



AgEcon SEARCH

RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.



La valorizzazione energetica dei residui colturali arborei: applicazione dell'analisi spaziale e valutazione della sostenibilità economica e ambientale

Biancamaria Torquati¹, Daniela Marino¹ and Pier Riccardo Porceddu²

¹ Dipartimento di Scienze Economico-Estimative e degli Alimenti, Università degli Studi di Perugia,
Italia

² Dipartimento Scienze Agrarie e Ambientali, Università degli Studi di Perugia, Italia

torquati@unipg.it

Paper prepared for presentation at the 1st AIEEA Conference
'Towards a Sustainable Bio-economy: Economic Issues and Policy Challenges'

4-5 June, 2012
Trento, Italy

Summary

The use of biomass for energy is one of the promising alternatives identified by the European Union to reduce the greenhouse gases emissions and for the energy supply security. The aim of this research is to analyze the potential production, economic and environmental sustainability of the energy produced from the vineyards and olive orchards pruning at the 4 municipalities of Umbria Region. Geo-spatial, economic and environment analysis have been conducted. The integrated approach was used to estimate the total quantity of biomass produced in that area, identify a logistic network for its transportation and finally based on which a power plant has been suggested. The chain costs and the potential profit margins were also calculated and the resulted CO₂ emissions into the atmosphere were also been estimated. The results have shown that the fragmentation and the dispersion of agricultural activities as well as technical and logistical decisions affect noticeably the economical and environmental (both in terms of energy balance and CO₂ emissions) sustainability of the proposed agri-energetic chain.

Keywords: pruning, greenhouse gases emissions, Geo-spatial analysis, agri-energetic chain
JEL Classification codes: Q42, Q51

La valorizzazione energetica dei residui colturali arborei: applicazione dell'analisi spaziale e valutazione della sostenibilità economica e ambientale

Biancamaria Torquati¹, Daniela Marino¹ e Pier Riccardo Porceddu²

¹ Dipartimento di Scienze Economico-Estimative e degli Alimenti, Università degli Studi di Perugia,
Italia

² Dipartimento Scienze Agrarie e Ambientali, Università degli Studi di Perugia, Italia

torquati@unipg.it

1. Introduzione

Il grande interesse per il settore della bioenergia nell'Unione europea scaturisce dalla necessità di incrementare l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili al fine di raggiungere una serie di obiettivi, tra i quali la riduzione della dipendenza dai combustibili fossili diversificando l'approvvigionamento energetico, la salvaguardia dell'ambiente riducendo le emissioni responsabili dei cambiamenti climatici, lo sviluppo del settore agro-forestale attraverso la proposta di nuove fonti di reddito, nonché lo smaltimento razionale dei materiali di scarto (Pellerano *et al.*, 2007). Ma il settore dell'energia rinnovabile prodotta da materie prime agricole è particolarmente complesso sia per le varie tipologie di biomassa impiegabili e di aziende produttrici coinvolte sia per la pluralità di processi chimici, fisici e termici utilizzabili (Frascarelli, 2011). In questo contesto le imprese agricole hanno due vie per partecipare al mercato dell'energia rinnovabile: tramite la fornitura di materie prime prodotte appositamente per lo scopo oppure valorizzando risorse che costituiscono materiale di scarto, cioè le così dette biomasse residuali. Queste ultime sono quelle provenienti o dai residui agricoli delle coltivazioni principali come, ad esempio, i sarmenti della vite e le potature degli olivi, o dai residui derivanti da processi produttivi agro-industriali come, ad esempio, le vinacce e gli scarti della molitura delle olive.

Rispetto alla prima opzione è in corso un acceso dibattito sulla competizione nel settore agricolo tra produzioni destinate all'alimentazione e produzioni a scopo energetico. Rispetto, invece, all'utilizzo delle biomasse residuali i toni del dibattito sono meno conflittuali e le sperimentazioni in corso, sempre più numerose, concentrano la loro attenzione sulle problematiche di tipo organizzativo ed economico (Chiodo e Nardella, 2011). Queste problematiche sono connesse alla necessità di integrare la variabile energetica nella pianificazione territoriale che comporta, necessariamente, una programmazione di medio-lungo periodo delle azioni ed interventi da intraprendere per gestire la domanda e pianificare l'offerta. L'analisi della filiera agro-energetica, data la sua complessità, richiede un approccio multidisciplinare in grado di integrare la dimensione socio-economica con quella istituzionale ed ambientale. Gli studi sulla filiera agro-energetica, infatti, possono essere ricondotti a quattro approcci fondamentali: spaziale, tecnico-ingegneristico, economico e ambientale.

L'approccio spaziale, in particolare, contempla l'individuazione delle superfici che possono fornire biomasse utili a fini energetici stabilendone la loro vocazionalità (Kinoshita *et al.*, 2009; Fiorese e Guariso, 2009), evidenziandone i confini amministrativi e la copertura del suolo

(Beccali *et al.*, 2009), o individuando una rete logistica per il trasporto delle biomasse (Perpina *et al.*, 2009). Le metodologie di analisi quasi sempre sono basate sull'uso di sistemi informativi geografici (GIS) che sono particolarmente utili per la creazione di Sistemi di Supporto alle Decisioni (DSS) in quanto consentono di localizzare la biomassa idonea e di ottimizzare la collocazione geografica di ogni segmento della filiera. Diversi esempi di DSS sono già stati sperimentati in materia di pianificazione energetico-territoriale, in particolare: Noon e Daly (1996) hanno costruito il “Biomasses Resources Assessment Version One (Bravo)” per supportare la scelta del tipo di combustibile legnoso da impiegare, in funzione del costo di approvvigionamento; Voivontas *et al.* (2001) hanno sviluppato un DSS che permette di stimare il potenziale di produzione di energia elettrica da residui agricoli e di scegliere il tipo e la posizione ottimale degli impianti dal punto di vista economico; la Regione Toscana con il progetto BIOSIT ha costruito algoritmi di ottimizzazione delle soluzioni logistiche per valutare le potenzialità di produzione di biomassa e i costi di approvvigionamento (Martinelli *et al.*, 2002); il Centro di Ricerca sulle Biomasse dell'Università di Perugia ha costruito un registro utile all'individuazione di un bacino territoriale potenzialmente vocato alla produzione di biomasse da sfruttare a fini energetici, accessibile tramite internet attraverso un sistema GIS “web based” (progetto Ben – Intelligent Energy).

Nell'approccio tecnico – ingegneristico, invece, sono valutate essenzialmente le prestazioni delle macchine agricole per la trinciatura della biomassa (Abdallah *et al.* 2011; Porceddu, 2007; Zaghi, 2010; Mescalchin *et al.*, 2009; Mazzei, 2009), le caratteristiche tecniche dell'impianto di conversione energetica, (Drescher *et al.*, 2007; Jurado *et al.*, 2003) come anche le proprietà fisico-chimiche delle biomasse (Pellerano *et al.*, 2007; Zheng *et al.*, 2005).

Gli studi sulla convenienza economica delle filiere agro-energetiche sono stati condotti a diversi livelli. In alcuni casi gli autori hanno stimato la redditività e la sostenibilità dell'impianto utilizzando l'analisi degli investimenti e l'analisi costi-benefici (Wiskerke *et al.*, 2010; Manzone *et al.*, 2009; Camanzi *et al.*, 2009; Cotana *et al.* 2008, 2009); in contesti geografici diversi sono state analizzate tecniche alternative di raccolta meccanizzata dei residui di potatura dell'olivo a fini energetici (Boggia *et al.* 2006; Spinelli *et al.* 2011); in altre situazioni sono stati valutati i costi del trasporto di biomasse dal campo di produzione all'impianto di conversione energetica (Rogers e Brammer, 2009); studi particolari hanno riguardato l'individuazione di una struttura finanziaria ottimale in funzione dei flussi di cassa prodotti da impianti di cogenerazione a biomassa (Versigliani *et al.*, 2010). Studi più complessi hanno sviluppato, invece, modelli di calcolo o per la valutazione del costo dell'energia fornita dalla biomassa raccolta attraverso l'identificazione dei terreni, la creazione di una mappa digitale dei percorsi stradali e il calcolo delle distanze tra i nodi principali di raccolta (Graham *et al.* 2000), oppure per localizzare la posizione “più economica” di un impianto per la produzione di energia rinnovabile, costruendo una banca dati georeferenziata in grado di valutare la distribuzione spaziale della biomassa, il suo prezzo “al cancello” e il suo quantitativo consegnato a due impianti di trasformazione diversi (Panichelli e Gnansounou, 2008).

Gli studi condotti sull'impatto ambientale delle filiere agro-energetiche, a loro volta, hanno cercato di quantificare soprattutto l'impatto ambientale dell'energia rinnovabile e di individuare le tecnologie a minor quantitativo di emissioni di gas serra. In particolare: Gasol *et al.* (2011) hanno combinato l'utilizzo del GIS e quello dell'analisi LCA per identificare le aree disponibili per la coltivazione di *Brassica* e *Populus* e successivamente proporre un modello di produzione energetica, quantificando la riduzione di emissioni di gas ad effetto serra ottenibili con tale modello; Valente *et al.* (2011), in uno studio ambientato in Italia, hanno investigato sulla filiera energetica del legno, mettendo a confronto l'impatto ambientale di differenti tecnologie di raccolta; Caserini *et al.* (2010) hanno preso in esame le emissioni derivanti dalla combustione della biomassa confrontandone l'utilizzo per uso domestico o centralizzato.

Questo lavoro si inserisce nel contesto di ricerca riguardante l'approccio integrato alla filiera agro-energetica e, rispetto alla letteratura indagata, si caratterizza per lo sviluppo dell'analisi economica e di quella ambientale basate sui risultati ottenuti dall'analisi spaziale. Lo studio è finalizzato a verificare la possibilità di sfruttare a scopi energetici i residui colturali di vite ed olivo presenti in un'area della regione Umbria di estensione pari a circa 291 km², individuando un modello di filiera agro-energetica la cui materia prima proviene perlopiù da impianti arborei di piccole dimensioni e da una proprietà fondiaria estremamente frammentata. Per questi fini è stata utilizzata una banca dati territoriale georeferenziata e sono stati impiegati dei dati tecnici – economici provenienti in parte dagli studi empirici rilevati in letteratura e in parte dalle sperimentazioni effettuate presso il Centro di Ricerca delle Biomasse dell'Università di Perugia.

