliori per quanto riguarda la sostenibilità ambientale (Tabella 7.24).

Sulla base dei quantitativi di combustibile fossile sostituito grazie all'utilizzo dei biocombustibili, nonché del relativo fattore di emissione, sono state quantificate le emissioni evitate di CO<sub>2</sub> pari a circa 120 t/anno (gasolio) e 67 t/anno (metano) (Tabella 7.25).

**Tabella 7.23: emissioni di CO<sub>2</sub> per la produzione di del biocombustibile derivante dalla coltivazione di colture energetiche poliennali nel corso dei 12 anni di vita utile degli impianti.**

	Trattrici e macchinari	Carburante e lubrificante	Mezzi tecnici	Totale (12 anni)	Valore medio anno
	(kg CO <sub>2</sub> /ha)	(kg CO <sub>2</sub> /ha)	(kg CO <sub>2</sub> /ha)	(kg CO <sub>2</sub> /ha)	(kg CO <sub>2</sub> /ha/anno)
Canna comune	795,1	6.818,9	1.287,2	8.901,1	741,8
Miscanto	472,1	3.917,2	1.154,9	5.544,2	462,0
Pioppo	587,8	5.334,9	1.565,1	7.487,8	624,0

**Tabella 7.24: emissioni di CO<sub>2</sub> nella filiera "biomasse combustibili – energia".**

	U.M.	Canna comune	Miscanto	Pioppo
Emissioni di CO <sub>2</sub> per unità di superficie	(kg CO <sub>2</sub> /ha/anno)	741,8	462,0	624,0
Superficie asservita alla filiera	(ha/anno)	3,19	3,91	6,73
Totale emissioni fase agronomica e di condizionamento	(kg CO <sub>2</sub> /anno)	2.366	1.806	4.199
Emissione per consumo energia elettrica dalla rete	(kg CO <sub>2</sub> /anno)	1.608	1.407	1.407
TOTALE EMISSIONI DI CO <sub>2</sub>	(kg CO <sub>2</sub> /anno)	3.974	3.213	5.606

**Tabella 7.25: emissioni evitate di CO<sub>2</sub> nella filiera "biomasse combustibili – energia".**

	Quantità combustibile sostituito	Totale emissioni evitate
Gasolio	38.261 kg/anno	119.758 kg CO <sub>2</sub> /anno
Metano	34.722 Nm <sup>3</sup> /anno	67.014 kg CO <sub>2</sub> /anno



In Tabella 7.26 sono sintetizzati i risultati dell'analisi ambientale del modello di filiera "biomasse combustibili - energia", ipotizzando la sostituzione di un impianto termico alimentato a gasolio o metano.

Il modello di filiera agro-energetica evidenzia la sua piena valenza ambientale, alla luce del bilancio delle emissioni medie evitate pari a circa 115 t CO<sub>2</sub>/anno nel caso si sostituisca il combustibile gasolio e di circa 63 t CO<sub>2</sub>/anno nel caso si sostituisca il metano. Quindi, oltre alla valenza economica ed energetica, anche sotto il piano della tutela dell'ambiente, l'applicazione di modelli di filiera agro-energetica in sostituzione di fonti fossili, in particolare il gasolio, evidenzia un elevato livello di sostenibilità.

Confrontando per le diverse colture i valori di emissioni evitate in atmosfera, rapportati alla unità di superficie, si conferma la canna comune come la coltura energetica dagli effetti ambientali più importanti, con emissioni evitate da 20 a 36 t CO<sub>2</sub>/ha/anno, in funzione del combustibile sostituito, superiori a quelle stimate per il miscanto (da 16 a 30 t CO<sub>2</sub>/ha/anno). Il pioppo a ceduzione biennale registra il minor effetto sulla riduzione delle emissioni di gas clima alteranti, in relazione ai valori di emissioni evitate stimate da 9 a 20 t CO<sub>2</sub>/ha/anno (Tabella 7.27).

