

## **Biomassa forestale e piattaforme logistico-commerciali: valutazione delle potenzialità innovative del settore legno-energia in Trentino**

Sandro Sacchelli

Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, Unità per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale (CRA-MPF), P.za Nicolini 6, 38123 Villazzano (TN)  
Tel. +39 0461-381142, e-mail: sandro.sacchelli@entecra.it

### **Riassunto**

Il presente lavoro ha lo scopo di definire una metodologia per la stima delle potenzialità produttive della filiera legno-energia in provincia di Trento. Nello specifico da un lato sono stati quantificati i residui delle utilizzazioni forestali potenzialmente ritraibili, dall'altro è stata valutata la possibilità di inserimento di piattaforme logistico-commerciali atte allo stoccaggio, essiccazione, trattamento e vendita di biocombustibili legnosi a scala locale. L'utilizzo combinato di logica *fuzzy* ed Analisi Multicriteriale Geografica ha permesso di definire una prima localizzazione di massima delle piattaforme, considerando sia la distanza dall'offerta e dalla domanda di biomassa, sia la presenza di aree idonee alla realizzazione delle stesse. L'implementazione del modello di analisi spaziale *FORENERGIS* ha permesso inoltre, attraverso lo studio di diverse tipologie di filiera e peculiarità territoriali, logistiche ed economiche, di valutare le superfici boscate produttive, il quantitativo annuo di biomassa ottenibile e l'economicità dei processi di utilizzazione forestale. L'analisi dei risultati ha consentito, infine, di discriminare le aree maggiormente vocate all'inserimento di piattaforme logistico-commerciali. La flessibilità riscontrata nel modello ed i buoni risultati emersi in fase di validazione, sembrano renderlo potenzialmente idoneo per l'applicazione dell'analisi ad altre realtà nazionali.

### **Abstract**

*This work aims to define a methodology able to highlight the potential characteristics of woody bioenergy chain in the province of Trento. Specifically, total amount of forest utilisation residues were estimated. In addition, the suitability of Biomass Logistics and Trade Centers (BLTC) to storage, dehydrate, processing and selling of biofuel was evaluated. The combination of fuzzy logic and Geographic Multicriteria Evaluation permits to define a preliminary localization of BLTC according to biomass supply/demand distance and the presence of appropriate area for construction. The implementation of geomorphological, logistical and economic variables in a GIS-based model (called FORENERGIS) allows to calculate productive forest surfaces, total amount of biomass and economic feasibility of silvicultural interventions. Results analysis depicts the more suitable areas for the introduction of BLTC. Finally, the flexibility of the model and good validation results seem to make FORENERGIS able to be applied in other national context.*

### **1. Introduzione**

Negli ultimi anni l'utilizzo e la valorizzazione di nuove forme di produzione energetica basate su fonti rinnovabili ha assunto notevole interesse per gli obiettivi fissati in materia di riduzione delle emissioni climalteranti e di sviluppo sostenibile, dal livello internazionale a quello locale. Il settore delle biomasse legnose di origine agro-forestale rappresenta in Italia uno dei maggiori campi di possibile implementazione di filiere bioenergetiche; oltre che un'oculata valutazione delle risorse

utilizzabili in modo sostenibile dal punto di vista ecologico, deve però essere definita anche la sostenibilità economica della filiera attraverso la valutazione della logistica e dell'organizzazione dei processi produttivi. La nascita di piattaforme logistico-commerciali utili per lo stoccaggio, essiccazione e vendita di biomasse legnose sembra, pertanto, rappresentare uno dei possibili punti di innovazione del settore bioenergetico. Francescato et al. (2010) definiscono le piattaforme biomassa quali infrastrutture logistico-commerciali per la valorizzazione dei combustibili legnosi prodotti dalle risorse locali da parte degli operatori agro-forestali. Gli stessi autori individuano alcuni dei principali obiettivi delle piattaforme, tra cui l'implementazione di servizi energetici e di vendita dei biocombustibili legnosi e lo sviluppo di strategie di marketing sui temi della garanzia e della sicurezza dell'approvvigionamento nei confronti dei consumatori locali.

In quest'ottica la presente ricerca ha lo scopo di individuare una metodologia di analisi della filiera legno-energia incentrata sullo studio dell'utilizzazione degli scarti degli interventi selvicolturali (ramaglie e cimali), che valuti la convenienza economica dei processi produttivi ed il quantitativo totale di biomassa disponibile, nell'ipotesi di differenti cantieri produttivi e di introduzione di piattaforme logistico-commerciali nel contesto della Provincia Autonoma di Trento (PAT).

## **2. Materiali e metodi**

### **2.1 Area di studio**

L'area di studio corrisponde alla provincia di Trento, localizzata nelle Alpi orientali. Il territorio è ricoperto da boschi per un 56% della superficie totale (345.706 ha su 620.690 ha), con il 79% di fustaie, in prevalenza di abete rosso, ed il 21% di cedui. La superficie forestale produttiva è pari all'80%, mentre il restante 20% ricade in quella protettiva (Provincia Autonoma di Trento – Servizio Foreste e Fauna, 2009).