L'area oggetto di studio comprende 4 comuni della Regione Umbria: Assisi, Bastia Umbra, Bettona e Cannara, caratterizzati da una omogeneità socio-economica e un'alternanza geofisica di colline e pianure dove sono presenti estensioni consistenti rispettivamente di oliveti e vigneti. I residui delle potature di queste piantagioni, attualmente, rappresentano un costo di smaltimento per le imprese agricole ed il loro utilizzo a fini energetici potrebbe rappresentare una valida alternativa alla bruciatura in campo fino ad oggi attuata (anche se non consentita¹) e all'interramento a seguito di trinciatura, pratica in parte sconsigliata poiché potenzialmente veicolo di patologie come il mal dell'esca (Spinelli e Magagnotti, 2009). L'obiettivo del lavoro è quello di valutare se lo sfruttamento dei residui può rappresentare un'opportunità economica per le aziende agricole, traendo benefici dalle politiche d'incentivazione previste dal decreto legislativo 28/2011 che recepisce la Direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia rinnovabile, e se l'energia elettrica prodotta dai residui arborei e utilizzata per soddisfare il fabbisogno energetico di edifici pubblici o privati contribuisce alla riduzione dell'emissione di CO₂.

Il lavoro è organizzato nel modo seguente: nel paragrafo 2 è descritta l'area di studio e presentata la banca dati utilizzata per l'analisi spaziale; nel paragrafo 3 è illustrata la metodologia utilizzata per effettuare l'analisi spaziale e sono discussi i risultati ottenuti relativamente alla biomassa disponibile, alla rete stradale utilizzata e alla localizzazione dei centri di raccolta e dell'impianto di combustione; nel paragrafo 4 viene valutata la sostenibilità economica della filiera agro-energetica e stimato il bilancio energetico; nel successivo paragrafo 5 viene effettuata l'analisi ambientale tramite la quantificazione delle emissioni di gas CO₂ in atmosfera prodotte dalla filiera agro-energetica, a partire dalla raccolta delle potature fino alla combustione della biomassa; il sesto e ultimo paragrafo è dedicato ad alcune considerazioni conclusive.

2. Scelta dell'area di studio e banca dati utilizzata

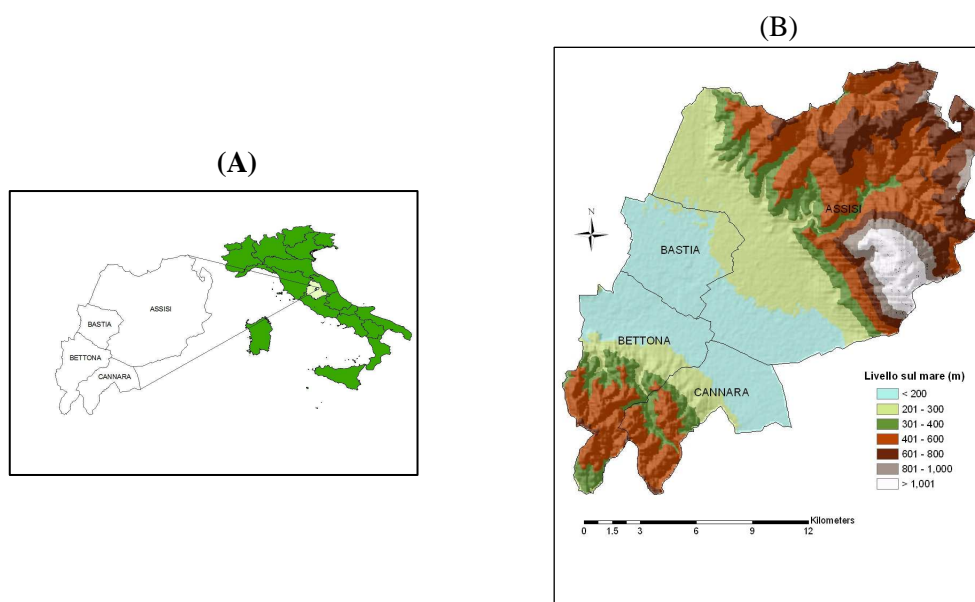
L'area di studio è rappresentata dal sistema locale del lavoro di Assisi, costituito da quattro comuni della provincia di Perugia (Assisi, Bastia Umbra, Bettona e Cannara), ed è stata scelta in quanto rappresenta una aggregazione di comuni contigui fra loro, geograficamente e statisticamente comparabili, caratterizzata dal maggior addensamento dei movimenti effettuati per motivi di lavoro dalla popolazione residente (Istat, Irpet, 1989). La sua omogeneità socio-economica è sottolineata dal fatto che rappresenta anche un comprensorio scolastico (dal 1973), un comprensorio turistico (dal 1974), un comprensorio economico urbanistico (dal 1975 al

¹ L'articolo 13 del Decreto legislativo n. 205 del 3 dicembre 2010, che ha recepito la direttiva n. 2008/98/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 novembre 2008, relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive, modificando l'art. 185 del Decreto legislativo 152/2006, stabilisce che *"paglia, sfalci e potature, nonché altro materiale agricolo o forestale naturale non pericolosi..., se non utilizzati in agricoltura, nella selvicoltura o per la produzione di energia mediante processi o metodi che non danneggiano l'ambiente o mettono in pericolo la salute umana devono essere considerati rifiuti e come tali devono essere trattati"*.

1995) e un distretto sanitario (dal 1979). La scelta dei quattro comuni, ricadendo dentro un sistema locale del lavoro con attività comprensoriali collaudate da lungo tempo, si colloca pienamente in una matrice di sviluppo locale, riferendosi ad un ambiente urbano di dimensioni e densità non grandi e caratterizzato da un peculiare mix di attività manifatturiere di tipo distrettuale e di attività terziarie legate ad un suggestivo richiamo religioso ed artistico.

La morfologia è contraddistinta centralmente da una porzione della pianura della valle Umbra in cui si collocano la maggior parte delle aree agricole intensive e degli insediamenti urbani e produttivi. Ai margini NE e SO della pianura si sviluppano due fasce basso-collinari in corrispondenza delle quali si identificano le aree olivicole più importanti dell'area. Le porzioni alto-collinari più interne sono occupate prevalentemente da aree agro-forestali, boschi e praterie di varia estensione. In posizione centro-orientale spicca il Monte Subasio (fig.1).

Figura 1 - L'area di studio. (A) Posizione geografica. (B) Inquadramento fisico e amministrativo



Secondo i dati Corine Land Cover 2000, la superficie dell'area di studio è occupata per il 54% da aree agricole, il 34% da boschi e aree semi-naturali, il 9% da superfici edificate e il 3% da aree umide e corpi idrici (tab. 1).

Tabella 1 - Uso del suolo, dati in ettari

Comune	Superficie totale	Territori boscati e ambienti seminaturali	Zone umide e corpi idrici	Superfici agricole utilizzate	Superfici artificiali (edificate)
Assisi	18.680	7.094	692	9.491	1.385
Bastia Umbra	2.759	69	25	1.937	726
Bettona	4.514	1.801	27	2.367	317
Cannara	3.264	895	144	1.977	246
Totale comprensorio	29.217	9.859	888	15.772	2.674

Fonte: Nostre elaborazioni su dati Corine Land Cover, 2000.

L'analisi spaziale, propedeutica alle successive analisi di tipo economico ed ambientale, è stata realizzata utilizzando una banca dati² costruita partendo dalle informazioni contenute nei fascicoli aziendali delle imprese agricole operanti sul territorio che, negli anni 2005 e 2006, hanno fatto le domande PAC. Queste informazioni costituiscono una dettagliata fonte informativa sull'uso agricolo del suolo e sono collegabili, attraverso opportune elaborazioni, con l'archivio cartografico georeferenziato dei centroidi delle particelle catastali. Nei fascicoli aziendali, infatti, sono presenti i dati relativi al comune, al foglio e alla particella catastale delle superfici dichiarate ai fini dei premi PAC. Tali informazioni hanno permesso di georeferenziare, con un livello di copertura pari all'85%, le differenti utilizzazioni colturali indicate nelle domande.

La copertura parziale è legata principalmente al fatto che nell'archivio non sono contenute le aziende esclusivamente oleicole, viticole o ortofrutticole, quelle che producono solo erba medica o quelle unicamente ad indirizzo vivaistico, nonché quelle di ridotte dimensioni che non fanno domanda per ottenere le compensazioni sui seminativi. Fra queste ultime, nell'area di studio, le aziende esclusivamente olivicole sono quelle di gran lunga prevalenti.

Le unità aziendali presenti nell'area di studio sono risultate complessivamente pari a 2.559 unità e occupano una superficie agricola totale (SAT) di 14.876 ha, di cui l'80% (11.916 ha) utilizzata per la coltivazione (SAU). Le aziende sono prevalentemente a conduzione familiare e di ridotte dimensioni tanto che ben il 92% impiega meno di una unità lavorativa, il 4% tra una e due unità e un altro 4% più di due unità lavorative. Il 70% delle aziende (pari a 1.759 aziende per un totale di 6.320 ha) coltiva terreni interamente di proprietà del conduttore.

I seminativi sono coltivati prevalentemente a cereali e foraggiere mentre, per quanto riguarda le colture arboree, l'olivo (1.461 ha) è prevalente rispetto alla vite (338 ha). Da sottolineare la forte frammentazione delle due colture arboree caratterizzate per la maggior parte da particelle catastali di dimensioni inferiori ad un ettaro (tab.2).

Tabella 2 - Struttura produttiva delle coltivazioni di olivo e vite

Dimensione particella catastale	Olivo		Vite	
	Numero particelle catastali	Ettari	Numero particelle catastali	Ettari
Minore di 1 ettaro	5.097	973	897	183
Da 1,1 a 2 ettari	204	280	59	84
Da 2,1 a 3 ha	42	101	11	25
Da 3,1 a 5 ha	25	90	7	2
Maggiore di 5,1 ha	3	17	3	20
Totale	5.371	1.461	977	338

3. L'analisi spaziale

L'analisi spaziale è stata utilizzata, in primo luogo, per ottenere la distribuzione geografica dei dati aziendali dopo che questi sono stati opportunamente importati in ambiente GIS³, unificati e localizzati su mappe. Successivamente si è provveduto a: 1) identificare le pendenze; 2) formulare i criteri di esclusione dei terreni inadatti alla raccolta dei residui di potatura; 3)

² Banca dati realizzata nell'ambito del progetto "Le dinamiche delle aree rurali in rapporto alle esigenze espresse dai poli urbani. Studio pilota nel sistema locale del lavoro di Assisi", finanziato dalla Camera di Commercio di Perugia nel 2008 (Torquati *et al.*, 2009).

