

Mario Cozzi

Dipartimento Tecnico-economico per la Gestione del Territorio Agricolo-forestale, Università degli Studi della Basilicata

Email: cozzi@unibas.it

Agro-energie in Basilicata: un approccio analitico per la valutazione dei costi di trasporto*

The present study aims at implementing a biomass transportation cost mapping, drawn thanks to the spatial analyses included in the Geographical Information System (GIS). The themes involved in the creation of the cost function can be identified in the use of soil, information concerning the punctual biomass availability, road system and morphology, and exact localisation of plants for processing wooden material, etc. The idea stands in the will to search for and afterwards apply a function able to match cost and distance by keeping in mind several parameters. Stepping back, the realisation of the transport cost function is useful in case we have not definitely placed the biomass processing plants in the whole area as it is in the region of Basilicata, the area analysed in the present proposal. The proposed analysis would be useful to identify the economically valid collection basins and the best positions where a new plant can be installed, and also the size itself of the biomass processing plant on the basis of the actual production conditions of the area.

Parole chiave: risorse rinnovabili, distretti agro-energetici, funzione di costo, curve costo-offerta

1. Introduzione

L'energia è sicuramente un fattore critico per il benessere. La capacità di produrre beni e quindi ricchezza sono fortemente dipendenti dalla possibilità di attingere alle risorse energetiche. Il principale problema che i paesi industrializzati si trovano ad affrontare riguarda la garanzia di poter attingere a risorse energetiche ad un costo competitivo sul mercato globale. Proprio il soddisfacimento della richiesta di energia ha assunto un ruolo centrale all'interno dello scenario politico ed economico internazionale, ampliando alla problematica economica anche quella ambientale e sociale.

Rispetto al contesto ambientale, dopo dieci anni dalla firma del protocollo di Kyoto, gran parte dei Paesi sottoscrittori dell'accordo risultano ancora lontani da quelli che erano gli obiettivi prefissati in termini di contenimento delle emissioni inquinanti. Anzi secondo i dati forniti dal Segretariato della Convenzione, questi risultano addirittura in aumento.

Ad oggi seppure non si è ancora in grado di affrontare concretamente la sfida dei cambiamenti climatici, tanto meno di svincolare la domanda energetica dalle fonti di origine fossile, il notevole impegno garantito dalle istituzioni pubbliche operanti a tutti i livelli istituzionali, unito ai progressi fatti dalla ricerca scientifica

* Si ringraziano gli anonimi referees per le osservazioni fornite. Naturalmente la responsabilità di quanto scritto resta esclusivamente degli Autori

ha messo a disposizione importanti risultati sia in termini di strumenti di promozione ed incentivazione delle energie rinnovabili che di impianti tecnologicamente innovativi utilizzabili dalle imprese e delle famiglie. La produzione di energia attraverso l'impiego di biomassa lignocellulosica da colture energetiche specializzate può rappresentare una risorsa di facile accesso su scala territoriale locale e, non ultimo, garantire nuove forme di reddito mediante la promozione di aziende agro-energetiche e forme consortili che intervengono nella produzione, trasformazione, vendita e gestione di reti energetiche territoriali. La produzione energetica da parte dell'impresa agro-forestale, oltre che garantire una complementarietà operativa capace di incrementare i redditi aziendali, soprattutto in aree rurali, influisce positivamente sui benefici sia di tipo ambientale, derivanti dal contenimento delle emissioni, dal rafforzamento di presidi naturali per la difesa del suolo contro il dissesto idrogeologico, sia di tipo sociale, grazie alle nuove opportunità occupazionali che si vengono a creare. Tutte queste opportunità sono state recepite nei diversi strumenti di programmazione della UE: a partire dalla passata riforma della politica agricola comunitaria (*Agenda 2000* prima e *Riforma Fischeler* successivamente) che ha promosso la funzione energetica dell'azienda agricola, fino al *Biomass Action Plan* che promuove l'integrazione della filiera agro-energetica per indirizzare la produzione alla domanda e, soprattutto, contenere le importazioni di biomassa ligno-cellulosica dall'estero, che andrebbero ad alterare ulteriormente il bilancio locale del carbonio.

Pur tuttavia ad oggi si riscontrano ancora notevoli barriere alla produzione di energia da biomassa ed i principali vincoli possono essere riassunti in tre sostanziali aspetti:

- La complessità progettuale della filiera crea molte diffidenze negli imprenditori, soprattutto per quanto riguarda l'organizzazione dell'approvvigionamento;
- Gli elevati costi di produzione e trasporto della biomassa spesso non garantiscono approvvigionamenti concorrenziali rispetto alle risorse energetiche fossili, nonostante i continui aumenti che stanno caratterizzando queste ultime;
- I considerevoli costi di impianto e di adeguamento del parco macchine, che se non incentivati dall'intervento pubblico, difficilmente possono essere supportati dalla piccole e medie imprese.

Nel quadro delineato risulta chiara la necessità di tutti di investire in ricerca ed in attività locali al fine di fronteggiare le crescenti problematiche ambientali ed i crescenti costi dei combustibili fossili.

Le biomasse possiedono alcuni innegabili vantaggi, individuabili in:

- 1) l'essere rinnovabili e quindi riproducibili in breve periodo;
- 2) la capacità di essere localmente disponibili;
- 3) la capacità di creare economia e valore aggiunto direttamente *in situ*;
- 4) la capacità di creare un reddito alternativo all'agricoltura, garantendo al contempo presenza, conduzione e manutenzione del territorio.

D'altra parte, l'organizzazione di un "sistema biomassa" risulta essere di notevole complessità, coinvolgendo gli interessi e le aspettative di molti soggetti portatori di interesse.

Un altro elemento di discussione interessa i costi (di produzione, di raccolta, di trasporto, ecc.) in quanto componenti essenziali capaci di incidere significativamente nelle scelte e nell'attuabilità dell'investimento.

Per ciò che riguarda i costi di trasporto, essendo le biomasse una risorsa distribuita spazialmente, la morfologia del territorio, i collegamenti infrastrutturali e le relative distanze divengono elementi decisivi, capaci di condizionare la scelta sia economica, nella valutazione dei costi di trasporto e conseguentemente nel dimensionamento degli impianti, sia energetico-ambientale, nella stima dei consumi energetici e dei costi emissivi legati al trasporto.

Sulla base di quanto detto, il presente lavoro vuole contribuire a fornire elementi aggiuntivi di conoscenza, necessari alla corretta strutturazione della filiera bioenergetica, rispondendo ai seguenti quesiti:

- a) Quale principio e quali argomentazioni possono meglio rispondere alla possibile localizzazione sul territorio degli impianti di trasformazione della biomassa in energia (termica e/o elettrica)?
- b) Una volta determinata la localizzazione degli impianti, in che modo è possibile procedere al dimensionamento dei relativi bacini di raccolta?
- c) Quale modello di analisi può essere utilizzato per la valutazione economica dei costi di trasporto della biomassa forestale?

Mentre per primo quesito è stata effettuata una formulazione critica di tipo qualitativo, per gli altri due è stata effettuata una valutazione di tipo analitico, realizzata mediante la predisposizione uno specifico Sistema Informativo Territoriale, contenente dati relativamente:

1. alla puntuale disponibilità di biomasse (biomassa residua derivante dalle utilizzazioni dei boschi);
2. alla viabilità, suddivisa per tipologia e per velocità massima di percorrenza;
3. alla morfologia, con particolare riferimento alle pendenze, quale elemento di impedenza al trasporto della biomassa.
4. alla esatta localizzazione degli impianti di trasformazione del materiale legnoso.

Facendo un passo indietro, la realizzazione della funzione di costo di trasporto risulta utile qualora - come è il caso della regione Basilicata, area analizzata nella presente proposta - non siano ancora definitivamente collocati impianti di trasformazione energetica della biomassa¹.

L'analisi proposta risulta utile ad individuare i bacini di raccolta economicamente validi e le migliori posizioni per l'installazione di un nuovo impianto, nonché le dimensioni stesse dell'impianto di trasformazione della biomassa, basate queste ultime sulle reali condizioni produttive dell'area.

Inoltre, il contributo apportato dall'analisi proposta potrà risultare utile in sede di contrattazione del prezzo di trasporto della biomassa. Ciascun interlocutore del-

¹ Da un recente rapporto di GRTN (Gestore Rete di Trasmissione Nazionale) sono in progettazione 5 impianti a biomasse in Basilicata; allo stato attuale però, non ne è in funzione nessuno.

la filiera² deterrà quindi tutte le informazioni necessarie nella negoziazione del prezzo per il trasporto della biomassa.

