

Sviluppo di un Sistema Informativo Territoriale per un uso conveniente e sostenibile delle biomasse lignocellulosiche

Francesco De Luca, Giorgio Ragolini**, Enrico Bonari****

**ENEL Ingegneria e Innovazione AT-Ricerca*

***Scuola Superiore S. Anna Pisa*

****CRIBE, Centro di Ricerca Interuniversitario in Biomasse da Energia Pisa*

Sommario

La competitività della produzione di energia da biomasse, rispetto alle fonti fossili tradizionali e ad altre fonti rinnovabili, risente notevolmente dell'ottimizzazione di ciascun comparto della filiera. Il presente studio, frutto di una collaborazione tra l'Area Tecnica Ricerca di ENEL Ingegneria e Innovazione, CRIBE di Pisa e CNR-IVALSA di Firenze, ha avuto come obiettivo lo sviluppo di un Sistema Informativo Territoriale (SIT) per la stima dell'offerta di biomassa ad uso energetico in un'area geografica compresa tra le provincie toscane di Pisa, Livorno, Siena e Grosseto. Il SIT elaborato e presentato in questo lavoro mira a supportare una pianificazione d'uso conveniente e sostenibile delle risorse endogene disponibili. In particolare, su dati di base georeferenziati (distribuzione spaziale e caratterizzazione delle risorse di biomassa, rete viaria dei trasporti, valutazione dei costi delle singole operazioni, localizzazioni impianti elettrici) sono stati elaborati gli algoritmi necessari per la stima della biomassa potenzialmente utilizzabile all'interno di comprensori specifici nonché dei costi di approvvigionamento in base ad ipotesi di scenario basate sull'adozione di itinerari tecnici di produzione alternativi. Per quanto riguarda il settore delle biomasse coltivate sono stati considerati sia i residui colturali sia le colture dedicate ritenute più adatte alle condizioni ambientali dell'areale di studio (SRF di pioppo, miscanto, canna comune e sorgo da fibra), per le quali è stato svolto uno studio preliminare di caratterizzazione pedoclimatica del territorio, al fine di individuare le aree più vocate per ciascuna coltura. Relativamente al settore forestale, invece, è stata considerata la destinazione energetica industriale sia della biomassa residuale derivante dalle operazioni di taglio di fustaie e boschi cedui sia, nel caso di condizioni di mercato favorevoli, della biomassa attualmente destinata ad alcuni assortimenti principali (come ad esempio la legna da ardere nel caso di alcune tipologie di boschi gestiti a ceduo). I risultati delle elaborazioni, georeferenziati con una risoluzione spaziale pari a 10x10 m, sono presentati in forma tabellare o di mappe tematiche per il territorio oggetto di studio e riguardano la distribuzione delle aree boscate ed agricole allocabili ad ogni impianto di riferimento in funzione delle distanze su strada e del corrispondente potenziale produttivo utile a fini energetici, distinti per fasce di distanza di ampiezza pari a 20 Km.

2 Introduzione

L'approvvigionamento della biomassa, lo stoccaggio intermedio e finale, la sua conversione in biocombustibile solido, la consegna all'impianto ed infine l'utilizzo per la produzione di energia elettrica costituiscono la filiera della produzione di energia da biomassa; ogni singolo elemento di tale filiera contribuisce, in misura maggiore o minore, alla redditività complessiva dell'impresa in funzione dalla collocazione

geografica di ciascun processo. Risulta evidente che per rendere competitivo l'uso della biomassa nel settore energetico, in una determinata localizzazione, è indispensabile un'analisi economica su larga scala che si avvalga di opportuni strumenti di supporto decisionale. Fra questi spiccano, per numero ed importanza, i Sistemi Informativi Territoriali (SIT) o Sistemi Informativi Geografici che rappresentano – secondo l'Association for Geographic Information (AGI) - “*sistemi informatizzati per l'acquisizione, la memorizzazione, il controllo, l'integrazione, l'elaborazione, l'analisi e la rappresentazione di dati che sono spazialmente riferiti alla superficie terrestre, [...] si tratta di dati che possono essere raffigurati attraverso una serie di strati differenti, che contengono ognuno informazioni su determinate caratteristiche del territorio. Questi strati informativi sono organizzati in modo da poter essere esaminati direttamente o utilizzati per l'esecuzione di analisi statistiche territoriali*”.

Il SIT-GIS elaborato in questo lavoro mira a supportare una pianificazione d'uso conveniente e sostenibile delle risorse endogene disponibili nel comprensorio territoriale della geotermia in Toscana. In particolare, in collaborazione con il CRIBE di Pisa ed il CNR-IVALSA di Firenze, sono stati elaborati gli algoritmi software necessari per la stima e la caratterizzazione delle superfici agricole e forestali nell'area di studio, la stima delle rispettive quantità ritraibili e la relativa valutazione dei costi di produzione e conferimento, in base ad ipotesi di scenario di utilizzo alternative.

3 Metodologia e struttura del SIT

La metodologia adottata si basa sullo sviluppo di un Sistema Informativo Territoriale su base raster che permetta di stimare e caratterizzare gli approvvigionamenti di biomassa potenziale reperibile nei settori forestale ed agricolo di un dato territorio.

Tale Sistema è stato progettato con l'obiettivo di mantenere per tutti i tematismi considerati la più elevata risoluzione spaziale possibile, di gestire i dati ed elaborare i risultati in maniera dinamica, sfruttando livelli di aggregazione differenti per una loro migliore rappresentazione sia cartografica che tabellare. L'area di studio è collocata all'interno della Regione Toscana, tra le province di Pisa, Livorno, Grosseto e Siena. Il SIT è stato realizzato sulla ampia base informativa – disponibile per la Regione Toscana - rappresentata dalle banche dati di Uso del Suolo, dalla Cartografia Tecnica e Amministrativa Regionale, dal Modello Digitale del Terreno, dall'Inventario Forestale Toscano, dall'Inventario Forestale Nazionale.