³ Tutti i risultati sono stati ottenuti avvalendosi degli strumenti di analisi forniti dal software ArcGIS 9.3.

individuare le aree a maggior densità di produzione; 4) determinare la tipologia e la quantità di biomassa disponibile; 5) localizzare per ogni comune i centri di stoccaggio della biomassa in base alla rete stradale; 6) localizzare il centro di raccolta “unico” della biomassa secca e di lavorazione per la produzione di energia.

3.1 Individuazione delle aree di produzione e stima della biomassa disponibile

Il criterio di eleggibilità delle superfici a vigneto ed oliveto per l'utilizzo dei residui della potatura è stato stabilito in base alla pendenza dei terreni. In particolare, per escludere i terreni non percorribili dai trattori deputati alla raccolta della biomassa, sono stati considerati utilizzabili quelli con una pendenza inferiore al 30%.

L'utilizzo del Digital Elevation Model (DEM), un tipo speciale di dati “raster” a cui ad ogni pixel è stato attribuito un valore di pendenza del terreno alla risoluzione di 90 m (Consultative Group on International Agriculture Research, 2008), ha permesso di assegnare un valore di pendenza a ciascun terreno e di effettuare un'analisi dell'acclività del territorio estraendo i terreni con pendenza inferiore o uguale al 30%. Questa procedura ha comportato l'esclusione del 30% circa della superficie ad oliveto e l'inclusione di tutta la superficie a vigneto.

Come si desume dalla figura 2A, le particelle catastali dedicate all'olivo sono localizzate prevalentemente su due fasce territoriali e l'area di maggior produzione risulta essere quella di Assisi. Per quanto riguarda i vigneti, le particelle catastali ad essi dedicate sono maggiormente disperse nell'area di studio, con una concentrazione nel comune di Assisi, seguita da quelle nei comuni di Bettona e Cannara. Il comune di Bastia Umbra presenta una ridotta presenza sia di vigneti che di oliveti.

La stima della biomassa potenziale disponibile è stata calcolata per ogni particella catastale utilizzando i risultati a cui sono pervenuti Spinelli e Picchi (2010) con le loro sperimentazioni condotte in Italia centrale: 2,8 t/ha di sostanza fresca (sf) corrispondente a 1,9 t di sostanza secca (ss) dalle potature degli oliveti e 2,2 t/ha di sarmenti (sf) corrispondente a 1,2 di sostanza secca (ss) dalle potature dei vigneti. Per quanto riguarda gli oliveti, la biomassa disponibile è stata considerata su base annuale ottenuta dividendo per due le rese della potatura biennale effettuata tradizionalmente nell'area di studio. La quantificazione è stata ottenuta aggiungendo una categoria al database e moltiplicando le aree eleggibili per la raccolta della biomassa, da parte dei macchinari agricoli, per i quantitativi di biomassa ottenibili. I risultati sono illustrati nella tabella 3.

Tabella 3 - Stima della biomassa potenzialmente disponibile per comune

	Oliveti e vigneti in terreni con pendenza \leq 30%		Produzione annua di biomassa fresca (SF)		Produzione annua di biomassa	
	Oliveti (Ha)	Vigneti (Ha)	da Oliveti (t)	da Vigneti (t)	Totale SF (t)	Totale SS (t)
Assisi	984	191	1.378	420	1.798	1.164
Bastia Umbra	5	20	7	44	51	29
Bettona	236	64	330	141	471	301
Cannara	153	62	214	136	351	220
Totale	1378	337	1.929	741	2.671	1.714

3.2 Identificazione dei centri di stoccaggio e di produzione dell'energia

Al fine di identificare le aree a maggiore densità produttiva è stato calcolato, tramite mappatura GIS, l'indicatore "Kernel density" utilizzando un raggio di 680 m e quantificando la biomassa disponibile per chilometro quadrato. In particolare, attraverso l'utilizzo del modulo Spatial Statistics, è stato possibile assegnare un "peso" maggiore alle particelle catastali di dimensioni maggiori (fig. 2B). Successivamente per ogni comune sono stati identificati i centri di stoccaggio della biomassa fresca tenendo conto anche delle distanze tra il centro di ogni particella catastale e la strada più vicina, calcolate trasformando i confini delle particelle catastali in "punti", grazie al modulo Hawth Tools che ha permesso, così, di stimare la lunghezza di un ipotetico tracciato stradale agricolo privato. I calcoli sono stati ripetuti considerando l'area di studio nel suo complesso in modo da identificare anche un unico centro di raccolta delle biomasse fresche, che è stato localizzato nell'area sud-ovest di Assisi (fig. 3).

Successivamente si è fatto ricorso alla Network Analysis per calcolare sia la distanza media tra le particelle catastali adibite alla produzione della biomassa e i punti di raccolta comunali, sia il percorso stradale più breve tra i singoli centri comunali di prima raccolta della biomassa e il centro unico dell'intera area territoriale di riferimento.

La prima analisi è risultata alquanto complessa a causa della mancanza di informazioni dettagliate sui percorsi stradali secondari. Per ovviare a tale carenza si è proceduto per successive approssimazioni selezionando le particelle catastali il più possibile vicine le une alle altre che potessero soddisfare la capacità massima di un mezzo di trasporto con carico di 1,6 t, e suddividendo le aree di produzione in due categorie di pendenza (terreni con una pendenza inferiore o uguale al 10% e terreni con una pendenza tra il 10% e il 30%), al fine di tenere conto del fattore di tortuosità delle strade.

Si è proceduto, quindi, a calcolare la distanza minima e massima tra le particelle catastali adibite alla produzione della biomassa e i punti di raccolta comunali per arrivare a stabilire la distanza media sulla base dei risultati ottenuti con l'analisi dei carichi e delle pendenze (tab. 4).

Tabella 4 - Distanza media tra le particelle catastali e i punti di raccolta comunali

Comuni	Distanza media (km)	Deviazione standard 95% dei campi	Distanza Minima (km)	Distanza massima (km)	Numero particelle catastali
Assisi	8,15	3,94	0,035	25,93	4.250
Bastia Umbra	11,48	1,62	7,844	15,24	121
Bettona	4,87	3,27	0,002	13,42	1.058
Cannara	2,79	3,33	0,002	15,59	687

La determinazione dei percorsi stradali più brevi tra i singoli centri comunali di prima raccolta della biomassa e il centro unico dell'intera area territoriale di riferimento è stata realizzata prendendo in considerazione le caratteristiche principali della rete stradale, quali: il passaggio presso alcuni punti nello spazio o la loro esclusione, l'indice della tortuosità del percorso, le condizioni del traffico, i punti di stop e i rallentamenti obbligatori. I risultati della Network Analysis hanno determinato il posizionamento del centro di raccolta unico nel comune di Assisi a 3,2 km di distanza da quello individuato come centro di raccolta comunale, a 5,24 km da quello di Bastia Umbra, a 10,51 km da quello di Bettona e a 13,99 km da quello di Cannara.

Il centro di raccolta unico, situato nel comune di Assisi, risulta trovarsi nell'adiacenza di una strada statale a scorrimento veloce, in un'area lontana da edifici urbani. Tale area, quindi, potrebbe utilmente essere destinata anche al posizionamento dell'impianto di generazione elettrica, così da legare il sito di stoccaggio a quello di utilizzo della biomassa.

La vicinanza del centro comunale di raccolta di Assisi con il centro di raccolta unico, potrebbe in seguito far propendere per l'eliminazione di uno a favore dell'altro, con lo scopo di limitare i costi sostenuti per lo stoccaggio e la movimentazione della biomassa.

Figura 2 - (A) Rappresentazione spaziale delle particelle catastali destinate ad olivo e vite con pendenza inferiore o uguale al 30%. (B) Aree a maggiore concentrazione di biomassa disponibile identificate con la Kernel Density

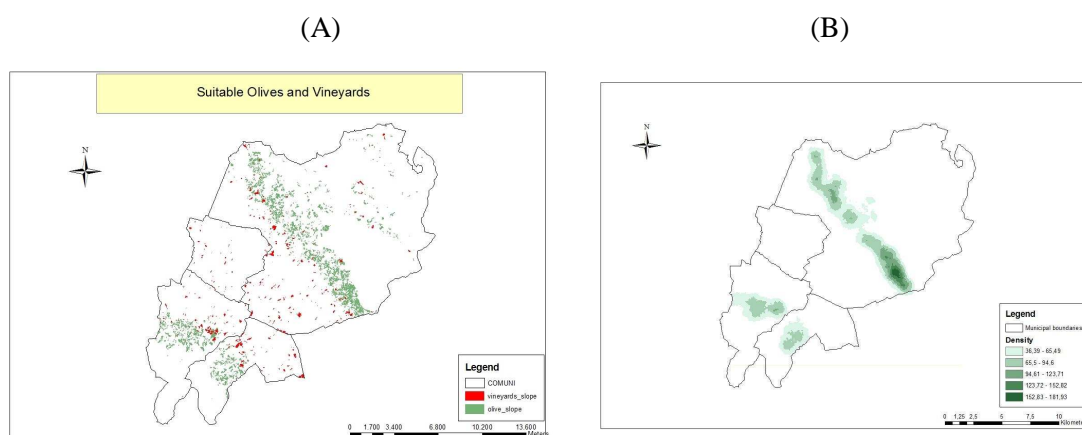
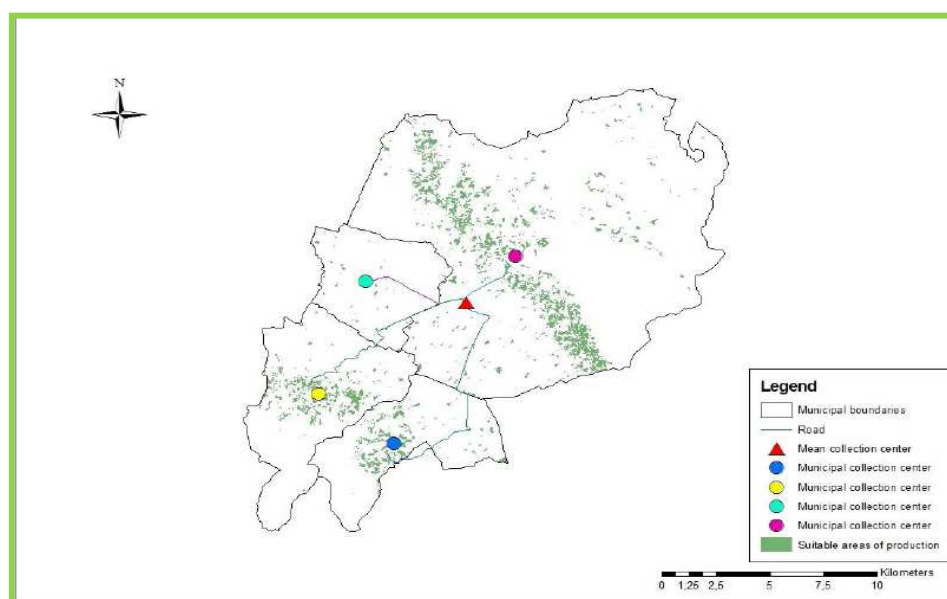


