

IACOPO BERNETTI (*) - CHRISTIAN CIAMPI (*) - SANDRO SACCHELLI (*)
AUGUSTO MARINELLI (*)

LA PIANIFICAZIONE DI DISTRETTI AGRO-ENERGETICI. UN MODELLO DI ANALISI PER LA REGIONE TOSCANA ⁽¹⁾

(*) Dipartimento di Economia, Ingegneria, Scienze e Tecnologie Agrarie e Forestali (DEISTAF), Sezione Economia Agraria e Forestale ed Estimo, Università degli Studi di Firenze. P.le delle Cascine 18, 50144 Firenze.

Gli attuali indirizzi energetici comunitari favoriscono l'utilizzo delle risorse rinnovabili in alternativa ai combustibili fossili tradizionali. Parte del fabbisogno energetico attuale può essere soddisfatto attraverso la trasformazione di biomasse di origine agro-forestale in biocombustibile. Questo processo richiede, tuttavia, un'attenta analisi delle risorse in modo da consentire l'avvio di filiere sostenibili di produzione/consumo a livello locale.

La pianificazione di distretti agro-energetici appare come il primo passo per una corretta valutazione e programmazione regionale. In quest'ottica, nell'ambito del Progetto: "La pianificazione della filiera dei distretti agro-energetici" (PRIN 2007), si è cercato di definire una metodologia per l'individuazione di ambiti omogenei dal punto di vista della domanda potenziale agro-energetica e delle caratteristiche agro-forestali del territorio.

Il primo obiettivo del lavoro, sviluppato per l'area regionale toscana, è stato quello di costruire un set di indicatori che consentisse di individuare dei criteri (economici, sociali e ambientali) di vocazione agro-energetica. La determinazione dei criteri è stata quindi seguita dall'individuazione, attraverso lo studio delle metodologie offerte in letteratura, di un modello di regionalizzazione che ne consentisse un uso corretto e coerente.

Il risultato del modello di regionalizzazione individuato ha portato alla definizione di ambiti che hanno consentito una prima valutazione dei potenziali distretti sulla base della relazione offerta/domanda agro-energetica.

Parole chiave: distretti agro-energetici; pianificazione energetica; biomasse; regionalizzazione.

Key words: agro-energy district; energy planning; biomass; spatial clustering.

Citazione - BERNETTI I., CIAMPI C., SACCHELLI S., MARINELLI A., 2011 – *La pianificazione di distretti agro-energetici. Un modello di analisi per la Regione Toscana*. L'Italia Forestale e Montana, 66 (4): 305-320. doi: 10.4129/ifm.2011.4.05

1. INTRODUZIONE

L'impulso di nuove politiche regionali e di portatori d'interesse, che, rispettivamente, da un lato cercano di ricreare artificialmente le condizioni che hanno permesso ai distretti industriali di avere successo e dall'altro si riuniscono per dar vita a reti di imprese localizzate territorialmente innescando processi di distrettualizzazione spontanei, sta portando alla diffusione di molte proposte, a livello nazionale, finalizzate all'individuazione e alla creazione di modelli distrettuali agro-energetici.

Uno degli aspetti che caratterizzano questa tipologia di distretti è quello di rappresentare un sistema territoriale di produzione e consumo di energia di origine agraria, fondato sulla disponibilità di risorse presenti sul territorio e capace di creare un rapporto di sostenibilità tra produttori e consumatori di energia (CARROSIO, 2009); in tale ottica si viene a raffigurare un efficace modello territoriale di gestione della risorsa agro-energetica.

Il concetto di distretto agro-energetico che ne risulta è strettamente legato a quello di distretto rurale (BANDINI, 1974; DEI OTTATI, 1990; IACOPONI, 1990; CECCHI, 1992; PILATI, 1996; BECATTINI, 2000; CARERI *et al.*, 2008; BELLETTI e MARESCOTTI, 2010) e al tema dello sviluppo rurale (VAN DER PLOEG, 2006). Que-

¹ Lavoro svolto nell'ambito del progetto MIUR PRIN 2007 "Distretti energetici agroforestali sostenibili" (Coordinatore nazionale: S. Nocentini).

sta dimensione del distretto agro-energetico, associata alle caratteristiche proprie del distretto *marshalliano* (MARSHALL, 1890; BECATTINI, 1987; GAROFOLI e MAZZONI, 1994; SFORZI, 1997; GUALERZI, 2006; CARROSI, 2009), ne evidenzia i due fattori caratterizzanti: l'attitudine a sapersi auto organizzare a livello di comunità locale e la capacità di diventare autosufficiente energeticamente.

La pianificazione delle risorse agro-energetiche, attraverso una corretta valutazione dell'offerta e della domanda di biomassa/energia, risulta, quindi, un primo determinante passo per delineare le potenzialità di un territorio ed evitare così, programmazioni non coerenti con l'effettiva disponibilità di risorse presenti sullo stesso.

Il notevole interesse che negli ultimi anni la Regione Toscana ha dimostrato nello studio, l'incentivazione e lo sviluppo della filiera biomassa-energia e gli indirizzi indicati negli strumenti di pianificazione energetica regionale, fanno di questa realtà un contesto già abbastanza maturo, tale da poter ipotizzare scenari di gestione della risorsa impostati su modelli distrettuali di tipo agro-energetico.

Il presente lavoro propone dunque una metodologia per l'individuazione di distretti agro-energetici potenziali attraverso l'utilizzo di tecniche di regionalizzazione, approfondendo i temi dell'esplorazione e dell'analisi spaziale di dati statistici. Lo studio del contesto toscano, sviluppato a scala comunale, ha previsto la definizione di un set di indicatori (domanda/offerta potenziale di agro-energie, fattori socio-economici, fattori ambientali), quale strumento per la valutazione della vocazione agro-energetica territoriale.

I processi di regionalizzazione ricoprono un ruolo importante in molti settori di ricerca, trovando applicazione in aree come la zonizzazione climatica (FOVELL e FOVELL, 1993; JIN e GUO, 2009; GIRALDO *et al.*, 2009), l'analisi di eco-regioni (HANDCOCK e CSILLAG, 2004; HARGROVE e HOFFMAN, 2004), l'analisi ambientale (HENDERSON, 2006; ROMANO *et al.*, 2010; ANGAYARKKANI e RADHAKRISHNAN, 2009), la generalizzazione cartografica (TOBLER, 1969), l'analisi di unità di paesaggio (LONG *et al.*, 2010), l'interpretazione e l'organizzazione di dati censuari (OPENSHAW e RAO, 1995), rela-

tive alla salute pubblica (HAINING *et al.*, 1994; OSNES, 1999), l'analisi di fenomeni socio-economici (ASSUNÇÃO *et al.*, 2006; BENASSI e FERRARA, 2010) e l'analisi e l'interpretazione di dinamiche demografiche ed urbane (BEHNISCH e ULTSCH, 2009; BENASSI *et al.*, 2010).

Il concetto di regionalizzazione ipotizzato ed applicato a entità socio-economiche da OPENSHAW nel 1977 si realizza con la creazione di oggetti geografici formati dall'unione di elementi contigui, simili per una o più caratteristiche, ed è strettamente collegato al concetto di *statistica spaziale* o *econometria spaziale*.

L'econometria spaziale è definita come l'insieme delle tecniche necessarie a trattare le peculiarità determinate dalla dimensione geografica all'interno delle analisi statistiche dei modelli di scienze regionali (ANSELIN, 1988). Questa differisce, quindi, dall'econometria classica, includendo nell'analisi il parametro *spazio*, comportando la presenza contemporanea di due tipi di approccio: uno geografico e uno econometrico.

Il primo è determinato da:

- *co-occorrenza* di particolari fattori nel medesimo spazio geografico (per esempio elevati tassi di criminalità sono generalmente associati a fenomeni di povertà e di degrado sociale e urbanistico);
- *fattori di causa-effetto* (tipica delle variabili climatiche e ambientali, che tendono ad avere valori simili in dipendenza di analoghe variabili territoriali, come distanza dalla costa, quota, ecc.).

Il secondo è determinato da:

- *interdipendenza* o *autocorrelazione spaziale*, che è la conseguenza della presenza di una relazione funzionale tra ciò che accade in un punto determinato nello spazio e ciò che accade in altri punti (ATZENI *et al.*, 2004);
- *presenza di fenomeni d'interazione spaziale*, che deriva dall'importanza della collocazione geografica come elemento esplicativo del comportamento umano (è il caso, per esempio, della conoscenza di determinate tecniche produttive diffusa in una data area geografica. Si tratta di un caso particolare, tipico della realtà del distretto industriale o del sistema di sviluppo locale).

