



## Stima della disponibilità di biomassa e alternative di utilizzo energetico: un'applicazione alla provincia di Piacenza

Lorenzo Zullo<sup>a</sup>, Giulia Fiorese<sup>a,b\*</sup>, Marino Gatto<sup>a</sup>,

Giorgio Guariso<sup>a</sup>, Stefano Consonni<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Dipartimento di Elettronica e Informazione, Politecnico di Milano, via Ponzio 34/5, 20133 Milano, Italia

<sup>b</sup>Dipartimento di Scienze Ambientali, Università degli Studi di Parma, Parco Area delle Scienze, 43100 Parma, Italia

<sup>c</sup>Dipartimento di Energetica, Politecnico di Milano, piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano, Italia

---

### Abstract

Con l'entrata in vigore del protocollo di Kyoto sono divenuti necessari la ricerca e l'impiego di fonti energetiche rinnovabili che riducano la dipendenza dai combustibili fossili, riducendo così le emissioni di gas serra in atmosfera: le biomasse rappresentano una possibilità concreta e attuale in tal senso. In questo studio è stato considerato il caso particolare della Provincia di Piacenza. Dopo aver stimato la quantità di biomassa disponibile, sono state delineate diverse alternative di utilizzo caratterizzate dalla tecnologia impiegata, dal numero, dimensione e localizzazione degli impianti e dai bacini di conferimento; le alternative sono state ottimizzate dal punto di vista economico, energetico ed emissivo. Come fonte di biomassa sono stati presi in considerazione il settore agroalimentare, il settore industriale, gli allevamenti, le aree boschive e le aree destinabili a coltivazioni energetiche. Una differenziazione è stata effettuata tra biomasse secche e biomasse umide: le prime destinate a processi fisici di combustione, le seconde a processi biologici di fermentazione anaerobica. La forma finale di energia in entrambi i casi è l'elettricità e/o il calore. Il problema della stima è stato affrontato attraverso l'impiego di banche dati, studi statistici e l'utilizzo di software capaci di analizzare ed elaborare immagini satellitari; lo sviluppo di modelli matematici ha invece permesso l'ottimizzazione degli scenari di utilizzo proposti.

© 2005 SIItE. All rights reserved

Keywords: biomasse; combustione; cogenerazione; fermentazione anaerobica; ottimizzazione; riduzione CO<sub>2</sub>.

---

### 1. Introduzione

Tra le diverse forme di energia rinnovabile, le biomasse sono quelle maggiormente legate al territorio. La loro presenza, intesa in termini sia di

quantità che di tipologia, varia in relazione a fattori climatici, morfologici, economici e sociali. Aree geografiche vicine da un punto di vista spaziale potrebbero infatti possedere dei potenziali di disponibilità di biomassa alquanto differenti dati da

---

\* Corresponding author. Tel.: +39-02-2399-9630; fax: +39-02-2399-9611; e-mail: fiorese@elet.polimi.it.

discordanze nell'uso del suolo, nella presenza antropica, nello sviluppo agricolo ed industriale. Allo stesso modo, territori con ugual potenziale di biomassa potrebbero mostrare delle divergenze nel dimensionamento e nella localizzazione degli impianti. Essendo le biomasse una risorsa distribuita sul territorio, la morfologia del territorio, i collegamenti infrastrutturali e le relative distanze divengono un fattore decisivo che può influenzare la scelta da un punto di vista sia tecnico, relativamente alla scelta della tipologia impiantistica da utilizzare, sia economico, nella valutazione dei costi di trasporto e degli impianti in relazione alla loro dimensione, sia energetico e ambientale, nella stima dei consumi energetici e dei costi emissivi legati al trasporto.

In base a quanto appena detto, è stata sviluppata una metodologia di stima delle biomasse legata all'analisi del territorio e delle attività agricole e industriali in esso insediate. Ampliando un modello di ottimizzazione preesistente (Fiorese *et al.* 2005), è stato possibile stabilire il numero e la dimensione degli impianti e i relativi bacini di conferimento, massimizzando il valore di tre distinte funzioni obiettivo: una economica, relativa al valore netto attualizzato (NPV) degli impianti proposti, una emissiva, data dalle emissioni di CO<sub>2</sub> evitate rispetto all'utilizzo di combustibili fossili convenzionali e una energetica, finalizzata alla massimizzazione dell'energia netta prodotta. La metodologia di stima e il modello di ottimizzazione sviluppati sono quindi stati applicati alla provincia di Piacenza.

## 2. Stima della disponibilità delle biomasse

Le fonti di biomassa presenti su un territorio possono essere innumerevoli e di diversa natura. Per la stima della biomassa disponibile, l'area presa in esame deve essere sottoposta ad un'accurata analisi che non si limiti all'ambiente in senso stretto (aspetti geomorfologici e naturalistici). Si devono, ad esempio, individuare le attività agricole e industriali che producono come residuo sostanza organica disponibile (ossia attualmente non impiegata per altri scopi) e differenziata (per evitare emissioni in atmosfera di sostanze inquinanti e tossiche) (Paine *et al.* 1996). Si è ritenuto inoltre opportuno pianificare un possibile potenziamento della biomassa

disponibile, attraverso l'utilizzo delle superfici agricole non utilizzate per la piantagione di Short Rotation Forestry (SRF), ossia colture di pioppo finalizzate alla produzione di biomassa per scopi energetici.