## 7.4.2 CAPACITÀ DI PROTEZIONE DEI SUOLI – APPLICAZIONE DEL MODELLO DI FILIERA "CANNA COMUNE – ENERGIA"

### 7.4.2.1 Capacità protettiva dei suoli del Bacino Scolante in laguna di Venezia

Nell'anno 2004 l'ARPAV ha presentato una prima valutazione della capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque profonde, ossia della capacità del suolo a funzionare da filtro dei nutrienti apportati con le concimazioni minerali ed organiche, riducendo le quantità potenzialmente immesse nelle acque (ARPAV, 2004).

Lo studio ha effettuato due simulazioni, che hanno riguardato una monosuccessione di mais (dose media di azoto 300 kg/ha/anno) ed una rotazione quinquennale, definita "scenario protettivo", tra quelle previste dalle misure di intervento per il Bacino Scolante (dose media di azoto 150 kg/ha/anno): mais - soia - frumento - loiessa intercalare - mais - soia. È stato simulato l'uso dell'irrigazione per le colture primaverili-estive, differenziato a seconda della zona agro-climatica, con dieci interventi irrigui nelle zone di alta pianura e una irrigazione di soccorso nelle zone di bassa.

Lo studio dell'ARPAV ha quindi proposto quattro diverse classi di capacità protettiva (Tabella 7.28); una

**Tabella 7.26: bilancio delle emissioni evitate di CO<sub>2</sub> nella filiera "biomasse combustibili – energia".**

	U.M.	Gasolio *	Metano **
Canna comune	(kg CO <sub>2</sub> /anno)	115.784	63.040
Miscanto	(kg CO <sub>2</sub> /anno)	116.545	63.800
Pioppo	(kg CO <sub>2</sub> /anno)	114.152	61.407

\* emissioni evitate per il gasolio pari a 119.758 kg/CO<sub>2</sub>/anno

\*\* emissioni evitate per il metano pari a 67.014 kg/CO<sub>2</sub>/anno

**Tabella 7.27: bilancio delle emissioni evitate di CO<sub>2</sub> per unità di superficie nel modello di filiera "biomasse combustibili – energia" in relazione alla coltura dedicata.**

	U.M.	Gasolio *	Metano **
Canna comune	(t CO <sub>2</sub> /ha/anno)	36,3	19,8
Miscanto	(t CO <sub>2</sub> /ha/anno)	29,8	16,3
Pioppo	(t CO <sub>2</sub> /ha/anno)	17,0	9,1

\* emissioni evitate per il gasolio pari a 119.758 kg/CO<sub>2</sub>/anno

\*\* emissioni evitate per il metano pari a 67.014 kg/CO<sub>2</sub>/anno

**Tabella 7.28: definizione delle classi di capacità protettiva (ARPAV, 2004).**

Classe di capacità protettiva	Flussi relativi (%)	Perdite di NO <sub>3</sub> (%)	Flussi totali (mm/anno)
B (bassa)	>40	>20	>600
MB (moderatamente bassa)	29-40	11-20	320-600
MA (moderatamente alta)	12-28	6-10	140-320
A (alta)	<12	<5	<140



sintesi dei risultati sulle diverse tipologie di suolo è riportata in Tabella 7.29.

La conclusione dello studio ha evidenziato che i suoli maggiormente vulnerabili sono quelli di alta pianura (SNF1 e CGN1), a tessitura franca e ricchi di scheletro, seguiti dai suoli delle aree di dosso (CMS1) della bassa pianura del Brenta, a tessitura franco-grossolana. I suoli con falda mostrano una capacità protettiva nei confronti della falda moderatamente alta con tessiture limose (MOG01) e molto alta con tessiture più fini (ZRM1), sia per i maggiori flussi ne-

gativi per la risalita capillare che per le maggiori perdite per deflusso superficiale.

Le minori perdite azotate si hanno nei suoli a tessitura limoso-grossolana (ALB1), dove i flussi relativi sono molto bassi e l'acqua viene persa per scorrimento superficiale, costituendo un potenziale rischio di inquinamento delle acque superficiali.

A parità di flussi, la sostituzione di un ordinamento a monosuccessione di mais con una rotazione "protettiva" riduce le perdite di azoto, in termini di kg/ha/anno, a livelli di "sicurezza" grazie ai minori apporti.