Figura 3 - Individuazione dei centri di raccolta e dei percorsi tra i centri di raccolta comunali e quello unico



4. L'analisi economica

Per quanto riguarda la tipologia di filiera agro-energetica la scelta è ricaduta sulla filiera media⁴ gestita da un consorzio di produttori di biomassa che si occupa anche della raccolta e cippatura in campo della materia prima, attraverso cantieri di lavoro organizzati con manodopera del consorzio o con il ricorso a conto terzi. Il trasporto viene effettuato in due tappe: la prima riguarda il trasferimento delle biomasse dai campi di raccolta fino ai centri di raccolta/stoccaggio comunali (per una distanza massima di 11,5 km); la seconda riguarda il trasferimento della biomassa dai centri di raccolta comunali al centro di utilizzo in cui è posizionato l'impianto per la produzione di energia (per una distanza massima di 14 km). L'utilizzo energetico è costituito dalla produzione centralizzata di elettricità da utilizzare in impianti "distribuiti" per elettricità a famiglie residenti nei Comuni di indagine. L'impianto ipotizzato è di piccola taglia e risulta composto da un sistema ORC 125 kW ed una caldaia in grado di produrre giornalmente, a pieno regime, all'incirca 2.640 kW per 11 mesi l'anno, e di garantire la copertura del fabbisogno energetico medio annuo a circa 300 famiglie.

4.1 Approvvigionamento e condizionamento delle biomasse

L'analisi tecnico-economica delle fasi di approvvigionamento e condizionamento della biomassa è stata effettuata utilizzando i risultati ottenuti in due lavori sperimentali realizzati in ambienti alquanto simili a quelli oggetto di questo lavoro. Il primo è il lavoro di Porceddu, realizzato nel 2007, che ha eseguito delle prove di raccolta nel Centro Italia in oliveti di varietà Frantoio e Leccino, allevati in vaso con sesti d'impianto 5x5, e in vigneti allevati a contropalliera con una densità di investimento di circa 3.500 piante. In entrambi i casi i sarmenti sono sistemati in andane. I dati utilizzati si riferiscono al cantiere di lavoro organizzato in modo da realizzare la raccolta del prodotto e la cippatura tramite trincia-sarmenti-caricatrice in grado di posizionare il carico su un rimorchio utilizzato per il successivo trasporto. Tale modalità di condizionamento è risultata la più congruente rispetto agli spazi di movimento disponibili per la raccolta e carico, nonché alle modalità di utilizzo della biomassa nel centro di produzione dell'energia.

Il secondo lavoro a cui si è fatto riferimento è quello di Mescalchin *et al.* che, nel 2009, hanno effettuato una accurata valutazione dell'utilizzo dei residui di potatura della vite a fini energetici individuando la cantieristica più idonea nelle specifiche condizioni della Vallagarina in provincia di Trento, dove gli appezzamenti sono numerosi e di piccole dimensioni. In questo lavoro le operazioni di trinciatura e carico sono condotte in modo analogo a quello di Porceddu pervenendo a stime dei costi molto simili per quanto riguarda le operazioni citate. Mescalchin e i suoi colleghi approfondiscono anche la tecnica di trasporto della biomassa dai campi al centro di stoccaggio, individuando i tempi e i costi sia per il carico che per il trasferimento, quest'ultimi condizionati dalla presenza di appezzamenti frammentati e dispersi sul territorio.

Nella tabella 5 sono stati riportati i costi unitari riferiti alla trinciatura, carico, trasporto e

⁴ In base alle modalità di approvvigionamento si distinguono tre tipi di filiera: corta, media e lunga. La filiera corta coincide con quella dell'agricoltore-trasformatore in cui la biomassa è movimentata e trasportata entro una distanza massima di 5-10 km. La filiera lunga, invece, coinvolge una serie di intermediari e un utilizzatore finale che impiega impianti di grossa taglia. I trasporti della biomassa, generalmente, comprendono un primo trasporto ad un centro di condizionamento-stoccaggio, entro una distanza di 5-10 km, e da un secondo trasporto all'utilizzatore finale, con distanze che possono superare i 100 km (Pellerano *et al.*, 2007)

trasferimento della biomassa allo stato fresco (45-48% di umidità) stimati nei due lavori citati e opportunamente selezionati per effettuare l'analisi economica del caso studio.

Tabella 5 - Costo della trinciatura, carico, trasporto e trasferimento delle biomasse allo stato fresco

	Trinciatura/carico (*)	Trasporto (**)	Trasferimento (***)	Totale
Vite, euro/t di sostanza fresca (sf)	46,0	21,0	8,0	75,0
Olivo, euro/t di sostanza fresca (sf)	30,4	21,0	8,0	59,4

Note: (*) Cantiere di lavoro composto da 2 trattrici, 1 trinciatrice Berti, 1 rimorchio e 2 operatori. Fonte Porceddu (2007); (**) Cantiere di lavoro composto da 1 trattore, 1 rimorchio con portata di 1,6 t (8 mc) e 1 operatore. Fonte Mescalchin et al. (2009); (***) Trasferimento da un appezzamento ad un altro con cantiere di lavoro identico a quello di trasporto. Fonte Mescalchin et al. (2009).

I costi così selezionati, da cui si desume che l'approvvigionamento delle biomasse assume un costo di 75 euro alla tonnellata per i sarmenti della vite e di 59,4 euro alla tonnellata per i residui di potatura degli olivi, sono stati utilizzati per stimare i costi dell'approvvigionamento delle biomasse per singolo comune sulla base delle considerazioni e dei risultati emersi dall'analisi spaziale. I risultati ottenuti evidenziano che, dai 1.715 ettari disponibili per la realizzazione del distretto agro-energetico, si potrebbero ricavare 2.671 tonnellate di biomassa fresca corrispondenti a circa 1.714 tonnellate di biomassa secca. I costi di approvvigionamento ammonterebbero a oltre 170.000 euro di cui il 55% per la trinciatura e il carico e il 45% per il trasporto e il trasferimento. Ovviamente la ripartizione dei costi per i singoli comuni rispecchia la densità produttiva degli stessi: ad Assisi si concentrano il 67% dei costi, a Bettona il 18%, a Cannara il 13% e a Bastia il 2%.

Tabella 6 - Stima del costo della trinciatura, carico, trasporto e trasferimento delle biomasse allo stato fresco (sf) per comune

Comuni	Oliveti e vigneti in terreni con pendenza \leq 30%		Produzione annua di biomassa fresca (sf)		Stima costo trinciatura e carico (sf)		Stima costo trasporto e trasferimento (sf)	
	Oliveti (Ha)	Vigneti (Ha)	Oliveti (t)	Vigneti (t)	Oliveti (euro)	Vigneti (euro)	Oliveti (euro)	Vigneti (euro)
Assisi	984	191	1.378	420	41.879	19.329	39.950	12.186
Bastia Umbra	5	20	7	44	213	2.024	203	1.276
Bettona	236	64	330	141	10.044	6.477	9.582	4.083
Cannara	153	62	214	136	6.512	6.274	6.212	3.956
Totale	1378	337	1.929	741	58.648	34.104	55.947	21.501

Si è reso necessario eseguire una analisi dettagliata dei consumi di gasolio agricolo per due motivi: 1) confrontare il contenuto energetico del gasolio consumato con il contenuto energetico del cippato prodotto (argomento che verrà ripreso e approfondito nell'analisi ambientale); 2) stimare il peso del costo dei carburanti sui costi di approvvigionamento delle biomasse. A tal fine, nella tabella 7, sono stati riportati i dati tecnici relativi alle stime dei consumi di gasolio da parte dei mezzi agricoli impegnati nelle singole operazioni per l'approvvigionamento delle biomasse, con l'indicazione delle diverse fonti utilizzate. Il consumo complessivo di gasolio per tonnellata di biomassa con trasporto per una lunghezza di 16 km (andata e ritorno), ipotizzando una distanza di 8 km dal luogo di raccolta, risulta essere pari a 30,84 litri che, moltiplicato per il

contenuto energetico di un litro di gasolio, determina un consumo di energia pari a 339 kWh. Questo valore è di molto inferiore al contenuto energetico di 1 tonnellata di cippato proveniente dai residui di potatura di olivo e vite stimato di circa 2.810 kWh. Sebbene il confronto del contenuto energetico tra gasolio agricolo consumato e cippato prodotto è a favore della biomassa, occorre tenere in debito conto dei danni sociali (come ad esempio rumore, traffico, incidenti stradali) e strutturali (manutenzione delle strade) derivabili dai numerosi chilometri percorsi complessivamente dalla biomassa per raggiungere i quattro centri di raccolta comunali. Infatti nell'ipotesi che i trasporti vengano compiuti con carichi di 1,6 t, che corrispondono a 8 m³, sono necessari circa 3.338 viaggi (andata e ritorno) con percorrenza media di 8,1 km nel comune di Assisi, 11,5 km nel comune di Bastia, 4,9 km nel comune di Bettona e 2,8 km nel comune di Cannara, secondo quanto emerso dall'analisi spaziale. Ciò sta a significare che complessivamente sarebbe necessario coprire ben 23.132 km (tab. 8), il cui impatto in termini di CO₂ prodotta verrà valutato nel prossimo capitolo.