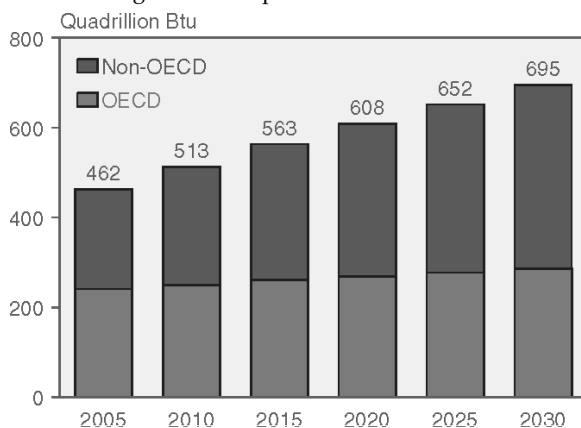
2. Scenario di riferimento

A livello globale, dal 1973 al 2005 c'è stato un raddoppio del consumo di energia primaria, passando da 6.128 a 11.435 Mtep³.

Secondo quanto riportato dall'*International Energy Outlook* (Energy Information Administration, EIA, 2008) l'energia impiegata a livello globale ammonta a 462 quadrilioni di BTU⁴, che passano a 563 nel 2015, fino ad arrivare a 695 nel 2030. Il consistente aumento di tali consumi risulta principalmente da imputarsi ai crescenti consumi dei paesi in via di sviluppo (Fig. 1).

La tabella 1 mostra il contributo per fonte alla domanda globale di energia nel periodo compreso tra il 1990 e fino alla proiezione dei dati al 2030. Il petrolio è la fonte energetica predominante, con una crescita media annuale pari all'1,2%. Più accelerato risulta essere invece l'aumento di fonti energetiche alternative⁵, rientrando in questo gruppo le fonti rinnovabili. Risulta chiaro pertanto come, a fronte di un contributo energetico ancora inferiore al 10% a livello globale, le fonti rinnovabili assumono una crescente considerazione e allocazione nel mercato.

Figura 1. Consumo globale di energia attuale e previsioni 2005-2030



Fonte: EIA, 2005, 2008

² Nello specifico, per il comparto delle biomasse, gli interlocutori sono rappresentati da una parte fornitrice di beni e/o servizi, rappresentata dalle imprese o associazioni di imprese agricole e/o forestali, e dall'altra, acquirente, rappresentata dai gestori degli impianti.

³ Milioni di tonnellate di petrolio equivalente.

⁴ 10¹⁵ BTU (*British Thermal Unit*, con 1 BTU=0,25 Kcal).

⁵ Quelle cioè individuate sotto la dicitura "Altro".

Tabella 1. Consumo totale di energia per regione e tipo di combustibile, 1990-2030

	Storici				Proiezioni				Variazione media annuale (%) 2005-2030
	1990	2004	2005	2010	2015	2020	2025	2030	
<i>Total World (Quadrilioni di BTU)</i>									
Liquidi	136,4	166,6	169,4	181,1	194,4	206,1	216,9	229,3	1,2
Gas naturale	75,2	103,3	107,4	120,3	134,4	146,9	155,8	164,7	1,7
Carbone	89,2	116,1	122,5	140,2	157,8	171,7	186,7	202,2	2,0
Nucleare	20,4	27,4	27,5	28,8	31,4	34,5	37,7	39,4	1,5
Altro	26,2	33,8	35,5	42,0	45,0	49,3	54,7	59,0	2,1
Totale	347,4	447,3	462,2	512,5	563,0	608,4	651,8	694,7	1,6
<i>Total World (%)</i>									
Liquidi	39,3	37,2	36,7	35,3	34,5	33,9	33,3	33,0	
Gas naturale	21,6	23,1	23,2	23,5	23,9	24,1	23,9	23,7	
Carbone	25,7	26,0	26,5	27,4	28,0	28,2	28,6	29,1	
Nucleare	5,9	6,1	5,9	5,6	5,6	5,7	5,8	5,7	
Altro	7,5	7,6	7,7	8,2	8,0	8,1	8,4	8,5	
Totale	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	

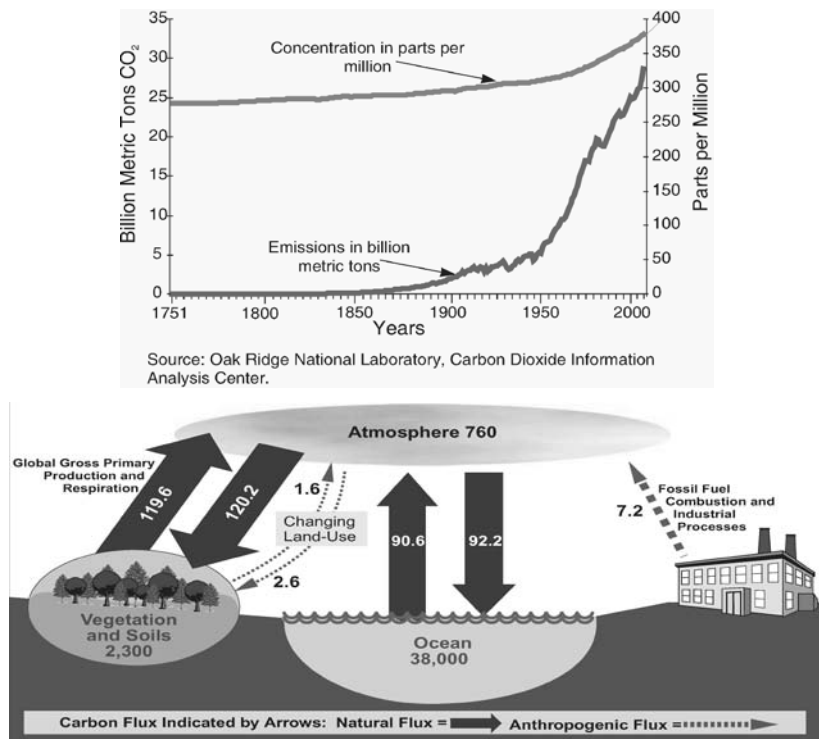
Fonte dati storici: Energy Information Administration (EIA), International Energy Annual 2005 (June-October 2007);

Fonte Proiezioni: EIA, Annual Energy Outlook 2008, DOE/EIA-0383(2008) (Washington, DC, June 2008),

A fronte della crescente richiesta energetica si registra una crescente concentrazione di CO₂ in atmosfera. Tale aumento risulta infatti determinato da cause di ordine antropogenico e direttamente legato all'energia impiegata da ciascun paese. La concentrazione atmosferica di tale gas è aumentata negli ultimi anni ad un tasso medio del 0,6%, ed è in continua crescita.

Poiché i principali motivi che stanno alla base del riscaldamento del pianeta sono ascrivibili alla concentrazione dell'anidride carbonica e poiché tali emissioni derivano principalmente dal consumo dei combustibili fossili e dai cambiamenti nell'uso dei suoli (IPCC, 2003), risulta chiara e inequivocabile l'esigenza di dover affrontare le problematiche legate all'uso energetico delle risorse. Ulteriori modelli previsivi dell'EIA (EIA, 2008) evidenziano una continua crescita nelle emissioni globali (Fig. 2), valutata in 28,1 ton¹² nel 2005, 34,3 nel 2015 e 42,3 nel 2030.

Continuare ad emettere gas serra ad un tasso uguale o superiore a quello attuale, causerebbe un ulteriore riscaldamento e provocherebbe molti cambiamenti nel sistema climatico globale durante il XXI secolo.

Figura 2. Concentrazione ed emissioni di CO₂ e b) flusso del Carbonio

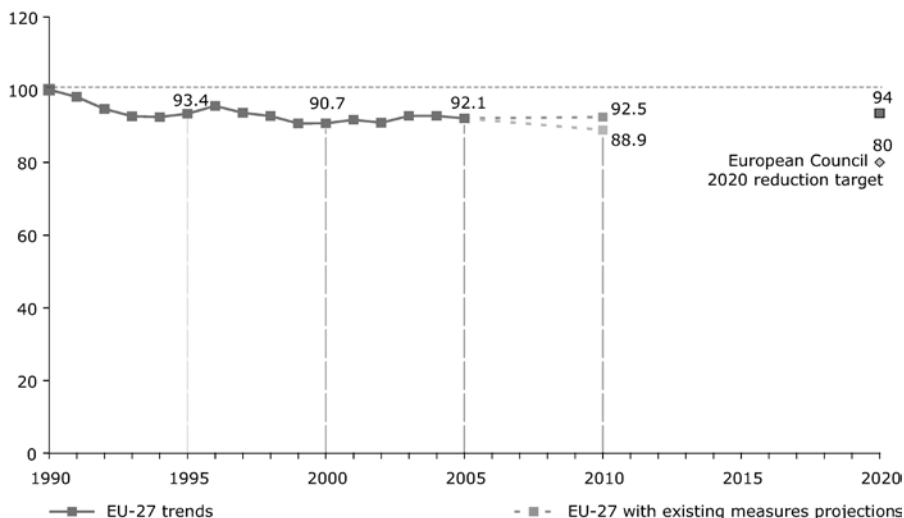
Fonte: IPCC, 2007

L'Unione Europea è, dopo gli Stati Uniti, la maggiore consumatrice di energia. Il consumo energetico è aumentato di circa lo 0,55% all'anno tra il 1990 ed il 2004 ed è stata soddisfatta tramite l'uso di petrolio (42%⁶), gas naturale (23%), carbone (5%), elettricità (21%), fonti rinnovabili (5%) e altro (4%). Scomponendo i dati relativi all'impiego energetico, risulta che nel 2006 circa il 27% dell'energia totale consumata è destinata alle industrie, il 32% ai trasporti ed il rimanente 41% all'agricoltura, all'uso domestico, ai servizi ecc. (Eurostat, 2008). La dipendenza energetica dei paesi dell'EU-25 è in costante aumento, passando dal 45% nel 1990 a circa il 54% nel 2006. La componente energetica risulta essere la principale fonte di emissioni di CO₂ (EEA, 2005), contribuendo per l'80% al totale delle emissioni.