**Tabella 7.29: attribuzione delle classi di capacità protettiva in base ai risultati delle simulazioni (ARPAV, 2004).**

Unità di paesaggio	Suoli	Monosuccessione di mais		Scenario protettivo		Classe capacità protettiva	Monosuccessione mais perdite NO <sub>3</sub> (kg/ha/anno)	Scenario protettivo perdite NO <sub>3</sub> (kg/ha/anno)
		Flussi relativi	Perdite NO <sub>3</sub> (%)	Flussi relativi	Perdite NO <sub>3</sub> (%)			
Alta pianura Piave	SNF1	50,3	19,46	50,3	16,62	B	64,87	27,69
Alta pianura Brenta	CGN1	49,5	19,08	49,6	16,37	B	63,59	31,79
Bassa pianura antica Brenta dossi	CMS1	22,9	7,23	29,0	9,07	MA	24,11	15,11
Bassa pianura antica Brenta superficie modale	MOG1	14,3	3,98	16,4	4,86	MA	13,27	8,10
Bassa pianura antica Brenta aree depresse	ZRM1	8,8	2,17	12,5	3,61	A	7,23	6,01
Bassa pianura antica Brenta dossi	PDS1	12,6	3,40	18,7	5,62	MA	11,33	5,67
Bassa pianura dell'Adige dossi	ALB1	0,1	0,01	0,1	0,02	A	0,03	0,04
Bassa pianura dell'Adige depressione	FRI1	0,9	0,12	3,4	0,85	A	0,38	0,19
Bassa pianura dell'Adige depressione con suoli organici	MMZ1	14,8	4,14	18,1	5,41	MA	13,81	9,01
Bassa pianura dell'Adige depressione con suoli organici	CGU1	13,9	3,86	18,9	5,68	MA	12,87	6,43



Il confronto con altre metodologie di analisi relative alla capacità protettiva dei suoli ha evidenziato una certa coerenza dei dati, valutando come suoli più a rischio quelli dell'alta pianura, a tessitura franca e ricchi in scheletro.

L'estensione cartografica ed il relativo rimando cartografico della capacità protettiva dei suoli del Bacino Scolante sono riportati in Figura 7.1: si tratta di una prima approssimazione per una valutazione generale del territorio.

#### 7.4.2.2 Bilancio dell'azoto - valutazione della coltura di canna comune

##### Analisi degli apporti azotati alla coltura

Si riporta sinteticamente l'analisi dei potenziali apporti azotati alla coltura di canna comune.

