



# Analisi dei costi di trasporto per la valorizzazione energetica forestale

Flavio LUPIA, Nicola COLONNA(\*)

(\*) ENEA C.R. "Casaccia", Via Anguillarese, 301 S.M. di Galeria (RM),  
flavio.lupia@casaccia.enea.it, colonna@casaccia.enea.it

## Abstract

*L'utilizzo di biomasse legnose di origine forestale per finalità energetiche è condizionato dalla difficoltà di pianificazione del loro sfruttamento per la variazione geografica della disponibilità e del costo di produzione legato alle caratteristiche biofisiche e socio-economiche del territorio.*

*In uno studio precedente è stata valutata la disponibilità di biomassa per la produzione di energia termica, effettuando un dimensionamento di impianti potenziali di teleriscaldamento nella Comunità Montana dell'Alta Valle del Vara (Liguria)*

*Nel presente contributo si valutano i costi di trasporto della biomassa mediante raster analysis, modellando opportune funzioni di costo.*

*L'analisi produce mappe di intensità dei costi di trasporto dalle aree di approvvigionamento agli impianti, fornendo dati sufficienti per l'eventuale sviluppo di uno studio dettagliato di fattibilità economica.*

## 1. Introduzione

Le biomasse legnose di origine forestale costituiscono una risorsa disponibile, diffusa e in spontaneo aumento in Italia a causa dei ben noti fenomeni di abbandono dei terreni marginali in tutte le aree collinari e montane interne. La principale caratteristica positiva delle biomasse, cioè la diffusione e l'ubiquità, rappresenta però anche un limite nel momento in cui sia necessario concentrarne grandi quantità in un unico punto (ad esempio una centrale) per poterle trasformare in energia. La Liguria è la regione con più alto indice di boscosità in Italia, il 60% dei suoi boschi sono costituiti da cedui abbandonati per cui è evidente come le biomasse forestali costituiscano una risorsa importante e diffusa nel territorio. Lo sfruttamento di una simile risorsa per fini energetici può favorire il recupero di aree boschive abbandonate e rappresentare indirettamente uno strumento di difesa dagli incendi e dal dissesto idrogeologico (Colonna et al., 2002).

In un precedente lavoro (Lupia et al., 2006) nell'area della Comunità Montana dell'Alta Valle del Vara, è stata definita una metodologia per la valutazione del potenziale energetico delle biomasse forestali per l'alimentazione di centrali di teleriscaldamento. La metodologia, basata esclusivamente sui pochi dati vettoriali esistenti, è stata implementata utilizzando un linguaggio di modellazione GIS (Model Builder - ArcGIS 9.0), essa presenta elevata flessibilità poiché l'utente può impostare liberamente i parametri di calcolo ed i dati di ingresso per cui è applicabile anche in altre aree di studio. Lo strumento GIS è stato già utilizzato per la stima delle biomasse in altri contesti e per altre tipologie di biomassa (Voivontas et al., 2000).

Il presente contributo si avvale dei risultati (in formato vettoriale) ottenuti dall'esecuzione della metodologia nell'area dell'Alta Valle del Vara ed in particolare dei seguenti layer:

- *aree potenzialmente esboscabili*: sono le aree che possono essere sottoposte a taglio (in accordo ai parametri dei Piani di Assesamento Forestali). Sono aree forestali depurate dalle zone ad elevato rischio geomorfologico, dalle zone parco e dalle zone SIC (Siti di Interesse Comunitario), inoltre sono aree accessibili (prossime alla rete stradale) e con pendenze inferiori al 50%.

- *impianti potenziali di teleriscaldamento*: tale risultato è ottenuto da elaborazioni GIS e statistiche e tiene conto (per il dimensionamento e l'ubicazione) delle caratteristiche demografiche e climatiche dei centri abitati e di una serie di parametri tecnici (per impianti e biomasse). I comuni candidati all'installazione sono tre: Varese Ligure, Carro e Sesta Godano.