La produzione da fonti rinnovabili è quasi raddoppiata nel periodo 1990-2006 e risulta essere in continua espansione. Da studi e proiezioni effettuate dal *Directorate-General for Energy and Transport* della Commissione Europea (D-G Energy and Transport, 2008) si evince come la richiesta di energia aumenterà fino al 2030 dell'11% (circa 200 MToe). Tale richiesta verrà soddisfatta dalle fonti rinnovabili per

⁶ Percentuale riferita al 2006.

Figura 3. Emissioni di anidride carbonica nell'EU-27: trend e proiezioni al 2020. NB: i dati riportati non considerano le variazioni positive e/o negative derivanti dalle modificazioni di uso del suolo



Fonte: EEA, dati ottenuti dagli inventari e dalle proiezioni degli stati membri

115 Mtoe e per 71 Mtoe dal gas naturale. L'energia totale prodotta da fonti rinnovabili in Europa passerà quindi dal 7% nel 2005 al 10% nel 2020 e fino ad arrivare al 12% nel 2030.

Questa tendenza comporta ripercussioni positive per ciò che concerne il controllo della emissione di inquinanti in atmosfera, tant'è che da un recente studio dell'European Environmental Agency (EEA, 2007) si evince che, in Europa, l'emissione di gas inquinanti in atmosfera si è ridotto del 7,9% nel periodo intercorrente tra il 1990 ed il 2005. In particolare la riduzione prevista rispetto ai livelli del 1990 (- 8% del Protocollo di Kyoto) sarà ottenuta attraverso l'effetto combinato di più fattori. Dalle riduzioni provenienti dalle misure già in atto all'interno degli stati membri si otterrà una riduzione del 3,6%; con l'applicazioni di misure aggiuntive attualmente in discussione in dieci stati membri si conseguirà una ulteriore riduzione del 3,3%. Ulteriori riduzione del 3 e del 1,4% si avranno attraverso l'impiego di meccanismi flessibili previsti dal Protocollo di Kyoto e dalla registrazione dei crediti di Carbonio "carbon sinks", arrivando così ad avere una riduzione, al 2012, ammontante all'11,3%.

Da ciò si evince in maniera chiara che le tendenze di tali valori nel futuro dipenderanno largamente dalle politiche attuate a livello europeo e a livello delle singole nazioni.

Negli ultimi dieci anni l'azione programmatica dell'UE nell'ambito dei cambiamenti climatici e delle risorse energetiche ha assunto un ruolo cruciale nelle politiche di intervento, sia rispetto ai Paesi membri che nelle posizioni assunte nelle decisioni internazionali. Sin dalle prime attività l'UE ha definito una serie di pro-

grammi e di strumenti di supporto alla promozione delle bioenergie, privilegiando un approccio trasversale ad altre politiche (ambientali, energetiche, agricole, ricerca, ecc.). In particolare, il riconoscimento della *funzione energetica* alle aziende agricole (Reg. CE 1782/2003) costituisce un importante impulso all'incremento produttivo delle energy crops e allo stesso tempo, a garantire concrete opportunità di sviluppo rurale a molte aree marginali. Inoltre, gli obiettivi progettuali vanno nella direzione delle indicazioni emerse dal *Biomass Action Plan* (COM/2005,628) circa la volontà di definire approcci integrati e sistemici, promuovere l'approvvigionamento locale e garantire produzioni a costi competitivi (Figura 3).

Importanti sinergie si possono riscontrare anche rispetto al Settimo Programma Quadro per la Ricerca e lo Sviluppo Tecnologico (7PQ 2007-2013), che ha incrementato le risorse a favore della ricerca nel campo delle energie rinnovabili e del risanamento e ripristino dell'ambiente naturale.

In Italia, i consumi finali di energia sono aumentati del 12% dal 1990 al 2005, principalmente a causa dell'aumento (circa 30%) della domanda di energia per i trasporti. I consumi del settore industriale, invece, sono diminuiti del 6%, sia per un aumento dell'efficienza energetica sia per lo spostamento verso un'economia più orientata ai servizi.

Gli impieghi termici rappresentano la maggioranza (92%) degli impieghi domestici ed il 54% della richiesta complessiva di energia (Eurostat, 2007). Tale richiesta risulta soddisfatta principalmente attingendo da fonti non rinnovabili (gasolio e metano).

Un altro dato significativo riguarda le importazioni, ammontanti, secondo stime Eurostat, all'86,4% al 2005, individuabili per il 54% in prodotti petroliferi, 30% di gas naturale, 8% in combustibili fossili e 7% energia elettrica.

Dal punto di vista ambientale, il principale provvedimento nazionale relativamente agli obblighi contenuti nel Protocollo di Kyoto è contenuta nella legge 120/2002, nella quale sono individuati una serie di provvedimenti volti a :

- promuovere l'efficienza energetica;
- accrescere gli assorbimenti di gas serra conseguenti alle attività connesse con l'uso del suolo;
- partenariati transnazionali finalizzati alla piena utilizzazione dei meccanismi istituiti dal protocollo di Kyoto;
- ricerca e sperimentazione per la realizzazione di impianti di produzione di energia da biomasse.

Al 2006, l'uso di energia da fonti rinnovabili, secondo i dati del Ministero dello Sviluppo Economico al 2007, ammonta a 14,2 Mtep (7,3%), rispetto ad un consumo interno totale di 195,6 Mtep, dato in linea con la media europea e composto da 62,4% di energia derivante dal settore idroelettrico, 19,4% dalle biomasse e dai rifiuti solidi urbani, dalla geotermia con una quota del 10,4% e il 7,8% derivante da fonte eolica.

Questo scenario descritto giustifica e rafforza la volontà nazionale (Documento di Programmazione Economica e Finanziaria 2008-2011) di perseguire forme di sviluppo che prevedono l'impiego di fonti di energia rinnovabile.

In riferimento alla programmazione regionale della Basilicata si riscontrano particolari coerenze rispetto ai principali strumenti di conservazione del suolo e tutela delle acque, ai recenti Programmi di Sviluppo Rurale e ai Piani Energetici Regionali. In particolare, per quanto riguarda gli accordi di filiera e l'allocazione ottimale dei siti di trasformazione, la diversificazione e sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili (PIEAR Basilicata) e lo sviluppo di accordi di cooperazione nel settore bioenergetico (PSR Basilicata).

L'utilizzo delle biomasse a scopo energetico rappresenta al contempo uno degli strumenti indicati per il contenimento delle emissioni di gas serra in atmosfera, per la riduzione della dipendenza energetica e per la valorizzazione delle potenzialità e delle risorse endogene. Lo stretto legame con il territorio rappresenta la caratteristica principale delle biomasse, intese queste ultime come fonte di energia rinnovabile. Esse risultano infatti diffusamente presenti e disponibili, anche se in forme e quantità differenti.

Altro aspetto largamente importante ed oggetto di numerose discussioni in studi e ricerche riguarda la capacità di organizzare una "filiera" attraverso la quale ruotano strategie di raccolta, trasporto e trasformazione, volte alla minimizzazione dei costi ed al miglioramento dell'efficienza nei cantieri. Questo aspetto rappresenta il l'elemento critico, la chiave di volta, capace di determinare il successo di una strategia globale applicata al contesto locale.

Con riferimento alla filiera delle biomasse provenienti dai residui delle utilizzazioni forestali, il presente lavoro vuole fornire elementi di valutazione, di conoscenza e di computazione, finalizzati a supportare la realizzazione di accordi di filiera. Tali valutazioni potranno risultare utili ai decisori nell'indirizzare le politiche di intervento pubblico, nonché alle imprese agricole e forestali locali incluse nella filiera. Per queste ultime, infatti, la stipulazione di accordi di filiera con le industrie di trasformazione, rappresenta una garanzia di continuità di lavoro e di occupazione a cui bisogna aggiungere anche le maggiori possibilità di investire in tecnologie capaci di incrementare la produttività, contenendo ulteriormente i costi.