La stima delle biomasse ricavabili annualmente da un territorio è soggetta a incertezza. Tra le molte variabili che influiscono sul reale ammontare annuo di biomassa disponibile si possono citare i fattori climatici, la produttività delle colture agricole, la quantità di residui industriali effettivamente prodotta e utilizzata per altri scopi, la struttura di ogni singolo allevamento e la quantità di liquami effettivamente sparsi come ammendanti sui terreni agricoli. Questa incertezza incide anche sui residui forestali, la cui disponibilità, oltre che da fattori climatici, dipende dall'estensione delle pratiche di taglio, dalle tipologie di risorse forestali, dalla modalità di gestione e dalle condizioni economiche (Van Belle *et al.* 2003). La stima ottenuta risulta comunque significativa per una valutazione iniziale del potenziale delle biomasse del territorio, soprattutto se viene abbinata ad un'analisi di sensitività eseguita sui principali parametri adottati.

### 2.1. Metodologia di stima

Per ogni settore considerato, è stata formulata una metodologia di stima delle biomasse disponibili:

- **Residui agroalimentari:** dall'estensione delle superfici coltivate e dalla produttività annua della coltura in esame si ricava la produzione primaria; da questa, mediante l'utilizzo di parametri relativi alla quantità di residuo per unità di prodotto primario e alla percentuale di residuo attualmente già utilizzato (ANPA e ONR 2001), si ricava il residuo agricolo corrispondente alla quantità di biomassa annua potenzialmente utilizzabile per scopi energetici.
- **Residui industriali:** i residui della lavorazione industriale di prodotti agricoli possono essere ricavati dai dati contenuti nelle dichiarazioni MUD (Modello Unico di Dichiarazione Ambientale). I residui provenienti dall'industria del legno possono essere stimati, conoscendo il numero di addetti, tramite un parametro che stima per ogni addetto una produzione annua di residui legnosi pari a 11,2 ton (Cerullo e Pellegrini 2002),

stima confermata anche dai certificati MUD relativi alle industrie del settore.

- **Residui forestali:** dall'estensione della superficie forestale (ISTAT 2002), dalla conoscenza dei turni di taglio ottenibili dalla Polizia Forestale e della percentuale di residui, che in altri studi è stata considerata essere pari al 20% (Fiorese *et al.* 2005), si ricava la disponibilità di residui forestali a fine energetico; deve essere utilizzato anche un modello di elevazione digitale del terreno per escludere le superfici forestali localizzate in aree difficilmente raggiungibili a causa dell'elevata pendenza del terreno.
- **Reflui zootecnici:** la quantità di reflui zootecnici si stima dai dati relativi al censimento degli allevamenti di bovini e di suini. Dalle tonnellate di peso vivo presente negli allevamenti e per mezzo di parametri tecnici (Niccoli e Fanti 2000) si ricavano le tonnellate annue di sostanza organica prodotte dagli allevamenti provinciali.
- **SRF:** dall'estensione delle superfici agrarie non utilizzate e con i parametri tecnici relativi alla coltura energetica del clone Luisa Avanzo del pioppo (densità di 17000 piante/ha, turno di taglio di 4 anni, produttività annua pari a 12,93 ton/ha) si stima la produzione annuale di biomassa da SRF.

### 3. Tecnologie considerate per l'utilizzo energetico delle biomasse

Tra i diversi processi utilizzabili per produrre energia dalle biomasse (McKendry 2002) sono stati scelti la combustione diretta per le biomasse secche e la fermentazione anaerobica per le biomasse umide. La scelta è motivata dal fatto che questi processi sono ampiamente diffusi e consolidati, con una conseguente elevata disponibilità di dati tecnici ed economici fondamentali per poter adeguatamente modellizzare e ottimizzare il sistema energetico che si vuole proporre. In particolare, sono state scelte le seguenti tecnologie:

- **Impianti elettrici:** la tipologia di impianto proposta è un impianto con ciclo a vapore. L'impianto è composto da una camera di combustione, in cui avviene la combustione delle biomasse secche ed il cui calore generato viene

trasferito all'acqua contenuta in un boiler; l'acqua evapora ed il vapore così generato entra in una turbina ad una pressione di circa 60 bar ed una temperatura di 450 °C. L'energia meccanica della turbina viene convertita in energia elettrica tramite un generatore. Il vapore in uscita dalla turbina viene fatto condensare per ricominciare il ciclo. Tenendo conto di tutti i passaggi della trasformazione, si ottiene un rendimento elettrico complessivo compreso tra il 5 e il 40% (Quaak *et al.* 1999). Vengono considerati in questo studio solamente impianti con una potenza elettrica maggiore di 5 MWe.