Per quanto riguarda il peso del costo dei carburanti agricoli sul costo di approvvigionamento si è stimato che questi sommano a circa 61.000 andando ad incidere complessivamente per il 36%.

Tabella 7 - Consumi di gasolio agricolo e confronto tra il contenuto energetico del gasolio e del cippato

Consumo gasolio trattore per operazione di cippatura		
Cippatura legna, l gasolio /m ³ (*)	l/ m ³	0,7 2
Numero metri cubi per t di cippato	m ³ /t	5
Cippatura legna, l gasolio/t	l/t	3,6
Consumo gasolio trattore per carico cippato		
Carico cippato, l gasolio / m ³ (**)	l/ m ³	0,3 6
Numero metri cubi per t di cippato	m ³ /t	5
Carico cippato, l gasolio/t	l/t	1,8
Consumo gasolio trattore per trasporto		
Trasporto con carro di portata pari a 1,6 t (***)	l/k m	1,5 9
Costo medio gasolio agricolo		
Costo medio 28 ottobre 2011 in Italia centrale (****)	eur o/l	0,7 46
Confronto tra il contenuto energetico del gasolio e del cippato		
Contenuto energetico di 1 t di cippato al 40% di tenore idrico	kW h	281 0
Contenuto energetico di 1 litro di gasolio	kW h	11
Consumo di gasolio per l'approvvigionamento di 1 t di biomassa alla distanza di 8+8 km	l kW	30,84
Contenuto energetico di 30,84 litri di gasolio	h	339

Note: (*) Fonte Enama; (**) Stimato pari alla metà dei consumi per la cippatura; (***) Nostra stima su dati Mescalchin et al. (2009); (****) Fonte, Associazione provinciale imprese di meccanizzazione agricola, Apima; (*****) Fonte, Mescalchin et al. (2009).

Tabella 8 - Stima dei km percorsi per trasferire la biomassa fresca dalle piantagioni di oliveti e vigneti fino ai centri di raccolta comunali e stima del costo del carburante

Comuni	Distanza media (km)	Produzione biomassa fresca t/anno	Numero viaggi a/r con carichi di 1,6 t	Km totali percorsi	Costo totale carburante (*)
Assisi	8,147	1.798	2.247	18.308	21.714
Bastia Umbra	11,479	51	64	732	868
Bettona	4,869	471	589	2.868	3.401
Cannara	2,794	351	438	1.224	1.452
Totale		2.671	3.338	23.132	27.435

Nota (*): Con un consumo pari a 1,59 l/km e un costo medio del gasolio agricolo di 0,746 euro/litro (1,186 euro/km)

In base alla struttura della filiera agro-energetica ipotizzata nel centro di stoccaggio unico, previsto nel comune di Assisi, sarà collocato anche l'impianto di lavorazione delle biomasse. Dai singoli centri di raccolta comunali la biomassa secca dovrà, quindi, essere spostata nel centro di lavorazione. Per questi trasporti è stato ipotizzato il noleggio di un camion con capacità di carico di 32 t. I tempi e i costi di trasporto stimati sono riportati nelle tabelle 9 e 10 e sono stati calcolati anche in riferimento al comune di Assisi solo per rispettare le distanze scaturite dall'analisi spaziale e nella consapevolezza che ciò non comporta variazioni sensibili nel calcolo dei costi complessivi.

Tabella 9 - Stima dei km percorsi dai punti di raccolta comunali a quello unico e stima del costo del carburante

Comune	Distanza dai punti di raccolta comunali a quello unico (Km)	Produzione annuale di biomassa secca (t)	Numero viaggi a/r con capacità di carico di 32 t	Km totali percorsi	Costo totale carburante (*)
Assisi	3,2	1.164	73	232,80	97,78
Bastia Umbra	5,24	29	2	9,42	3,95
Bettona	10,51	301	19	197,72	83,04
Cannara	13,99	220	14	192,14	80,70
Totale		1.714	107	632,08	265,47

Nota (*): con un consumo pari a 0,3 l/km e un costo medio del Diesel di 1,4 euro/litro (0,42 euro/km).

Tabella 10 - Costo del noleggio dell'automezzo per il carico, scarico e trasporto della biomassa tra i centri comunali e il centro di raccolta unico per la lavorazione delle biomasse

Comune	Km percorsi	Tempo necessario unitario (minuti) *	Tempo necessario totale (ore)	Stima giornate di noleggio automezzo** (giorni)	Costo noleggio automezzo*** (euro)
Assisi	233	68	82	12	1.524
Bastia Umbra	9	73	2	0,3	40
Bettona	198	85	27	4	496

Cannara	192	94	21	3	398
Totale	632		132	19	2.458

Note: (*) Sono stati stimati 45 minuti per il carico e 15 minuti per lo scarico e una velocità di percorrenza di 50 km/h; (**) Sono state stimate 7 ore di noleggio/giorno; (***) Il costo del noleggio dell'automezzo è di 130 euro/giorno.

4.2 Produzione di energia

La scelta dell'impianto energetico, effettuata con l'aiuto dei ricercatori del Centro di Ricerca sulle Biomasse (CRB) dell'Università di Perugia, è ricaduta su un turbogeneratore della INGECO, Ciclo di Rankine Organico (ORC) 125kW, con una efficienza di 110 kW, munito di caldaia Uniconfort Global 90. Tale impianto riesce ad effettuare la combustione di 9 t al giorno di sostanza secca di biomassa trinciata utilizzando 3 ore al giorno di manodopera per la movimentazione delle ceneri e della biomassa. L'impianto ha una capacità operativa annuale di 7.900 ore (circa 11 mesi) e la necessità di un fermo impianto di 860 ore (circa 1 mese) per la manutenzione annuale (tab. 11).

La produzione di energia elettrica a pieno regime (329 giornate lavorative all'anno) corrisponde a 785.400 kWh/anno e richiede l'impiego di 2.682 t di biomassa. In base alla disponibilità di biomassa secca proveniente dalle potature di olivo e vite nell'area di studio, stimata pari a 1.713 t, l'impianto verrebbe utilizzato per 190 giornate l'anno garantendo una produzione di energia elettrica pari a 501.600 kWh/anno (produzione di energia al lordo di quella richiesta per il funzionamento dell'impianto) e rendendo disponibile per il mercato energetico 491.568 kWh/anno (produzione di energia al netto di quella richiesta per il funzionamento dell'impianto pari al 2% di quella prodotta). La produzione di energia elettrica potrà essere immessa nella rete a tariffa incentivata (0,28 € /kWh) garantendo la copertura dei fabbisogni medi annui (2.640 kW/h) di circa 186 famiglie.

Tabella 11 - Caratteristiche di funzionamento dell'impianto energetico

Descrizione	Unità	Valore	Valore a pieno regime
Ore di funzionamento al giorno	n	24	24
Input biomasse al giorno	t/giorno	9	9
Biomassa annuale (ss)	ton/anno	1.713	2.682
Giorni annui di funzionamento	n	190	329
Ore annue di funzionamento*	n	4.560	7.900
Addetti part time	n	1	2
Potenza elettrica teorica	kW/h	125	125
Potenza elettrica effettiva	kW/h	110	110
Produzione energia elettrica	kW/h/anno	501.600	785.400
Autoconsumo di energia elettrica	kW/h/anno	10.032	15.708
Produzione energia elettrica al netto dei consumi dell'impianto	kW/h/anno	491.568	769.692
Prezzo di vendita energia elettrica	euro/kwh	0,28	0,28

Nota (*) Sono necessarie 860 ore di fermo macchina all'anno.

Per la realizzazione dell'impianto e delle piattaforme di stoccaggio è necessario far fronte ad un investimento di 923.000 euro, così ripartito: 600.000 euro per il sistema ORC 125 kW; 200.000 euro per la caldaia; 60.000 per la piattaforma di stoccaggio; 80.000 per spese diverse ed imprevisti stimati pari al 10% dell'investimento. Per motivi di cautela nelle voci di costo è stato

inclusa una voce generica “varie ed imprevisti”, stimata pari al 10% del costo dei macchinari, in quanto, data la scarsità degli impianti realizzati ad oggi su scala nazionale, diversi sono gli elementi di incertezza legati alla realizzazione di un impianto energetico (superficie utilizzata, allacci alla rete e così via).

4.3 Il valore della biomassa e la convenienza economica dell'impianto

Il valore energetico di una tonnellata di biomassa allo stato secco (30-35% di umidità) è stato calcolato in base alla produzione di energia generata dalla sua combustione e al prezzo riconosciuto all'energia elettrica immessa nella rete a tariffa incentivata (0,28 €/kWh). Questo valore è di 81,99 euro/t al lordo dei consumi energetici dell'impianto, e scende a 80,35 euro/t se lo consideriamo al netto dell'energia utilizzata per il funzionamento dell'impianto (tab. 12).

Tabella 12 - Produzione e valore dell'energia prodotta dall'impianto

	Unità	Valori
Produzione lorda energia per tonnellata di biomassa	kWh	293
Produzione netta energia per tonnellata di sostanza secca	kWh	287
Prezzo vendita energia elettrica	h	euro/kw 0,28
Valore energetico della biomassa al lordo dei consumi dell'impianto	euro/t	81,99
Valore energetico della biomassa al netto dei consumi dell'impianto	euro/t	80,35

Attraverso il calcolo del costo di funzionamento della centrale energetica è stato stimato il costo massimo di approvvigionamento della biomassa in due situazioni: la prima prende in considerazione l'impianto alimentato con le sole biomasse disponibili derivanti dai residui di potatura degli oliveti e vigneti; la seconda il funzionamento dell'impianto a pieno regime (tab. 13).