Il Sistema nel suo complesso è costituito da 4 moduli funzionali che sono fra loro interconnessi secondo la struttura logica rappresentata nella Figura 1; i moduli che compongono il SIT sono:

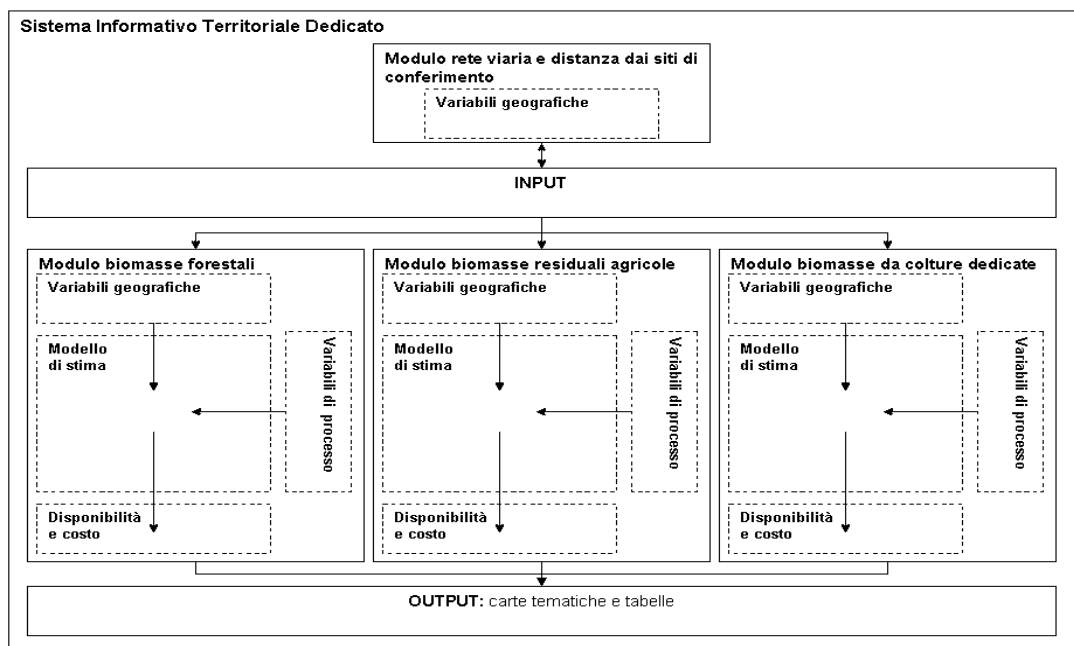
1. modulo *trasporto della biomassa*;
2. modulo *biomasse forestali*;
3. modulo *biomasse residuali agricole*;
4. modulo *biomasse da colture dedicate*.

Ogni modulo è stato sviluppato considerando i differenti aspetti, per le diverse tipologie di biomassa (*forestale, residuale agricole, coltivazioni dedicate*), che concorrono alla valutazione della disponibilità, alla possibilità di accedere ad essa in maniera tecnicamente sostenibile e ed alla stima dei costi di approvvigionamento. Tali variabili possono essere schematicamente classificate in due categorie:

- A. variabili geografiche, fattori di variabilità che influenzano la disponibilità e la fruibilità del materiale in funzione della localizzazione geografica;

B. variabili di processo, fattori che influenzano i processi di produzione. In particolare, per meglio determinare il costo complessivo di approvvigionamento di biomassa all'impianto, molto influenzato dalla gestione logistica e dal trasporto del materiale, è stata implementata all'interno del modulo *trasporto della biomassa*, anche una procedura di analisi e caratterizzazione della rete viaria. All'interno di tale procedura vengono applicate l'analisi euclidea e la network analysis di ArcGIS per determinare le distanze (effettive stradali) fra le singole zone produttive e fra queste ed i siti di utilizzo. Ciò consente una valutazione accurata dei costi unitari di trasporto che possono essere rappresentati sia in funzione della quantità di biomassa sia della distanza delle zone di produzione dall'impianto.

Figura 1: Schema a blocchi logici del modello sviluppato



I dati di input utilizzati dai modelli di stima sono stati anch'essi organizzati, in base alla natura delle informazioni (*geografiche* o di *processo*), in due distinti database. I dati delle variabili di tipo geografico sono stati organizzati nel formato geodatabase di ESRI, mentre dati delle variabili non geografiche (di processo) sono stati organizzati in un database relazionale utilizzando il software database PostgreSQL 8.3.

I modelli di stima sono stati sviluppati attraverso la funzione di geoprocessing del software ESRI ArcGIS 9.2 per quanto riguarda l'elaborazione dei dati di tipo geografico, attraverso il modulo di scrittura SQL di PostgreSQL 8.3, per quanto riguarda, invece, le variabili non geografiche.

3.1 Biomasse di origine forestale

Relativamente a questo modulo, le variabili geografiche sono state elaborate in ambiente GIS a partire da set di dati ufficiali della cartografia tecnica e tematica della regione Toscana. Il formato di riferimento per l'elaborazione è un raster ad alta risoluzione della dimensione di 151.325.215 pixel, con dimensione del pixel pari a 10 m, questa risoluzione consente una stima appropriata delle superfici lorde forestali e la loro

puntuale caratterizzazione in termini di accessibilità per le operazioni di taglio ed esbosco.

I data-set su cui opera il modello di elaborazione dei dati geografici sono rispettivamente:

- per le tipologie forestali, l'Inventario Forestale Toscano - formato grid vettoriale con celle di 400 m di lato;
- per l'altitudine del suolo, il Modello Digitale del Terreno - formato raster con pixel 10 m;
- per l'uso del suolo, le Carte Tecniche Regionali - dato vettoriale di uso del suolo, rasterizzato a 10 m;
- per la rete viaria regionale, le Carte Tecniche Regionali - dato vettoriale estrapolato.

Per quanto attiene alla informazione riguardante la produttività dei boschi, essa è stata elaborata, in funzione della tipologia forestale, della specie, della forma di governo e della stato di fertilità del suolo. Questi dati, fonte BIOSIT (Bernetti e Fagarazzi, 2003, Bernetti et al., 2009), sono stati implementati nell'Inventario Forestale Toscano (IFT), al fine di associare alle diverse tipologie forestali, riportate da quest'ultimo, i rispettivi valori di produzione - definiti come incremento medio annuo (m^3/ha anno), le percentuali relative dei diversi assortimenti commerciali di prodotto ritraibili in funzione della specie e della forma di governo, la densità specifica del legno.