- **Impianti elettrici con cogenerazione:** il principio di funzionamento è il medesimo di quello descritto per gli impianti elettrici, in aggiunta viene prodotta anche energia termica, a discapito di una diminuzione nella potenza elettrica. Parte del vapore viene spillato dalla turbina ad una pressione di 2,5 bar e, per mezzo di uno scambiatore di calore e di una rete di teleriscaldamento, viene distribuito calore alle utenze. Sono considerati impianti con una potenza maggiore di 5 MWe.
- **Caldaje domestiche:** come le due alternative precedenti, anche questa è proposta per l'utilizzo delle biomasse secche. L'impianto domestico a combustione di biomassa che si è considerato è composto da una caldaia con bruciatore a fiamma inversa, un accumulatore termico, un boiler ed una centralina di controllo. La fiamma inversa consente di ottenere una combustione progressiva del combustibile legnoso, che non prende fuoco nel vano di carico e permette di ottenere una combustione più controllata con un aumento del rendimento complessivo (Castellazzi e Berlen 2003). Gli impianti considerati hanno una potenza termica pari a 20 kW.
- **Impianti aziendali di biogas:** questa alternativa è proposta per l'utilizzo delle biomasse umide. Gli impianti proposti sono della stessa tipologia e dimensione di un impianto aziendale costruito nel 1993 in un allevamento suinicolo in provincia di Parma e sottoposto ad una campagna di controllo dal Centro Ricerche Produzioni Animali (Piccinini 2004, Piccinini e Bonazzi 2005). In questi impianti viene prodotto biogas dalle biomasse umide tramite un processo di

Tabella 1  
Alternative proposte per l'utilizzo delle biomasse.

TIPOLOGIA BIOMASSA	PROCESSO	IMPIANTI	DIMENSIONE	BIOMASSA DESTINATA	UTILIZZO BIOMASSA	ENERGIA PRODOTTA	
BIOMASSE SECCHIE	CONVERSIONE TERMOCHIMICA	A1	Ciclo a vapore	>5 MWe	100%	Concentrato	Elettricità
		A2	Ciclo a vapore con cogenerazione	>5 MWe	100%	Concentrato	Elettricità e Calore
		A3	Ciclo a vapore	>5 MWe	50%	Concentrato	Elettricità
			Caldaie domestiche	20 kWt	50%	Distribuito	Calore
BIOMASSE UMIDE	CONVERSIONE BIOCHIMICA	B1	Fermentazione anaerobica e combustione del biogas in cogeneratore	Impianto aziendale	100%	Distribuito	Elettricità

fermentazione anaerobica che avviene all'interno di appositi digestori. Il biogas così prodotto viene bruciato in un cogeneratore da 50 kW<sub>e</sub> per la produzione di energia elettrica da vendere alla rete elettrica nazionale e la produzione di calore per il riscaldamento dei liquami nei digestori.

In base alle tecnologie scelte appena descritte, sono state proposte tre alternative per l'utilizzo delle biomasse secche ed una per le biomasse umide (tabella 1).

#### 4. Modello decisionale e ottimizzazione del sistema

Le alternative proposte, presentate in tabella 1, sono state modellizzate per valutarne, secondo tre funzioni obiettivo da ottimizzare, le prestazioni energetiche, ambientali ed economiche. A questo fine, è stato ampliato un modello proposto da Fiorese *et al.* (2005). L'estensione del modello è stata effettuata aumentando le variabili decisionali. In particolare, è stata aggiunta una variabile decisionale relativa al numero di impianti, le cui dimensioni sono considerate variabili e dipendenti dai bacini di conferimento, ovvero dalla biomassa conferita all'impianto. In questo modo è possibile verificare se sia più conveniente la creazione di un unico grande impianto o di più impianti. L'unità di analisi nel modello è il comune, in cui si ipotizza concentrata la biomassa disponibile nel comune e l'eventuale impianto per la produzione di energia. Il modello sviluppato è stato applicato alla provincia di Piacenza, a cui è stata abbinata un'analisi di sensitività sui principali parametri adottati

Le variabili decisionali del modello proposto sono:

- Numero di impianti;
- Matrice  $X$ , il cui elemento  $x_{i,j}$  rappresenta la percentuale di biomassa del comune  $i$  che confluisce all'impianto (se presente) del comune  $j$ ;
- Vettore binario  $Y$ , il cui elemento  $y_j$  rappresenta la presenza o meno di un impianto nel comune  $j$ .