Le aree di produzione legnosa, individuate dallo studio precedente (fig. 1), presentano un'elevata discontinuità spaziale nella distribuzione, pertanto occorre un'analisi accurata sulla logistica dell'uso della risorsa per renderne competitivo l'utilizzo rispetto ai combustibili fossili. L'esistenza di dati più meno dettagliati sulla produttività delle specie forestali e la necessità di modellizzazione di

opportune funzioni di costo (trasporto della biomassa) impone l'esecuzione di analisi in formato raster. L'obiettivo del presente contributo, è quindi quello di impiegare un sistema raster GIS ed opportune funzioni per la modellazione dei costi di trasporto della biomassa dalle zone di origine alla centrale, in relazione alla distribuzione geografica delle risorse ed in funzione del tipo di logistica ipotizzata. La metodologia permette inoltre di definire delle curve di costo-alimentazione per le tre centrali di teleriscaldamento e fornisce utili indicazioni circa la loro convenienza economica.

## **2. Acquisizione e pre-processing dei dati**

Gli strati informativi utilizzati sono: le aree potenzialmente esboscabili, la rete stradale, la carta delle pendenze e l'ubicazione delle centrali, questi sono stati tutti trasformati in formato raster definendo opportunamente la risoluzione delle celle.

Per le aree potenzialmente esboscabili, prima della trasformazione, sono stati definiti i dati di produttività di biomassa in t/ha/anno per le varie specie forestali in base ai Piani di Assestamento Forestale locali, eliminando i poligoni di dimensione inferiore a 0.5 ha (ipotizzando che le varie attività operative forestali possano avvenire su aree di dimensione superiore a tale soglia, rispettando anche un criterio di convenienza economica qualora tali poligoni fossero dispersi spazialmente e lontani dalle aree a dimensione maggiore). In tal modo si ottiene una carta della biomassa disponibile che è stata convertita in formato raster impostando una dimensione di cella di 25 m (area cella 625 m<sup>2</sup>) considerata sufficiente data la scala della carta forestale da cui deriva (1:25000), ogni cella contiene un quantitativo di biomassa in tonnellate di sostanza secca in base alla tipologia forestale presente.

Il grafo stradale è stato utilizzato insieme alla carta delle pendenze, in modo tale da definire in maniera opportuna, per i vari segmenti stradali, le velocità massime consentite ai mezzi di trasporto in funzione della pendenza e della tipologia stradale, esso è stato successivamente convertito in formato raster in modo tale che ogni cella del grafo contenesse una velocità di percorrenza in metri al minuto. Il layer dell'ubicazione delle centrali è stato anch'esso convertito in formato raster.

## **3. Metodologia**

La metodologia è basata sulla definizione preliminare di una ipotesi di logistica dell'intero sistema. Si ipotizza che la raccolta della biomassa avvenga nei diversi poligoni di foresta, che venga stoccata in prossimità della rete stradale e successivamente inviata alla centrale. L'obiettivo è valutare i costi variabili di trasporto della biomassa dai diversi siti. I costi associati alle altre operazioni forestali (carico/scarico, cippatura, immagazzinamento) sono considerati invece indipendenti dal sito. I costi di raccolta per ogni poligono di foresta sono indipendenti dall'ubicazione geografica e ad essi possono essere associati dei valori medi per ettaro. Tali costi, sono stati considerati costanti e dipendenti esclusivamente dall'estensione della superficie da esboscare, perciò non condizionano l'analisi seguente.

L'intera analisi è focalizzata pertanto, sul trasporto della risorsa legnosa, mediante l'ausilio delle superfici minime dei costi di trasporto, e sul tracciamento delle curve costo-alimentazione per ogni impianto in base alla richiesta annuale di combustibile a biomassa. L'intero modello di elaborazione è illustrato in figura 2.

*Figura 1 – Flowchart del modello di elaborazione.*

### **3.1 Modellizzazione dei costi di trasporto**

Il modello di calcolo utilizza il tempo di percorrenza lungo la rete stradale (funzione della velocità media dei mezzi di trasporto) come valore di impedenza per individuare il percorso a costo minimo tra le celle di foresta e l'impianto di generazione termica.