Le informazioni relative ai costi delle singole operazioni di produzione sono state riprese, invece, dagli studi condotti dal CNR-IVALSA di Firenze e che hanno previsto, fra l'altro, la conduzione sperimentale di veri cantieri di produzione in diverse condizioni di lavoro. Queste informazioni riguardano, in particolare, i costi unitari (€/ts.s.) relativi alle fasi di abbattimento, esbosco, movimentazione, allestimento e cippatura della biomassa, in relazione alle diverse tipologie di cantieri adottabili ed in funzione della forma di governo del bosco, della diversa accessibilità all'area di taglio, del tipo di produzione desiderata e della disponibilità di macchine da parte delle imprese forestali che operano nel territorio di riferimento. Nella Tabella 1 viene riportata la descrizione dei cantieri analizzati e le rispettive operazioni di produzione del cippato considerate. Le tipologie di governo del bosco prese in considerazione sono state il ceduo semplice, la fustaia ed il castagneto da frutto. Le condizioni di accessibilità sono state definite in funzione della pendenza del suolo e della distanza dalle vie di accesso in base ai seguenti criteri:

- buona accessibilità: pendenza del suolo inferiore al 30% e distanza dalle vie di accesso inferiore a 1.500 m;
- scarsa accessibilità: pendenza del suolo superiore al 30% e distanza dalle vie di accesso inferiore a 400 m.

Nella Tabella 2 sono riportati i valori di superfici coperte da bosco nel territorio di riferimento, ripartite fra tipo di governo e accessibilità.

Tabella 1: Descrizione dei cantieri analizzati per la stima dei costi di produzione del cippato in ambito forestale.

Forma di governo del bosco	Accessibilità dell'area di taglio	Tipo di Cantiere	Descrizione delle operazioni di produzione coinvolte
Ceduo	Buona	1	Produzione della legna con le seguenti fasi: abbattimento con motosega; esbosco delle piante intere con trattore e verricello; produzione di cippato in forma residuale.
		2	Produzione della legna con le seguenti fasi: abbattimento con la motosega; esbosco delle piante intere con clumbunk; produzione di legna ardere con pinza-sega montata su rimorchio del trattore; produzione di cippato in forma residuale.
		3	Produzione di solo cippato dalle piante intere con le seguenti fasi: abbattimento con la motosega; esbosco delle piante intere con clumbunk e cippatura industriale.
	Scarsa	4	Produzione della legna da ardere con le seguenti fasi: abbattimento con la motosega; esbosco delle piante intere con gru a cavo o teleferica; movimentazione; produzione di cippato in forma residuale.
		5	Produzione esclusiva di cippato a partire dalla pianta intera : abbattimento ed esbosco come sopra; movimentazione del materiale; allestimento sommario con pinza-sega; cippatura delle piante intere con cippatrice industriale.
Fustaia	Buona	1	Boschi in buone condizioni di sviluppo, sottoposti a taglio a strisce e messa in rinnovazione anticipata. Sotto il profilo operativo, queste condizioni di lavoro sono ideali per l'applicazione del sistema harvester-forwarder; cippatura dei residui.
	Scarsa	2	Abbattimento con motosega; esbosco con teleferica, riduzione sommaria con pinza-sega e cippatura.

Tabella 2: Superfici a bosco comprese nell'area di studio distribuite per forma di governo e classe di accessibilità.

Forma di governo	Accessibilità		
	Buona (ha)	Scarsa (ha)	Totale (ha)
Cedui	284.645	179,787	464.432
Fustaie	30.882	16.714	47.596
Castagneti da frutto	2.544	2.746	5.290
Totale	318071	199.247	517.318

3.2 Biomasse residuali da colture legnose

Nel caso delle biomasse legnose residue da coltivazioni agricole, principalmente vite ed olivo, le variabili geografiche sono state elaborate in ambiente GIS a partire da set di dati ufficiali della cartografia tecnica e tematica della regione Toscana. Come nel caso delle biomasse forestali, il formato di riferimento per l'elaborazione dei dati è un raster ad alta risoluzione, in questo caso della dimensione di 8.552.696 pixel, sempre con dimensione del pixel pari a 10 m. Anche in questo modulo i dati di input per

l'elaborazione dei dati geografici sono stati estratti dai data-set già indicati, Modello Digitale del Terreno, Carte Tecniche Regionali per uso del suolo e rete viaria.

Le variabili di processo considerate in questo caso, ossia i fattori che partecipano alla valutazione della produttività di biomassa residuale e della relativa redditività, per le aree coltivate a vigneto ed oliveto sono state: la *resa unitaria di prodotto utile* ed i *costi di approvvigionamento* della biomassa, questi ultimi stimati in funzione dei differenti itinerari tecnici adottabili per il recupero e riutilizzo degli scarti. In particolare la producibilità specifica di biomassa residuale di vigneti ed oliveti nei differenti aerali è stata effettuata in base a formule empiriche estratte da ANPA/ONR-2001 e AA.VV.-2006, sulla base dei valori della produzione media annua di prodotto principale per provincia, riportati da ISTAT per il periodo 2004-2007 e considerando sia le potature che il materiale di espianto. Anche per questa fonte di biomassa il dato relativo al costo di produzione è stato ottenuto nell'ambito dei cantieri dimostrativi delle diverse pratiche e condizioni di lavoro, condotti dal CNR-IVALSA. Le informazioni utilizzate riguardano i costi specifici (€/ts.s.) delle operazioni che compongono i vari scenari operativi considerati (trinciatura, cippatura diretta in campo, raccolta ed eventuale imballatura, triturazione delle balle, movimentazione dei materiali) in funzione della tipologia di cantiere adottabile, della disponibilità di macchine operatrici delle imprese agricole, della presenza di contoterzisti che operano nel territorio di riferimento.