I dati in ingresso al modello sono le distanze tra i comuni dell'area in esame e la quantità di biomassa disponibile in ogni comune. La biomassa che confluisce ad ogni impianto definisce automaticamente la sua dimensione; per ottimizzare la dimensione dell'impianto, i costi di investimento dell'impianto (figura 1) e l'efficienza di conversione energetica (figura 2) sono stati definiti in funzione della sua dimensione secondo opportune funzioni non lineari. La funzione relativa all'efficienza elettrica è stata ottenuta interpolando funzioni proposte in altri studi (Bridgwater 1995, Domburg e Faaij 2001), mentre i costi dell'impianto

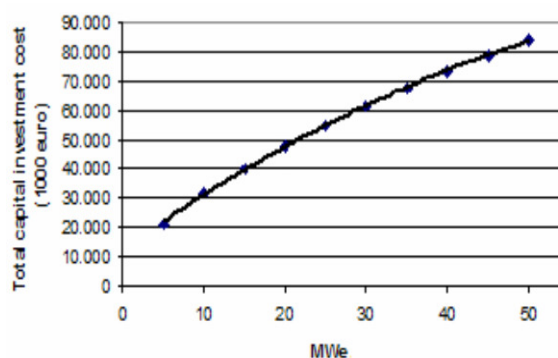


Figura 1. Costi d'investimento dell'impianto in funzione della potenza elettrica.

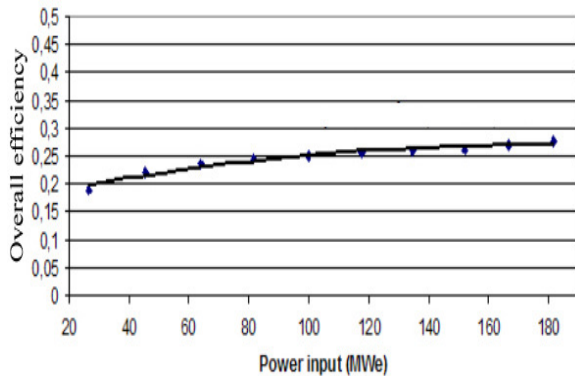


Figura 2. Efficienza complessiva in funzione della potenza dell'impianto.

derivano da uno studio effettuato da Caputo *et al.* (2005). I costi di investimento tengono conto dei fattori di scala. I costi emissivi, energetici ed economici relativi al trasporto dipendono dalle distanze percorse e dalle quantità di biomassa trasportate. Per la scelta della localizzazione degli impianti di cogenerazione, si è considerata, per mezzo della densità abitativa, anche la predisposizione dei comuni ad una rete di teleriscaldamento. Per la soluzione del modello (Zullo 2005) è stato utilizzato un risolutore matematico (Heerink 2004). I tre obiettivi da massimizzare sono:

- **Obiettivo emissivo:** emissioni di CO<sub>2</sub> evitate rispetto alla produzione del medesimo quantitativo di energia per mezzo di combustibili fossili convenzionali, considerando anche le emissioni generate dal trasporto delle biomasse e dalla coltivazione delle SRF.
- **Obiettivo energetico:** energia totale prodotta al netto dell'energia richiesta per il trasporto delle biomasse e per la coltivazione delle SRF.
- **Obiettivo economico:** valore netto attualizzato (NPV) degli impianti proposti, calcolato su un arco temporale di 20 anni. Nell'NPV degli impianti sono inclusi i costi iniziali d'investimento, i costi operativi (acquisto e trasporto delle biomasse, smaltimento delle ceneri, manutenzione) e i costi per la coltivazione delle SRF.

## 5. Il caso di studio della provincia di Piacenza

In provincia di Piacenza (figura 3), le maggiori fonti potenziali di approvvigionamento di biomassa sono: l'agricoltura (residui agricoli di frumento, pomodoro, granturco, orzo, soia, barbabietola da zucchero e vite), le aree forestali (residui forestali di fustaie, cedui semplici e cedui composti), l'industria di lavorazione del legno (residui legnosi), l'industria agroalimentare (residui vegetali provenienti dalla lavorazione del pomodoro) e gli allevamenti bovini e suini (reflui zootecnici provenienti dagli allevamenti). Le attività agricole ed industriali sono insediate nella zona settentrionale di pianura, mentre le aree forestali nell'area appenninica nel sud della provincia.

### 5.1. Stima della disponibilità di biomasse

I parametri tecnici utilizzati per la stima delle biomasse e i dati necessari relativi alla provincia di Piacenza sono mostrati in tabella 2 (residui forestali), in tabella 3 (residui agroalimentari) e in tabella 4 (reflui zootecnici). Per quanto riguarda la SRF, dai dati ISTAT (2000) si è ricavata la superficie agricola non utilizzata; sono stati esclusi i comuni la cui somma delle superfici agrarie non utilizzate è risultata inferiore a 50 ha. Inoltre, per ragioni tecniche legate alla meccanizzazione delle SRF, non sono stati considerati i comuni montani ed il 50% dei comuni collinari. In totale risultano 991 ha per la SRF con una produzione annuale di biomassa pari a 12.811 ton.