L'impiego di biomassa legnosa residuale a scopo energetico è ad oggi, piuttosto sviluppato nel territorio in esame. Considerando le informazioni riportate all'interno di un database dell'Agenzia Provinciale dell'Energia (APE) (Provincia Autonoma di Trento – Agenzia Provinciale dell'Energia, 2010) è stata stimata una domanda annua totale di energia da biocombustibili solidi in impianti di teleriscaldamento di potenza medio-grande (superiore a 500 kW), pari a circa 420.000 MWh (in impianti attuali e/o in corso di progettazione/ampliamento). Ad oggi il fabbisogno energetico viene principalmente soddisfatto dall'offerta di residui provenienti dalle industrie di prima trasformazione del legno (85% circa). Gli scarti delle utilizzazioni forestali sono impiegati negli impianti a biomassa in maniera minore; questo è dovuto alla difficoltà di sfruttamento della ramaglia e dei cimali a causa delle condizioni geomorfologiche prevalenti nel territorio Trentino, che possono rendere anti-economico un intervento in tale direzione. L'utilizzo di questa tipologia di biocombustibili deve prevedere pertanto l'impiego di cantieri altamente meccanizzati che riescano a superare le suddette difficoltà tecnico-logistiche (Spinelli, Magagnotti, 2007; Spinelli, Secknus, 2005). La stima di un futuro accrescimento nella domanda di legno cippato da parte degli impianti di teleriscaldamento ed il potenziale conflitto nei flussi di residui da segheria, che può derivare tra il settore energetico ed altri impieghi (come la produzione di pannelli) (Sacchelli et al., 2011) porta alla necessità di approfondire la valutazione della possibilità di sfruttamento del cippato di origine forestale.

### **2.2 Scenari di analisi e predisposizione del Sistema Informativo Territoriale (SIT)**

Il lavoro è stato incentrato sulla predisposizione di un modello di analisi spaziale su base GIS (*Geographic Information System*) sviluppato su *software* Idrisi Andes 15.00, capace di valutare le seguenti caratteristiche relative alle utilizzazioni forestali ed allo sfruttamento della ramaglia residuale a scopo energetico, limitatamente alle fustaie produttive: i) tipologia del cantiere forestale in base alle condizioni di pendenza, accidentalità e distanza dalla viabilità forestale e principale; ii) distanza dal punto di esbosco all'impianto a cippato più vicino od alla piattaforma logistico-commerciale più vicina e distanza dalla piattaforma all'impianto a biomassa, in funzione dello scenario previsto; iii) costi di produzione degli assortimenti tradizionali e del cippato, comprensivi

delle fasi di abbattimento, allestimento, esbosco, trasporto e delle spese generali; iv) calcolo degli introiti derivanti dalla vendita del materiale legnoso e v) valutazione delle superfici a macchiatico positivo, ovvero di quelle in cui la differenza tra ricavi e costi di produzione è maggiore di zero, con relativa stima dell'offerta potenziale di biocombustibili e dell'utile economico totale del processo di utilizzazione. Il modello (FORENERGIS) è stato suddiviso in *sub-models* al fine di rendere le operazioni di elaborazione più flessibili ed i tempi computazionali più brevi. Sono stati analizzati differenti scenari produttivi caratterizzati dalle seguenti scelte operative:

- Organizzazione della filiera legno-energia: le due ipotesi inserite nel modello prevedono la possibilità di cippatura del materiale forestale di scarto all'imposto con il trasporto del cippato direttamente all'impianto di teleriscaldamento oppure il trasporto della ramaglia dall'imposto alla piattaforma biomasse, con seguente essiccazione del biocombustibile, cippatura e trasporto all'impianto. La principale differenza tra le due alternative (oltre che i differenti costi di trasporto e gestione dei residui) consiste nel diverso grado di contenuto idrico del biocombustibile venduto all'utenza finale (50% nel primo caso e 30% nel secondo) e quindi nel diverso contenuto energetico.

- Grado di prelievo di biomassa legnosa residuale: in base a dati di bibliografia (Spinelli, Magagnotti, 2007) è possibile infatti ipotizzare che per ogni metro cubo di ripresa finale (corrispondente al volume di legname che può essere utilizzato per ogni particella forestale a fine turno) possano essere prelevate dalle 0,1 alle 0,6 tonnellate di sostanza fresca di residuo in base alla tipologia di taglio effettuata; nel nostro caso sono stati identificati tre valori pari a 0,1, 0,35 e 0,6 tonnellate.

- Modalità di vendita del residuo: è stata prevista la possibilità di vendita diretta di cippato da parte della ditta di utilizzazione forestale all'utente finale o la vendita dell'energia tramite operazioni di *Energy Contracting* (Cesano, Guidi, 2006). In quest'ultimo caso l'analisi prevede il costo aggiuntivo della realizzazione e gestione dell'impianto a biomassa e non solo la fornitura di materiale legnoso per l'alimentazione dello stesso.

- Variazione dei prezzi di vendita del cippato (o dell'energia) in un *range* di valori stabilito in base ad indagini di mercato e possibili variazioni future.