3. Stato dell'arte

Il termine biomassa è definito, nello scenario normativo italiano (Dlgs n. 387 del 29/12/2003) come "la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali ed animali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali ed urbani".

Essendo la trattazione delle biomasse enormemente eterogenea, risulta possibile effettuare alcune distinzioni in ragione della provenienza.

- comparto forestale e agroforestale: residui delle operazioni selvicolturali o delle attività agroforestali, utilizzazione di boschi cedui, ecc;
- comparto agricolo: residui colturali provenienti dall'attività agricola e dalle colture dedicate di specie lignocellulosiche, piante oleaginose, per l'estrazione di oli e la loro trasformazione in biodiesel, piante alcoligene per la produzione di bioetanolo;
- comparto zootecnico: reflui zootecnici per la produzione di biogas;

- comparto industriale: residui provenienti dalle industrie del legno o dei prodotti in legno e dell'industria della carta, nonché residui dell'industria agroalimentare;
- rifiuti urbani: residui delle operazioni di manutenzione del verde pubblico.

Per quanto riguarda gli scenari relativi a domanda e uso globali di bio-energia, sono state prospettate diverse stime (Hall et al. 1993; WEC 1994; Fujino et al. 1999, Hall e Scrase 1998 avevano ipotizzato, per l'anno 2050, che il contributo potenziale della bio-energia potrà variare tra i 95 e i 280 EJ (10^{15} joule, in grado di ridurre le emissioni tra 1,4 e 4,2 GtC (10^9 tonnellate di Carbonio) l'anno, ovvero tra il 5 e il 25% delle emissioni da carburante fossile previste per l'anno 2050 (IPCC 2001). Secondo un secondo rapporto dell'IEA (2005), la bio-energia potrà fornire circa 92 EJ nel 2020 e 159 EJ nel 2050, mentre secondo Hoogwijk et al. (2003) il potenziale potrebbe variare da 33 fino a 1.135 EJ l'anno.

Tali valutazioni risultano avere attendibilità in funzione di molteplici fattori, quali la possibilità di migliorare ulteriormente l'efficienza di conversione energetica della biomassa disponibile, di aumentare le quantità prodotte e utilizzate, migliorare l'efficienza di filiera mediante l'ottimizzazione dei processi di raccolta e di trasporto.

La valorizzazione dell'utilizzo delle biomasse può inoltre innescare processi di miglioramento ambientale e socio-economico come la diversificazione delle colture, il ripristino di suoli abbandonati, la manutenzione dei boschi, la creazione di posti di lavoro (McKendry, 2002). Infine, le biomasse contribuiscono a contrastare il riscaldamento climatico globale poiché il bilancio di produzione di gas serra, tipicamente di CO₂, si può considerare pressoché neutro (Roman e Turnbull 1997). Per ottenere trasformazioni energetiche con elevate efficienze e per un utilizzo sostenibile delle biomasse è necessario, però, considerare impianti con tecnologie moderne e pianificare razionalmente l'approvvigionamento, ovvero la raccolta e il trasporto della biomassa necessaria al loro funzionamento (Rosch e Kaltschmitt 1999; Combs 2002).

Il problema di ottimizzazione che verrà qui formulato è sostanzialmente un problema di localizzazione di impianti e di definizione dei bacini d'utenza, per cui esiste un'ampia letteratura scientifica. Per una panoramica dei metodi di localizzazione degli impianti si veda ad esempio Cappanera P. (2000). Sul tema specifico degli impianti a biomassa, Freppaz et al. (2004) hanno affrontato il problema nel caso della Liguria, Voivontas et al. (2001) nel caso dell'isola di Creta e Moller B. e Nielsen P.S. (2007) nel caso della Danimarca.

Infine, caratteristica del presente lavoro è lo stretto legame con il territorio in esame: si propone di risolvere il problema di ottimizzazione a scala regionale.

4. Metodologia e applicazione ad un caso concreto

L'analisi proposta individua una stretta connessione tra i costi e la distanza percorsa per la movimentazione della biomassa dal luogo di produzione (nel caso specifico i siti di accumulo collocati in bosco) al luogo di trasformazione (l'implan-

to termico). In tale contesto il costo di viaggio rappresenta una componente rilevante del valore commerciale della biomassa, nonché una voce passiva di notevole variabilità, capace di influenzare la convenienza economica della raccolta del materiale legnoso.

Diversi autori hanno descritto i modelli della pianificazione spaziale della bioenergia a livello regionale (Noon and Daly, 1996; Graham et al., 1997; Varela, Saez and Audus, 2001); effettuata mediante l'impiego congiunto di Sistemi Informativi Geografici e procedimenti euristici, finalizzati alla localizzazione degli impianti di trasformazione ed alla relativa valutazione dei costi di trasporto della biomassa.

La prima valutazione effettuata è indirizzata all'individuazione delle possibili collocazioni degli impianti di trasformazione. Tale valutazione è stata effettuata sulla base di tre considerazioni:

- In riferimento ai recenti indirizzi normativi⁷, secondo i quali la produzione di energia elettrica mediante impianti alimentati a biomasse e biogas, derivante da produzioni agricole, silvicole e zootecniche, può essere effettuata da imprenditori del settore agricolo e/o agro energetico, nell'ambito di intese di filiera, contratti quadro o filiere corte reperendo il biocombustibile entro un raggio di 70 Km dall'impianto che li utilizza per produrre energia elettrica. Tale produzione è incentivata mediante il rilascio di certificati verdi per impianti aventi potenza elettrica superiore ad 1 megawatt (Mw), o ad una tariffa fissa omnicomprensiva pari a 0,30 € per ogni kilowattora (Kwh) per un periodo di quindici anni;
- La localizzazione dell'impianto di produzione energetica. La scelta dei siti deve rispondere sia alle esigenze ambientali sia a quelle produttivo-economiche e paesaggistiche. Essendo gli impatti ambientali limitati e comunque contenuti entro i limiti delle attuali normative in materia di impatto ambientale⁸, risulta di maggiore importanza la disponibilità di reti energetiche e di collegamenti viari (strade, fognature, illuminazione, reti elettriche, ecc.). Relativamente agli impatti paesaggistici, l'impatto del manufatto può esserci se realizzato in territori omogenei, dove l'agricoltura o i boschi rappresentano gli elementi principali che caratterizzano il paesaggio. Qualora l'impianto sia incluso in aree già urbanizzate, artificiali, con strutture simili, l'impatto risulterebbe di scarsa entità.
- Il posizionamento geografico centrale rispetto ai bacini di approvvigionamento del combustibile vegetale. Nello specifico, la disponibilità di combustibile risulta essere l'elemento limitante, che definisce la potenza di produzione dell'impianto, fermo restando le condizioni di approvvigionamento locale del combustibile.

Dalle considerazioni siffatte risulta evidente l'orientamento strategico di localizzare gli impianti presso aree industriali già presenti in regione, in cui è possibile attingere ed immettere energia nelle linee elettriche principali presenti. Inoltre sarebbe

⁷ In particolare la legge 222 del 29/11/2007, Interventi urgenti in materia economico-finanziaria, per lo sviluppo e l'equità sociale.

⁸ Se non per il fatto dell'aumento del traffico veicolare dei mezzi che trasportano i materiali vegetali combustibili.

anche possibile utilizzare il calore prodotto dal processo di combustione dell'impianto per riscaldare gli edifici delle altre aziende presenti all'interno dell'area industriale.

Un ulteriore elemento di vantaggio insito nella scelta di tali aree risiede nella possibilità di poter riutilizzare strutture produttive (capannoni) già presenti, attualmente dismesse o abbandonate.

Nella Regione Basilicata risultano essere presenti 15 aree industriali⁹ (dieci afferenti alla Provincia di Potenza e cinque afferenti alla Provincia di Matera) di cui alcune geograficamente e logisticamente vicine (a distanza inferiore ai 10 Km), come ad esempio l'area industriale di Potenza risulta essere vicina a quella di Tito. Pertanto si è proceduto ad effettuare una selezione delle aree industriali finalizzata ad ottenere una omogeneizzazione territoriale, riducendo quindi a 12 le aree adatte alla realizzazione degli impianti (Fig. 4).

Determinata la localizzazione degli impianti si è proceduto alla costruzione di un modello di analisi del costo 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 e l'impianto di trasformazione delle biomasse.

Figura 4. Localizzazione dei 12 impianti industriali analizzati



⁹ Sistema Informativo Fattori Localizzazione Imprese, a cura del Ministero dello Sviluppo Economico.