Le condizioni di accessibilità all'area in questa parte del modello sono state definite solo in funzione della pendenza delle aree:

- accessibile: condizioni di pendenza inferiori al 30%;
- non accessibile: pendenza superiore al 30%.

Sia per i vigneti che per gli oliveti sono state ipotizzate due alternative di cantiere, descritte nella Tabella 3, da scegliere non solo in funzione dei costi operativi ma anche della struttura e della logistica aziendali.

Tabella 3: ipotesi di cantiere analizzati per il recupero delle potature da vigneti ed oliveti

Tipo di coltura	Tipo di Cantiere	Descrizione delle operazioni coinvolte
Vigneto	1	Trinciatura delle potature, raccolta e movimentazione con carro rimorchio
	2	Imballatura dei sarmenti, movimentazione delle balle con muletto e triturazione delle balle
Oliveto	1	Cippatura delle potature e raccolta con carro rimorchio
	2	Imballatura delle potature, movimentazione delle balle con muletto e triturazione delle balle

3.3 Biomassa da colture dedicate

Nel caso delle colture dedicate alla produzione di biomassa da energia, non essendo ancora diffusa tale pratica colturale nel territorio di interesse, si è proceduto alla valutazione della potenzialità produttiva che il territorio è in grado di esprimere. In particolare sono state implementate nel modulo *Biomasse da colture dedicate* tutte le informazioni prodotte in precedenti studi (ENEL – CRIBE 2009) relativamente all'individuazione delle superfici agricole che possono essere più favorevolmente convertite a tali coltivazioni (vocazionalità del territorio), la stima delle rese produttive

specifiche delle specie più promettenti, dei corrispondenti costi di produzione per unità di biomassa nei diversi areali dell'area di studio. Le colture dedicate prese in esame sono quelle che hanno fornito nel tempo le risposte più interessanti sia dal punto di vista produttivo sia di gestione della tecnica colturale, nell'ambito di prove sperimentali (anche di lungo periodo) condotte presso il Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "Enrico Avanzi" dell'Università di Pisa (CIRAA).

Nello specifico sono state prese in considerazione le colture: *miscanto*, *sorgo da fibra*, *canna comune*, *pioppo* in SRF, delle quali sono state analizzate e implementate nel modello:

- a) le caratteristiche agronomiche delle specie che maggiormente influenzano la pratica colturale e per le quali è necessario l'utilizzo di macchine operatrici (che operano più convenientemente con pendenze del terreno inferiori al 15%),
- b) le caratteristiche qualitative della biomassa prodotta,
- c) i caratteri fisiologici della specie che ne determinano l'adattabilità alle condizioni climatiche e pedologiche della specifica area.

Il formato di riferimento per l'elaborazione dei dati è, come negli altri casi, un raster ad alta risoluzione della dimensione di 24.444.400 pixel, con risoluzione pari a 10 m, che consente una accurata stima delle superfici agricole come prima descritte e la loro puntuale caratterizzazione in termini di accessibilità per le operazioni colturali previste.

Le informazioni di tipo geografico in input al modello sono estrapolate dai seguenti data-set:

- uso del suolo, CORINE Land Cover 2000 e mosaico CTR (Carta Tecnica Regionale 1:10.000);
- altitudine, Modello Digitale del Terreno - formatore raster con pixel di 10 m;
- dati climatici, serie storica di 20 anni delle 113 stazioni della Rete Agrometeorologica Regionale;
- pedologia del suolo, carta pedologica regionale elaborata da CNR-LAMMA - formato vettoriale;
- rete viaria regionale, dato estrapolato dalle Carte Tecniche Regionali - vettoriale.

Nella fase di elaborazione il modulo *Biomasse da colture dedicate* prevede:

- l'individuazione e la stima nel territorio di interesse delle superfici agricole *non irrigue* facilmente meccanizzabili;
- lo sviluppo di un indice agroclimatico territoriale;
- la classificazione del terreno, sulla base delle proprietà idrologiche e dei parametri che ne influenzano la fertilità;
- l'elaborazione di un coefficiente di resa attesa per una data specie su un dato terreno;
- la stima dei costi specifici di coltivazione per differenti itinerari tecnici di produzione (alto e basso input);
- la stima dei costi di approvvigionamento in funzione della distanza reale dei terreni dai siti di utilizzo, includendo nel modello anche i costi di trasporto.

La classificazione del territorio in funzione delle condizioni climatiche è stata eseguita in base al valore dell'Indice agroclimatico di deficit idrico potenziale (*Ic*), elaborato a partire dalla formula per il calcolo dell'Indice climatico di umidità (*i*) di Thornthwaite (C. W. Thornthwaite, 1948), per la coltura sicuramente più esigente in termini di fabbisogno idrico tra quelle considerate, ossia il pioppo. A questo scopo sono stati

utilizzati i dati giornalieri di temperatura minima, temperatura massima, quantità di pioggia e radiazione totale, estratti dalla banca dati della rete agrometeorologica dell'ARSIA-Toscana (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione in Agricoltura). Per quanto riguarda le caratteristiche dei suoli, nella fase di elaborazione sono state considerate: la tessitura (contenuto in limo, sabbia e argilla), il tenore in sostanza organica e la profondità; informazioni estratte dalle mappe pedologiche della Toscana realizzate dal consorzio LAMMA di Firenze (CNR-IBIMET – Regione). Implementando tali informazioni in modelli di calcolo tipo SPAW (Soil-Plant-Atmosphere-Water) sono state definite le proprietà idrologiche di suoli (punto di appassimento e capacità di campo) necessarie per la determinazione della capacità potenziale di ritenzione, Available Water Capacity (AWC) sulla base della quale è stata effettuata la classificazione pedoclimatica del territorio di interesse.

La classificazione pedoclimatica, unitamente allo studio dell'uso del suolo e della giacitura delle superfici arabili, ha permesso, infine, di individuare e stimare le superfici potenzialmente destinabili alle quattro colture dedicate considerate.