La regionalizzazione può essere interpretata come una sorta di classificazione del territorio, dove le unità sono raggruppate sulla base di *sets* di indicatori e di regole di contiguità che ottimizzano una specifica funzione obiettivo (GUO, 2008).

Da questo punto di vista, il raggruppamento di minime unità territoriali (i comuni) in *cluster* omogenei, può risultare utile per gli *stakeholders* della filiera energetica, sia per il valore aggiunto derivante dall'aggregazione del *data set* informativo, che per la facilità di interpretazione geografica dei possibili fenomeni di impatto socio-economico ed ambientale.

2. DEFINIZIONE DI INDICATORI REGIONALI

La pianificazione agro-energetica dalla piccola alla grande scala, deve essere necessariamente sviluppata in modo tale da implementare filiere produttive che non vadano a depauperare le risorse ambientali. In tale ottica numerose ricerche sviluppate in ambito internazionale e nazionale evidenziano come il rapporto offerta/domanda di biocombustibili sia una delle più diffuse metodologie di valutazione della potenzialità di produzione di agro-energie di un determinato territorio (MASERA *et al.*, 2006; DRIGO *et al.*, 2007).

In questo settore, lo sviluppo di politiche territoriali deve prevedere però, in aggiunta alla valutazione quantitativa di bioenergia, anche la definizione di ulteriori indicatori di impatto socio-economico ed ambientale potenzialmente derivabile dall'implementazione di filiere agro-energetiche.

Nel presente lavoro sono state pertanto analizzate tre possibili macrocategorie di indicatori, propedeutiche allo sviluppo della fase di regionalizzazione, in particolare: *i*) domanda potenziale di agro-energie; *ii*) offerta potenziale di biomasse agro-forestali e *iii*) caratteristiche socio-economiche ed ambientali.

2.1. Domanda potenziale di agro-energie

2.1.1. Descrizione degli indicatori

La stima della domanda potenziale di agro-energie ha tenuto in considerazione la mor-

fologia della struttura insediativa presente a livello comunale; in particolare, in funzione dell'attuale tipologia di alimentazione degli impianti di riscaldamento, risultano maggiormente idonei all'installazione di impianti a biomassa (sia dal punto di vista economico che per l'abbattimento delle emissioni di CO₂) quelle strutture alimentate a combustibili fossili tradizionali quali gasolio e GPL, mentre in modo minore lo sono quelle in cui la fonte di riscaldamento è il gas metano (BERNETTI e FAGARAZZI, 2008). La variabile che ha permesso una prima classificazione dell'idoneità all'installazione dei suddetti impianti è stata quindi la morfologia insediativa dell'abitato. In funzione dell'indagine bibliografica sviluppata all'interno del Progetto: "La pianificazione della filiera dei distretti agro-energetici" (PRIN, 2007) ed in accordo con le informazioni recepite dai diversi attori locali dell'ambito agro-energetico toscano, le strutture insediative più idonee all'utilizzo di biomasse ad uso energetico risultano pertanto (in funzione della classificazione ISTAT) l'edificato sparso e l'insediamento rurale (nuclei abitati). La valutazione della domanda agro-energetica, è stata però effettuata considerando oltre a queste due tipologie abitative, anche i centri abitati, al fine di effettuare una stima prudentiale del rapporto offerta/domanda di un particolare bacino di approvvigionamento.

Il 14° Censimento Popolazione e Abitazioni (ISTAT, 2001) riporta alcune variabili utili per la suddetta valutazione, in particolare:

- la superficie delle abitazioni occupate da persone residenti;
- la popolazione residente in centri abitati;
- la popolazione residente in nuclei abitati;
- la popolazione residente in case sparse.

Un'ulteriore base dati utilizzata per l'analisi della domanda è stata quella relativa ai consumi di gas naturale a livello provinciale (ISTAT, 2008).

2.1.2. Metodologia di calcolo

La fase propedeutica alla valutazione del fabbisogno energetico per le tipologie abitative considerate, prevede il calcolo del volume per ogni struttura insediativa residenziale a

livello comunale, stimata in proporzione alla popolazione residente secondo le seguenti formule (1, 2 e 3):

$$V_{ca,i} = S_{R,i} * h * [P_{ca,i} / (P_{ca,i} + P_{na,i} + P_{cs,i})] \quad (1)$$

$$V_{na,i} = S_{R,i} * h * [P_{na,i} / (P_{ca,i} + P_{na,i} + P_{cs,i})] \quad (2)$$

$$V_{cs,i} = S_{R,i} * h * [P_{cs,i} / (P_{ca,i} + P_{na,i} + P_{cs,i})] \quad (3)$$

con:

- $V_{ca,i}$, $V_{na,i}$, $V_{cs,i}$: rispettivamente, volume dell'edificato residenziale in centri abitati, nuclei abitati e case sparse per il comune *i-esimo* [m³];
- $S_{R,i}$: superficie totale residenziale per il comune *i-esimo* [m²];
- h : altezza stimata dell'edificato dedotta dalle informazioni presenti sulla Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:2000 e 1:10000 [m];
- $P_{ca,i}$, $P_{na,i}$, $P_{cs,i}$: rispettivamente, popolazione residente in centri abitati, nuclei abitati e case sparse per il comune *i-esimo*.

Una volta calcolato il volume dell'edificato è stato possibile procedere con la quantificazione della domanda potenziale di energia; il fabbisogno energetico annuo (FABE) è definito dalla relazione seguente (4) (REGIONE PIEMONTE, 1997):

$$\text{FABE [kJ]} = [Cg * V * (D + n * G) * \lambda * 86,4] / \eta \quad (4)$$

con:

- Cg : coefficiente volumico globale [W/m³/°C];
- V : volumetria riscaldata [m³];
- D : gradi giorno [°C], ovvero la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20 °C, e la temperatura media esterna giornaliera, di una località²;
- n : coefficiente di variazione rispetto ai 20 °C convenzionali [°C];
- G : numero giorni di riscaldamento;
- λ : coefficiente di durata giornaliera del riscaldamento;

- η : rendimento medio dell'impianto a biomassa³.

Il coefficiente Cg , definito come la potenza termica dispersa per metro cubo e per una differenza di temperatura tra interno ed esterno di 1°C, è determinato dalla somma di due termini (5):

$$Cg = Cd + Cv \quad (5)$$

con:

- Cd : potenza termica necessaria per compensare le dispersioni per trasmissione attraverso le pareti opache e trasparenti di una struttura edilizia [W/m³/°C];
- Cv : potenza termica necessaria per riscaldare l'aria di rinnovo degli ambienti [W/m³/°C].

I valori dei Cg utilizzati nel calcolo del fabbisogno energetico (riscaldamento civile) di ciascun comune della Regione Toscana sono stati ricavati per fascia altimetrica, sulla base di un fattore di forma relativo a ciascun edificio, dei gradi giorno e della zona climatica.

Nella Tabella 1 sono riportati in maniera sintetica, i dati utilizzati per il calcolo del FABE.

La possibilità di definire i consumi di gas metano (C_m) esclusivamente a scala provinciale comporta la necessità di una prima aggregazione dei dati relativi al fabbisogno energetico dell'edificato a livello di provincia (per un confronto con i consumi di gas naturale). Tale aggregazione è mantenuta comunque distinta per morfologia insediativa come da formule seguenti (6, 7 e 8):

$$F_{Pca,j} = \sum_{i=1}^n F_{ca,i,j} \quad (6)$$

$$F_{Pna,j} = \sum_{i=1}^n F_{na,i,j} \quad (7)$$

$$F_{Pcs,j} = \sum_{i=1}^n F_{cs,i,j} \quad (8)$$

con:

- $F_{Pca,j}$, $F_{Pna,j}$, $F_{Pcs,j}$: rispettivamente, fabbisogno energetico provinciale relativo a centri abitati, nuclei abitati e case sparse per la provincia *j-esima* [G];
- n : comuni della provincia *j-esima*;

² Vedere D.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, Allegato A.

³ Nella nostra valutazione tale rendimento è stato ipotizzato al 68%.

Tabella 1 – Dati relativi a: Gradi Giorno (GG) per fascia climatica; Giorni di accensione del riscaldamento (G), coefficiente di durata giornaliera del riscaldamento (λ) e coefficiente di variazione rispetto ai 20 °C, per fascia altimetrica.