Le voci di costo di gestione dell'impianto riguardano: le spese di manutenzione stimate pari a 11 euro per tonnellata di sostanza secca utilizzata; le spese per la manodopera e il lavoro amministrativo/direttivo stimate pari a 8 euro per tonnellata di sostanza secca utilizzata di cui la metà per la manodopera (sono necessarie 3 ore al giorno per movimentare 8 t di sostanza secca ad un costo orario di 12,50) e metà per il lavoro amministrativo/direttivo; le spese per lo smaltimento delle ceneri quantificabile nel 3% della biomassa totale introdotta e con un costo di ritiro pari a 4 euro/t (le ceneri costituiscono rifiuto ai sensi del decreto 152/2006 e successive modificazioni, per cui necessitano di essere conferite in discarica); le quote di ammortamento calcolate ipotizzando una durata media dell'impianto di 15 anni; le spese energetiche che non sono state considerate direttamente come voce di costo nel bilancio ma detratte dal valore dell'energia prodotta dall'impianto.

In base alle valutazioni appena esposte i costi di gestione complessivi risultano pari a 94.253 euro l'anno nel caso della prima situazione e di 112.784 nel caso della seconda. Dai costi complessivi dell'impianto scaturisce che trasformare una tonnellata di biomassa in energia (al netto del costo di approvvigionamento della biomassa stessa) costa 55,02 euro, se l'impianto funziona con le sole biomasse disponibili derivanti dai residui di potatura degli oliveti e vigneti, valore che scende a 42,05 euro se l'impianto funziona a pieno regime.

Ora confrontando il valore energetico della biomassa al netto dei consumi dell'impianto (80,35 euro/t) con i costi unitari dell'impianto è possibile stimare il costo massimo sostenibile per l'approvvigionamento della biomassa al quale corrisponde il pareggio di bilancio. Tale costo risulta di 25,33 euro/t nel caso che l'impianto funzioni con le sole biomasse disponibili derivanti dai residui di potatura degli oliveti e vigneti, valore che sale a 38,30 euro nel caso che l'impianto funzioni a pieno regime.

Tabella 13 - Stima del costo massimo di approvvigionamento della biomassa

	Unità	Impianto alimentato con la biomassa disponibile	Impianto funzionante a pieno regime
Sostanza secca disponibile	t	1.713	2.682
Produzione energia lorda	o kW/h/ann	501.600	785.400
Energia consumata per il funzionamento dell'impianto	o kW/h/ann	10.032	15.708
Produzione energia al netto di quella consumata dall'impianto	o kW/h/ann	491.568	769.692
Quota ammortamento con durata economica di 15 anni	euro/anno	61.500	61.500
Spese di manutenzione (*)	euro/anno	18.843	29.504
Personale (**)	euro/anno	13.704	21.458
Smaltimento ceneri (***)	euro/anno	206	322
Totale costi gestione impianto	euro/anno	94.253	112.784
Totale costi gestione impianto unitari	t	55,02	42,05
Costo massimo biomassa al lordo dei consumi dell'impianto	euro/t	26,97	39,94
Costo massimo biomassa al netto dei consumi dell'impianto	euro/t	25,33	38,30

Note (*) Il costo di manutenzione è stimato pari a 11,00 euro per t di sostanza secca utilizzata; (**) Il costo della manodopera è stimato pari a 8,00 euro per t di sostanza secca utilizzata; (***) Le ceneri prodotte corrispondono al 3% del quantitativo di sostanza secca utilizzata mentre il costo di smaltimento è pari a 4 euro al quintale.

Confrontiamo ora la stima del costo massimo di approvvigionamento della biomassa con i costi di approvvigionamento della biomassa stimati nel paragrafo precedente. Questi ultimi, che risultano composti dalle spese per la trinciatura e carico, per il trasporto e il trasferimento dai campi ai centri di raccolta comunali, per il trasporto (noleggio automezzo + consumo di carburante) dai centri di raccolta comunali al centro di produzione dell'energia, ammontano complessivamente a 172.923 euro da cui ne deriva, in rapporto alle tonnellate di sostanza secca resa disponibile, un costo unitario a tonnellata di 100,92 euro. A questo costo va detratto il costo sostenuto per lo smaltimento dei residui di potatura, che è stato stimato considerando le operazioni di trinciatura (40 euro/ha) e di interrimento in campo con una lavorazione superficiale (20 euro/ha). I costi per lo smaltimento alternativo risultano di circa 60 euro/t, cioè di poco superiori ai 54,13 euro stimati per la trinciatura e carico delle potature (tab. 14). Quindi,

in definitiva, il costo di approvvigionamento delle biomasse al netto dei costi alternativi di smaltimento risulta pari a 40,87 euro/t e cioè di 2,56 euro/t superiore al costo massimo di approvvigionamento stimato al netto dei consumi dell'impianto prevedendone il funzionamento a pieno regime.

Il bilancio complessivo della filiera agro-energetica risulta, quindi, negativo segnalando una perdita complessiva di 4.395 euro con l'impianto funzionante a pieno regime; perdita che aumenta a 26.624 euro (15,54 euro/t di biomassa secca) se l'impianto funziona con le sole biomasse disponibili derivanti dai residui di potatura degli oliveti e vigneti.

Tabella 14 - Costi di approvvigionamento della biomassa

	t/anno biomassa fresca	t/anno biomassa secca	euro
Produzione annua di biomassa	2.671	1.714	
Costo trinciatura e carico	34,73	54,13	92.752
Costo trasporto	21,00	32,73	56.083
Costo trasferimento	8,00	12,47	21.365
Costo noleggio automezzo trasporto centri di raccolta comunali - centro unico	0,92	1,43	2.458
Costo carburante trasporto centri di raccolta comunali -centro unico	0,10	0,15	265
Costo approvvigionamento biomassa	64,75	100,92	172.923
Costo alternativo dello smaltimento tramite (*):			
Stima costo trinciatura in campo	26	40	68.600
Stima costo interrimento con una lavorazione superficiale	13	20	34.300
Costo alternativo dello smaltimento tramite trinciatura e interrimento	39	60	102.900
Costo approvvigionamento biomassa al netto dei costi alternativi di smaltimento	26,22	40,87	70.023

Nota (*) Stima effettuata considerando un costo medio di 40 euro/ha per la trinciatura e di 20 euro/ha per interrimento con lavorazione superficiale.

Questi risultati confermano la difficoltà di valorizzare i residui della potatura a fini energetici in un contesto territoriale caratterizzato dalla presenza di appezzamenti dispersi e frammentati a causa degli alti costi delle operazioni di approvvigionamento, prime fra tutte quelle di trasporto e trasferimento delle biomasse.

Nel caso si riuscisse a ridurre i costi di trasporto e trasferimento del 10% (caso B della tabella 15) il bilancio della filiera agro-energetica raggiunge un risultato positivo pari a 1,95 euro/t di biomassa utilizzata, che sale a 8,06 euro/t se la riduzione dei costi di trasporto e trasferimento fosse del 15% (caso C della tabella 15)

Tabella 15 - Bilancio economico della filiera agro-energetica (valori euro/t di biomassa secca)

	Situazione		
	A	B	C
Costo trinciatura e carico	54,13	54,13	54,13
Costo trasporto	32,73	29,46	25,04
Costo trasferimento	12,47	11,22	9,54
Costo noleggio automezzo trasporto centri di raccolta comunali -centro unico	1,43	1,43	1,43
Costo carburante trasporto centri di raccolta comunali -centro unico	0,15	0,15	0,15
Costo approvvigionamento biomassa	100,92	96,40	90,30
Costo alternativo dello smaltimento tramite trinciatura e interrimento	60,05	60,05	60,05
Costo approvvigionamento biomassa al netto dei costi alternativi di smaltimento	40,87	36,35	30,24
Totale costi gestione impianto con attività pieno regime	42,05	42,05	42,05
Valore energetico della biomassa al netto dei consumi dell'impianto	80,35	80,35	80,35
Ricavi -costi	- 2,56	1,95	8,06

Questi risultati, ancora una volta, mettono in evidenza i bassi margini esistenti nella realizzazione di una filiera media come quella ipotizzata nel presente studio e come l'eventuale presenza di margini positivi siano correlati a retribuzioni minime per gli agricoltori. Facciamo un esempio. Nel caso in cui si riuscisse a rendere più efficiente l'organizzazione della filiera media ottenendo il risultato della situazione C e il margine positivo venisse riconosciuto interamente all'agricoltore, quest'ultimo otterrebbe un reddito di appena 8 euro ad ettaro.

I dubbi emersi sulla reale convenienza economica ad attivare filiere medie in campo agro-energetico sono ulteriormente aggravati dalla considerazione che nel bilancio economico non sono stati presi in considerazione eventuali interessi passivi legati all'apertura di un mutuo per la realizzazione dell'impianto energetico, né probabili riduzioni del prezzo di vendita dell'energia prodotta per effetto dei cambiamenti del conto energia. Pettenella *et al.*, in un loro lavoro del 1999, hanno sottolineato molto bene come ciò che è conveniente in un certo luogo e in un certo tempo può diventare facilmente un assurdo in circostanze differenti, sebbene nei processi di pianificazione energetico-territoriale stabilire la convenienza economica dell'utilizzo di qualsivoglia forma di energia costituisca, in ogni caso, una questione essenziale.

5. Analisi ambientale

L'analisi ambientale del distretto agro-energetico è stata affrontata quantificando le emissioni di anidride carbonica prodotte nelle varie fasi di lavorazione dei residui, secondo il criterio del Life Cycle Assessment. Tale analisi è stata eseguita con lo scopo di comprendere se la gestione delle potature di oliveti e vigneti a fini energetici possa contribuire agli obiettivi di riduzione dell'emissione di gas serra in atmosfera e quindi alla riduzione del riscaldamento globale (GWP), come richiesto alla filiera dell'energia rinnovabile dalla legislazione vigente nazionale e

internazionale. Inoltre, è stato stimato il bilancio energetico della filiera allo scopo di verificare se sussistono le condizioni di efficienza energetica.