La velocità dei mezzi è funzione di diversi elementi: tipologia mezzo, traffico, pendenza, curve, condizioni meteo e stradali, ecc; purtroppo la mancanza di un database dettagliato sulle

caratteristiche stradali ha impedito la modellizzazione completa di tali elementi. Con i dati disponibili è stata effettuata una classificazione dei rami stradali in base ai limiti di velocità imposti per i mezzi pesanti considerando anche la pendenza. I valori di velocità ottenuti sono stati ulteriormente ridotti, a priori, per tener conto degli altri elementi che condizionano la velocità e di cui non si hanno dati dettagliati.

La valutazione dei costi di trasporto è stata eseguita utilizzando alcune funzioni di analisi raster in ambiente GIS implementate nel software ArcGIS 9.0:

- ⊕ *Cost Distance Function*: calcola il tempo di percorrenza tra due celle adiacenti come prodotto della distanza lineare tra i centroidi delle celle ed i valori di impedenza media delle stesse. La funzione riceve in input l'ubicazione della centrale ed il raster della velocità di percorrenza lungo il grafo stradale e produce un raster dei tempi totali di percorrenza lungo la rete stradale in minuti (Tempo di Percorrenza Cumulato).
- ⊕ *Euclidean Allocation*: la funzione è utilizzata per la difficoltà esistente nel modellizzare il trasporto nei poligoni di foresta. I tempi di trasporto interni sono pertanto definiti nei poligoni con un'allocazione euclidea associando ad essi i tempi relativi ai vari rami stradali in base ai punti di accesso più vicini. La funzione produce una superficie continua dei tempi di percorrenza in minuti.

Con i risultati prodotti dalle funzioni precedenti e nell'ipotesi che i costi di trasporto dipendano soltanto dal noleggio dei mezzi di trasporto, il costo di trasporto da un sito forestale alla centrale è stato definito con la seguente relazione (implementata attraverso operazioni di *map algebra* in formato raster):

$$((t_{\text{percorrenza}} * 2) + \text{TermTime}) * \text{CostoMezzo} / \text{PortataMezzo}$$

con:

$t_{\text{percorrenza}}$ : il raster dei tempi di percorrenza dell'area in esame (in minuti).

*TermTime*: il tempo necessario per le operazioni di carico e scarico dei mezzi (in minuti)

*CostoMezzo*: costo orario del mezzo di trasporto (in centesimi di Euro al minuto)

*PortataMezzo*: massimo carico trasportabile dal mezzo (in tonnellate)

La formula produce una superficie continua dei costi di trasporto (in centesimi di Euro per tonnellata) che contiene i percorsi ottimali tra tutti i siti e l'impianto analizzato (fig. 3). La formula è stata utilizzata per ogni impianto al fine di ottenere opportune considerazioni sulla convenienza economica in relazione alle differenti superfici di costo ottenute. I risultati evidenziano chiaramente come l'accessibilità locale e regionale della risorsa influenzi i costi di trasporto e come i costi minori siano associati alle zone prossime all'impianto.

Figura 2 – Superfici di trasporto a costo minimo per i tre impianti ipotizzati.

### 3.2 Curve costo-alimentazione

Le curve sono tracciate utilizzando la carta della biomassa disponibile e la superficie dei costi di trasporto, con tali dati sono univocamente definiti, per ogni cella di foresta, il contenuto in biomassa ed il relativo costo di trasporto verso la centrale.

Impiegando le funzioni di statistica zonale del software GIS, per ogni occorrenza di costo di trasporto è stata valutata la biomassa totale contenuta ottenendo una distribuzione di frequenza dei costi in funzione dei quantitativi di biomassa. La statistica zonale, applicata ad ogni impianto, produce dati in formato tabellare, che sono stati elaborati mediante foglio elettronico per valutare i valori medi di costo per determinati accumuli di biomassa. In tal modo si possono tracciare le curve costo-alimentazione (fig. 4), la cui forma e pendenza sono indicatori di accessibilità locale della biomassa.

Nel presente modello le curve sono state tracciate considerando attivo un solo impianto per volta, semplificando quello che accade nella realtà dove tutti gli impianti sono attivi e competono per le risorse legnose contenute in una data cella di foresta. Si è pertanto evitato di implementare una funzione di allocazione delle risorse o un modello di ottimizzazione.