Tabella 2. Relazioni velocità-pendenza

Velocità iniziale	Classe di pendenza	Velocità finali
Km/h	%	Km/h
80	< 10	80
80	10-25	70
80	25-50	60
80	>50	50
70	< 10	70
70	10-25	60
70	25-50	50
70	>50	40
50	< 10	50
50	10-25	45
50	25-50	40
50	>50	30
30	< 10	30
30	10-25	25
30	25-50	20
30	>50	15

Nel caso in esame la viabilità è stata suddivisa sulla base della tipologia (Autostrade, Strade Statali a rapida percorrenza, Strade Statali, Strade Provinciali, Strade Comunali) e della morfologia (classi di pendenza), parametri che influenzano la velocità di transito dei mezzi di trasporto della biomassa. Con i dati disponibili è stata effettuata una classificazione dei rami stradali in base ai limiti di velocità imposti per i mezzi pesanti, includendo anche le limitazioni dovute alla pendenza, seguendo lo schema riportato nella Tab. 2.

L'implementazione del modello del costo di trasporto della biomassa necessita però di informazioni puntuali del territorio, quali il tipo, la lunghezza e la pendenza delle aste viarie, esplicitate attraverso l'impiego di dati geografici contenuti all'interno di un Sistema Informativo Territoriale, appositamente realizzato.

I Sistemi Informativi Territoriali comprendono numerose applicazioni per la gestione e la manipolazione dei dati geografici, nonché mappe per la visualizzazione dei risultati. Sono inoltre presenti applicativi specifici, utilizzabili per la rappresentazione spaziale di dati. Spesso tali applicativi implicano l'impiego di formati *raster* (una corretta definizione di dato *raster* è contenuta in Malczewski J. 2004) e di funzioni di analisi spaziale.

Per l'applicazione del presente modello è stata eseguita un'analisi spaziale su dato *raster* ad alto dettaglio, con maglia quadrata di 20 metri di lato.

I dati geografici impiegati in input sono stati:

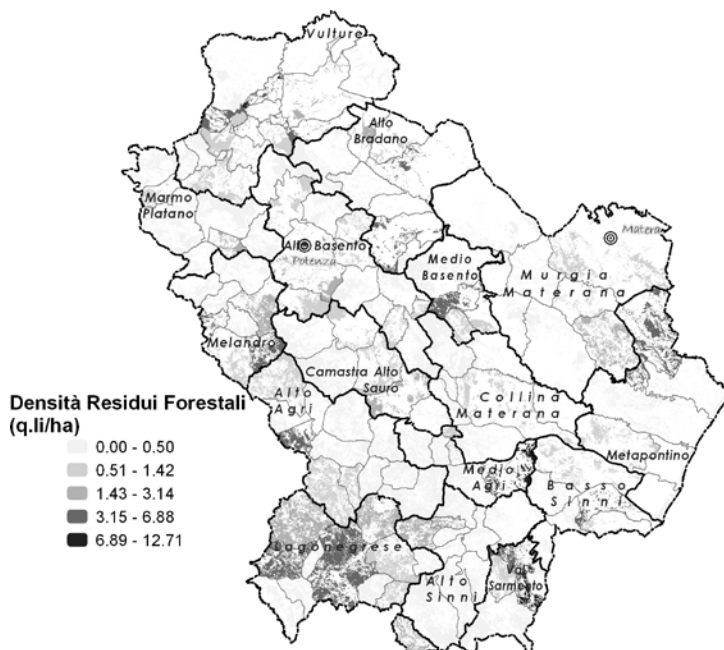
1. le quantità di biomassa realmente reperibile per l'impiego a fini energetici;
2. il modello digitale del terreno per la rilevazione delle pendenze;
3. la carta della viabilità del territorio regionale, con la suddivisione delle diverse tipologie (Autostrade, Strade Statali, Strade Provinciali, viabilità comunale e agro-silvo-pastorale).

In riferimento al primo aspetto, l'ammontare di biomassa è stato desunto da uno studio condotto dall'UR del Dipartimento Tecnico-Economico per la Gestione del Territorio Agricolo-forestale dell'Università della Basilicata seguendo il modello proposto in Romano S. et al. (2005) (Fig. 5).

Lo studio considera i dati delle utilizzazioni desunti dai registri di taglio del Corpo Forestale dello Stato, quale ammontare effettivo delle utilizzazioni private e pubbliche in Regione Basilicata. Sulla base di tali dati, specificati anche per specie e per forma di governo, è stata quantificata la quota di residui che annualmente si rende disponibile ai fini bioenergetici. I parametri di riferimento adoperati per la quantificazione della percentuale residua sono stati rilevati dalla letteratura relativa ad esperienze realizzate in contesti nazionali simili (Del Favero 1978; Pettenella 1999; APAT 2003) e convalidati attraverso un'indagine diretta, realizzata con la somministrazione di questionari alle imprese utilizzatrici.

La consistenza dei residui a livello di singolo comune è stata successivamente distribuita sulle aree forestali, ottenendo quindi una mappatura in formato *raster* della densità dei residui forestali (Fig. 5).

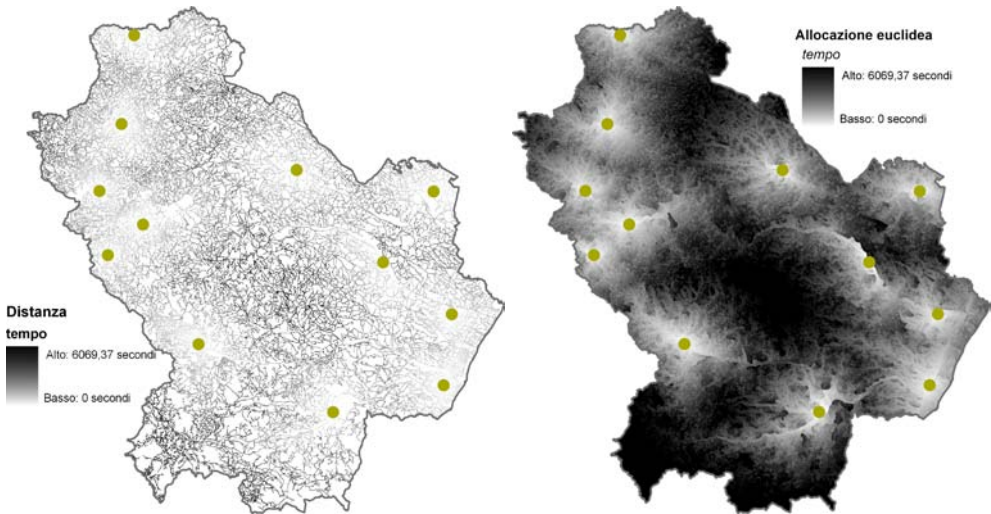
Figura 5. Distribuzione della densità di residui annualmente disponibile



La valutazione dei costi di trasporto è stata eseguita utilizzando alcune funzioni di analisi spaziale *raster* in ambiente GIS:

1. *Cost Distance Function*: è una funzione incrementale che 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. Tale funzione ha in input l'ubicazione della/e centrale/i ed il raster della velocità di percorrenza lungo il grafo stradale e produce un raster dei tempi cumulati di percorrenza lungo la rete stradale in secondi (*tempo di percorrenza cumulato*, Fig. 6). Risulta chiaro che la scelta del percorso dipende esclusivamente dalla minimizzazione dal tempo necessario a raggiungere l'impianto.

Figura 6. a) funzione *Cost distance* e b) funzione *Euclidean allocation* ai 12 impianti ipotizzati

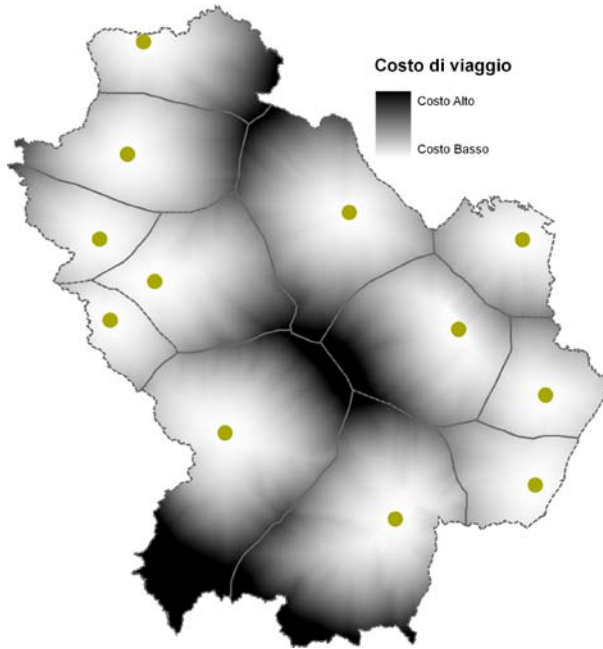


2. *Euclidean Allocation* (Boots B. 1999): l'impiego della funzione deriva dalla necessità di dover produrre una superficie continua dei tempi di percorrenza. È utilizzata per estendere la funzione del costo di trasporto (*Cost Distance Function*) all'interno delle vicine aree forestali. I tempi di trasporto sono pertanto estesi alle aree forestali mediante un'allocazione euclidea (Fig. 6).