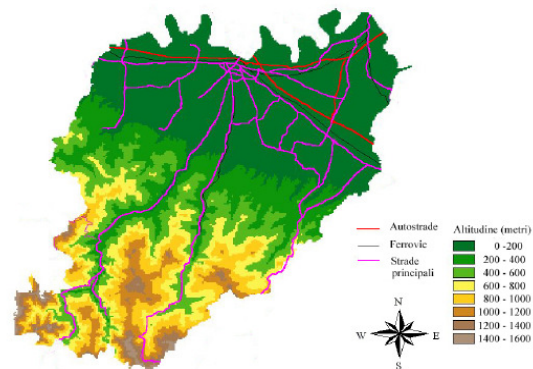


Figura 3. Altimetria, ferrovie, autostrade e principali strade nella provincia di Piacenza.

Tabella 2

Risorse forestale piacentine e rispettive estensioni, turni di taglio, rese e residui forestali annui. Il peso specifico della legna tagliata è stato considerato pari a 0,9 t/m<sup>3</sup>.

Tipologia bosco	Estensioni [ha]	Turni taglio [anni]	Resa [m <sup>3</sup> /ha]	Residui forestali	Totale biomassa [t/anno]
Cedui semplici	4.799	20	85	20%	3.663
Cedui composti	21.474	20	88	20%	16.930
Fustaie	49.619	80	215	20%	23.958
Totale					26.731

Tabella 3

Colture considerate nella provincia di Piacenza: resa agricola (Casali 2004), estensioni superficiali (ISTAT 2000) e parametri di conversione in residui.

Residui agricoli	Produttività [t/(ha*anno)]	Estensione superficiale [ha]	Sottoprodotto	Sottoprodotto /prodotto principale	Biomassa disponibile [t/anno]
Frumento tenero	5,01	19.280	10%	61%	5.892
Frumento duro	4,51	1.236	10%	70%	391
Granoturco	6,34	17.572	50%	130%	72.416
Orzo	4,05	5.882	10%	80%	1.906
Soia	2,50	2.387	95%	150%	8.506
Vite	7,32	12.223	95%	38%	32.828
Pomodoro	56,40	12.563	98%	30%	208.307
Barbabietola	41,80	5.533	85%	40%	78.635
Totale					408.818

La stima dei residui forestali è risultata complessa perché, come verificato in seguito ad un confronto con i dati regionali (Regione Emilia Romagna 1997), l'estensione della superficie forestale secondo i dati ISTAT è sottostimata. La copertura forestale è stata quindi stimata tramite l'analisi di immagini satellitari.

Le biomasse considerate nella provincia

Tabella 4

Parametri per la stima dei reflui zootecnici: peso vivo e produzione annua di liquami negli allevamenti piacentini.

Bestiame	Tonnellate di peso vivo [tpv]	Produzione liquami [t/(anno*tpv)]	Liquami totali [t/anno]
Bovini	24.012	24	576.288
Suini	14.560	24	349.440

piacentina provengono da diversi settori e presentano caratteristiche fisiche non omogenee. In particolare, la percentuale di umidità relativa, come mostrato in tabella 5 e tabella 6, varia notevolmente da una tipologia all'altra rendendone difficile l'utilizzo in un unico processo di conversione energetica (McKendry 2002). Sono state dunque identificate, sulla base dell'umidità, due classi di biomassa: le biomasse secche e le biomasse umide. Le biomasse secche (residui agroalimentari escluso pomodoro e barbabietola, residui dell'industria del legno, residui forestali e SRF) saranno destinate a processi di conversione termochimica; le biomasse umide (residui agroalimentari del pomodoro e della barbabietola da zucchero, residui industriali del

Tabella 5

Tonnellate di sostanza secca (tss) e rispettivo contenuto energetico proveniente dalle biomasse secche stimate nella provincia di Piacenza. Il calore specifico della biomassa secca è stato considerato pari a 17,5 GJ/tss.

Biomasse secche	Contenuto sostanza secca	Totale sostanza secca [tss/anno]	Contenuto energetico totale [GJ/anno]
Frumento tenero	85%	5.008	87.640
Frumento duro	85%	332	5.810
Granoturco	45%	32.587	570.273
Orzo	85%	1.620	28.350
Soia	48%	4.083	71.453
Vite	50%	16.414	287.245
SRF	82,5%	10.569	184.958
Residui forestali	60%	26.731	467.793
Residui industria del legno	85%	3.284	57.470
<b>Totale</b>			<b>1.760.990</b>

Tabella 6

Tonnellate di sostanza organica (tso) e rispettivo contenuto energetico, ricavato tramite il calore specifico del metano da esse ricavabile tramite fermentazione anaerobica, delle biomasse umide stimate nella provincia di Piacenza. Il calore specifico del metano è stato considerato pari a 34,5 MJ/m<sup>3</sup>.