5.1 Le emissioni di CO₂

Le emissioni di CO₂ della filiera sono state determinate sommando quelle relative alle varie fasi di processo che sono state individuate con le seguenti modalità: a) in base al parametro delle ore necessarie di lavorazione della trinciatrice per quanto riguarda la fase di trinciatura della biomassa; b) in base all'uso del carburante per la movimentazione con un trattore provvisto di rimorchio della capacità di 1,6 t per la fase di trasporto della biomassa dai campi ai centri di raccolta comunali; c) in base all'uso del carburante per la movimentazione di un automezzo della capacità di 32 t per la fase di trasferimento della biomassa dai centri di raccolta comunali al centro unico; d) elaborando i dati forniti da ISPRA relativi ad un impianto di dimensioni simili a quello ipotizzato per la fase di combustione e quindi di produzione dell'elettricità). Le fasi di coltivazione e di potatura sono state escluse dall'analisi in quanto le relative emissioni di CO₂ sono attribuibili al processo produttivo principale e non ai residui

Inoltre occorre sottolineare che il calcolo delle emissioni è necessariamente un calcolo approssimativo in quanto le emissioni dipendono da un numero elevato di variabili. Si cita ad esempio come le emissioni di gas ad effetto serra delle operazioni di trinciatura della biomassa, prodotte da un motore diesel, possono dipendere dalla velocità e dalla potenza della macchina agricola, e come queste variabili sono a loro volta soggette alle condizioni atmosferiche, alle condizioni del terreno e allo stato fisico della biomassa,

In questo lavoro, per quanto riguarda le emissioni relative alla fase di trinciatura, è stata utilizzata inizialmente la formula proposta dal database LCA (Ecoinvent), nella quale le emissioni vengono determinate in grammi per ora di operatività della macchina agricola, secondo la formula seguente:

$$WG [g WU] = WGrif \text{ g/h} * \text{tempo utilizzo}$$

dove:

WG: emissioni del gas totali;

WU: unità di lavoro;

WGrif: valore gas di riferimento espresso in grammi per ora;

I valori di riferimento proposti dal database utilizzato sono: 46 gr/ora per CH₄; 836 gr/ora per NO₂; 139 gr/ora per CO₂.

Considerando la capacità operativa della trinciatrice, è stato possibile quantificare le emissioni di gas ad effetto serra, illustrate nella tabella 16.

Tabella 16 - Emissioni di gas serra derivanti dalle operazioni di trinciatura

Comuni	Produzione annua di biomassa fresca (t)	Tempo necessario per la trinciatura (*) (ore)	CH ₄ (gr)	NO ₂ (gr)	CO ₂ (gr)
Assisi	1.798	212	9.729	176.819	29.399
Bastia Umbra	51	6	276	5.016	834
Bettona	471	55	2.550	46.344	7.706
Cannara	351	41	1.897	34.483	5.733
Totale	2.671	314	14.453	262.661	43.672

Nota: (*) La capacità operativa della trinciatrice è stata considerata di 8,5 t/ora.

Il calcolo delle emissioni derivanti dalla movimentazione delle biomasse dai campi ai centri di raccolta comunali, e da questi al centro di raccolta unico, è stato effettuato servendosi dell'approccio di riferimento IPCC (2006), che si fonda su una serie di fattori di emissione per i diversi carburanti, basati su valori medi internazionali. Secondo tale metodologia, le emissioni totali di CO₂ dal settore dei trasporti si calcolano procedendo come segue:

1. si stima il consumo di ogni tipo di carburante, e si converte tale consumo in unità energetiche (Tcal);
2. si moltiplica, per ciascun tipo di carburante, tale consumo per il relativo fattore di emissione in modo da valutarne la quantità in massa di carbonio emesso;
3. si converte il carbonio emesso in emissioni di CO₂ utilizzando opportuni fattori correttivi per tenere conto del carbonio non ossidato a CO₂;
4. si sommano le emissioni relative ai vari tipi di carburante.

Moltiplicando i consumi interni lordi di ciascun combustibile per il relativo fattore di emissione e sommando tutti i combustibili si ottiene la valutazione delle cosiddette emissioni apparenti. Il nome "emissioni apparenti" è giustificato dal fatto che esse corrispondono alle emissioni che si avrebbero se tutto il carbonio contenuto nei combustibili usati fosse ossidato a CO₂.

$$\text{Emissioni CO}_2 = \sum a [\text{Carburante } a * \text{EF } a]$$

Dove:

EF a = fattore di emissione (kg/TJ). Questo equivale al contenuto di carbonio del carburante moltiplicato per 44/12.

$\sum a$ = sommatoria dei tipi di carburante utilizzati (ad es. benzina, diesel, GPL etc), espressi in contenuto energetico (Tj)

Il fattore di emissione del diesel, basato sulla totale ossidazione del carburante, equivale a 74,1 t/Tj (IPCC,2006). Poiché tale fattore di emissione è espresso su chilogrammi di carburante, per poter stimare i chili di carburante necessari, sono stati per prima cosa quantificati i chilometri complessivi da percorrere e, successivamente, stimato il consumo di litri di carburante. Tale quantità è stata successivamente convertita in chilogrammi e ne è stato quantificato il contenuto energetico, a partire dal quale, a questo punto, è stato possibile stimare la quantità di emissioni, illustrata in tabella 17.

Tabella 17 - Stima delle emissioni di CO₂ derivanti dal trasporto delle biomasse

	Litri di gasolio consumato	Kg di gasolio consumato (*)	MJ di energia consumata (**)	TJ di energia consumata	t di CO ₂ emessa (***)
Assisi	29.250	24.365	1.047.704	1,0477	77,63
Bastia Umbra	1.169	974	41.879	0,0419	3,10
Bettona	4.678	3.897	167.579	0,1676	12,42
Cannara	2.062	1.718	73.866	0,0739	5,47
Totale	37.160	30.954	1.331.028	1,3310	98,63

Note: (*) Il fattore di conversione di litri in kg è pari a 0,833; (**) 1 kg di gasolio equivale a 43 MJ di energia; (***) il consumo di 1 TJ di energia emette 74,1 t di CO₂.

Questa procedura di calcolo, basata sul consumo di carburante, è stata utilizzata anche per calcolare le emissioni di CO₂ collegate alla operazione di trinciatura, già calcolate con il

metodo Ecoinvent. Questo al fine di porre in evidenza come l'utilizzo di due metodologie di calcolo differenti, entrambe presenti in letteratura, possono originare risultati sostanzialmente diversi. Infatti utilizzando il consumo di gasolio la CO₂ emessa risulta considerevolmente più elevata (tab. 18). Secondo il metodo Ecoinvent la CO₂ emessa per effettuare la trinciatura di 2.671 t di biomassa risulta pari a 0,43 t contro le 25,52 t del metodo che tiene conto dei consumi di carburante della macchina operatrice.

Tabella 18 - Stima delle emissioni di CO₂ derivanti dall'operazione di trinciatura in base al consumo di gasolio

Comuni	Produzione annua di biomassa fresca (t)	Litri di gasolio consumato (*)	Kg di gasolio consumato (**)	MJ di energia consumata (***)	TJ di energia consumata	t di CO ₂ emessa (****)
Assisi	1.798	6.472	5.391	231.823	0,2318	17,18
Bastia Umbra	51	184	153	6.576	0,0066	0,49
Bettona	471	1.696	1.413	60.760	0,0608	4,50
Cannara	351	1.262	1.051	45.209	0,0452	3,35
Totale	2.671	9.614	8.009	344.370	0,3444	25,52

Note: (*) Con consumo di gasolio per l'operazione di trinciatura pari a 3,6 l/t; (**) Il fattore di conversione di litri in kg è pari a 0,833; (***) 1 kg di gasolio equivale a 43 MJ di energia; (****) il consumo di 1 TJ di energia emette 74,1 t di CO₂.

Per quanto riguarda le emissioni dell'impianto di produzione di energia, sono state prese in considerazione le emissioni della caldaia alimentata a biomasse che generalmente vengono considerate nulle.

Grazie ai dati forniti da ISPRA sulle emissioni giornaliere del mese di giugno 2011, relativi ad un impianto di dimensioni comparabili a quelle dell'impianto ipotizzato in questo lavoro, è stato possibile stimare le emissioni totali derivanti da questa fase del processo. I risultati sono presentati nella tabella 19.

Tabella 19 - Stima delle emissioni di gas serra della combustione della biomassa

	Emissioni medie giornaliere (mg)	Emissioni medie per t di biomassa impiegata (mg)	Emissioni totali per l'impiego di 1.714 t di biomassa (gr)
CO ₂	8,86	0,984	1,69
NO ₂	152,45	16,939	29,03
SO ₂	33,52	3,724	6,38

Fonte: Nostre stime su dati ISPRA.

A questo punto si è proceduto con la stima, anche se parziale, delle emissioni di gas ad effetto serra dell'intera filiera attribuibili ad una tonnellata di biomassa (tab. 20). Tale valore è stato determinato rapportando le emissioni totali alla quantità totale di biomassa, e successivamente proporzionando le stesse ad una sola unità di input pari a 1 tonnellata di biomassa.

Utilizzando le stime di CO₂ emessa in base al consumo dei carburanti utilizzati per le operazioni di trinciatura, carico e trasporto (al netto di quella prodotta dalla combustione, che in base ai dati a disposizione verrebbe confermata poco rilevante), il quantitativo di CO₂ emessa per t di biomassa utilizzata risulterebbe pari a 136,91 t. Siccome questa quantità corrisponde ad una produzione di energia di 293 kWh. Ciò sta a significare che per ogni kWh il quantitativo di CO₂ stimato ammonterebbe a 273 grammi.

Solo per fornire un termine di riferimento segnaliamo che le emissioni di CO₂ equivalenti dovute all'intero ciclo di vita della filiera energetica del carbone in Italia per kWh oscilla dai 780 ai 910 grammi.

Tabella 20 - Stima (parziale) delle emissioni di gas ad effetto serra per l'utilizzo di 1 t di biomassa per la produzione di energia

	Emissioni di CO ₂ in totale (t)	Emissioni di CO ₂ unitarie (t CO ₂ /t di biomassa)	Emissioni di CO ₂ in grammi per kWh (gr/kWh)
Operazione di trinciatura	25,52	0,01	51
Operazione di carico	12,76	0,01	25
Trasporto	98,63	0,06	196
In Totale	136,91	0,08	273

5.2 Bilancio Energetico

Per calcolare il bilancio energetico della filiera in esame è stato necessario quantificare i consumi energetici di ogni operazione del processo produttivo (cippatura, trasporto, combustione, stoccaggio) e confrontare i consumi energetici totali con l'energia prodotta dall'impianto di combustione. Il risultato indica che per produrre l'energia derivata dalla combustione di una tonnellata di biomassa secca proveniente dai residui di potatura di vite e olivo, stimata pari a 293 kWh, ne viene consumata circa 146 kWh. Il rapporto energetico quindi è quasi di 2 a 1.