Il passaggio successivo risulta quello relativo alla delimitazione geografica dei bacini di approvvigionamento della biomassa, intesi questi come l'area di afferenza della biomassa ad un determinato impianto. La funzione utilizzata per individuare l'appartenenza di una porzione di superficie s_i all'impianto I_1 piuttosto che all'impianto I_2 dipende dalla distanza (non lineare ma viaria) e quindi dal tempo necessario a raggiungere l'impianto. Avremo quindi che:

$$s_i = \min(tI_1; tI_2; \dots; tI_n)$$

Figura 7. Delimitazione dei bacini di approvvigionamento



dove t è il tempo di viaggio necessario alla movimentazione della biomassa (Fig. 7).

Con i risultati prodotti dalle funzioni precedenti e nell'ipotesi che i costi di movimentazione dipendano soltanto dal noleggio dei mezzi, 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, Moller B. e Nielsen P.S. 2007; Lupia F. e Colonna N. 2007):

$$CT = ((t_p \times 2) + t_i) \times C_{mt} / P_{mt}$$

con:

CT : Costo di trasporto;

t_p : il raster dei tempi di percorrenza (ottenuto con la funzione *euclidean allocation*) dell'area in esame (in minuti);

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

C_{mt} : costo orario del mezzo di trasporto (in euro al minuto);

P_{mt} : massimo carico trasportabile dal mezzo (in tonnellate).

I dati economici e dei tempi sono stati desunti attingendo da esperienze e rilievi locali, nonché da questionari somministrati alle imprese boschive, dai quali emerge che mediamente ogni impresa possiede 1,5 autocarri di cui la maggior parte risulta essere di dimensioni medie. I dati ottenuti sono stati successivamente

te confortati da numerosi riferimenti bibliografici (tra cui Spinelli R., Hartsough B. 2001). Di fatto però esiste una estrema variabilità in rapporto al tipo di mezzo impiegato e all'organizzazione stessa dell'impresa. I valori che nel presente studio sono stati considerati sono:

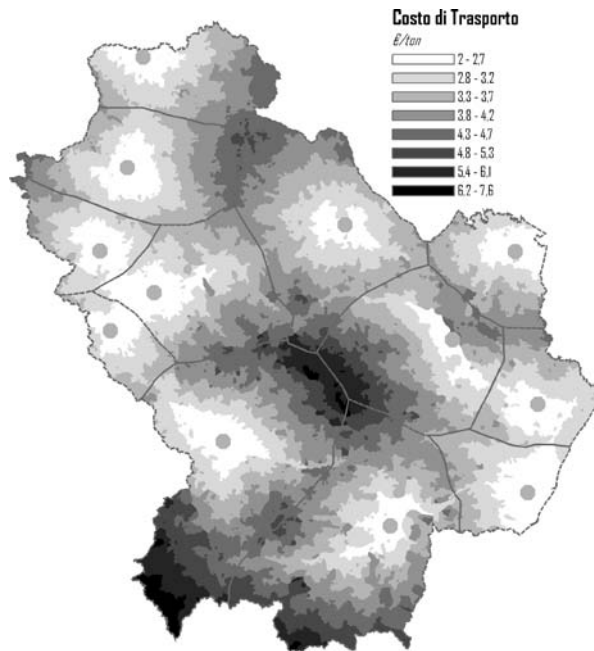
T_i : 60 minuti, dove circa 45 sono per il carico dell'automezzo ed i restanti 15 per lo scarico;

C_{mt} : 0,66 euro al minuto, corrispondenti a circa \square 40 l'ora;

P_{mt} : 20 tonnellate di carico massimo trasportabile dall'automezzo.

Ne risulta una superficie continua dei costi di trasporto (espressi in \square/ton) per tutti i dodici siti di trasformazione (Fig. 8). 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 secondo quelle che sono le direttrici viarie.

Figura 8. Mappatura dei costi di trasporto



5. Le curve costo-offerta

Con il proposito di ottenere una distribuzione delle quantità di biomassa disponibile ai vari costi di trasporto è stata effettuata un'operazione di analisi zonale. I dati di partenza sono la mappatura della distribuzione spaziale della biomassa annualmente disponibile e la mappatura dei costi di trasporto. Le informazioni

Tabella 3. Disponibilità e costo medio della biomassa, per impianto

Bacino di approvvigionamento	Disponibilità totale di biomassa (ton)	Disponibilità di biomassa sotto i 5 □ (ton)	Variazione (ton)	Costo medio di trasporto (□/ton)
Atella	13.615,87	13.615,87	-	3,611
Baragiano	6.847,97	6.847,97	-	2,821
Ferrandina	16.838,33	13.215,00	-3.623,33	4,008
Irsina	25.185,78	24.307,00	-878,78	3,761
Matera	5.798,91	5.798,91	-	3,303
Melfi	461,96	461,96	-	3,562
Pisticci	4.045,4	4.045,4	-	3,523
Policoro	1.290,62	1.290,62	-	3,185
Satriano	10.107,91	10.107,91	-	3,060
Senise	30.810,98	28.725,00	-2.085,98	3,884
Tito	12.636,58	12.636,58	-	3,399
Viggiانو	84.802,51	70.193,00	-14.609,51	3,685

che ne risultano definiscono, per ogni cella di foresta, il contenuto in biomassa ed il relativo costo di trasporto verso la centrale.

L'applicazione dell'analisi zonale restituisce i dati in formato tabellare, definendo i valori medi di costo per determinati accumuli di biomassa. In tal modo si possono tracciare le curve costo-offerta (Tab. 3), la cui forma e pendenza sono indicatori di disponibilità e di accessibilità locale della biomassa.

Ciascuna curva è stata ottenuta specificatamente per l'area di interesse, relativamente ai 12 bacini considerati.

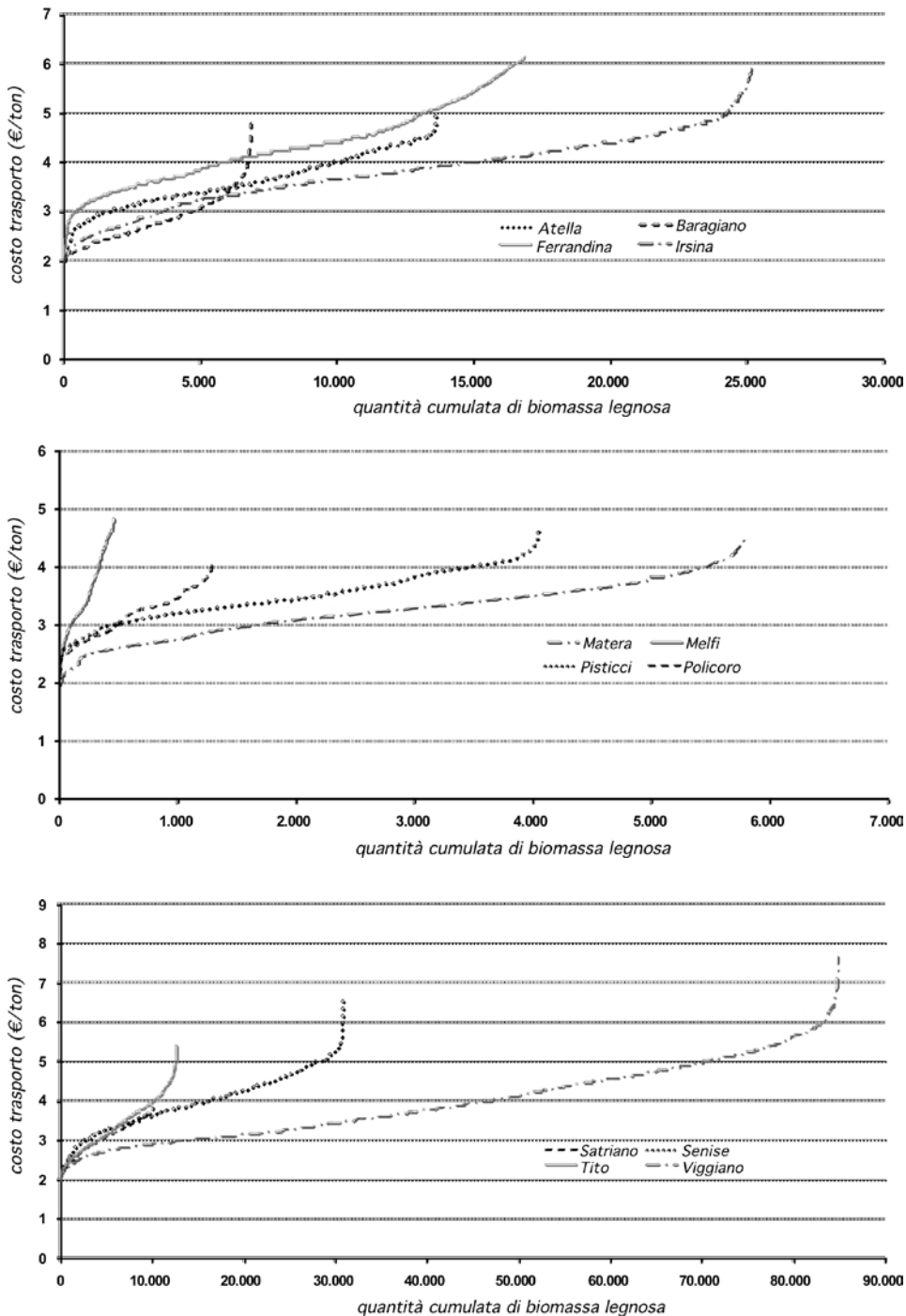
Nel presente modello le curve sono state tracciate considerando attivo un solo impianto per volta, e considerando l'approvvigionamento della biomassa forestale esclusivamente nell'area afferente al bacino di appartenenza, semplificando la realtà, dove tutti gli impianti sono attivi e sono in competizione nell'impiego delle risorse legnose presenti.