La stima delle rese medie potenziali è stata ottenuta applicando un approccio di tipo empirico, basato sull'analisi delle rese medie storiche delle principali colture diffuse nel territorio regionale (frumento, girasole e mais) estrapolate dai dati ISTAT degli ultimi dieci anni. Rapportando le rese medie provinciali di queste colture con quelle registrate presso il CIRAA negli stessi anni sulle medesime colture (fra livelli di intensificazione culturale differenti), è stato determinato il rispettivo coefficiente di resa (Kr) riportato in Tabella 4, che moltiplicato per le rese medie di lungo periodo registrate dal CRIBE sulle colture dedicate studiate ha prodotto i valori di resa specifica attesa utilizzati per la stima delle quantità di biomassa ottenibili nel territorio investigato.

Tabella 4: Coefficiente di resa determinato per le diverse province toscane.

Provincia	Kr	Provincia	Kr
Arezzo	0,78	Firenze	0,75
Grosseto	0,7	Livorno	0,92
Lucca	1	Pisa	0,95
Siena	0,72	Massa-Carrara	1
Prato	1	Pistoia	0,8

4 Risultati

Lo studio della viabilità a permesso di definire, all'interno del territorio di riferimento, diversi bacini di approvvigionamento da asservire a differenti impianti di conversione. Questa ulteriore classificazione consente una rappresentazione delle informazioni (quantità, distanze, costi) aggregata per bacino e per classe di distanza su strada. Nel caso del cippato di origine forestale la disponibilità per bacino e per classe di distanza è stata calcolata anche in funzione della forma di governo e dell'accessibilità alle aree.

Nelle tabelle seguenti è riportata la distribuzione cumulata della disponibilità di cippato per classi incrementali di distanza stradale da un impianto di conversione, con intervalli di 20 Km. In particolare, nella Tabella 5 si riporta la situazione di disponibilità elaborata

per lo scenario (SA) in cui si ipotizza di destinare alla produzione di cippato solo la frazione residuale (12-18 % c.a. della biomassa in piedi - cimali, ramaglie, piante difettate) e mantenendo la produzione degli assortimenti principali (tipicamente: legna da ardere per i cedui e legna da opera per le fustaie).

Tabella 5: Stima degli approvvigionamenti potenziali di cippato forestale in base all'ipotesi di scenario basata sullo sfruttamento dei soli residui (SA).

SA									
Bacino	Classe Distanza Km	Cedui		Totale Cedui	Fustaie		Totale Fustaie	Totale Classe	Energia primaria MWh/anno
		Buona	Scarsa		buona	Scarsa			
ts.s./anno									
1	20	10,654	4,458	15,112	359	109	468	15,581	77,904
	40	29,030	10,771	39,800	1,190	302	1,492	41,292	206,462
	60	37,475	17,647	55,122	1,675	555	2,230	57,352	286,759
	80	43,205	22,108	65,314	2,731	1,040	3,771	69,085	345,423
	100	45,051	24,092	69,143	4,997	2,336	7,332	76,475	382,376
	120	45,704	25,469	71,172	6,155	2,850	9,005	80,178	400,888
	140	45,719	25,518	71,237	6,155	2,850	9,005	80,242	401,212
2	20	7,191	3,225	10,416	4,984	1,742	6,726	17,142	85,710
	40	20,402	12,814	33,216	7,229	3,085	10,314	43,530	217,651
	60	39,922	22,244	62,165	8,306	3,603	11,909	74,075	370,373
	80	54,794	27,945	82,739	8,898	3,960	12,858	95,596	477,980
	100	57,963	29,882	87,845	9,132	4,099	13,231	101,076	505,379
	120	57,991	29,947	87,938	9,133	4,101	13,234	101,172	505,858
3	20	11,183	4,730	15,913	798	367	1,166	17,079	85,395
	40	34,736	14,024	48,760	1,983	777	2,759	51,519	257,595
	60	61,298	26,916	88,214	4,375	2,112	6,487	94,701	473,506
	80	81,977	45,515	127,491	8,117	4,394	12,511	140,003	700,013
	100	93,148	58,403	151,552	12,221	7,037	19,259	170,810	854,052
	120	94,206	61,124	155,329	12,474	7,799	20,272	175,602	878,009
Totale		197,916	116,588	314,504	27,762	14,749	42,512	357,016	1,785,079

Nella Tabella 6, invece si riporta la situazione di disponibilità elaborata per lo scenario (SB) in cui si ipotizza di destinare alla produzione di cippato le piante intere dei cedui e la frazione residuale delle fustaie, ipotizzando di competere, cioè, con il mercato della legna da ardere. Un altro tipo di output del modello è quello che permette la rappresentazione georeferenziata del dato. Nella Figura 2, ad esempio, sono rappresentati i tre bacini di approvvigionamento individuati e sono presentate le quantità di cippato stimato in base allo scenario (SB), classificate secondo i livelli di produzione potenziale aggregata a livello comunale.

Nel caso delle colture legnose agrarie i residui utilizzabili ai fini energetici variano negli intervalli compresi fra 1,6 - 2 ts.s./ha per la vite, e fra 1 - 1.5 ts.s./ha per l'olivo.

Nella Tabella 7 viene riportata la distribuzione cumulata delle quantità potenziali stimate per questi due tipi di residui allocate per bacino e per classe di distanza stradale.

Tabella 6: Approvvigionamenti potenziali di cippato forestale in base all'ipotesi di scenario basata sullo sfruttamento delle piante intere di ceduo (SB).