Fascia climatica	Gradi Giorno (GG)
A	<600
B	601-900
C	901-1400
D	1401-2100
E	2101-3000
F	>3000

Fascia altimetrica (m s.l.m.)	Giorni accensione (G)	λ	Tipo impianto	n
0-150	100	0,66	Centralizzato	0
			Autonomo	-1
			Singolo	-1
			Non definito	0
151-300	120	0,71	Centralizzato	0,25
			Autonomo	-0,75
			Singolo	-0,75
			Non definito	0
301-500	150	0,76	Centralizzato	0,5
			Autonomo	-0,5
			Singolo	-0,5
			Non definito	0
501-1000	180	0,84	Centralizzato	0,75
			Autonomo	-0,25
			Singolo	-0,25
			Non definito	0
>1000	200	0,93	Centralizzato	1
			Autonomo	0
			Singolo	0
			Non definito	0

– $F_{ca,i,j}$, $F_{na,i,j}$, $F_{cs,i,j}$: rispettivamente, fabbisogno energetico comunale relativo a centri abitati, nuclei abitati e case sparse per il comune *i-esimo* appartenete alla provincia *j-esima* [GJ].

L'aggregazione di *database* diversi per origine e metodologia di rilevamento potrebbe comportare alcune incongruenze nella tipologia di dati ottenuti; la correttezza dei risultati derivanti da questa prima fase dell'analisi è verificata grazie alla realizzazione della seguente condizione, che, in sintesi, stabilisce come il fabbisogno energetico totale provinciale debba necessariamente essere maggiore del consumo di gas metano nella stessa provincia (9):

$$F_{Pca,j} + F_{Pna,j} + F_{Pcs,j} \geq C_{m,j} \quad (9)$$

con:

– $C_{m,j}$: consumo di gas metano per la provincia *j-esima* [GJ].

A questo punto si può procedere con il calcolo della probabilità a livello provinciale, che i centri abitati, i nuclei abitati e le case sparse siano serviti da gas metano. Tale valutazione è definita con il seguente modello (si ipotizza in tal caso che, per evidenti motivi tecnico-logistici ed economici, i primi ad allacciarsi alla rete del gas siano i centri abitati, poi, in successione, i nuclei abitati e le case sparse) (10):

$$IF \frac{C_{m,j}}{F_{Pca,j}} \geq 1 _ THEN \left\{ \begin{aligned} &C_{m_Nca,j} = C_{m,j} - \\ &- F_{Pca,j} _ AND _ [IF \frac{C_{m_Nca,j}}{F_{Pna,j}} \geq 1 _ THEN _ \\ &_ (C_{m_Nca_na,j} = C_{m,j} - F_{Pca,j} - F_{Pna,j} _ AND _ \\ &_ \frac{C_{m_Nca_na,j}}{F_{Pcs,j}} = p_cs_{s,j} _ ELSE _ \\ &_ \frac{C_{m_Nca,j}}{F_{Pna,j}} = p_na_{s,j} _ ELSE _ \frac{C_{m,j}}{F_{Pca,j}} = p_ca_{s,j} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

con:

- $C_{m_Nca,j}$: consumi di metano in aree non ricadenti in centri abitati per la provincia *j-esima* [GJ];
- $C_{m_Nca_na,j}$: consumi di metano in case sparse per la provincia *j-esima* [GJ];
- $p_ca_{s,j}$: probabilità che i centri urbani siano serviti da metano per la provincia *j-esima*;
- $p_na_{s,j}$: probabilità che i nuclei urbani siano serviti da metano per la provincia *j-esima*;
- $p_cs_{s,j}$: probabilità che le case sparse siano servite da metano per la provincia *j-esima*.

In conclusione la domanda agro-energetica potenziale può essere calcolata ricalibrando il fabbisogno energetico a scala comunale come riportato di seguito (11):

$$D_{i,j} = [F_{ca,i,j} * (1 - p_ca_{s,j})] + [F_{na,i,j} * (1 - p_na_{s,j})] + [F_{cs,i,j} * (1 - p_cs_{s,j})] \quad (11)$$

con:

– $D_{i,j}$: domanda potenziale di agro-energie per il comune *i-esimo* nella provincia *j-esima* [GJ].

Infine, per permettere una miglior spazializzazione dei dati (ai fini della regionalizzazione) ed ottenere indici statistici di correlazione con un maggior grado di sensitività, gli indicatori implementati nell'analisi sono stati calcolati come percentuale di fabbisogno energetico per ogni morfologia insediativa ($\%F_{ca,i,j}$, $\%F_{na,i,j}$ e $\%F_{cs,i,j}$), rispetto al fabbisogno di agro-energie totale, in formula (12, 13 e 14):

$$\%F_{ca,i,j} = \frac{F_{ca,i,j} * (1 - p_{ca_{s,j}})}{[F_{ca,i,j} * (1 - p_{ca_{s,j}})] + [F_{na,i,j} * (1 - p_{na_{s,j}})] + [F_{cs,i,j} * (1 - p_{cs_{s,j}})]} \quad (12)$$

$$\%F_{na,i,j} = \frac{F_{na,i,j} * (1 - p_{na_{s,j}})}{[F_{ca,i,j} * (1 - p_{ca_{s,j}})] + [F_{na,i,j} * (1 - p_{na_{s,j}})] + [F_{cs,i,j} * (1 - p_{cs_{s,j}})]} \quad (13)$$

$$\%F_{cs,i,j} = \frac{F_{cs,i,j} * (1 - p_{cs_{s,j}})}{[F_{ca,i,j} * (1 - p_{ca_{s,j}})] + [F_{na,i,j} * (1 - p_{na_{s,j}})] + [F_{cs,i,j} * (1 - p_{cs_{s,j}})]} \quad (14)$$

2.2. Offerta potenziale di biomasse agro-forestali

2.2.1. Descrizione degli indicatori

La predisposizione potenziale di un comune per quanto riguarda la possibilità di approvvigionamento di materiale agro-energetico è stata definita attraverso l'elaborazione di due tipologie di indici: da un lato la percentuale di superficie agro-forestale comunale e dall'altro l'offerta potenziale di biomasse lignocellulosiche. In particolare quest'ultima è stata valutata con una stima dei residui agrari e forestali impiegabili a scopo energetico, derivanti dagli scarti delle normali pratiche produttive attualmente operate nel contesto regionale. È stata inoltre considerata una parte di superficie agricola (ricadente in seminativi non ir-

rigui) potenzialmente idonea all'introduzione di colture dedicate (erbacee e Short Rotation Forestry – SRF).

2.2.2. Metodologia di calcolo

La percentuale di superficie agro-forestale di ogni singolo comune della Toscana, è stata suddivisa in tre indicatori, calcolati come da formule seguenti (15, 16 e 17):

$$\%S_{,i} = S_{,i} / S_{tot,i} * 100 \quad (15)$$

$$\%L_{,i} = S_{l,i} / S_{tot,i} * 100 \quad (16)$$

$$\%F_{,i} = S_{f,i} / S_{tot,i} * 100 \quad (17)$$

con:

- $\%S_{,i}$: percentuale di aree a seminativi per il comune *i-esimo*;
- $\%L_{,i}$: percentuale di aree a colture legnose agrarie per il comune *i-esimo*;
- $\%F_{,i}$: percentuale di aree forestali per il comune *i-esimo*;
- $S_{s,i}$: superficie a seminativi non irrigui (codice 211 da cartografia Corine Land Cover – CLC III° livello) nel comune *i-esimo* [ha];
- $S_{l,i}$: superficie a colture legnose agrarie (codice 221, 222, 223 da cartografia CLC III° livello) nel comune *i-esimo* [ha];
- $S_{f,i}$: superficie forestale (codice 311, 312, 313 da cartografia CLC III° livello) nel comune *i-esimo* [ha];
- $S_{tot,i}$: superficie totale comunale del comune *i-esimo* [ha].

L'offerta agraria e quella forestale sono state valutate in funzione del lavoro sviluppato per il contesto regionale toscano all'interno del Progetto: "Bacini agroenergetici: stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana" (AA.VV., 2009a). Relativamente all'offerta agraria la stima delle potenzialità produttive è stata effettuata sulla base della biomassa derivante sia da colture legnose, che erbacee. Per le prime sono stati calcolati gli scarti delle potature di vite, olivo, fruttiferi e la disponibilità di materiale proveniente da impianti di SRF di pioppo. Nel caso delle colture erbacee, invece, l'analisi ha previsto la quantificazione della biomassa potenziale (non attualmente prelevata) derivante dalla coltivazione dedicata di canna comune, miscanto, sorgo, cardo e dal reimpiego degli scarti della mietitura di cereali (paglia).