L'analisi è stata condotta a partire da cartografie *raster* con risoluzione 40 x 40m. I risultati possono essere quindi rappresentati a diversi livelli in considerazione dell'unità amministrativa scelta (comune, comunità di valle, distretto forestale o provincia).

L'implementazione del modello ha previsto come prima fase del lavoro la predisposizione di un Sistema Informativo Territoriale (SIT), comprendente i seguenti tematismi (tabella 1):

<i>Strato informativo</i>	<i>Tipologia del dato</i>	<i>Fonte</i>	<i>Caratteristiche</i>
Confini amministrativi	Vettoriale	ISTAT (2011); Servizio Foresta e Fauna della Provincia Autonoma di Trento	Strato informativo poligonale dei confini amministrativi della provincia di Trento, comprendente Comuni, Comunità di Valle e Distretti forestali.
Modello Digitale del Terreno ( <i>Digital Terrain Model – DTM</i> )	Raster	Servizio Urbanistica e Tutela del Paesaggio della Provincia Autonoma di Trento	Modello Digitale del Terreno con risoluzione di 10x10m, ridotta a 40x40m al fine di velocizzare la fase di elaborazione.
Viabilità	Vettoriale	Servizio Foreste e Fauna della Provincia Autonoma di Trento	Strato informativo riportante la viabilità principale e forestale.
Piani Economico Forestali (PEFO)	Vettoriale	Servizio Foreste e Fauna della Provincia Autonoma di Trento	Strato informativo poligonale contenente le informazioni dei Piani di Assestamento Forestale trentini. Le variabili utilizzate sono: accidentalità, ripresa a fine turno (mc/ha), ripartizione percentuale per specie arborea e diametro medio delle piante.

Localizzazione degli impianti di teleriscaldamento a biomassa	Vettoriale	Agenzia Provinciale per l'Energia (APE)	Strato informativo puntuale relativo alla localizzazione degli impianti di teleriscaldamento a cippato di potenza maggiore a 500kW.
Barriere naturali alle operazioni di esbosco e trasporto: crinali e burroni, laghi e fiumi	Raster e vettoriale	DTM da Servizio Urbanistica e Tutela del Paesaggio; Sistema Informativo Ambientale e Territoriale (SIAT) della Provincia Autonoma di Trento	I crinali ed i burroni sono stati definiti in base ad una classificazione di <i>Topographic Position Index</i> sviluppata a partire dal DTM GRID 40m su software ArcView 3.2.
Aree industriali	Vettoriali	Uso del suolo da Cartografia Tecnica Provinciale (CTP) da Servizio Urbanistica e Tutela del Paesaggio	Aree produttive industriali e artigianali

Tabella 1 – Sistema Informativo Territoriale (SIT).

## 2.3 Caratteristiche del modello FORENERGIS

### 2.3.1 Localizzazione delle piattaforme biomassa

L'ipotesi di introduzione di piattaforme logistico-commerciali ha portato alla necessità di definire una prima localizzazione di massima delle stesse. La metodologia di analisi ha combinato la tecnica dell'Analisi Multicriteriale Geografica (AMCG) (Jiang, Eastman, 2000) e della logica *fuzzy* (Zimmermann, 1987). In particolare, in base alle caratteristiche territoriali ed alle dimensioni provinciali, è stata valutata la realizzazione di una piattaforma per distretto forestale. La scelta della localizzazione ottimale ha previsto la combinazione della distanza dalle risorse forestali, ovvero dal punto baricentrico rispetto a tutte le particelle di fustaia produttiva dei Piani di Assestamento Forestale della PAT con ripresa maggiore di zero (offerta), dal punto baricentrico rispetto agli impianti di teleriscaldamento alimentati a cippato (domanda) e la presenza di aree industriali/artigianali. Le distanze dall'offerta e dalla domanda sono state normalizzate in un *range* 0-1 con una operazione di logica *fuzzy* sul valore massimo riscontrabile sull'intero territorio provinciale. Il grado di idoneità all'installazione di piattaforme biomassa è stato quindi calcolato per ogni *pixel* dell'area provinciale come media (non pesata) dei due valori precedenti come da formula 1.

$$I_{i,f} = \frac{o_{i,f} + d_{i,f}}{2} \quad [1]$$

con:

$I_{i,f}$ : idoneità all'installazione di piattaforme logistico-commerciali per il *pixel*  $i$ -esimo nel distretto forestale  $f$ ;  $o_{i,f}$ : distanza normalizzata dall'offerta di biocombustibili del *pixel*  $i$ -esimo nel distretto forestale  $f$ ;  $d_{i,f}$ : distanza normalizzata dalla domanda di biocombustibili del *pixel*  $i$ -esimo nel distretto forestale  $f$ .

Infine, per ogni distretto forestale, è stato scelto come sito di potenziale realizzazione, l'area industriale che presentava un'estensione maggiore a 8000 m<sup>2</sup> (Francescato et al., 2010) ed il più alto grado di vocazione in termini di distanza da offerta e domanda di cippato.