Biomasse umide	Contenuto sostanza organica	Totale sostanza organica [tso/anno]	Biogas ottenibile per unità di sostanza organica [m <sup>3</sup> /tso]	Contenuto energetico totale [GJ/anno]
Reflui bovini	11%	63.392	200	440.682
Reflui suinicoli	7,5%	26.208	300	271.251
Residui pomodoro	15%	31.246	35	37.352
Residui barbabietola	20%	15.727	42	22.978
<b>Totale</b>				<b>772.263</b>

pomodoro e reflui zootecnici) saranno impiegate in processi di conversione biochimica.

La disponibilità annuale di biomassa in provincia di Piacenza è riportata in tabella 5 per le biomasse secche e in tabella 6 per le biomasse umide; i grafici di figura 4 mostrano invece la loro ripartizione tra i settori di provenienza. Annualmente, la provincia di Piacenza è in grado di fornire un totale di 100.627 tss di biomasse secche e 136.573 tso di biomasse umide.

Le biomasse umide provengono quasi interamente dai comuni localizzati nel nord della provincia poiché gli allevamenti e le industrie, principali fonti di biomassa umida, sono localizzati in pianura. Anche per le biomasse secche, le densità maggiori si hanno per i comuni in pianura; ciò testimonia il fatto che, in base alla metodologia di stima utilizzata, le aree

agricole risultano essere più produttive in termini di biomassa rispetto alle aree boschive, principalmente localizzate nei comuni montani. Bisogna ricordare comunque che nella stima delle biomasse provenienti dalle aree boschive sono stati considerati solamente i residui forestali e non la totalità della legna tagliata, dato che essa potrebbe avere già differenti impieghi nell'industria del legno o nel riscaldamento domestico.

Convertendo in tonnellate equivalenti di petrolio (1 tep = 41,87 GJ) i valori energetici delle biomasse secche ed umide presentati rispettivamente in tabella 5 e tabella 6, le biomasse stimate equivalgono ad un valore annuale pari a 60.700 tep, di cui quasi il 70% del contributo è dato dalle biomasse secche.

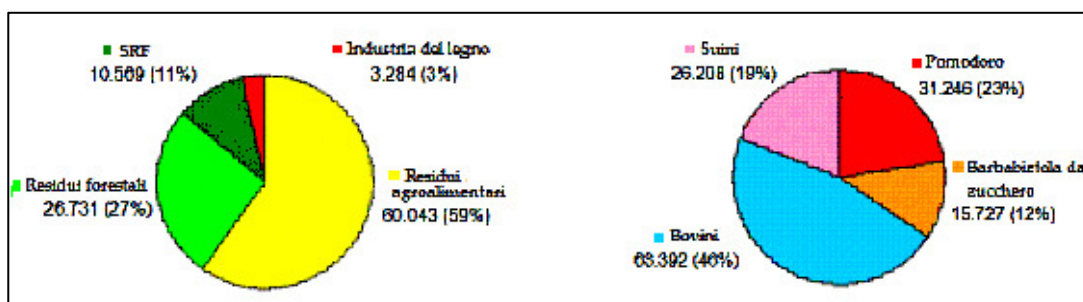


Figura 4. Settori di provenienza delle biomasse secche (sinistra): le quantità e le percentuali si riferiscono alle tonnellate di sostanza secca (tss), ossia al netto del peso dell'umidità. Settori di provenienza delle biomasse umide (destra): le quantità e le percentuali si riferiscono alle tonnellate di sostanza organica (tso), ossia al netto del peso dell'umidità.

### 5.2. Risultati dell'ottimizzazione effettuata per il caso piacentino

Nella provincia di Piacenza, per ogni alternativa (tabella 1) la massimizzazione dei tre obiettivi ha portato in maniera distinta al medesimo risultato. In tabella 7 sono mostrati i risultati dell'ottimizzazione per le differenti alternative. Nei casi di utilizzo concentrato della biomassa (A1, A2 e A3) è risultato più conveniente il trasporto della biomassa in un unico grande impianto; i vantaggi che si ottengono creando più impianti e riducendo così le distanze da percorrere, non superano gli svantaggi dovuti alla riduzione delle efficienze di conversione energetica e alla perdita di fattori di scala che la presenza di più impianti implicherebbe. In particolare, la mappa di figura 5 mostra l'ottimizzazione dell'alternativa A2. L'impianto di cogenerazione risulta localizzato nel comune di Piacenza e la tonalità cromatica dei

comuni è proporzionale alla disponibilità comunale di biomassa secca, indipendentemente dall'estensione superficiale dei comuni stessi.

Considerando gli obiettivi proposti nel paragrafo 5.1, per quanto riguarda le biomasse secche, l'alternativa A3 risulta essere la migliore dal punto di vista emissivo ed energetico (tabella 7); economicamente, invece, l'alternativa A2, ossia l'impianto di cogenerazione, è quella che genererebbe i profitti maggiori nell'arco dei 20 anni di funzionamento dell'impianto.

Tutte le alternative proposte sono vantaggiose dal punto di vista emissivo, energetico ed economico, in quanto tutte ridurrebbero le emissioni di CO<sub>2</sub>, genererebbero energia e avrebbero un NPV positivo con tempi di recupero del capitale investito che oscillano tra i 3 e gli 8 anni, rispettivamente per le alternative A1 e B1.