Le curve ottenute indicano il quantitativo di biomassa disponibile ad un determinato livello di prezzo e mostrano come tale disponibilità si modifica in funzione dell'incremento dei costi di trasporto. Infatti, all'aumento della richiesta di biomassa di un impianto corrisponde un progressivo ampliamento del bacino di afferenza della biomassa e conseguentemente un aumento del prezzo corrisposto per il trasporto.

La curva ottenuta rappresenta un primo elemento conoscitivo, sulla base del quale l'imprenditore gestore dell'impianto potrà individuare l'opportuno *mix* tra quantità e prezzo.

La figura 9 riporta le curve costo-offerta relativamente ai dodici bacini analizzati. Un primo dato che emerge è la differenza di disponibilità totale di biomassa

Figura 9. Curva Costo-Offerta relativamente ai dodici bacini analizzati



di ciascun comprensorio, che passa da meno di 1.000 ton nel caso del bacino relativo all'area industriale di Melfi fino a più di 80.000 ton nel bacino relativo all'area industriale di Viggiano. Questo dato dipende principalmente da due variabili: dimensione territoriale e consistenza del patrimonio forestale.

Quasi per tutti i comprensori considerati si verifica, nella parte terminale, un aumento della pendenza con un conseguente forte aumento del prezzo a fronte di piccoli aumenti della quantità disponibile. Questo si traduce nel fatto nelle aree più lontane è spesso concentrata una minore quantità di biomassa.

Ponendo il limite di 5 □ per tonnellata quale costo massimo sopportabile per il trasporto della biomassa legnosa avremo (Tab. 3) che alcuni bacini riescono pienamente ad utilizzare le proprie disponibilità di materiale a fronte di altri che impiegano solamente una parte della propria disponibilità (il bacino di Ferrandina, Irsina, Senise e Viggiano). I valori medi dei costi sono compresi tra valori che vanno dai 2,8 □/ton del bacino di Baragiano ai 4 □/ton del bacino di Ferrandina e risultano essere direttamente correlati alla dimensione del bacino ed alla disponibilità di biomassa. I valori medi hanno quale funzione principale la determinazione di un valore soglia attraverso il quale gli imprenditori che gestiscono impianti possono basare i loro accordi nella stipulazione dei contratti con le imprese forestali o con le imprese specializzate nel trasporto della biomassa forestale.

6. Conclusioni e discussione

Lo studio proposto in questo lavoro parte dalla constatazione delle dinamiche a livello mondiale in materia di risorse e approvvigionamento energetico. I diversi sistemi economici più avanzati possiedono una forte dipendenza dalle fonti di energia fossile, non riproducibile ed altamente inquinante. È infatti oramai accettato da tutta la comunità scientifica la relazione che collega le attività umane all'aumento della concentrazione di inquinanti in atmosfera ed al riscaldamento generale del pianeta.

Accertata la forte dipendenza tra il sistema economico-produttivo ed il sistema ambientale, i governi hanno varato protocolli d'intesa indirizzati al contenimento delle emissioni di inquinanti. Primo fra tutti il Protocollo di Kyoto, sottoscritto da 169 nazioni e attualmente ratificato solo da 129, in cui è previsto l'obbligo dei paesi industrializzati di operare per una riduzione dell'emissione di elementi inquinanti in misura non inferiore al 5% rispetto alle emissioni registrate nel 1990.

Al fine di fronteggiare questa nuova "scelta impositiva", i vari enti nazionali e sovranazionali hanno delineato specifici modelli di sviluppo sostenibile a cui hanno affiancato ingenti risorse rivolte allo sviluppo di tecnologie meno inquinanti, alla cooperazione internazionale per la diffusione di esperienze virtuose. L'Europa, prima tra tutte, ha avviato iniziative di ampio respiro a carattere sia generale sia locale, ribadendo che la lotta al cambiamento climatico sia una linea di azione strategica da condurre in sinergia con le politiche di ristrutturazione del comparto energetico, settore di primaria importanza nel contribuire al raggiungimento degli obiettivi di Kyoto.

Le linee strategiche europee sono infatti determinate su quattro punti fondamentali:

1. interventi di liberalizzazione per la creazione di un mercato unico energetico;
2. sostegno all'innovazione tecnologica nel settore energetico e climatico;
3. miglioramento nell'efficienza energetica, nella generazione e nell'utilizzo di energia;
4. aumento della quota di energia rinnovabile.

La strategia energetica italiana dovrebbe indirizzarsi verso una decisa politica di riduzione nell'impiego delle fonti fossili, evitando in tal modo il verificarsi di *black-out* energetici. Al contempo si verrebbe a creare il substrato fertile per avviare processi di diversificazione delle fonti energetiche, con conseguente minore dipendenza e maggiore stabilità della fornitura. Gli interventi ipotizzati a livello nazionale afferiscono a due filoni principali: quelli orientati alla promozione della domanda e quelli orientati al sostegno dell'offerta. I primi propongono incentivi sulla riqualificazione degli edifici, con interventi che consentono di ridurre le dispersioni termiche, collegati con l'installazione di pannelli solari e la sostituzione di caldaie a più alta efficienza. A questi si aggiungono anche interventi di efficienza produttiva del sistema industriale, interventi per riduzione del carico fiscale per il GPL da trasporto, miscelazione in crescita fino al 2010 dei biocarburanti e sostegno alle filiere produttive agro-energetiche.

Dalla parte dell'offerta gli interventi sono mirati alla costituzione di un comparto industriale energetico rinnovabile, competitivo ed in grado di contribuire alla indipendenza del settore energetico italiano.

In Basilicata, nell'ambito del Programma Nazionale Biocombustibili, sono state impiegate risorse pubbliche, ottenute attraverso finanziamenti dal MIPAF¹⁰ per l'esecuzione prima del progetto PROBIO (Programma Nazionale Biocombustibili) e poi del progetto multiregionale RAMSES (Risorse Agro-forestali-energetiche per il Mezzogiorno e lo Sviluppo Economico Sostenibile). I progetti si prefiggono l'obiettivo di contribuire alla concretizzazione delle reali potenzialità del settore, in termini di produzione di bioenergia derivante dal comparto agricolo e silvicolo. I principali obiettivi del progetto consistono 1) nell'individuazione di strategie atte a sperimentare diverse filiere bioenergetiche, individuare quelle maggiormente promettenti, in termini non solo di efficienza produttiva, ma anche in termini di ricadute, sociali ed ambientali, sul territorio. 2) nell'attivazione di esperienze dimostrative, attraverso il coinvolgimento di soggetti pubblici e privati, finalizzate nella volontà di affermare tali attività sul territorio ed incoraggiare investimenti produttivi agricoli, artigianali e industriali ed, infine, 3) creare i presupposti per avviare successivamente ulteriori filiere legate alla bioenergia.

A scala locale, proprio in ragione di tali orientamenti, il principio ispiratore dello studio proposto si concretizza nella volontà di contribuire alla riduzione degli inquinanti in atmosfera e nella ricerca di forme di sviluppo economico endoge-

¹⁰ Ministero delle Politiche Agricole e Forestali.

no, basato sulle risorse localmente disponibili, con particolare attenzione al settore delle biomasse recuperabili dal comparto silvicolo.