SB									
Bacino	Classe Distanza Km	Cedui		Totale Cedui	Fustaie		Totale Fustaie	Totale Classe	Energia primaria MWh/a
		Buona	Scarsa		buona	Scarsa			
		t s.s./anno							
1	20	46,580	19,618	66,198	359	109	468	66,666	333,331
	40	126,668	47,204	173,872	1,190	302	1,492	175,364	876,820
	60	163,469	77,295	240,764	1,675	555	2,230	242,994	1,214,972
	80	188,244	96,527	284,771	2,731	1,040	3,771	288,542	1,442,710
	100	196,057	105,823	301,880	4,997	2,336	7,332	309,213	1,546,064
	120	198,929	112,180	311,109	6,155	2,850	9,005	320,114	1,600,569
	140	198,988	112,371	311,359	6,155	2,850	9,005	320,364	1,601,820
2	20	32,513	14,656	47,169	4,984	1,742	6,726	53,895	269,476
	40	90,302	56,818	147,120	7,229	3,085	10,314	157,433	787,167
	60	175,246	97,884	273,130	8,306	3,603	11,909	285,039	1,425,196
	80	239,965	122,753	362,719	8,898	3,960	12,858	375,576	1,877,881
	100	253,784	131,213	384,997	9,132	4,099	13,231	398,228	1,991,141
	120	253,906	131,495	385,401	9,133	4,101	13,234	398,635	1,993,174
3	20	48,924	21,105	70,028	798	367	1,166	71,194	355,970
	40	152,390	62,283	214,673	1,983	777	2,759	217,432	1,087,162
	60	268,365	118,790	387,155	4,375	2,112	6,487	393,642	1,968,211
	80	358,886	201,273	560,158	8,117	4,394	12,511	572,670	2,863,348
	100	407,765	259,148	666,913	12,221	7,037	19,259	686,172	3,430,859
	120	412,241	270,579	682,821	12,474	7,799	20,272	703,093	3,515,466
Totale		865,135	514,445	1,379,580	27,762	14,749	42,512	1,422,09	7,110,460

Figura 2: Mappe di distribuzione delle quantità di cippato forestale nello scenario SB aggregate per Comune e per bacino. (dx accessibilità buona – sx accessibilità scarsa)

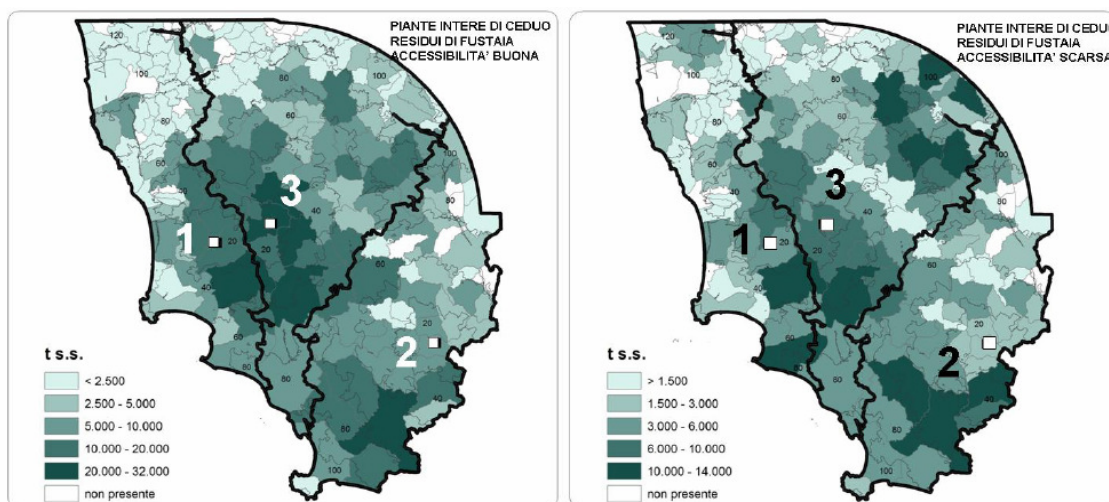
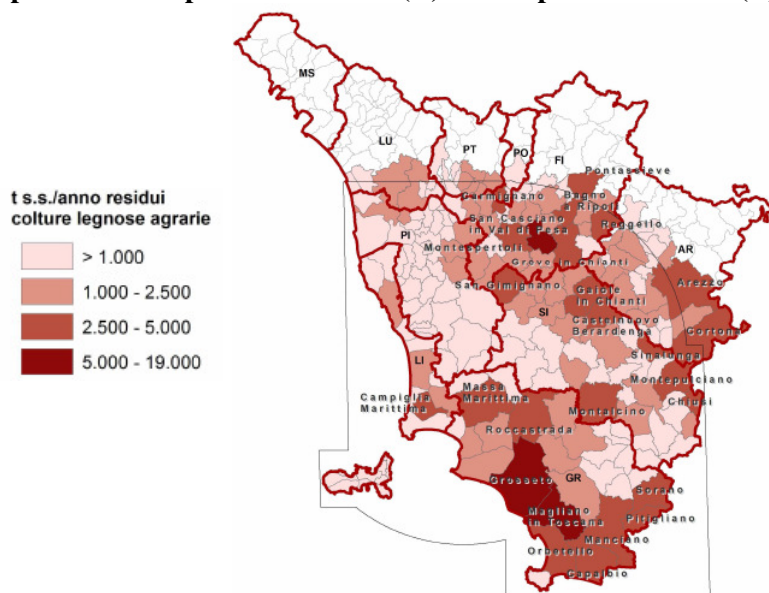


Tabella 7: Disponibilità annua di cippato da potature di olivo e vite distribuita per bacino e classe di distanza

Bacino	Classe Distanza Km	Olivo	Vite	Totale
		t s.s./anno		
1	20	994	209	1.203
	40	6.489	2.917	9.405
	60	9.042	4.290	13.332
	80	9.701	5.733	15.433
	100	10.166	6.362	16.528
	120	10.357	6.674	17.030
2	20	244	135	378
	40	3.311	2.488	5.798
	60	6.109	9.188	15.298
	80	9.631	13.561	23.192
	100	10.898	14.805	25.704
	120	10.912	14.840	25.752
3	20	158	274	432
	40	1.818	3.166	4.984
	60	7.826	18.198	26.024
	80	19.131	33.176	52.307
	100	25.471	40.563	66.034
	120	25.550	40.672	66.223
Totale		46.819	62.185	109.005

La Figura 3, invece, riporta la rappresentazione georeferenziata della producibilità di biomasse residue agricole aggregate in base ai confini amministrativi comunali.

Figura 3: Mappa della produzione media annua (ts.s./ha/anno) di residui potenzialmente recuperabili dalle potature di olivo (A) e dalle potature di vite (B) nell'area dello studio.