Tabella 7

Risultati dell'ottimizzazione delle alternative proposte per l'utilizzo delle biomasse nella provincia di Piacenza.

ALTERNATIVA	IMPIANTO	NUMERO IMPIANTI	DIMENSIONE	OBBIETTIVO EMISSIVO [tonCO <sub>2</sub> (evitate)/anno]	OBBIETTIVO ENERGETICO [tep/anno]	OBBIETTIVO ECONOMICO [k euro]
A1	Elettrico	1	15,6 MWe	44.622	22.570	59.995
A2	Cogenerazione	1	9,8 MWe 28,7 MWt	56.972	27.430	77.848
A3	Elettrico	1	6,2 MWe	78.675	28.544	56.168
	Caldaie	4.856	20 kWt			
B1	Impianti biogas	226	50 kWe	16.841	8.538	11.863

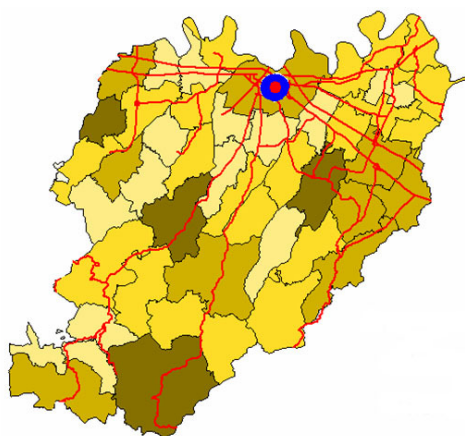


Figura 5. Visualizzazione grafica dell'Alternativa A2 ottimizzata. L'unico impianto è da 9,8 MW<sub>e</sub> e 28,7 MW, ed è localizzato nel comune di Piacenza; le strade principali sono rappresentate in rosso; la tonalità dei comuni è proporzionale alla disponibilità comunale di biomassa.

### 5.3. Analisi di sensitività sui principali parametri adottati per la provincia di Piacenza

È stata svolta un'analisi di sensitività sui principali parametri che si sono adottati nel modello e che si è ipotizzato essere costanti durante i 20 anni di vita degli impianti. I risultati maggiormente significativi sono i seguenti:

- Produttività delle colture. La coltura che influenza maggiormente l'ammontare di biomassa disponibile è il granturco: se la sua produttività diminuisse (o aumentasse) del 50%, l'energia totale proveniente dalle biomasse provinciali diminuirebbe (o aumenterebbe) del 16,2%.
- Prezzo di vendita dell'energia elettrica. Gli impianti a biogas sono quelli che risentono maggiormente della variazione del prezzo di vendita dell'energia elettrica: se il prezzo aumentasse del 50%, l'NPV dell'impianto aumenterebbe del 160%. Una diminuzione di circa il 30% azzererebbe l'NPV. Per quanto riguarda l'alternativa A2, l'azzeramento dell'NPV avverrebbe per una diminuzione del prezzo dell'energia elettrica pari a circa l'80%.
- Costi di trasporto. I costi di trasporto rappresentano circa il 12% dei costi operativi.

L'alternativa A1 è quella che risente maggiormente di una loro variazione: se i costi di trasporto raddoppiassero, il suo NPV diminuirebbe del 18%.

- Prezzo di acquisto della biomassa. Se il prezzo di acquisto della biomassa raddoppiasse, l'NPV delle diverse alternative diminuirebbe di una percentuale compresa tra il 60% e l'80%, rispettivamente per le alternative A2 e A3.

## 6. Conclusioni

Tramite questo studio è stata sviluppata una metodologia di stima del potenziale energetico delle biomasse presenti in un dato territorio. Si è inoltre ampliato un modello decisionale preesistente per ottimizzare le diverse alternative proposte per l'utilizzo energetico della biomassa. L'ottimizzazione è stata basata sulla scelta del numero, della dimensione, della localizzazione e dei bacini di conferimento degli impianti, al fine di massimizzare tre distinti obiettivi di tipo emissivo, energetico ed economico.

La metodologia di stima e il modello decisionale, applicati alla provincia di Piacenza, hanno mostrato come l'utilizzo delle biomasse risulti essere positivo sia per le emissioni di gas serra evitate, sia per l'energia prodotta, sia per i ricavi economici ad esse abbinati.

In termini di emissioni complessive provinciali di CO<sub>2</sub> evitate, tenendo presente che Piacenza è una provincia esportatrice di energia elettrica (prodotta in impianti termoelettrici), si avrebbe una riduzione che oscilla tra l'1,1% e l'1,7%, a seconda dell'alternativa adottata, rispetto ai valori di emissioni di anidride carbonica stimati per il 2000. Dal punto di vista energetico, nel caso di produzione di sola energia elettrica (alternative A1 e B1 in tabella 7), dalle biomasse locali si riuscirebbe a produrre un equivalente di elettricità pari all'8,8% del consumo elettrico della provincia avvenuto nel 2002. Infine, anche economicamente l'utilizzo delle biomasse per scopi energetici risulta conveniente; infatti, grazie ai certificati verdi, i tempi di recupero del capitale investito variano dai 3 agli 8 anni a seconda dell'alternativa considerata.