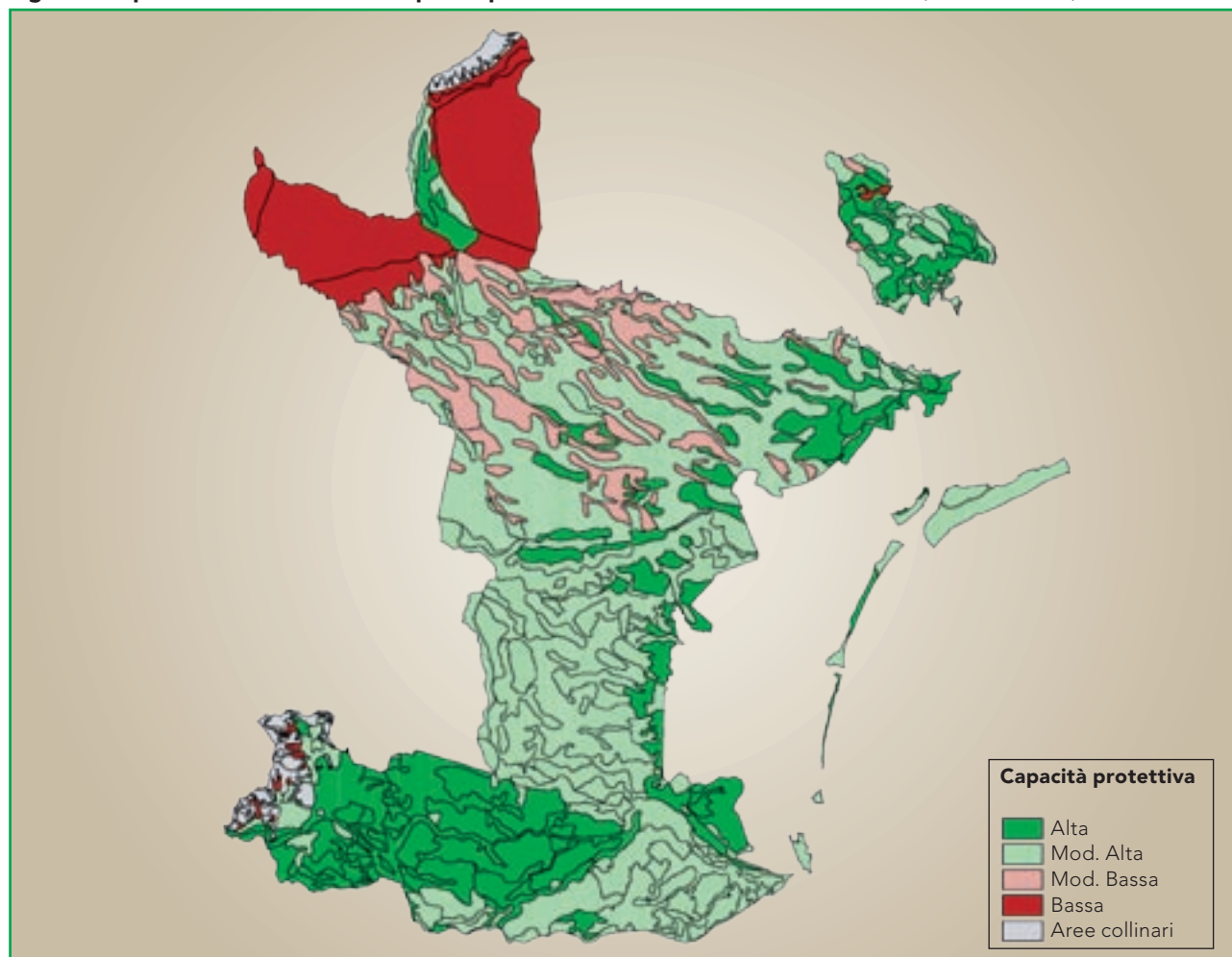
Tra gli assunti del modello di filiera agro-energetica si riscontrano gli apporti azotati alla coltura di canna comune che prevedono una concimazione all'impianto con 600 kg/ha di 8-24-24 (circa 50 unità N/ha) e fertilizzazioni annuali in fase di post-raccolta della biomassa con circa 70 unità N/ha.

#### Canna comune e fertilizzazione azotata

Come ampiamente riportato in bibliografia, la canna comune si avvantaggia di elevate fertilizzazioni azotate solo nelle prime fasi di impianto, mentre una volta raggiunta la maturità tale effetto si riduce: uno studio condotto dal C.E.T.A. ha verificato che apporti di azoto pari a 300 kg/ha non incrementano, anzi addirittura deprimono la produzione di biomassa; in questo caso si suppone che l'apporto al terreno di elevati quantitativi di azoto di sintesi riduca la normale attività dei microrganismi azoto-fissatori che si sviluppano in consociazione con la canna comune; la capacità azoto-fissativa del sistema costituito dal terreno e dalla canna comune è in grado di apportare alla pianta, in modo continuativo, una quota parte dell'azoto necessario allo sviluppo della coltura.

Il Codice di Buona Pratica Agricola stima che nel periodo di più accentuata mineralizzazione (dalla primavera all'autunno) la materia organica al suolo

Figura 7.1: prima valutazione della capacità protettiva dei suoli del Bacino Scolante (ARPAV, 2004).



possa fornire 30 kg di azoto assimilabile per ogni unità percentuale. In ogni caso l'azoto disponibile nel suolo è valutato per una quota massima di 60 kg N/ha/anno.

Il livello di sostanza organica nel terreno coltivato a canna comune viene annualmente integrato (nel caso di raccolta a fine inverno) con le foglie ed i panicoli caduti al suolo.

L'apporto di azoto dovuto alle deposizioni atmosferiche (piogge e pulviscolo atmosferico) può essere stimato in circa 20 kg N/ha/anno.