### 2.3.2 Sub-model "Tipologia di cantiere forestale"

La scelta della tipologia di cantiere forestale da applicare nelle varie particelle forestali, ha tenuto in considerazione le caratteristiche geomorfologiche e la distanza dalla viabilità delle aree boscate (Lora, 2009). In particolare le variabili introdotte nel modello sono la pendenza, l'accidentalità e la distanza dalle strade principali e forestali; in funzione dei suddetti fattori la logistica delle fasi di abbattimento, allestimento ed esbosco del materiale legnoso può essere effettuata attraverso le seguenti metodologie:

- accoppiata *harvester-forwarder* (pendenza: <30%; accidentalità: classi 0-1; distanza dalla viabilità: <800m);
- esbosco con gru a cavo e allestimento all'imposto con processore (pendenza compresa tra il 30% ed il 120%; accidentalità: classi 0-1-2-3; distanza dalla viabilità forestale: <1000m).

### 2.3.3 Sub-model “Distanze di esbosco e trasporto”

Attraverso una serie di operazioni di *Cost surface* (Eastman, 1989) è stato possibile calcolare la distanza di esbosco del materiale legnoso tra ciascun *pixel* ricadente nelle particelle forestali e la viabilità più prossima (non essendo disponibile lo strato informativo dettagliato degli imposti). Le distanze di trasporto dei residui delle utilizzazioni considerano le tratte punto di esbosco-piattaforma logistica, punto di esbosco-impianto a biomassa e piattaforma-impianto, a seconda dello scenario previsto. Al fine di calcolare le distanze reali, tutte le barriere naturali (vedi tabella 1) sono state “tagliate” in presenza della viabilità principale e forestale (i punti di intersezione corrispondono infatti a ponti, passi, gallerie, ecc.).

### 2.3.4 Sub-models “Costi di produzione” e “Ricavi e quantificazione delle potenzialità produttive”

La quantificazione della potenzialità produttiva della filiera legno-energia della provincia di Trento, espressa in termini di tonnellate di ramaglia forestale e valore finanziario dei boschi, è stata valutata in funzione delle particelle forestali in cui il macchiatico (ovvero la differenza tra i ricavi ed i costi di utilizzazione) è positivo.

Nello specifico i costi di produzione possono essere ricondotti, a seconda del cantiere e della logistica della filiera, a (figura 1):

- abbattimento con motosega (Spinelli, Magagnotti, 2005; Spinelli et al., 2006);
- allestimento con processore (Grigolato, 2007; Spinelli et al., 2006);
- abbattimento e allestimento con *harvester* (Spinelli, 2010; Cavalli, Zuccoli Bergomi, 2006);
- esbosco con gru a cavo o *forwarder* (Lubello, 2008);
- trasporto dei residui forestali con camion (Spinelli et al., 2007);
- cippatura all'imposto o alla piattaforma biomassa (Negrin, Pettenella, 2010; Spinelli et al., 2007);
- realizzazione della piattaforma logistico-commerciale, con valutazione del costo definita grazie alla metodologia di analisi economica sviluppata per il progetto *Biomass Trade Center* (Loibnegger, Metschina, 2010);
- realizzazione e gestione dell'impianto di teleriscaldamento a cippato (Bernetti, Fagarazzi, 2008).

I costi totali sono stati aumentati del 14% per considerare le spese di direzione, quelle amministrative e gli interessi sul capitale anticipato (Bernetti, Romano, 2007).

Il calcolo dei ricavi è basato da un lato sulla definizione della ripresa a fine turno suddivisa per specie o gruppi di specie forestale (abeti; larice; pini montani; pino cembro; faggio e altre latifoglie) e dall'altro sui prezzi di vendita medi del tonname e delle altre tipologie di assortimento tradizionale. I prezzi medi fanno riferimento ai dati del Progetto Legno della Camera di Commercio Industria Artigianato e Agricoltura (CCIAA) della provincia di Trento (CCIAA, 2011), che considerano la tipologia di assortimento, i quantitativi totali ed il valore di vendita all'imposto.

L'introduzione di valutazioni di tipo qualitativo della biomassa forestale ha portato ad una caratterizzazione del prezzo di vendita in funzione del contenuto energetico. Nel caso di vendita del cippato da parte della ditta boschiva direttamente al gestore dell'impianto a biomassa, il prezzo attualmente si aggira intorno ai 13-15 €/mst, corrispondenti a circa 17-19 €/MWh (per i fattori di conversione da unità di peso e volume ad energia, in funzione del contenuto idrico del biocombustibile, cfr. Francescato et al., 2009; Spinelli, Magagnotti, 2005; Spinelli et al., 2007). I prezzi di mercato relativi alla vendita diretta di energia oscillano invece tra i 70 ed i 90 €/MWh. Per

inserire possibili variazioni di mercato (al rialzo ed al ribasso per vendita di cippato o energia) è stato dunque considerato un *range* di valori tra i 10 ed i 110 €/MWh.

Infine, è stata ipotizzata la vendita di legna da ardere all'interno delle piattaforme logistico-commerciali, oltre che di biomassa residua; l'ammontare del quantitativo di legna processata all'interno delle piattaforme è stato calcolato come pari al 50% del consumo totale in ciascun distretto forestale (Ragazzi, Baggio, 2007), al netto del materiale proveniente dall'uso civico (Provincia Autonoma di Trento – Servizio Foreste e Fauna, 2010).