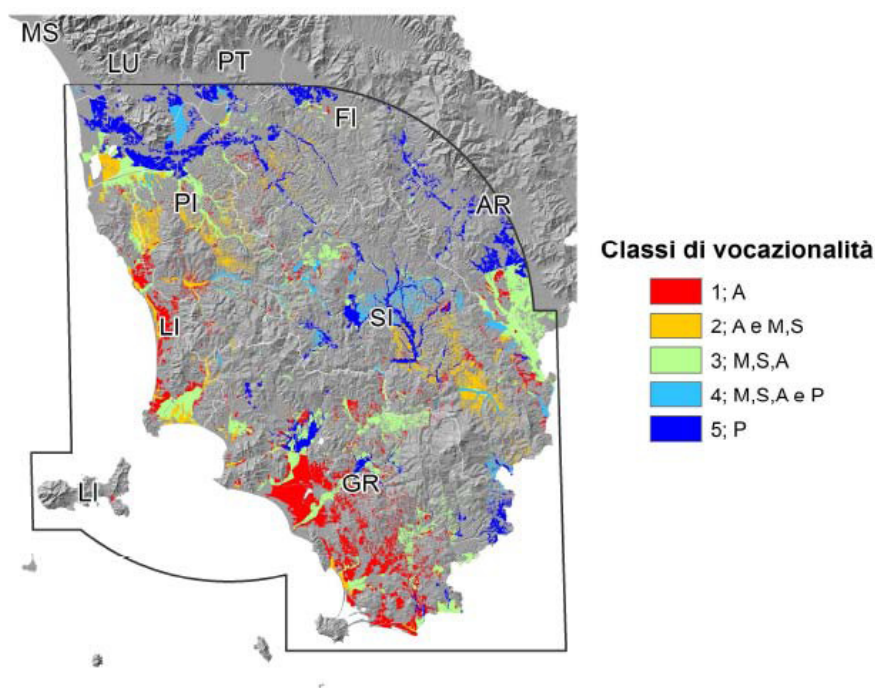
Sul fronte delle colture dedicate, le superfici ad esse destinabili, cioè i seminativi non irrigui con pendenza inferiore al 15%, ammontano, nell'area di studio, a complessivi 322.590 ha, al lordo delle tare (vie di accesso agli appezzamenti, canali secondari e scoline, bordi campo, fabbricati rurali sparsi). Tali superfici, classificate per livelli di vocazionalità verso le quattro specie considerate in base alle caratteristiche pedoclimatiche dell'area, risultano così ripartite: 24% classe 1, 14% classe 2, 32% classe 3, 7% classe 4 e 24% classe 5. Nella Tabella 8 sono riportati i valori assoluti in Ha per ogni classe di vocazionalità e le rispettive colture dedicate assegnate.

Tabella 8: Riepilogo delle superfici lorde destinabili alle colture dedicate nell'area di studio (A: Canna comune; M: Miscanto; S: Sorgo; P: Pioppo in SRF)

Classe	Colture	ha
1	A	77.839
2	A e M, S	43.950
3	M, S, A	101.716
4	M, S, A e P	22.740
5	P	76.347
totale		322.592

Nella Figura 4, invece, le superfici individuate sono georeferenziate secondo la classe di vocazionalità verso le quattro specie di colture dedicate studiate.

Figura 4: Mappa della vocazionalità delle aree e corrispondente assegnazione delle colture dedicate (A: canna comune; M: miscanto; S: sorgo; P: SRF di pioppo)



Questa forma di rappresentazione delle informazioni mette in evidenza come le aree meno vocate, dove la carenza di acqua durante la stagione estiva potrebbe rappresentare un fattore limitativo per la SRF di pioppo, miscanto e sorgo da fibra, sono quelle localizzate prevalentemente nelle aree costiere a sud della provincia di Pisa. Le aree adatte alla produzione di SRF, invece, sono localizzate nella piana pisana a nord di Livorno, nella Val d'Arno e nelle valli interne delle province di Firenze, Arezzo, Siena e Grosseto. I valori stimati sono ovviamente riferiti alle superfici complessivamente destinabili alle colture dedicate, non sono quindi da considerare come totalmente convertibili alla coltivazione di biomasse da energia. Tuttavia, tenendo conto dell'assetto agricolo del territorio e della percentuale corrente di set-aside praticato dalle aziende agricole, si può realisticamente ipotizzare che almeno nel breve periodo il 10% di tale superfici possa essere destinata alla produzione di biomasse.

Per la valutazione degli approvvigionamenti potenziali le superfici destinabili alle quattro colture dedicate sono state allocate, in funzione della distanza dall'impianto di utilizzo. La Tabella 9 riportata la cumulata delle superfici individuate, aggregate per bacino e distribuite per classi incrementali di distanza su strada di 20 km.

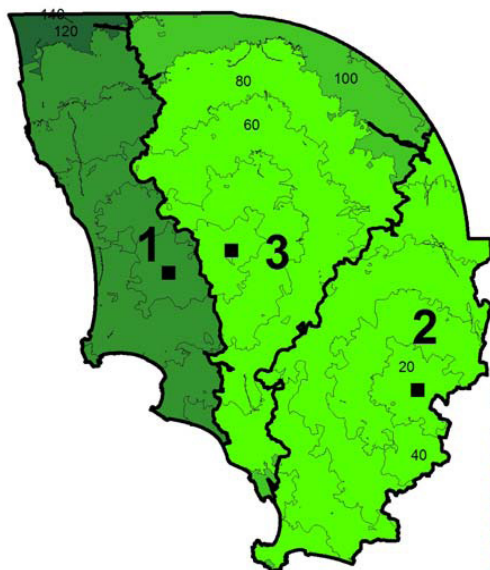
Tabella 9: Distribuzione delle superfici destinabili alle colture dedicate in funzione del bacino e della classe di distanza rispetto ai siti di approvvigionamento.