Le curve ottenute evidenziano sia gli effetti della distribuzione locale della biomassa, sia l'incremento dei costi di trasporto con l'aumento della richiesta di biomassa di un impianto (questa ultima deve essere recuperata progressivamente da siti sempre più distanti). Le curve di Carro e Sesta Godano, nella parte iniziale, hanno andamento più lineare rispetto a Varese Ligure, evidenziando una concentrazione maggiore di biomassa in prossimità degli impianti.

*Figura 3 – Curve costo-alimentazione per i tre impianti ipotizzati.*

La pendenza delle curve è infatti un indicatore della sensibilità dei costi ai quantitativi di biomassa, curve maggiormente inclinate indicano una distribuzione dispersa ed eterogenea della risorsa.

La curva dell'impianto Carro è quella che mantiene complessivamente i minimi valori di costo sia per una migliore accessibilità areale alla risorsa sia per il quantitativo di biomassa minore richiesto annualmente rispetto agli altri impianti.

#### **4. Conclusioni**

La metodologia proposta ha permesso di valutare i costi di trasporto della biomassa per l'alimentazione di impianti di teleriscaldamento, analizzando la distribuzione spaziale delle risorse utilizzando le funzioni *cost distance* di un raster GIS e tracciando le curve costo-alimentazione. L'impiego della metodologia e l'utilizzo di dati di maggior dettaglio attualmente non disponibili, può fornire utili indicazioni ai diversi soggetti coinvolti nella filiera biomassa-energia. I proprietari di siti forestali possono ad esempio stimare il valore delle loro risorse, le imprese forestali usare i risultati per migliorare l'efficienza del trasporto ed infine il pianificatore regionale valutare la convenienza associata alla realizzazione degli impianti anche in funzione degli aspetti ambientali e socio-economici associati all'impiego di biomassa legnosa.

#### **5. Bibliografia**

- Colonna N., Conti M., Gerardi V., "Produzione di energia termica e/o elettrica tramite la combustione di biomasse legnose: le implicazioni ambientali". *Atti del convegno "Azioni locali per la diffusione nel territorio delle colture energetiche e della produzione di energia da Biomassa"*, Gorizia, 2002.
- Lupia F., Pulicani P., Colonna N., "Un modello di processamento per lo sfruttamento ottimale delle biomasse legnose", *IX Conferenza Italiana Utenti ESRI*, Roma, 2006 – sessione poster – Atti digitali su [www.esriitalia.it](http://www.esriitalia.it)
- Voivontas D., Assimacopoulos D., Koukios E.G., "Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method", *Biomass and Bioenergy* vol. 20(2001) 101– 112

#### **Riferimenti Autori**

Flavio Lupia, C.R. ENEA "Casaccia" – Roma. E-mail: [lupia@inea.it](mailto:lupia@inea.it)

Nicola Colonna, C.R. ENEA "Casaccia" – Roma. E-mail: [colonna@casaccia.enea.it](mailto:colonna@casaccia.enea.it)

#### **Enti**

L' ENEA, Ente Nazionale Nuove Tecnologie Energia ed Ambiente ha condotto e diretto tutte le attività previste in collaborazione con il Servizio Energia della Regione Liguria;

Regione Liguria: i diversi uffici e servizi hanno fornito i dati e le cartografie necessari per le successive elaborazioni;

La Comunità Montana Alta Valle del Vara ha partecipato fornendo dati ed informazioni utili tra cui i

#### **Ambito del Progetto**

Il lavoro si inserisce nelle azioni di supporto che l'ENEA ha sviluppato nella redazione dei documenti preparatori del PEAR (Piano Energetico Ambientale della Regione Liguria) insieme al Servizio Energia della regione. L'area della Comunità Montana della Alta valle del Vara è stata scelta perché in essa era inizialmente prevista una azione pilota dimostrativa per la attivazione della filiera legno energia.



## Tempi e Fasi di Realizzazione

Il progetto ha avuto una durata quadriennale (1999-2003) suddivisa in due bienni successivi.

## Software Utilizzati:

<b>Tipo</b>	<b>Software</b>	<b>Produttore</b>
Client GIS	ArcGIS 9 (ArcInfo, Arcview)	ESRI
Estensioni GIS	ArcGis Spatial Analyst	ESRI
Foglio elettronico	Ms Excel	Microsoft