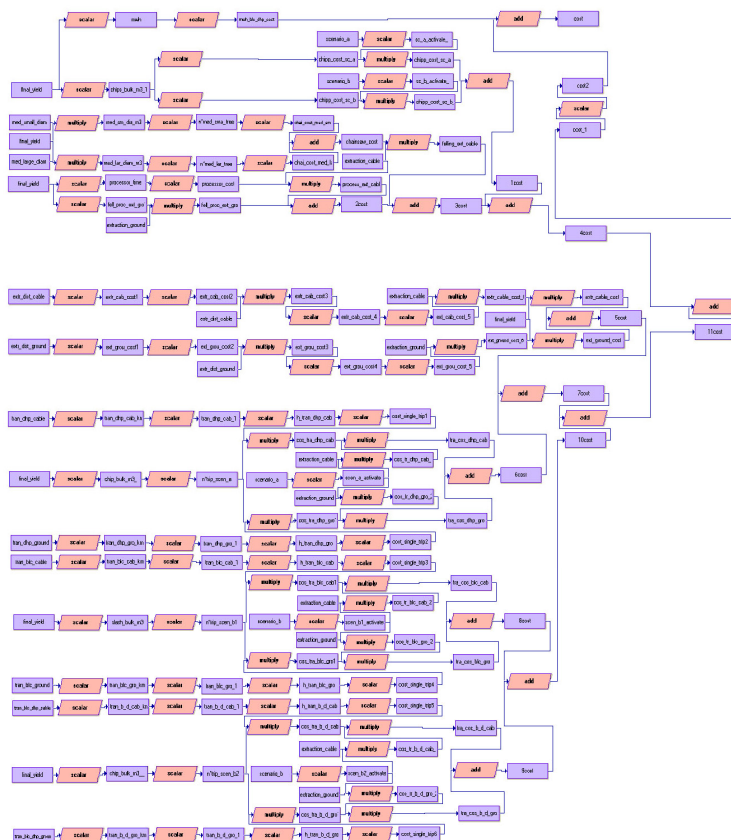


Figura 1 – Schematizzazione del sub-model “Costi di produzione”.

### 3. Risultati e validazione del modello

I principali risultati emersi dal modello FORENERGIS sono riportati nelle figure da 2 a 5, che rappresentano le tonnellate annue di sostanza fresca (contenuto idrico: 50%) di ramaglia e cimali ritraibili dai boschi trentini e l'utile annuo (differenza tra ricavi e costi) derivante dalle operazioni selvicolturali di utilizzazione dei soprassuoli forestali. Le figure 2 e 3 fanno riferimento allo scenario in cui i residui legnosi vengono cippati all'imposto e trasportati direttamente all'impianto a biomassa (scenario “a”); le figure 4 e 5 rappresentano invece il caso in cui viene realizzata la piattaforma logistica nella quale il biocombustibile viene stoccato ed essiccato prima di essere trasferito all'impianto a cippato (scenario “b”). Ricordiamo inoltre come il prezzo della biomassa rappresenti la vendita di cippato nel *range* 10-40 €/MWh e quella di energia nel *range* 50-110 €/MWh. Infine, per ogni suddetta casistica sono riportati i risultati relativi al prelievo di tre diversi quantitativi di residuo per ogni metro cubo di ripresa finale (0,1, 0,35 e 0,6 t/mc).

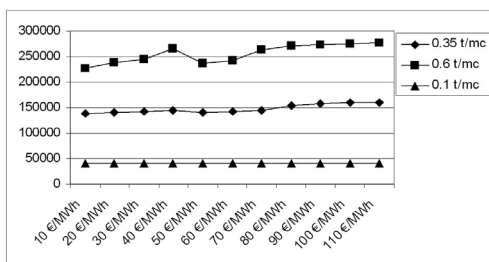


Figura 2 – Biomassa totale ritraibile (t s.f./anno) in funzione del quantitativo asportato per metro cubo di ripresa e del prezzo di vendita del biocombustibile. Scenario “a”.

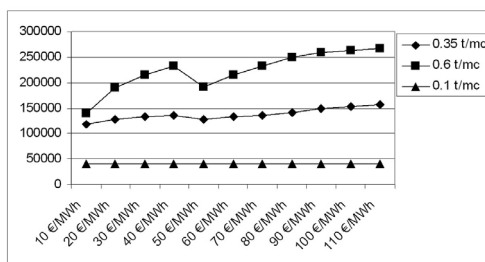


Figura 3 – Biomassa totale ritraibile (t s.f./anno) in funzione del quantitativo asportato per metro cubo di ripresa e del prezzo di vendita del biocombustibile. Scenario “b”.

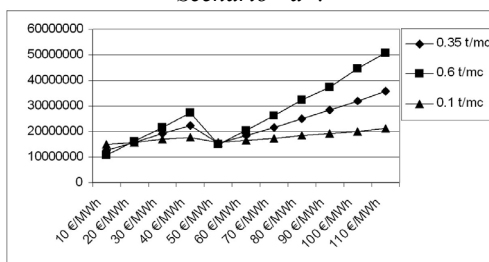


Figura 4 – Utile totale della filiera forestale (€/anno) in funzione del quantitativo di biomassa asportato per metro cubo di ripresa e del prezzo di vendita del biocombustibile. Scenario “a”.