L'utilizzo delle biomasse a fini energetici, con i necessari contributi, è dunque vantaggioso dal punto di vista sia ambientale, contribuendo al raggiungimento degli obiettivi del protocollo di Kyoto, sia energetico, coprendo parte della domanda energetica locale e diminuendo così la dipendenza dai combustibili fossili, sia economico, generando profitti a breve o lungo termine in grado di coinvolgere l'economia locale.

### Ringraziamenti

Il presente lavoro è stato svolto nell'ambito del progetto Efficienza e Compatibilità Ambientale delle Tecnologie Energetiche - ECATE, finanziato dalla Regione Emilia Romagna. Gli autori ringraziano per la collaborazione l'ing. Andrea Casalegno e il dott. Gianmarco Paris del Politecnico di Milano, la dott.ssa Vanessa Scrosta dell'Università Politecnica delle Marche, l'ing. Paola Anaclerio della Provincia di Piacenza, la sezione veterinari dell'AUSL di Piacenza e la sezione provinciale di Piacenza dell'ARPA.

### Bibliografia

- ANPA e ONR (2001) I rifiuti del comparto agro-alimentare. Studio di settore, 11.
- Bridgwater A. V. (1995) *The technical and economic feasibility of biomass gasification for power generation*. Fuel, 74:631-653.
- Caputo A. C., Palumbo M., Pelagagge P. M., Scacchia F. (2005) *Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: effects of logistic variables*. Biomass and Bioenergy, 28:35-51.
- Casali G. (2004) *Relazione annata agraria 2002-2003*. Provincia di Piacenza, Servizio Provinciale Agricoltura.
- Castellazzi L., Berlen L. (2003) *Il riscaldamento domestico con caldaie a biomasse*. Il sole a 360 gradi, inserto, Newsletter di ISES ITALIA – Sezione dell'International Solar Energy Society, 07.
- Cerullo S., Pellegrini A. (2002) *Stima delle quantità di residui legnosi prodotti in Italia*. AssoLegno, Associazione nazionale industrie forestali e lavorazione legno di Federlegno-Arredo.
- Dornburg V., Faaij A. (2001) *Efficiency and economy of wood-fired biomass energy systems in relation to scale regarding heat and power generation using combustion and gasification technologies*. Biomass and Bioenergy, 21:91-108.
- Fiorese G., Gatto M., Guariso G. (2005) *Utilizzo delle biomasse a scopo energetico: un'applicazione alla provincia di Cremona*. L'Energia Elettrica, Sezione Ricerche, 82.
- Heerink Koos (2004) AIMMS, Tutorial for Professionals. Paragon Decision Technology B.V.,
- ISTAT (2000) 5° Censimento Generale dell'Agricoltura.
- ISTAT (2001) 8° Censimento dell'Industria e dei Servizi.
- McKendry P. (2002), *Energy production from biomass (part 2): Conversion technologies*, Bioresource Technology, 83:47-54.
- Niccoli V., Fanti A. (2000) *Prontuario dell'Agricoltore e del Tecnico Agrario*. Ventunesima edizione, HOEPLI.
- Paine L. K., Peterson T. L., Undersander D. J., Rineer K. C., Bartelt G. A., Temple S. A., Sample D. W., Klemme R. M. *Some ecological and socioeconomic considerations for biomass energy crop production*. Biomass and Bioenergy, 10(4):231-242, 1996.
- Piccinini S. (2004) *Buone prospettive per il biogas da residui agrozootecnici*. L'Informatore Agrario, 1:27-31.
- Piccinini S., Bonazzi G. (2005) *Nuove strade per smaltire gli effluenti zootecnici*. L'Informatore Agrario, 7:55-61.
- Quaak P., Knoef H., Stassen H. (1999) *Energy from biomass - a review of combustion and gasification technologies*. World Bank Technical, Energy series, Paper n.422.
- Regione Emilia-Romagna (1995) *Prescrizioni di massima e di polizia forestale*. Assessorato Programmazione, Pianificazione e Ambiente, Ufficio Risorse Forestali – Servizio Parchi e Foreste.
- Regione Emilia-Romagna (1997) *Inventario Forestale della Regione Emilia-Romagna*.
- Van Belle J., Temmerman M., Schenkel Y. *Three level procurement of forest residues for power plant*. Biomass and Bioenergy, 24:401-409, 2003.
- Zullo L. (2005) *Stima della disponibilità di biomassa e alternative di utilizzo energetico: un'applicazione alla provincia di Piacenza*. Tesi di Laurea, Politecnico di Milano, Milano.