Tali valutazioni sono state implementate sia in considerazione dell'attuale uso del suolo (ad es. considerando le superfici a vite, olivo e fruttiferi), sia grazie all'elaborazione di cartografie che esprimono la vocazione alla coltivazione, e quindi introduzione, delle colture dedicate su superfici a seminativi, in funzione di particolari vincoli di carattere tecnico e politico.

Il calcolo dell'offerta energetica del comparto agricolo non tiene conto, tuttavia, di nessun vincolo economico-logistico, relativo alla creazione ex-novo della filiera agro-energetica. L'introduzione di questi vincoli può comportare una riduzione del potenziale produttivo espresso nella Tabella 2.

L'offerta forestale considera, invece, i quantitativi di legna da ardere ricavabile dalle aree boscate regionali. La valutazione è stata definita attraverso l'analisi delle attuali tecniche selvicolturali e di utilizzazione praticate in Toscana, dei costi di produzione del materiale legnoso e dei prezzi di mercato dello stesso. È stata inoltre introdotta l'ipotesi di affiancare alla produzione di assortimenti tradizionali quella di cippato derivante dagli scarti delle utilizzazioni ed impiegabile a scopo energetico. L'intera analisi ha tenuto dunque in considerazione sia parametri di natura tecnico-logistica (modalità di lavoro in bosco, tipologia di mezzi di trasporto, distanza dai centri di utilizzo e/o stoccaggio del materiale legnoso ecc.), che economica (espressa dal valore di macchiatico dei soprassuoli forestali)⁴.

In definitiva, l'offerta totale (espressa come quantitativo di energia potenziale annua) è stata calcolata come somma di quella agraria e forestale ed aggregata a livello comunale; per ogni comune, infine, l'indicatore elaborato è rappresentato dal quantitativo di energia disponibile in funzione della superficie produttiva, ovvero (18):

$$O_{tot,i} = \frac{(O_{a,i} + O_{f,i})}{(S_{c,i} + S_{l,i} + S_{f,i})} \quad (18)$$

⁴ Per un approfondimento relativo alla quantificazione della biomassa agro-energetica definita per i settori agrario e forestale, AA.VV., 2009.

con:

- $O_{tot,i}$: offerta agro-energetica totale per il comune *i-esimo* rapportata alla superficie potenzialmente produttiva [GJ];
- $O_{a,i}$: offerta agraria per il comune *i-esimo* [GJ];
- $O_{f,i}$: offerta forestale per il comune *i-esimo* [GJ].

2.3. Caratteristiche socio-economiche e ambientali

2.3.1. Descrizione e calcolo dell'indicatore ambientale

2.3.1.1. Emissioni di CO₂ evitate

Le biomasse agroforestali sono generalmente riconosciute come una fonte energetica a ridotta emissione di CO₂ rispetto a fonti fossili (le emissioni possono considerarsi nulle se l'analisi valuta esclusivamente il ciclo accrescimento-combustione della pianta); per questo la realizzazione di distretti e ambiti, nonché lo sviluppo di filiere agro-energetiche corte, tendenzialmente non può che avere ricadute positive sulla qualità ambientale dei contesti analizzati.

La valutazione dei benefici derivanti dalla realizzazione di una filiera agro-energetica in termini ambientali, è stata introdotta attraverso la quantificazione delle emissioni di anidride carbonica evitate. In pratica il calcolo della CO₂ risparmiata è avvenuto tramite la correlazione con il fabbisogno energetico totale (REGIONE PIEMONTE, 1997). Infine, per permettere un confronto tra comuni di diversa estensione, il quantitativo di CO₂ evitata è stato rapportato alla superficie comunale.

2.3.2. Descrizione e calcolo degli indicatori socio-economici

2.3.2.1. Marketing territoriale

Il radicamento, sociale e territoriale, di iniziative che riguardano l'incentivazione e lo sviluppo di filiere energetiche sostenibili, accompagnato da una crescente consapevolezza e curiosità riguardo i temi dell'ambiente e del risparmio energetico, porta in alcuni casi a nuove forme di turismo. Ne è un esempio interessante l'esperienza della cittadina di Gussing in Austria.

Il modello "Gussing" riesce ad attirare, in questa piccola cittadina, quasi 400 persone ogni settimana, proponendo un'offerta di *Green Energy Tourism*, che attraverso la visita agli impianti realizzati e le iniziative dimostrative che la comunità organizza, è divenuta una fonte economica alternativa di rilevante importanza per tutta la regione.

È evidente come, in una realtà storico-culturale e paesaggistica, come quella della regione Toscana, l'inserimento nel circuito turistico di iniziative di questo genere possa essere, oltre che più facile da un punto di vista infrastrutturale e logistico, anche un ulteriore fattore qualificante dell'offerta turistica proposta.

Questo indicatore esprime il numero di posti letto medi a livello comunale, presenti in aziende agrituristiche (ISTAT, 2000). Un valore alto di tale variabile indica una potenziale maggior propensione del territorio di riferimento, alla creazione di filiere agro-energetiche, grazie alla possibilità di realizzare operazioni di marketing aziendale effettuate ad esempio con l'utilizzo di biocombustibili all'interno degli agriturismi (residui legnosi, olio vegetale ecc.).

2.3.2.2. Qualità colturale

Nell'ambito della pianificazione agro-energetica un tema ricorrente e importante nella strutturazione delle filiere è quello del conflitto tra le bioenergie e le colture alimentari in genere. Gli effetti e le dinamiche riguardanti le interazioni tra le produzioni agricole per scopi alimentari e quelle per scopi energetici necessitano di un approfondito studio per delineare politiche, e strategie, appropriate. Uno sviluppo sregolato e non pianificato, su larga scala, di bioenergie, infatti, può portare a un aumento dei prezzi dei prodotti agricoli, contribuendo a modificare gli equilibri di mercato per certe categorie di prodotti.

Questo parametro serve a valutare il conflitto che può venire a crearsi, in presenza di colture di particolare qualità, tra settore agro-energetico e agro-alimentare.

Nello specifico, l'indicatore sviluppato, esprime la percentuale della superficie comunale a seminativo sottoposta a disciplinare di

qualità rispetto alla superficie totale a seminativo (ISTAT, 2000).

2.3.2.3. Impatto sull'attuale ordinamento colturale

La definizione di aree idonee alla realizzazione di una filiera corta energetica basata sull'utilizzo di biomasse di origine agro-forestale, non è sufficiente al fine di determinare i possibili impatti (positivi o negativi) che questo nuovo mercato può comportare a scala locale o regionale sugli attuali ordinamenti produttivi del settore agro-alimentare. Risulta infatti necessario definire le caratteristiche agronomiche dei singoli ambiti territoriali analizzati e l'importanza che alcune specificità colturali possono rivestire per l'intero settore primario regionale.

Al fine di quantificare il peso che un particolare tipo di coltivazione ricopre a livello comunale, sulla base dei dati relativi al V Censimento sull'Agricoltura (ISTAT, 2000), ne è stato elaborato l'Indice di Specializzazione (IS). Le piantagioni considerate sono quelle che verosimilmente possono presentare un conflitto con le colture energetiche agrarie, essendo coltivate su seminativi non irrigui; queste sono state identificate con:

- cereali;
- leguminose;
- fiori e piante ornamentali;
- vivai;
- colture orticole;
- foraggiere;
- patate;
- sementi;
- barbabietola da zucchero.

Nello specifico l'Indice di Specializzazione ($IS_{c,i}$) per ogni singola coltura c nel comune i è calcolato nel modo seguente (19):

$$IS_{c,i} = \frac{S_{c,i} / S_{s,i}}{\sum_{i=1}^n S_{c,i} / \sum_{i=1}^n S_{s,i}} \quad (19)$$

con:

- $S_{c,i}$: superficie della coltura c nel comune i -esimo;
- $S_{s,i}$: superficie a seminativi non irrigui nel comune i -esimo;
- n : comuni della regione Toscana.

Una volta calcolato l'Indice di Specializzazione per ognuna delle colture precedentemente elencate, è stato possibile definire l'indicatore da inserire nell'operazione di regionalizzazione, espresso dal valore massimo di IS presente a livello comunale ($IS_{MAX,i}$), ovvero (20):

$$IS_{MAX,i} = \text{MAX} (IS_{cereali,i}, IS_{fiori,i}, IS_{patate,i}, IS_{sementi,i}, IS_{barbab,i}, IS_{foraggiere,i}, IS_{ortive,i}, IS_{legum,i}, IS_{vivai,i}) \quad (20)$$

2.3.2.4. Valore aggiunto per le imprese di utilizzazione forestale

Questo indicatore valuta, a livello comunale, l'Indice di Specializzazione per il comparto delle imprese di utilizzazione forestale.