Tabella 21 - Consumi energetici totali per la produzione di energia da cippato e bilancio energetico

	litri/t	kWh
Gasolio trattore per operazione di cippatura	3,60	39,60
Gasolio trattore per carico cippato	1,80	19,80
Gasolio trattore per trasporto	6,89	75,74
Diesel per camion per trasporto	0,11	1,22
Impianto di stoccaggio	0,36	3,96
Impianto produzione energia		6,00
Consumo energetico stimato per 1 t di biomassa utilizzata		146,31

Contenuto energetico di 1 t di cippato al 40% di tenore idrico	293,00
Saldo energetico	146,69

6. Considerazioni conclusive

I risultati dell'analisi economica e di quella ambientale del caso studio confermato i risultati riportati in letteratura. La filiera agro-energetica media si è rivelata non sostenibile dal punto di vista economico ma interessante dal punto di vista ambientale. Solo riducendo i costi del trasporto del 10%, infatti, si ottiene un utile per l'imprenditore agricolo, anche se di piccola entità, mentre, dal punto di vista ambientale emerge un saldo energetico positivo e la possibilità di ridurre le emissioni di CO₂.

La fase a maggior impatto è risultata quella relativa ai trasporti, ma va considerato che i trattamenti alternativi delle potature comporterebbero comunque un impatto ambientale tramite le emissioni in atmosfera dovute al trasporto della biomassa per il conferimento in discarica delle potature, o per quelle derivanti dall'interramento delle biomasse. Infatti, in caso di obbligo di conferimento dei residui in discarica, le biomasse sarebbero soggette al trasporto dai campi ad un centro di raccolta rifiuti, comportando in ogni caso emissioni di CO₂, variabili a seconda della distanza di tale centro.

I risultati ottenuti suggeriscono di: a) valutare l'esclusione delle produzioni derivanti dall'area del comune di Bastia Umbra; b) valutare la possibilità di fare nel comune di Assisi un unico centro di raccolta per evitare una doppia movimentazione della biomassa; c) individuare la disponibilità nell'area di studio di altri residui vegetali al fine di sfruttare a pieno le potenzialità dell'impianto; d) ipotizzare e valutare la possibilità di realizzare più filiere agro-energetiche corte per l'utilizzo dell'energia all'interno di strutture produttive (cantine, frantoi, imprese artigianali).

Riferimenti bibliografici

Abdallah, R., Auchet, S., Meausoone, P.J. (2011). Experimental study about the effects of disc chipper settings on the distribution of wood chip size. *Biomass and Bioenergy* 35: 843–852.

Arsia (2004). *Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm*. Quaderno ARSIA 6.

Beccali, M., Columba, P., D'alberto, V., Franzitta, V. (2009). Assessment of bioenergy potential in Sicily: a GIS-based support methodology. *Biomass and Bioenergy* 33: 79-87.

Biengini, G.A., Brizio, E., Cibrario, M., Genon, G. (2011). LCA of bioenergy chains in Piedmont (Italy): A case study to support public decision makers towards sustainability. *Resources, Conservation and Recycling* 57: 36-47.

Boggia, A., Porceddu, P.R. (2006). La raccolta delle biomasse della potatura dell'olivo a fini energetici: un'analisi tecnica ed economica. *Estimo e territorio* 12: 29-35.

Camanzi, L., Mulazzani, L., Zagnoli, G. (2009). Valutazione economica di un sistema energetico rurale a biomasse. *Estimo e territorio* 12: 15-22.

- Caserini, S., Livio, S., Giugliano, M., Grosso, M., Rigamonti, L. (2010). LCA of domestic and centralized biomass combustion: The case of Lombardy (Italy). *Biomass and Bioenergy* 34:474-482.
- Chiodo, E., Nardella, N. (2011). Valorizzazione energetica di residui e sottoprodotti della filiera vitivinicola in Italia. *Agriregionieuropa* 7, 24: 22-25.
- Cotana, F., Cavalaglio, G., (2008). Impianto pilota per la conversione energetica degli scarti di potatura dei vigneti, Atti dell'8° Congresso Nazionale CIRIAF. Perugia 4/5 aprile.
- Cotana, F., Cavalaglio, G., Rinaldi S. (2009). Energy and environmental performance of a polygeneration plant from vineyard pruning residues. 17th European Biomass Conference & Exhibition.
- Drescher, U., Bruggemann, D., (2007). Fluid selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) in biomass power and heat plants. *Applied Thermal Engineering* 27: 223–228.
- Fiorese, G., Guariso, G. (2009). A GIS-based approach to evaluate biomass potential from energy crops at regional scale. *Environmental Modelling & Software* 25 (6): 702-711.
- Frascarelli, A. (2011). Le energie rinnovabili in agricoltura, *Agriregionieuropa* 7 (24).
- Gasol, C.M., Gabarrell, X., Rigola, M., Gonzalez-Garcia, S. (2011). Environmental assessment: (LCA) and spatial modelling (GIS) of Energy crop implementation on local scale. *Biomass and Bioenergy* 35: 2975-2985.
- Graham, R. L., English, B.C., Noon, C.E. (2000). A Geographic Information System-based modeling system for evaluating the cost of delivered energy crop feedstock. *Biomass and Bioenergy* 18: 309-329.
- IPCC, (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- Jurado, F., Cano A., Carpio J., Cano, A, Carpio, J. (2003). Modelling of combined cycle power plants using biomass. *Renewable Energy* 28: 743–753.
- Kinoshita, T., Inoue, K., Iwao, K., Kagemoto, H. (2009). A spatial evaluation of forest biomass usage using GIS. *Applied Energy* 86: 1–8.
- Manzone, M., Airoldi, G., Balsari, P. (2009). Energetic and economic evaluation of a poplar cultivation for the biomass production in Italy. *Biomass and Bioenergy* 33:1258–126.
- Martinelli, F. (2002). A GIS-based planning tool for Greenhouse gases emission reduction through biomass exploitation in Tuscany. 12th European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 17-21 June.
- Mazzei, T. (2009). La filiera legno-energia. Risultati finali del progetto interregionale Woodland Energy, Arsia.
- Mescalchin, E., Cristoforetti, A., Silvestri, S., Bottura, M., Fellin, F., Michelotti, F., Penner, F. (2009). *Recupero dei sarmenti a fini energetici*. Terra Trentina 5. Fondazione Edmund Mach. Istituto Agrario di San Michele all'Adige. Centro Trasferimento Tecnologico.

- Noon, C.E., Daly, M.J. (1996). Gis-based resource assessment with bravo. *Biomass and Bioenergy* 10 (2-3): 101-109.
- Panichelli, L., Gnansounou, E. (2008). Gis-based approach for defining bioenergy facilities location: A case study in Northern Spain based on marginal delivery costs and resources competition between facilities. *Biomass and Bioenergy* 32: 289-300.
- Pellerano, A., Pantaleo, A., Tenerelli, P., Carone, M.T. (2007). Studio per la valorizzazione energetica di biomasse agro forestali nelle regione Puglia, Relazione conclusiva, Aprile 2007, Dipartimento PROGESA, Università di Bari.
- Perpina, C., Alfonso, D., Perez-Navaro, A., Penalvo, E., Vargas, C., Cardenas, R. (2009). Methodology based on Geographic Information System for biomass logistics and transport optimization. *Renewable Energy* 34: 555-565.
- Pettenella D., Serafin S. Mezzalira G. (1999) Produzione ed impiego di biomasse a fini energetici in impianti energetici a piccola scala: i filari cedui di platano. Atti del 33° Convegno della Società Italiana di Agronomia: Le colture “non alimentari”. SIA-Veneto Agricoltura-Dipart.Agronomia Ambientale e Produzioni Vegetali, Legnaro PD, 1999.
- Porceddu, P.R. (2007). Meccanizzazione per le filiere bioenergetiche. Tecnologie esistenti e sviluppo di innovazioni tecnologiche e tipologiche.
- Rogers, J.C., Brammer, J.C. (2009). Analysis of transport cost for energy crops for use in biomass pyrolysis plant network. *Biomass and Bioenergy* 33: 1367-1375.
- Spinelli, R., Magagnotti, N. (2009). Energia dai sarmenti: la convenienza dipende dalla logistica della filiera. *Vigne e Vini* 10: 53-56.
- Spinelli, R., Magagnotti, N., Nati, C., Cantini, C., Sani, G., Picchi, G., Biocca M. (2011). Integrating olive grove maintenance and energy biomass recovery with a single-pass pruning and harvesting machine. *Biomass and Bioenergy* 35: 808-813.
- Torquati, B., Giacchè G., Taglioni C., Musotti F. (2009). Le dinamiche delle aree rurali in rapporto alle esigenze espresse dai poli urbani. Studio pilota nel sistema locale del lavoro di Assisi. Camera di Commercio di Perugia. Rapporto di ricerca.
- Valente, C., Spinelli, R., Hillring, B.G. (2011). LCA of environmental and socio-economic impacts related to wood energy production in alpine conditions: Valle di Fiemme (Italy). *Journal of Cleaner Production* 19: 1931-1938.
- Versigliani, M., Cotana, F., Cavalaglio, G., Riccardi F. (2010). Pianificazione economico-finanziaria di impianti a biomassa, Atti del 10° Congresso Nazionale CIRIAF.
- Voivoants, D., Assimacopoulos, D., Koukios, E.G. (2001). Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method. *Biomass and Bioenergy* 20: 101-112.
- Wang, X., Vom Hofe, R. (2007). *Research Methods in Urban and Regional Planning*, Springer.

Wiskerke, W.T., Dornburg, V., Rubanza, C.D.K., Malimbwi R.E, Faaij, A.P.C. (2010). Cost/benefit analysis of biomass energy supply options for rural smallholders in the semi-arid eastern part of Shinyanga Region in Tanzania. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14: 148–165

Zaghi, M. (2010). *L'utilizzazione delle biomasse legnose da recupero di potature: rassegna delle tecnologie di utilizzo ed esempi di realizzazioni*. Correggionvegno Cooperativa agroenergetica territoriale. Dattiloscritto.

Zheng, Y., Jensen A.D., Johnsson, J.E. (2005). Deactivation of V₂O₅-WO₃-TiO₂ SCR catalyst at a biomass-fired combined heat and power plant. *Applied Catalysis B: Environmental* 60: 253–264.