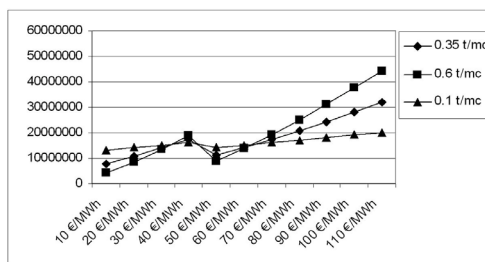


Figura 5 – Utile totale della filiera forestale (€/anno) in funzione del quantitativo di biomassa asportato per metro cubo di ripresa e del prezzo di vendita del biocombustibile. Scenario “b”.

Nello scenario “a” possiamo notare come, con un prezzo del biocombustibile che oscilla tra i 10 e i 110 €/MWh, l'ammontare annuo di biomassa residua disponibile possa variare da un minimo di circa 41.000 t/anno nel caso di asportazione di 0,1 t/mc di ripresa, ad un massimo di circa 276.000 t/anno con prelievo di 0,6 t/mc (figura 2). Nello scenario “b” il range si attesta tra le 40.000 e le 267.000 t/anno (figura 3). Considerando invece l'economicità delle operazioni selvicolturali, l'utile totale a livello provinciale oscilla tra gli 11 ed i 50 M€/anno nello scenario “a” (figura 4) e tra i 4 ed i 44 M€/anno nello scenario “b” (figura 5). Nello scenario “a” a partire da un prezzo del cippato pari a 20 €/MWh conviene aumentare l'asportazione di ramaglia (portandola a 0,6 t/mc), mentre nel caso di vendita di energia, tale soglia è già raggiunta con i 50 €/MWh. Nello scenario “b” i suddetti prezzi devono invece salire rispettivamente a 40 e 60 €/MWh.

Da questi primi risultati emerge che, se l'organizzazione della filiera legno-energia prevede l'inserimento di piattaforme con esclusiva funzione di stoccaggio ed essiccazione della ramaglia, la convenienza rispetto ad un cantiere in cui si trasporta il cippato dall'imposto direttamente all'impianto a biomassa, è inferiore. Futuri sviluppi del modello potranno prevedere la valutazione del processamento di tondame di scarsa qualità, come ad esempio quello proveniente dai diradamenti, da destinare a biocombustibile (vista la maggiore economicità dello stesso rispetto alla ramaglia nelle fasi di allestimento, trasporto e cippatura).

Infine è stata valutata la possibilità di utilizzare le piattaforme logistiche come punto di vendita diretto di biocombustibili. In particolare si è ipotizzato che il 50% della legna da ardere consumata sull'intero territorio provinciale (Ragazzi, Baggio, 2007) ed al netto dell'offerta derivante dall'uso civico (Provincia Autonoma di Trento – Servizio Foreste e Fauna, 2010), potesse essere venduta

all'interno delle piattaforme, con i costi di approvvigionamento ed i prezzi di vendita come da indagini di mercato.

I risultati, espressi in questo caso a livello di distretto forestale, sono riportati in tabella 2, nell'ipotesi di un quantitativo medio di residui prelevati pari a 0,35 t per metro cubo di ripresa.

Distretto forestale	Prezzo del biocombustibile					
	10 €/MWh	30 €/MWh	50 €/MWh	70 €/MWh	90 €/MWh	110 €/MWh
Cavalese	-9058919	-8605443	-7311425	-6585479	-5971791	-4872051
Primiero	-7146885	-7850426	-6945726	-7290959	-7794252	-7985424
Borgo	-4134365	-4082848	-3405861	-3281028	-3231684	-2935334
Pergine	-5629112	-5654997	-4953349	-4628597	-4413761	-4036425
Trento	<b>867579</b>	<b>758553</b>	<b>1182450</b>	<b>1244274</b>	<b>1307440</b>	<b>1477337</b>
Cles	-6109483	-6189516	-5215470	-5063356	-4974798	-4362126
Male	-2786433	-3158529	-2504755	-2612300	-2553070	-2208596
Tione	-3606054	-3573346	-3136913	-2842758	-2635033	-2237119
Riva	<b>415662</b>	<b>480764</b>	<b>563095</b>	<b>652255</b>	<b>690673</b>	<b>795902</b>
Rovereto	<b>958428</b>	<b>819502</b>	<b>1007465</b>	<b>1079097</b>	<b>1146707</b>	<b>1244368</b>

Tabella 2 – Differenza di utile della filiera forestale tra scenario “b” (con piattaforme logistico-commerciali) e scenario “a” in funzione del prezzo di vendita del biocombustibile, riportata per distretto forestale. I valori in grassetto indicano la convenienza dello scenario “b”, quelli negativi in rosso, dello scenario “a”. Ipotesi di prelievo di biomassa: 0,35 t/mc di ripresa.