Considerando che l'IS esprime l'importanza che un determinato settore riveste in un particolare contesto territoriale rispetto alla realtà regionale, allora, in questo caso, maggiore sarà tale indice e maggiori potranno essere sia il valore aggiunto dei prodotti legnosi tradizionali, sia l'indotto sul mercato locale, grazie alla creazione di nuovi filoni di mercato legati alla vendita di cippato di legno derivante dagli scarti delle utilizzazioni boschive.

In base ai dati relativi al Censimento Industria e Servizi del 2001 (ISTAT, 2001), per ogni comune i è stato calcolato il suddetto IS ($IS_{selv,i}$) come da formula seguente (21):

$$IS_{selv,i} = \frac{A_{selv,i} / A_{tot,i}}{\sum_{i=1}^n A_{selv,i} / \sum_{i=1}^n A_{tot,i}} \quad (21)$$

con:

- $A_{selv,i}$: numero di addetti impiegati nel settore selvicolturale per il comune i -esimo;
- $A_{tot,i}$: numero di addetti totali per il comune i -esimo;
- n : comuni della regione Toscana.

2.3.2.5. Valore aggiunto per le imprese agrarie

Calcolato in modo simile al precedente, questo indicatore valuta a livello comunale l'Indice di Specializzazione per il comparto delle imprese agrarie ($IS_{agr,i}$) (ISTAT, 2001). Valori alti di tale indice possono esprimere

una buona potenzialità di valorizzazione dei prodotti agro-energetici complementari ai tradizionali. La quantificazione dell'IS è stata così effettuata (22):

$$IS_{agr,i} = \frac{A_{agr,i} / A_{tot,i}}{\sum_{i=1}^n A_{agr,i} / \sum_{i=1}^n A_{tot,i}} \quad (22)$$

con:

- $A_{agr,i}$: numero di addetti impiegati nel settore agrario per il comune i -esimo;
- $A_{tot,i}$: numero di addetti totali per il comune i -esimo;
- n : comuni della regione Toscana.

2.3.2.6. Possibilità di trasferimento di conoscenze

Uno dei principali fattori da tenere in considerazione quanto si mira all'inserimento e/o all'implementazione di filiere agro-energetiche, è quello di una corretta informazione degli *stakeholders* locali per ogni processo di lavorazione dei biocombustibili (dall'approvvigionamento all'utilizzo finale come fonte energetica).

Una corretta conoscenza delle variabili tecnico-logistiche, economiche e politiche può infatti favorire il coinvolgimento di Enti pubblici e privati cittadini nel processo decisionale, facilitando l'iter di realizzazione di impianti a biomassa. Come emerge in modo evidente da particolari contesti territoriali (es. nord Italia, centro-nord Europa, ecc.), la presenza di impianti a biomassa o l'utilizzo di fonti di energia alternative già consolidato da diversi anni, permette un trasferimento di conoscenze ad altre aree o soggetti interessati grazie all'esperienza raggiunta in tale settore.

Per questo motivo si è ritenuto importante inserire nell'analisi un indicatore che valutasse, per ogni singolo comune, la possibilità di acquisire conoscenze sul settore agro-energetico in base ad esperienze già realizzate e ad esso vicine territorialmente. Nello specifico quest'ultimo indice ($TC_{,i}$) è stato così calcolato (23):

$$TC_{,i} = \frac{n_i + V_i}{2} \quad (23)$$

con:

- n_i : numero di impianti a biomassa già presenti o attualmente finanziati (AA.VV., 2009a) per il comune i -esimo (valore normalizzato nel *range* 1-0 sul massimo regionale);
- V_i : minima distanza del comune i -esimo da altri comuni con impianti a biomassa (valore normalizzato nel *range* 1-0 sul minimo regionale).

3. REGIONALIZZAZIONE

3.1. Il modello SKATER

I metodi di regionalizzazione esistenti in letteratura possono essere classificati in quattro gruppi: *i*) metodi euristici recursivi, basati su processi *trial and error*, (OPENSHAW, 1977; OPENSHAW e RAO, 1995), *ii*) metodi di *clustering* statistico non geografico seguito da procedure di *accorpamento* geografico a posteriori (generalizzazione spaziale) (FOVELL e FOVELL,

1993; HAINING *et al.*, 1994), *iii*) metodi di *clustering* statistico non geografico con l'introduzione di uno o più parametri di vicinanza fra i dati (SPENCE, 1968; HAGGETT *et al.*, 1977; OLIVER e WEBSTER, 1989; WISE *et al.*, 1997) e *iv*) metodi di *clustering* vincolati spazialmente (ASSUNÇÃO *et al.*, 2006; MU E WANG, 2008; GUO, 2008).

Nel nostro modello di individuazione dei distretti agro-energetici la procedura scelta è denominata SKATER (*Spatial 'K'luster Analysis by Tree Edge Removal*) (ASSUNÇÃO *et al.*, 2006), e fa riferimento a metodi di *clustering* vincolati spazialmente.

Questa metodologia impiega il concetto di grafo di connettività per identificare le condizioni di adiacenza spaziale fra oggetti. In questo tipo di grafo ogni oggetto è associato a un vertice (per esempio il centroide di un poligono) ed è collegato con un ramo agli oggetti confinanti (Figura 1).

Il costo di transizione associato a ogni ramo

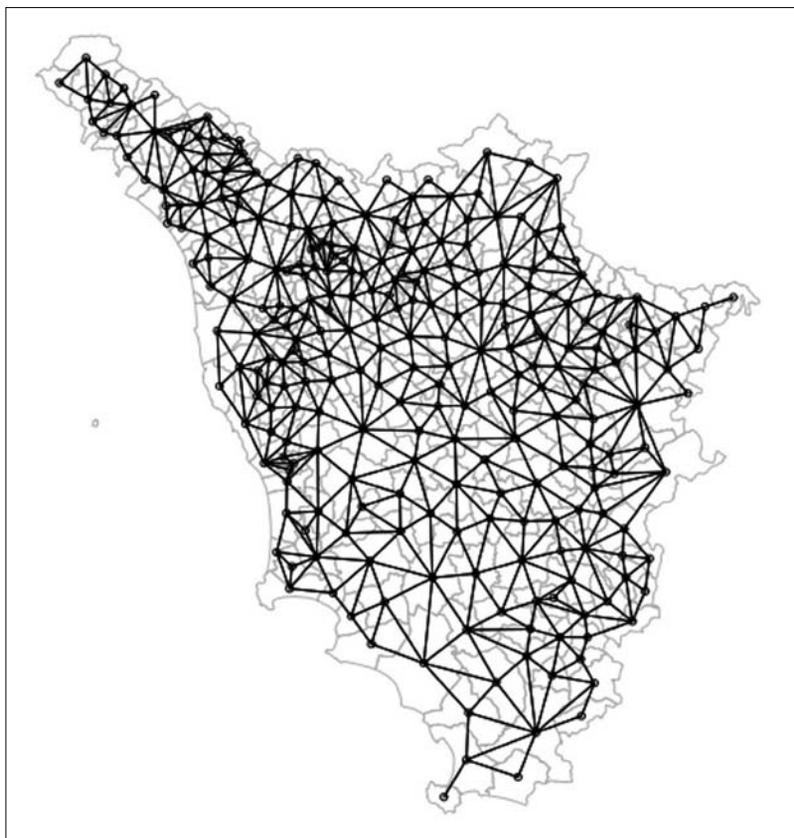


Figura 1 – Esempio di grafo di connettività.

è proporzionale alla similarità/dissimilarità fra i due oggetti, misurata sulla base dell'insieme degli attributi associati a ogni coppia di oggetti (ASSUNÇÃO *et al.*, 2006).

Per poter però considerare i rapporti di connettività basati non su di una sola caratteristica, ma su più variabili, il modello SKATER associa a ogni collegamento un indice di similarità/dissimilarità basato sul concetto di distanza multidimensionale pesata (GUO, 2008). La diversità fra due oggetti connessi è espressa, in altre parole, come il costo che si deve pagare per muoversi da un oggetto all'altro; il risultato dell'operazione eseguita dal modello è detto *Minimum Spanning Tree* (MST) e rappresenta il percorso con il minor costo di attraversamento, vale a dire quello caratterizzato dalla minor diversità possibile (Figura 2a).

Eliminando, successivamente, i rami residui a più alta dissimilarità, si ottengono infine oggetti separati (*cluster geografici*) caratterizzati dalla maggior omogeneità interna possibile e dalla più alta eterogeneità fra gli agglomerati ottenuti (Figura 2b).