#### **N.B.**

Le analisi chimiche del terreno delle parcelle sperimentali delle aziende agricole site in località Brusio (VE) evidenziano un contenuto in sostanza organica variabile tra il 2,7% ed il 4,5%; per l'azienda "Margherita" tale valore è attorno al 3,5%. Per tale motivo è ipotizzabile un quantitativo di azoto disponibile nel suolo per una quota di 60 kg N/ha/anno.

#### **Analisi delle asportazioni azotate della coltura**

I rizomi di canna comune hanno mediamente un contenuto in azoto pari a 0,34% sul tal quale (contenuto idrico del 77,7%). In un canneto maturo ed in buone condizioni si stima una produzione annua di circa 70 t/ha di rizomi, quindi le asportazioni di azoto dal terreno sono pari a 238 kg N/ha.

I rizomi di canna comune hanno un ciclo di vita biennale. Dal terzo anno in poi sono soggetti a degradazione microbica della sostanza organica (mineralizzazione) e quindi l'azoto fissato nei rizomi torna ad essere gradualmente a disposizione del sistema terreno-coltura.

Sulla base delle analisi qualitative della biomassa di canna comune è stato riscontrato un contenuto in azoto su base secca pari allo 0,74%. Il modello ipotizza la raccolta effettiva di 297 t s.s./ha di biomassa nel corso dei 12 anni di vita utile dell'impianto a canna comune, con una produzione media di 24,7 t s.s./ha/anno. Le asportazioni annuali di azoto sono quindi pari a 183 kg N/ha/anno.

#### **Bilancio dell'azoto – Canna comune**

Sulla base dei dati precedentemente esposti si evidenzia un bilancio dell'azoto della coltura negativo. Alla luce dei valori riscontrati in termini di produzione di biomassa per anno (elevata e costante nel tempo, seppur con limitati apporti di fertilizzanti) e dell'effetto nullo o negativo in termini di produzione di biomassa a seguito dell'incremento degli apporti azotati, è possibile ipotizzare che il deficit di azoto alla coltura sia completamente compensato dalla capacità azotofissativa del sistema terreno-canna comune.

La canna comune, in quanto perennante, copre con continuità il terreno nel corso dell'anno, limitandone notevolmente i fenomeni di ruscellamento e di erosione, in particolare se raffrontata con colture annuali quali il mais.

La riduzione delle lavorazioni del terreno (aratura, erpicatura, ecc.) riduce l'effetto di mineralizzazione della sostanza organica e quindi rallenta la cessione al suolo dei composti azotati, e la relativa perdita per fenomeni di lisciviazione e percolazione.

La richiesta evapotraspirativa della canna comune è molto elevata, raffrontabile a quella del mais. Il coefficiente colturale (Kc) medio per la canna comune è di 1,10 rispetto a quello del mais pari a 1,20. L'elevata capacità evapotraspirativa limita le perdite per percolazione e lisciviazione dell'azoto del terreno.

Per tali motivi sono state ipotizzate nulle le perdite di azoto del terreno nel caso di coltivazione della canna comune (effetto della coltura e dei minori apporti fertilizzanti).

#### **7.4.2.3 Capacità protettiva del suolo – applicazione del modello di filiera alle aziende agricole del progetto Biocolt**

Sulla base di quanto esposto e della capacità protettiva dei suoli delle aziende agricole interessate dal progetto Biocolt, sono state stimate le riduzioni delle perdite di azoto nel caso di applicazioni del modello di filiera agro-energetica, valutando sia la sostituzione di una coltura in monosuccessione (mais), sia un'ottica di scenario "protettivo" (rotazione quinquennale). I principali risultati sono riportati in Tabella 7.30, espressi per unità di superficie.