Bacino	Classe Distanza km	Canna comune	Miscanto	Sorgo da fibra	SRF di pioppo
			ha		
1	20	2.134	1.629	1.629	310
	40	25.555	16.596	16.596	1.486
	60	39.844	25.003	25.003	1.739
	80	58.226	41.398	41.398	4.581
	100	85.301	68.289	68.289	20.945
	120	90.744	73.717	73.717	26.168
	140	90.776	73.749	73.749	26.200
2	20	2.996	2.986	2.986	2.302
	40	23.737	21.905	21.905	7.914
	60	65.575	54.607	54.607	14.717
	80	111.986	82.669	82.669	21.089
	100	122.104	87.434	87.434	24.747
	120	122.174	87.504	87.504	24.817
3	20	2.342	2.004	2.004	1.208
	40	20.015	17.713	17.713	9.221
	60	56.820	47.109	47.109	24.252
	80	88.941	64.047	64.047	31.778
	100	108.247	82.236	82.236	46.988
	120	109.183	83.172	83.172	47.904
Totale		322.101	244.393	244.393	98.921

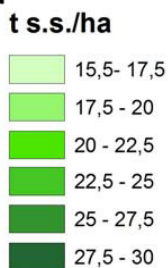
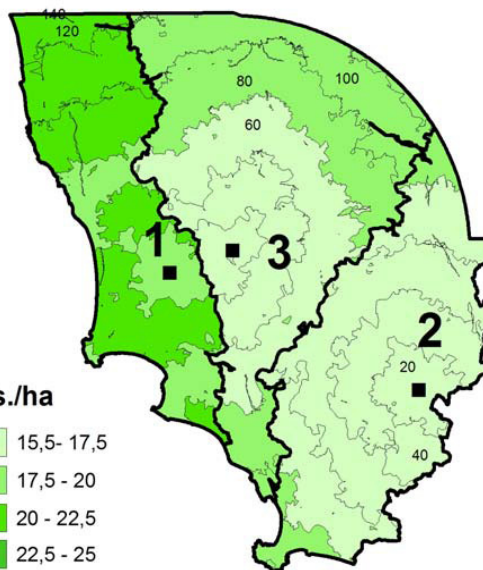
Nella Figura 5, invece, viene mostrato come si distribuisce sul territorio la resa media delle singole colture dedicate, questi valori sono stati successivamente utilizzati per il calcolo della disponibilità potenziale e dei costi complessivi di produzione e trasporto.

Figura 5: Mappe di distribuzione della resa media delle quattro colture dedicate (secondo itinerari tecnici ad alto input) nel territorio di riferimento.

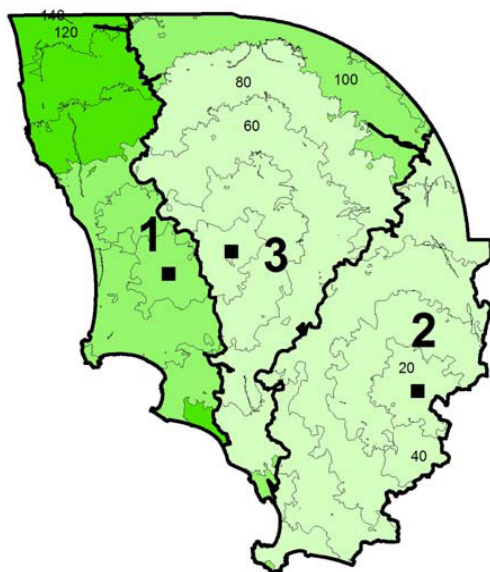
A - CANNA COMUNE Livello A



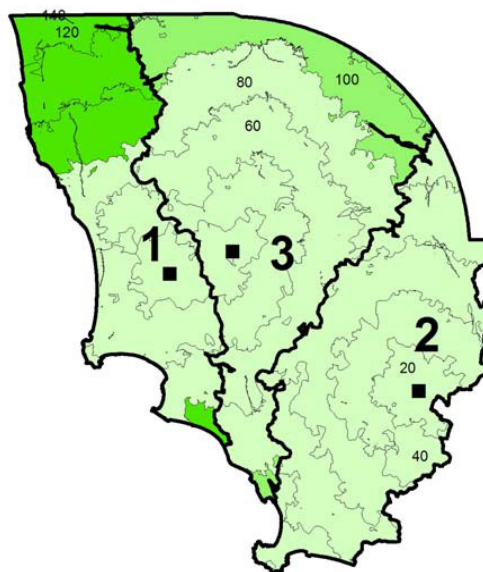
B - MISCANTO Livello A



C - SORGO DA FIBRA Livello A



D - SRF DI PIOPPA Livello A



5 Conclusioni

Le elaborazioni effettuate sulle biomasse forestali, le biomasse residuali agricole e quelle da colture dedicate hanno prodotto diversi risultati, sia in termini di approvvigionamenti potenziali che di costi di approvvigionamento.

Riassumendo il quadro che emerge dallo studio, si evidenzia principalmente che:

- le colture dedicate promettono di avere costi di produzione mediamente inferiori rispetto alle altre fonti di biomassa, a parità di distanza chilometrica di reperimento;
- i residui agricoli da olivo e vite hanno i costi di produzione più alti;
- il costo di produzione delle biomasse forestali varia molto al variare della fascia chilometrica considerata: solo sulle distanze più brevi i costi sembrano avvicinarsi a quelli delle colture dedicate;
- per tutte le diverse fonti di approvvigionamento si osservano ampie forchette dei costi di produzione in funzione dello scenario considerato: in particolare per le biomasse forestali dove è possibile allocare i costi in maniera diversa (a seconda che il cippato da residui sia considerato sottoprodotto o coprodotto), i risultati in termini di costo del cippato risultano molto differenti tra di loro.

Lo strumento messo a punto e presentato in questo lavoro si dimostra all'altezza delle aspettative sia per quanto riguarda la capacità di generare i risultati previsti all'inizio dello studio sia per le doti di flessibilità operativa e di capacità di espansione che dimostra di possedere. I prossimi step di sviluppo del sistema prevedono, infatti, l'implementazione dei criteri di valutazione della sostenibilità della filiera e la stima del GHG saving, così come presentati dal Parlamento Europeo a febbraio 2010.