3.2. Risultati del processo di regionalizzazione

Il metodo SKATER consente di specificare il numero desiderato di *cluster* e la loro dimensione minima espressa da una particolare

variabile (ad es. l'offerta energetica totale data dalla somma dell'offerta dei singoli comuni appartenenti al *cluster*).

Nel nostro modello è stato impostato un vincolo di 1.000.000 GJ/anno, che rappresenta l'offerta agro-energetica minimale per ciascun cluster individuabile. Tale soglia permette di stimare (in base alla zona di realizzazione, alla tipologia di impianto a biomassa, all'utenza finale, ecc.) una potenza minima installabile per ogni ambito, di circa 500 kW – 1 MW, favorendo dunque interventi mirati ed a piccola scala.

Il risultato del processo di regionalizzazione è il riconoscimento di 19 potenziali Distretti Agro-Energetici (Figura 3).

Il risultato ottenuto consente una prima valutazione sulle potenzialità agro-energetiche dei distretti individuati. In Tabella 2 sono riportati i dati, per ciascuno distretto, relativi al fabbisogno agro-energetico potenziale (al netto dei consumi di gas metano, come calcolato nel paragrafo 2.1.2.) e all'offerta agro-energetica potenziale, distinta in comparto forestale (residui della lavorazione del bosco e legna da ardere) e agricolo (residui di colture legnose e colture erbacee dedicate). Analizzando alcuni dati si può evidenziare come i fabbisogni più alti, relativi ai centri abitati, si riscontrino, come atteso, nei distretti D15, D10 e D4, che corrispondono

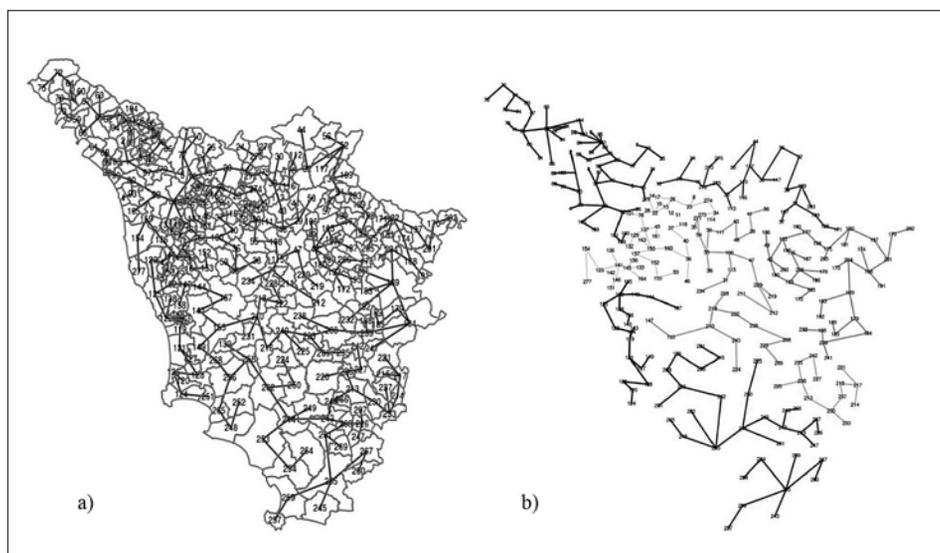


Figura 2 – a) Esempio di MST; b) Esempio di clusterizzazione del MST.

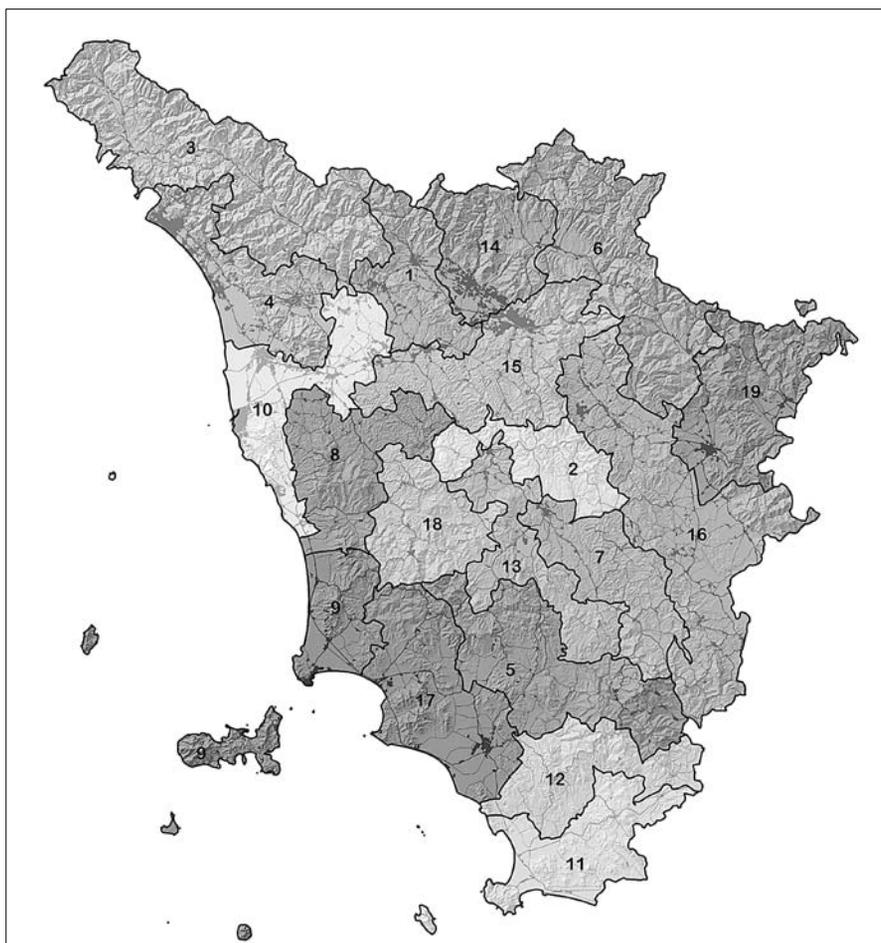


Figura 3 – I 19 Distretti Agro-Energetici toscani.

a quelli in cui più alta è la densità urbana (rispettivamente l'area fiorentina, l'area pisano-livornese e quella della lucchesia e della Versilia). Il rapporto tra fabbisogno agro-energetico totale e quello relativo a ciascuna morfologia insediativa (Grafico 1), ci consente di evidenziare, invece, come più rilevante sia la domanda energetica per le case sparse nei distretti D8 (50%) e D18 (53%), che corrispondono alle aree delle colline pisane della Val d'Era e della Val di Cecina, effettivamente caratterizzate da una morfologia insediativa rarefatta e diffusa sul territorio e dall'assenza di importanti centri abitati. Riguardo l'offerta di agro-energie possiamo notare come quella di origine forestale risulti più alta nei distretti D16, D6 e D3 (il distretto D6 corrisponde all'area della Monta-

gna Fiorentina e del Casentino, il distretto D3 a quella della Lunigiana-Garfagnana), mentre quella di origine agricola sia particolarmente elevata in quelle zone caratterizzate da una forte diffusione di colture arboree specializzate e seminativi (D7, D15 e D16), corrispondenti alle aree del Chianti, delle Crete Senesi, della Val d'Orcia e della Valdichiana. Analizzando, infine, il Grafico 2, riassuntivo dei dati relativi al fabbisogno totale e all'offerta per comparto, è possibile constatare come alcuni distretti (D2, D8 e D18), espressione soprattutto delle aree più rurali e meno densamente popolate della Toscana (la Val di Cecina, il Chianti senese e la Val di Merse), presentino un'esigenza agro-energetica addirittura inferiore rispetto all'offerta potenziale di agro-energie.

Tabella 2 – Domanda e offerta agro-energetica potenziali per distretto.