Nello scenario “b” la trasformazione da piattaforme logistiche a piattaforme logistico-commerciali, porta ad un maggior grado di convenienza economica che addirittura, come possiamo notare in tabella 2, in alcuni casi (distretti di Trento, Rovereto e Riva) supera quella dello scenario “a”. E' interessante sottolineare come le tre aree di Trento, Rovereto e Riva risultino quelle più densamente popolate e urbanizzate e nelle quali, verosimilmente, l'introduzione di piattaforme biomasse potrebbe avere un maggiore impatto positivo anche dal punto di vista del *marketing* territoriale e della sensibilizzazione dell'opinione pubblica alla tematica delle fonti legnose rinnovabili utilizzate per scopo energetico a scala locale.

L'ultima fase del processo di analisi ha previsto la definizione di una metodologia di validazione del modello. In considerazione della non ancora affermata filiera residuo forestale-energia indirizzata agli impianti di teleriscaldamento a cippato e della presenza invece consolidata di dati relativi alla commercializzazione di legname dei boschi trentini, la verifica dei risultati è stata predisposta come descritto di seguito. Prendendo come riferimento il volume di materiale legnoso tradizionale commercializzato nella provincia di Trento (circa 364.000 mc/anno), è stato effettuato un confronto con l'*output* del modello nel caso in cui la percentuale di biomassa residua estratta sia pari allo 0% (assenza di esbosco e vendita di ramaglia e cimali, con organizzazione tradizionale del cantiere). Calcolando le superfici a macchiatico positivo risultanti ed il corrispondente quantitativo di tonname derivabile dalle stesse, è emerso un valore di circa 407.000 mc/anno. La differenza positiva di circa il 10% rispetto ai valori attuali può essere dovuta all'ipotesi di ottimizzazione del cantiere produttivo introdotta all'interno del modello e può quindi, coerentemente con la situazione reale, rappresentare un margine di miglioramento (in termini tecnologici ed economici) del comparto delle utilizzazioni forestali trentine.

#### 4. Conclusioni

Il modello su base GIS sviluppato per l'analisi della filiera foresta-legno-energia nella provincia di Trento è risultato flessibile in termini di analisi delle tipologie e delle caratteristiche dei cantieri di utilizzazione e della possibilità di valutazione di variabili economiche (variazione di costi produttivi e prezzi di vendita di assortimenti tradizionali e biomassa ad uso energetico). Gli *output* del modello



hanno permesso di stabilire un *range* di variazione delle superfici a macchiatico positivo, del quantitativo di biomassa estraibile e dell'economicità dei processi forestali in funzione di un'ampia casistica di variabili di *input*. I buoni risultati emersi in fase di validazione sembrano renderlo idoneo all'applicazione a scala provinciale anche in altri contesti territoriali, in presenza di un adeguato database di partenza.

In futuro alcune implementazioni e modifiche possono comunque essere applicate al modello, in particolare: i) la localizzazione delle piattaforme logistico-commerciali è stata prevista in aree industriali/artigianali di adeguate dimensioni. L'estensione di normative già applicate in altri contesti nazionali (Zampieri et al., 2011) può comunque ampliare la possibilità di realizzazione in aree rurali che ottimizzino ulteriormente la logistica (le cosiddette "piazzole attrezzate"). ii) L'inserimento nel modello di vincoli e variabili di natura ambientale (fertilità del terreno, mantenimento di biodiversità, valutazione della componente turistico-ricreativa, ecc.) potrebbe permettere di ampliare la valutazione economica dei processi e la stima di biomassa disponibile anche in considerazione della multifunzionalità forestale. iii) Analisi di maggior dettaglio (scala distrettuale o comunale) possono facilitare la valutazione della quota di residui forestali derivanti da diradamenti e iv) un'implementazione del Sistema Informativo Territoriale con la realizzazione di strati geografici riportanti alcune caratteristiche delle infrastrutture provinciali (localizzazione degli imposti e dimensioni, raggi di curvatura minimi e larghezza della carreggiate della viabilità forestale e principale, ecc.), potrebbero ulteriormente migliorare il dettaglio dell'indagine.

In conclusione il modello FORENERGIS, in particolare attraverso le suddette integrazioni, può rappresentare un utile strumento di supporto alla pianificazione a scala locale della filiera bioenergetica basata sulle risorse forestali.

### **Ringraziamenti**

Questo lavoro è stato realizzato all'interno del progetto BIOMASFOR "Potenzialità, innovazioni tecnologiche ed energetiche per l'uso sostenibile delle biomasse forestali trentine", finanziato dalla Fondazione CARITRO (fondo 101). L'autore ringrazia la Fondazione ed i partner del progetto BIOMASFOR, in particolare la dott.ssa Isabella De Meo ed il dott. Alessandro Paletto, per il loro contributo alla presente ricerca.