Lo studio ha analizzato la voce relativa ai costi di trasporto della biomassa a partire dal bosco e fino ad arrivare agli impianti di trasformazione mediante l'impiego congiunto di parametri economici e di dati aventi una precisa collocazione geografica. L'analisi ha condotto alla realizzazione di un modello in cui è stata effettuata una mappatura del costo di viaggio per trasportare la biomassa forestale dal sito di produzione fino all'impianto. Attraverso la mappatura del costo di viaggio è stato possibile realizzare le curve di *costo-offerta* con cui effettuare delle scelte relativamente alle dimensioni degli impianti di trasformazione.

Elemento di innovazione del presente contributo riguarda la capacità del modello a poter essere impiegato per scenari diversi, con filiere produttive (silvicola, agricola, specializzata per la produzione di biomassa, ecc.) anche diverse e/o comprenderle al contempo.

Ad esempio è possibile, laddove l'impianto già esiste, effettuare delle valutazioni circa la reperibilità ed i costi associati alle biomasse, nonché la delimitazione economicamente valida dei bacini di approvvigionamento e, all'interno dello stesso scenario, risulta possibile modificare i diversi parametri che lo compongono.

Un risultato importante consiste nell'impiego di un modello applicativo rispondente alle necessità di una corretta gestione energetica endogena e territorialmente disponibile, nonché alla capacità di poter essere adattato ai contesti reali specifici al fine di contribuire alla creazione ed al miglioramento dell'efficienza legata al trasporto.

Tale modello si presta bene come base conoscitiva utile alle scelte dei soggetti coinvolti nel settore energetico forestale, nella definizione degli accordi di fornitura.

Un limite dell'applicazione proposta nel presente contributo risiede nel non aver affrontato il problema della tipologia di bosco, poiché in ragione di questa non solo si individua l'ammontare della biomassa disponibile, ma anche l'attuale allocazione del materiale. Nello specifico, in Basilicata vi sono numerosissimi rimboschimenti di conifere realizzate con risorse della Cassa per il Mezzogiorno (L. 10 agosto 1959, n. 646) e che pur necessitando di interventi selvicolturali decisi di diradamento e sfollo, questi non sono effettuati a causa della mancanza di mercato locale di legno di conifere. Tali aree andrebbero considerate specificatamente, anche perché bacini consistenti di biomassa potenzialmente destinabile alla produzione energetica.

Bibliografia

- APAT 2003. *Le biomasse legnose. Un'indagine sulle potenzialità del settore forestale italiano nell'offerta di fonti di energia*. ISBN 88-448-0097-7.
- Boots B. 1999. Spatial Tessellation. In: Longley P.A., Geodchild M.F. e al.. *Geographic information systems*, 2nd ed., New York, Wiley.
- Cappanera P. 2000. *Discrete facility location and routing of obnoxious activities*, tesi di dottorato, XII ciclo, Università degli Studi di Milano.
- Ciccarese L., Spezzati E., Pettenella D. 2003. *Le biomasse legnose. Una indagine sulle potenzialità del settore forestale italiano nell'offerta di fonti di energia*, APAT, Roma.

- Combs J. 2002. Biomass energy: an industry waiting for growth. *Renewable Energy World*, Review issue 2002-03.
- Del Favero R. 1978. *Aspetti particolari della vendita del legname da parte di comuni ed enti*. Padova.
- D-G Energy and Trasport 2008. *European Energy and Transport, trends to 2030 – update to 2007*. ISBN 978-92-79-07620-6, Printed in Belgium.
- Energy Information Administration, EIA 2008. *International Energy Outlook 2008*, Energy Information Administration Office of Integrated Analysis and Forecasting U.S. Department of Energy Washington, DC 20585.
- Energy Information Administration, EIA 2005. *International Energy Annual 2005 (June-October 2007)*
- European Environmental Agency, EEA 2005. *The European Environment. State and Outlook 2005*, Copenhagen, Denmark.
- European Environmental Agency, EEA (2007). *Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2007*. EEA report No 5/2007, Copenhagen, Denmark.
- Eurostat 2007. *Environment and Energy*, <<http://ec.europa.eu/eurostat/>>.
- Eurostat 2008. *Energy, yearly statistics 2006*; ISBN 978-92-79-09566-5, ISSN 1830-7833.
- European Environmental Agency (EEA) 2005. *The European Environment. State and Outlook 2005*, Report n. 1/2005, Copenhagen, Denmark.
- Freppaz D., Minciardi R., Robba M., Rovatti M., Sacile R., Taramasso A. 2004. Optimizing forest biomass exploitation for energy supply at a regional level, *Biomass & Bioenergy* 26: 15-25.
- Fujino J., Yamaji K. e Yamamoto H. 1999. Biomass-Balance Table for evaluating bioenergy resources. *Applied Energy* 63(2): 75-89.
- Graham R.L., Liu W., Downing M., Noon C.E., Daly M., Moore. A. 1997. The Effect of Location and Facility Demand on the Marginal Cost of Delivered Wood Chips from Energy Crops: A Case Study of the State of Tennessee. *Biomass and Bioenergy* 13(3): 117-123.
- GRTN 2007. *Statistiche sulle fonti rinnovabili in Italia*. Roma.
- Hall D.O., Rosillo-Calle F, Williams R.J., Woods J. 1993. Biomass for Energy: Supply prospects. In: Johansson T.B., Kelly H., Reddy A.K.N., Williams R.H. *Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity*. Washington D.C., Island Press: 593-651.
- Hall D.O., Scrase J.I. 1998. Will biomass be the environmentally friendly fuel of the future? *Biomass e Bioenergy* 15: 357-367.
- Hoogwijk M., Faaij A., Van den Broek R., Berndes G., Gielen D., Turkenburg W. 2003. Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. *Biomass and Bioenergy* 25(2): 119-133.
- International Energy Statistics, IEA (2005). *Key World Energy Statistics*. International Energy Agency. Paris, France. Disponibile al sito: <<http://www.iea.org/dbtw-wpd/Textbase/nppdf/free/2005/key2005.pdf>>.
- Intergovernmental Panel of Climate Change, (IPCC) 2001. *Climate Change, 2001: mitigation (WGIII)*, Cambridge University Press, Cambridge (UK).
- Intergovernmental Panel of Climate Change, (IPCC) 2003. *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Printed in Japan, ISBN 4-88788-003-0.
- Intergovernmental Panel of Climate Change, (IPCC) 2007. *Climate change 2007: The Physical Science Basis*. ISBN 978 0521 88009.
- Lupia F, Colonna N. 2007. *Analisi dei costi di trasporto per la valorizzazione energetica forestale*. Esri-Italia, conferenza 2007, Roma 18-19 aprile 2007.
- Malczewski J. 2004. Gis-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning*, Elsevier, n. 6: 3-65.
- McKendry P. 2002. Energy production from biomass (part 1): Overview of biomass. *Bioresource Technology* 83: 37-46.
- Ministero delle Politiche Agricole e Forestali 1999. Programma Nazionale Biocombustibili (PRO-BIO).
- Ministero delle Politiche Agricole e Forestali 2003. Risorse Agro-forestali-energetiche per il Mezzogiorno e lo Sviluppo Economico Sostenibile (RAMSES).
- Moller B. e Nielsen P.S. 2007. Analysing transport cost of Danish wood chip resource by means of continuous cost surface. *Biomass & Bioenergy* 31: 291-298.

- Noon, C.E., Daly M.J. 1996. GIS-Based Biomass Resource Assessment with BRAVO. *Biomass and Bioenergy* 10(2-3): 101-109.
- Pettenella D. 1999. Politiche di incentivazione del mercato del legname ad uso energetico in Italia. Atti del Convegno "Italia legno-energia: dal presente al futuro". Fiera di Verona, 19.3.1999. PMT-CEAR, Padova.
- Roman U., Turnbull J. 1997. Integrated biomass energy systems and emissions of carbon dioxide, *Biomass & Bioenergy* 13: 333-343.
- Romano S., Cozzi M. 2005. *Biomass use as a renewable energy resource: the region of basilicata rural areas study case*. 14th European Biomass Conference and Exhibition: Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Palais des Congrès, Paris, 17-21 october 2005.
- Rosch C., Kaltschmitt M. 1999. Energy from biomass – do non technical barriers prevent an increased use?, *Biomass & Bioenergy* 16: 347-356.
- Spinelli R., Hartsough B. 2001. *Indagine sulla cippatura in Italia, Contributi scientifico-pratici per una migliore conoscenza ed utilizzazione del legno*. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la Ricerca sul Legno, Firenze.
- Varela M., Saez R., Audus H. 2001. Large-Scale Integration of Electricity from Short-Rotation Woody Crops. *Solar Energy* 70(2), 95-107.
- Voivontas D., Assimacopoulos D., Koukios E.G. 2001. Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method, *Biomass & Bioenergy* 20: 101-112.
- WEC 1994. *New Renewable Energy Sources. A guide to the future*. World Energy Council. Kogan Page Limited, London, U.K.