	Fabb. agro-energ. potenziale centri abitati (GJ/anno)	Fabb. agro-energ. potenziale nuclei abitati (GJ/anno)	Fabb. agro-energ. potenziale case sparse (GJ/anno)	Offerta agro-energ. potenziale comparto forestale (GJ/anno)	Offerta agro-energ. potenziale resi. colture agr. legnose (GJ/anno)	Offerta agro-energ. potenziale res. colture agr. erbacee (GJ/anno)	Offerta agro-energ. potenziale totale (GJ/anno)
D1	1.250.675	327.645	688.425	427.051	79.809	638.956	1.145.816
D2	191.553	102.498	186.957	652.672	202.501	284.763	1.139.936
D3	1.070.111	432.345	587.649	1.114.089	24.395	112.644	1.251.127
D4	2.591.460	117.162	368.563	277.841	319.503	441.654	1.038.998
D5	687.933	70.052	218.129	924.574	474.812	555.101	1.954.488
D6	589.100	159.029	381.497	1.211.590	156.559	236.394	1.604.543
D7	760.337	86.344	178.732	287.816	786.584	915.054	1.989.454
D8	156.185	105.079	263.899	598.814	532.393	675.719	1.806.927
D9	639.874	82.504	161.890	358.298	266.752	523.571	1.148.622
D10	2.597.747	258.555	603.065	326.871	453.547	681.507	1.461.925
D11	451.765	19.824	177.276	547.300	523.684	652.050	1.723.033
D12	158.953	33.717	142.744	304.926	361.266	432.155	1.098.347
D13	524.688	112.533	169.827	688.254	347.934	607.139	1.643.327
D14	1.748.619	138.946	301.235	602.935	261.793	318.641	1.183.369
D15	3.407.689	293.941	1.015.764	742.962	272.892	925.308	1.941.162
D16	1.973.819	453.735	1.149.266	1.446.222	1.053.172	1.512.193	4.011.587
D17	1.408.050	38.144	234.060	670.648	694.446	781.311	2.146.404
D18	93.134	26.551	135.264	446.378	265.214	312.565	1.024.156
D19	1.207.965	166.629	391.517	917.638	253.872	329.394	1.500.905
Totale	21.509.656	3.025.235	7.355.761	12.546.881	7.331.126	10.936.119	30.814.126

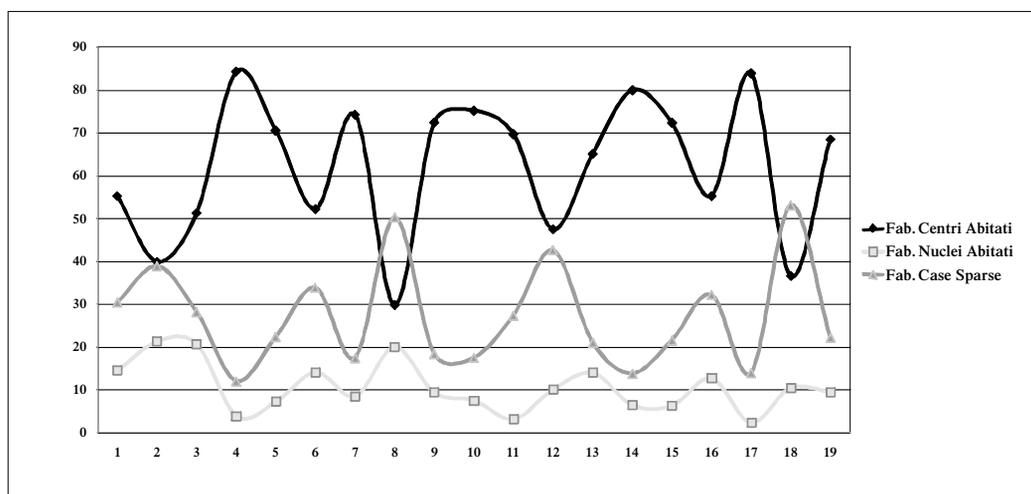


Grafico 1 – Rapporto tra fabbisogno agro-energetico totale e quello relativo a ciascuna morfologia insediativa.

4. CONCLUSIONI

L'individuazione di unità territoriali omogenee attraverso modelli di *clustering* spaziale fornisce un interessante strumento per la definizione di ambiti agro-energetici. I risultati evidenziano come i potenziali distretti

individuati siano contraddistinti da una forte connotazione territoriale e da un relativo equilibrio tra i caratteri fisici e i parametri di sostenibilità economico/ambientale propri della filiera agro-energetica.

La suddivisione del contesto regionale in distretti, o ambiti, risulta molto importante

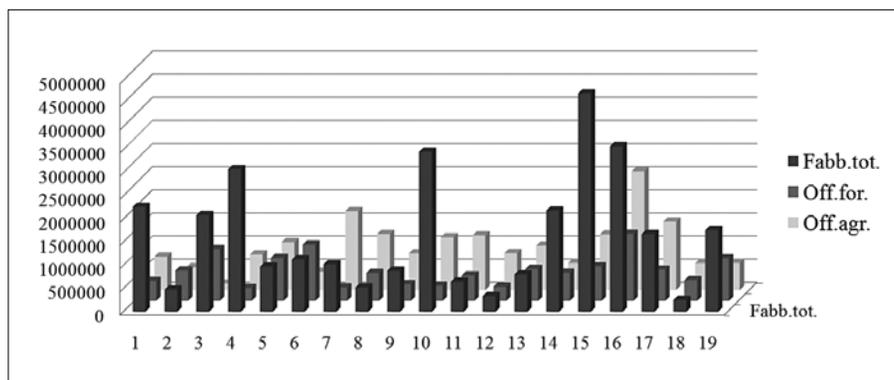


Grafico 2 – Rapporto tra fabbisogno agro-energetico totale e offerta agro-energetica per comparto.

nella delineazione di azioni di pianificazione integrata, riuscendo a fornire, attraverso una valutazione a scala territoriale delle potenzialità e delle criticità energetiche, uno strumento utile per la programmazione degli interventi progettuali e gestionali della filiera biomasse-energia.

L'impostazione di una gestione distrettuale della pianificazione agro-energetica può rappresentare una base di partenza per le amministrazioni regionali, al fine di una programmazione di politiche efficienti e sostenibili di gestione delle risorse. Sono necessari, tuttavia, ulteriori sforzi che dovrebbero concentrarsi nelle seguenti direzioni: *i*) individuazione di una scala intermedia di pianificazione, che risulti attuativa delle strategie e degli indirizzi indicati dalla Regione, *ii*) individuazione di unità territoriali per la gestione operativa e progettuale della filiera agro-energetica, *iii*) strutturazione di una logistica della filiera biomasse-energia funzionale alle potenzialità dei contesti individuati, che consenta di organizzare una distribuzione e una commercializzazione delle biomasse, ovviando al problema dell'approvvigionamento sul territorio attraverso la creazione, ad esempio, di piattaforme agro-energetiche localmente diffuse.

È infine interessante sottolineare come questo modello, impostato su un'analisi econometrica e spaziale, risulti facilmente replicabile anche in altri contesti regionali nazionali. In presenza di adeguate stime di domanda e offerta agro-energetica (come nel caso della Regione Toscana), il modello di regionalizza-

zione può essere infatti implementato a partire da strati informativi facilmente reperibili, aggiornabili e caratterizzati da una comune base metodologica di rilievo (dati ISTAT, come Censimento Agricoltura e Censimento Industria e Servizi), praticamente in tutte le altre regioni a livello nazionale.

SUMMARY

Agro-energy districts planning. An analysis model for the Tuscany Region

European directives on energy policy promote the use of renewable resources as an alternative to traditional fossil fuels. Part of the current energy demand can be satisfied through the transformation of agro-forestry biomass sources. However, this process requires careful analysis of the resources in order to ensure the realization of sustainable local supply chains. The identification of agro-energy districts seems to be a useful first step to proper regional planning. In this framework it is very important to define techniques for the identification of homogeneous agro-energy areas.

The first result of this work was the creation of an indicator set (economic, social and environmental) to assess the agro-energy vocation of the regional context. This identification was preparatory to the choice of a regionalization model, which allows a correct and consistent use of indicator sets. According to the result of this model, it is possible to define potential districts based both on their agro-energy supply/demand ratio and socio-economic and environmental characteristics.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., 2009 – *Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana*. Manuale ARSLA, Press Service srl, Sesto Fiorentino, Firenze.
- ANGAYARKKANI K., RADHAKRISHNAN N., 2009 – *Efficient forest fire detection system: a spatial data mining and*