**Tabella 7.30: valutazione della classe di capacità dei suoli e delle perdite di azoto nei terreni delle aziende agricole considerate.**

Azienda agricola	Classe di capacità protettiva			Ipotesi perdite di azoto (kg/ha/anno)	
	Unità tipologica di suolo	Capacità protettiva delle acque profonde	Capacità protettiva delle acque superficiali	Monosuccessione mais	Scenario protettivo
"Aurora" e	BUO1	MA	A	12,87	6,43
	CGU1	MA	MA		
"Pavanato Maria Cristina"	CBO1	MA	A	7,23	6,01
	ZRM2	A	MA		
"Margherita"	VGO1	MA	A		

Il modello di filiera "canna comune-energia" si sviluppa su una superficie coltivata pari a 3,20 ha; in Tabella 7.31 sono riportate le stime di riduzione delle perdite di azoto del terreno nel caso di applicazione alle superfici delle aziende coinvolte nella sperimentazione, ed in particolare:

- le aziende agricole "Aurora" e "Pavanato Maria Cristina" sono rappresentative delle realtà che insistono sui suoli della bassa pianura recente dell'Adige. L'applicazione del modello permetterebbe la riduzione delle perdite in falda di azoto per un valore compreso tra 20 e 40 kg N/anno, in funzione delle colture agricole che si intende sostituire;
- l'azienda agricola "Margherita" è rappresentativa delle realtà che vertono sui suoli della bassa pianura antica del Brenta. L'applicazione del modello permetterebbe la riduzione delle perdite in falda di azoto per un valore compreso tra 20 e 23 kg N/anno, in funzione delle colture agricole che si intende sostituire.

L'applicazione del modello di filiera in aree agricole del Bacino Scolante dove la capacità protettiva dei suoli è bassa o moderatamente bassa (come l'alta pianura del Brenta e del Piave) è in grado di amplificare notevolmente i benefici effetti sulla riduzione delle perdite di azoto in falda o nei corsi idrici superficiali, stimabili tra 90 e 200 kg N/anno, in funzione delle colture agricole che si intende sostituire.

**N.B.**

Si ricorda che la lisciviazione di soli 20 o 30 kg N/ha è sufficiente per aumentare la concentrazione di nitrati nelle acque di falda al di sopra del limite imposto dalla Commissione europea per considerare potabile l'acqua (50 mg/l).

Si ricorda che tra gli obiettivi del Piano Direttore riguardo la riduzione del carico azotato in laguna di Venezia ed il rapporto dell'Arpa Veneto relativo al carico annuo di azoto totale scaricato nella Laguna dal Bacino Scolante (periodo 2001-2005) esiste ancora un disavanzo di circa 2.200 t N/anno (cfr. Grafico 2.1).

La determinazione della distribuzione del surplus di azoto di origine agricola e zootecnica nel Bacino Scolante in laguna di Venezia realizzata da Burigana et al. (2003) evidenzia che la parte nord-occidentale del Bacino Scolante, relativa in particolare all'alta pianura antica del Piave e del Brenta (sistemi di paesaggio P1 e B1), nonché all'alta pianura recente del Brenta (sistema di paesaggio B2) ed in quota parte alla bassa pianura antica del Brenta (sistema di paesaggio B3), è caratterizzata da una elevata significatività del "surplus" come indicatore del rilascio di azoto nelle acque derivante dall'attività agro-zootecnica: questi suoli sono in genere caratterizzati da una capacità protettiva che varia da bassa a moderatamente alta.

Nel Piano Direttore si prefissa una riduzione della coltivazione della coltura del mais nell'ambito del Bacino Scolante per una superficie complessiva di circa 20.000 ha rispetto all'uso del suolo al 1997. Supponendo una localizzazione di tali superfici da sostituire nelle aree già individuate a maggior surplus di azoto ed inserendo, in luogo della coltura del mais, delle colture erbacee poliennali dedicate (es. canna comune e miscanto), è possibile stimare una riduzione del carico di azoto in laguna di Venezia variabile tra 200 e 1.000 t N/anno (si ipotizzano suoli con perdite medie di nitrati variabili tra 10 e 50 kg/ha/anno), dando quindi un contributo sostanziale da parte del settore agricolo al raggiungimento degli obiettivi previsti dal Piano Direttore.

**Tabella 7.31: riduzione delle perdite di azoto del terreno a seguito dell'applicazione del modello di filiera agro-energetica "canna comune - energia".**

Azienda agricola	Riduzione delle perdite di azoto (kg N/anno)	
	Monosuccessione mais	Scenario protettivo
"Aurora" e "Pavanato Maria Cristina"	41,2	20,6
"Margherita"	23,1	19,2