### **Bibliografia**

- Bernetti I., Fagarazzi C. (2008), *Valutazione della domanda di biocombustibili solidi (legno cippato) nell'area dell'Appennino Pistoiese*, Rapporto tecnico-scientifico, Centro Editoriale Toscano, Firenze.
- Bernetti I., Romano S. (2007), *Economia delle risorse forestali*, Volume II, Liguori editore, Napoli, 339-356.
- Cavalli R., Zucconi Bergomi L. (2006), "Funzionalità di un harvester in ambiente alpino italiano", *L'Italia Forestale e Montana*, 3: 181-191.
- CCIAA - Camera di Commercio Industria Artigianato e Agricoltura della provincia di Trento (2011), *Legno Trentino – Economia e mercato*, disponibile su: [www.legnotrentino.it](http://www.legnotrentino.it), consultato il 2.4.2011.
- Cesano D., Guidi D. (2006), *Opportunità di sviluppo della filiera bosco – legno – energia nel territorio del Mugello*, Ecosoluzioni, Cortona, 45-55.
- Eastman J.R. (1989), "Pushbroom Algorithms for Calculating Distances in Raster Grids", *Atti AUTOCARTO*, 9: 288-297.
- Francescato V., Antonini E., Nocentini G., Faini A., Seppoloni I., Stranieri S. (2010), *Piattaforme biomasse: produzione professionale, sostenibile e locale di legna, cippato e pellet*, Tipografia Il Bandino srl, Firenze, 7.

- Francescato V., Antonini E., Zuccoli Bergomi L., Nocentini G., Faini A. (2009), *Legna e cippato: produzione, requisiti qualitativi, compravendita*, Press service, Sesto F.no (FI).
- Grigolato S. (2007), "Pianificazione degli approvvigionamenti in ambiente alpino", *Atti del 43° Corso Biomasse Forestali ad Uso Energetico in Ambiente Alpino: Potenzialità e Limiti*, San Vito di Cadore, 51-58.
- ISTAT (2011), *Confini amministrativi dei comuni italiani formato shapefile*, disponibile su [www.istat.it](http://www.istat.it), consultato il 15/1/2011.
- Jiang H., Eastman J.R. (2000), "Application of fuzzy measures in multiple criteria evaluation in GIS", *International Journal of Geographical Information Sciences*, 14: 173-184.
- Loibnegger T., Metschina C. (2010), *Biomass Logistic & Trade Centres: 3 steps for a successful project realisation*, Litocenter Srl, Piazzola sul Brenta (PD).
- Lora C. (2009), *Valutazione della disponibilità di biomassa forestale a scopo energetico tramite modellazione GIS dei sistemi di raccolta in provincia di Trento*, Tesi di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Trento.
- Lubello D. (2008), *A rule-based SDSS for integrated forest harvesting planning*, Tesi di dottorato in Tecnologie Meccaniche dei Processi Agricoli e Forestali, Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Padova.
- Negrin M., Pettenella D. (2010), "Produttività, convenienza economica e qualità. Indagine sull'approvvigionamento di cippato ad uso energetico", *Sherwood*, 163: 5-11.
- Provincia Autonoma di Trento – Agenzia Provinciale dell'Energia (2010), *Database relativo agli impianti a biomassa provinciali*, documento ad uso interno.
- Provincia Autonoma di Trento – Servizio Foreste e Fauna (2010), *Database relativo alla quantificazione di legna ad uso civico*, documento ad uso interno.
- Provincia Autonoma di Trento – Servizio Foreste e Fauna (2009), *Rapporto sullo stato delle foreste e della fauna*, Litotipografia Alcione, Trento.
- Ragazzi M., Baggio P. (2007), *Studio per l'approfondimento delle tematiche relative alla combustione della legna*, Relazione finale, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Trento.
- Sacchelli S., De Meo I., Paletto A. (2011), "The analysis of logging residues chain for a sustainable bioenergy production: a case study in Northern Italy". In: *Quendler E., Kossler K. (Eds.) "Efficient and safe production processes in sustainable agriculture and forestry"*, *Atti della XXXIV Conferenza CIOSTA*, Vienna, 508-509.
- Spinelli R. (2010), "Harvester e processori in Italia: quanti, quali, come", *Seminario EIMAEnergy*, 10-14 Novembre, Bologna, disponibile su: [www.progettobiomasse.it](http://www.progettobiomasse.it).
- Spinelli R., Nati C., Magagnotti N. (2007), "Recovering logging residue: experiences from the Italian Eastern Alps", *Croatian Journal of Forest Engineering*, 28: 1-9.
- Spinelli R., Magagnotti N. (2007), "La produzione di biomassa legnosa nella selvicoltura alpina: quantità, sistemi di raccolta, costi", *L'Italia Forestale e Montana*, 5/6: 421-435.
- Spinelli R., Magagnotti N. (2005), "Recupero di biomassa residua nel taglio a gruppi in fustaia alpina", *Dendronatura*, 1: 49-59.
- Spinelli R., Magagnotti N., Hartsough B. (2006), "Raccolta integrata di tondame e biomassa nel taglio a gruppi di fustaie alpine", *L'Italia Forestale e Montana*, 4: 303-316.
- Spinelli R., Secknus M. (2005), "Restituire competitività alla biomassa forestale", *Alberi e Territorio*, 12: 45-49.
- Zampieri R., Francescato V., Antonini E., Paniz A. (2011). *Linee guida per la realizzazione di piazzole attrezzate per biomasse nella regione del Veneto*. AIEL, Tipografia Litocenter, Piazzola sul Brenta (PD).
- Zimmermann H.J. (1987), *Fuzzy sets, decision making and expert systems*. Kluwer A.P., Boston.