- image processing based approach*. International Journal of Computer Science and Network Security, 9 (3): 100-107.
- ANSELIN, L., 1988 – *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- ASSUNÇÃO R.M., NEVES M.C., CÂMARA G., DA COSTA FREITAS C., 2006 – *Efficient regionalization techniques for socio-economic geographical units using minimum spanning trees*. Taylor & Francis Group, International Journal of Geographical Information Science, 20 (7): 797-811.
- ATZENI S., DETTORI B., USAI S., 2004 – *L'econometria per le indagini territoriali. Appunti metodologici e un'applicazione alla Sardegna*. Quaderni di lavoro 2004/1, CUEC, Cagliari.
- BANDINI M., 1974 – *Tendenze delle strutture agrarie*. In: "Società Italiana degli Economisti. La dimensione d'impresa nell'economia contemporanea. Atti della IX Riunione Scientifica, Roma 1968", Giuffrè, Milano, p. 102.
- BECATTINI G. (a cura di), 1987 – *Mercato e Forze locali: il distretto industriale*. Il Mulino, Bologna.
- BECATTINI G., 2000 – *Distrettualità fra industria e agricoltura*. La Questione Agraria, 2: 11-4.
- BEHNISCH M., ULTSCH A., 2009 – *Urban data-mining: spatiotemporal exploration of multidimensional data*. Building Research & Information, 37 (5-6), 20-32.
- BELLETTI G., MARESCOTTI A., 2010 – *Il distretto rurale*. In: Pacciani A., Toccaceli D. (a cura di), "Le nuove frontiere dello sviluppo rurale: l'agricoltura grossetana tra filiere e territorio", Franco Angeli, Milano, p. 170-184.
- BERNETTI I., FAGARAZZI C. (a cura di), 2008 – *Valutazione della domanda di biocombustibili solidi (legno cippato) nell'area dell'Appennino Pistoiese*. Centro Editoriale Toscano, Firenze.
- BENASSI F., FERRARA R., 2010 – *Regionalization with dynamically constrained agglomerative clustering and partitioning. An application on spatial segregation of foreign population in Italy at regional level*. Atti del 45th Scientific Meeting of the Italian Statistical Society, Padova.
- BENASSI F., BOCCI C., PETRUCCI A., 2010 – *Spatial data mining for clustering: from the literature review to an application using RedCap*. Working paper 2010/2011, Università degli Studi di Firenze.
- CARERI P., GULISANO G., PLATANIA M., 2008 – *Considerazioni teoriche sui distretti in agricoltura*. In Gulisano G., Marciàno C. (a cura di): «I distretti rurali in Calabria aspetti teorici, metodologici ed applicativi», Kalit, Reggio di Calabria, p. 21-34.
- CARROSIO G. (a cura di), 2009 – *I distretti rurali delle energie rinnovabili e la produzione locale di energia. Rapporto di ricerca*. Equal Energia Solidale, Padova.
- CECCHI C., 1992 – *Per una definizione di distretto agricolo e distretto agroindustriale*. La Questione Agraria, 46: 81-107.
- DEI OTTATI G., 1990 – *L'agricoltura nel distretto pratese: da sostegno dello sviluppo industriale ad attività di consumo*. La Questione Agraria, 38: 113-146.
- DRIGO R., CHIRICI G., LASSERRE B., MARCHETTI M., 2007 – *Analisi su base geografica della domanda e dell'offerta di combustibili legnosi in Italia*. Accademia Italiana di Scienze Forestali, L'Italia Forestale e Montana, 5 (3): 303-324. doi:10.4129/IFM.2007.5-6.01
- FOVELL R.G., FOVELL M.Y.C., 1993 – *Climate zones of the conterminous United States defined using cluster analysis*. Journal of Climate, 6: 2103-2135. doi:10.1175/1520-0442(1993)006<2103:CZOTCU>2.0.CO;2
- GAROFOLI G., MAZZONI R. (a cura di), 1994 – *Sistemi produttivi territoriali: struttura e trasformazione*. Franco Angeli, Milano.
- GIRALDO R., DELICADO P., COMAS C., MATEU J., 2009 – *Hierarchical clustering of spatially correlated functional data*. Technical Report. Disponibile su: <http://www.ciencias.unal.edu.co/estadistica/reporte02.pdf>.
- GUALERZI D., 2006 – *Distretti industriali: identità, sviluppo su base territoriale e analisi regionale*. Studi e note di economia, 6: 25-48.
- GUO D., 2008 – *Regionalization with dynamically constrained agglomerative clustering and partitioning (REDCAP)*. Taylor & Francis Group, International Journal of Geographical Information Science, 22, (7): 801-823. doi:10.1080/13658810701674970
- HAGGET P., CLIFF A.D., FREY A., 1977 – *Locational Analysis in Human Geography*. Edward Arnold, London.
- HAINING R.P., WISE S.M., BLAKE M., 1994 – *Constructing regions for small area analysis: material deprivation and colorectal cancer*. Journal of Public Health Medicine, 16: 429-438.
- HARGROVE W.W., HOFFMAN F.M., 2004 – *Potential of multivariate quantitative methods for delineation and visualization of ecoregions*. Environmental Management, 34: 39-60. doi:10.1007/s00267-003-1084-0
- HANDCOCK R., CSILLAG F., 2004 – *Spatio-temporal analysis using a multiscale hierarchical ecoregionalization*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 70: 101-110.
- HENDERSON B., 2006 – *Exploring between site in water quality trends: a functional data analysis approach*. Environmetrics, 17: 65-80. doi:10.1002/env.750
- IACOPONI L., 1990 – *Distretto industriale marsigliano e forme di organizzazione delle imprese in agricoltura*. Rivista di Economia Agraria, 4: 711-744.
- ISTAT, 2000 – *V Censimento generale dell'Agricoltura*. Disponibile su: <http://www.istat.it>
- ISTAT, 2001 – *VIII Censimento sull'Industria e i Servizi*. Disponibile su: <http://www.istat.it>
- ISTAT, 2008 – *Bilancio demografico 2008*. Disponibile su: <http://www.istat.it>
- JIN H., GUO D., 2009 – *Understanding Climate Change Patterns with Multivariate Geovisualization*. Proceedings of the International Conference on Data Mining Workshops, IEEE Press, p. 217-222.
- LONG J., NELSON T., WULDER M., 2010 – *Regionalization of Landscape Pattern Indices Using Multivariate Cluster Analysis*. Environmental Management, 46: 134-142. doi:10.1007/s00267-010-9510-6
- MARSHALL A., 1890 – *Principles of Economics*. MacMillan, London.
- MASERA O., GHILARDI A., DRIGO R., TROSSERO M.A., 2006 – *WISDOM: A GIS-based supply demand mapping tool for woodfuel management*. Biomass and Bioenergy, 30: 618-637. doi:10.1016/j.biombioe.2006.01.006

- MU L., WANG F., 2008 – *A scale-space clustering method: Mitigating the effect of scale in the analysis of zone-based data*. *Annals of the Association of American Geographers*, 98: 85-101. doi:10.1080/00045600701734224
- OLIVER M.A., WEBSTER R., 1989 – *A geostatistical basis for spatial weighting in multivariate classification*. *Mathematical Geology*, 21: 15-35. doi:10.1007/BF00897238
- OPENSHAW S., 1977 – *A geographical solution to scale and aggregation problems in region building, partitioning and spatial modeling*. *Transactions of the Institute of British Geographers (New Series)*, 2: 459-472. doi:10.2307/622300
- OPENSHAW S., RAO L., 1995 – *Algorithms for reengineering 1991 census geography*. *Environment & Planning A*, 27: 425-446. doi:10.1068/a270425
- OSNES K., 1999 – *Iterative random aggregation of small units using regional measures of spatial autocorrelation for cluster localization*. *Statistics in Medicine*, 18: 707-725. doi:10.1002/(SICI)1097-0258(19990330)18:6<707::AID-SIM73>3.0.CO;2-1
- PILATI L., 1996 – *I sistemi agricoli nelle interdipendenze territoriali. Una lettura stereologica*. Raisa, Edizioni Osiride, Trento.
- REGIONE PIEMONTE, 1997 – *Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera (IREA)*. Disponibile su: <http://extranet.regione.piemonte.it/ambiente/aria/emissioni/metodologia.htm>
- ROMANO E., BALZANELLA A., VERDE R., 2010 – *A new regionalization method for spatially dependent functional data based on local variogram models: an application on environmental data*. *Atti del 45th Scientific Meeting of the Italian Statistical Society, Padova*.
- SFORZI F. (a cura di), 1997 – *I sistemi locali in Italia*. 1991. ISTAT, Roma.
- SPENCE N.A., 1968 – *A multivariate uniform regionalization of British counties on the basis of employment data for 1961*. *Region Studies*, 2: 87-104. doi:10.1080/09595236800185071
- TOBLER W.R., 1969 – *Geographical filters and their inverses*. *Geographical Analysis*, 1: 234-253. doi:10.1111/j.1538-4632.1969.tb00621.x
- VAN DER PLOEG J.D., 2006 – *Oltre la modernizzazione. Processi di sviluppo rurale in Europa*. Rubbettino, Soveria Mannelli.
- WISE S.M., HAINING R.P., MA, J., 1997 – *Regionalization tools for the exploratory spatial analysis of health data*. In: Fischer M., Getis A. (a cura di), "Recent Developments in Spatial Analysis: Spatial Statistics, Behavioural Modelling and Neuro-Computing", Berlin, p. 83-100.