

BIOPOLE: un sistema di supporto alle decisioni (DSS) web-GIS per la localizzazione ottimale degli impianti a biomassa

Giuseppe Maffeis (*), Daniele Roncolato (*), Andrea Cherubini (*),
Alice Bernardoni (*), Salvatore Greco (*), Anna Boccardi (**), Alessandro Chiesa (**),
Mauro Brolis (**), Mauro Fasano (***)

(*) TerrAria srl, Via M. Gioia 132, 20125 Milano, Tel. 02.8708.5650, email: maffeis@terraria.com

(**) B.U. Energia & Ambiente, CESTEC S.p.a, Viale Restelli 5/A, 20124 Milano

(***) D.G. Ambiente, Energia e Reti, U.O. Energia e reti tecnologiche, Regione Lombardia,
Piazza Città di Lombardia, 20125 Milano

Riassunto

Lo sfruttamento delle biomasse a fini energetici, è un tema estremamente attuale e lo sarà ancora di più nel prossimo futuro, a causa degli obiettivi presenti nella normativa comunitaria (2020 – Piano di azione europeo per il clima) che prevedono un forte aumento del contributo della biomassa alle Fonti di Energia Rinnovabile (FER) termiche. BIOPOLE (www.bioenergis.eu - cliccare sull'icona BIOPOLE) è un *Decision Support System* (DSS), basato sulla tecnologia Web-GIS, sviluppato all'interno del progetto europeo BioENERGIS (“IEE” - *Intelligent Energy for Europe*) volto a definire lo sfruttamento energetico sostenibile della biomassa a livello regionale. BIOPOLE ricava, sulla base di input regionali e grazie ad una simulazione modellistica online, la migliore soluzione in termini di potenza, di tipologia e di localizzazione per i nuovi impianti a biomassa che alimentino una piccola rete locale di teleriscaldamento.

Regione Lombardia insieme con Cestec ha coordinato il progetto BioENERGIS ed è uno dei decisori regionali ai quali il sistema si rivolge. Il concetto alla base della metodologia di BIOPOLE è la ricerca, a livello locale e regionale, della corrispondenza tra la domanda di calore richiesta dal territorio e l'energia termica disponibile, in termini di biomassa potenzialmente sfruttabile in maniera sostenibile. Così BIOPOLE, sulla base di diversi layer di dati regionali, identifica la localizzazione ottimale di nuovi impianti a biomassa, minimizzando la distanza percorsa per il trasporto della stessa e massimizzando l'efficienza della rete di teleriscaldamento. Inoltre, tenendo conto dei criteri di sostenibilità specifici, il sistema consente di definire una classifica delle opzioni individuate, non considerando solo l'aspetto economico, ma anche tenendo conto della sostenibilità ambientale di ciascun impianto.

Abstract

Energy exploitation of biomass for energy purposes, is an extremely current noteworthy theme and even more it will be so in the near future, due to the foreseen strong increase in the biomass contribution to thermal Renewable Energy Sources (RES) targets, within the framework of 2020 European Climate Action. BIOPOLE (www.bioenergis.eu – click on BIOPOLE icon) is a Decision Support System (DSS), *WebGIS* based, developed in the BioENERGIS “IEE” (Intelligent Energy for Europe) project and aimed at defining the sustainable energy exploitation of biomass resources at regional level. BIOPOLE, on the base of regional input, finds online the optimal solution in terms of power, fuel and localization of the new biomass plants feeding district heating network.

Lombardy Region is the coordinator of the project and one of the regional decision makers to whom the system is targeted. The basic concept behind BIOPOLE methodology is the expectation to match, at community or district level, energy (heat) demand and biomass availability, by identifying potential bio-energy plants in terms of capacity, biofuel supply and localization. Thus, BIOPOLE,

on the basis of different regional data layers, identifies opportunities for new biomass based district heating systems by assessing the optimal solutions which would minimise biomass supply transportation and maximise biomass-into-energy conversion and energy (heat) distribution to end-users. Besides, taking into account sustainability criteria, the system allows to define a not-purely-economic ranking of the identified options.

Introduzione

L'Unione europea (UE), per far fronte alla forte dipendenza dai combustibili fossili, sta portando avanti una nuova politica energetica che promuove anche l'uso delle FER; in questo contesto lo sfruttamento delle biomasse gioca un ruolo fondamentale. Il conseguimento degli obiettivi sugli usi finali dell'energia per il 2020 e il contributo delle FER richiede, infatti, una distribuzione più ampia e più intensa delle bioenergie in tutti i settori.

Il problema dell'identificazione e della stima delle biomasse potenzialmente sfruttabili in modo sostenibile a fini energetici (energia elettrica e termica), è stato affrontato nel corso dell'ultimo decennio anche con l'uso di strumenti GIS (*Geographical Information System*)¹. Il GIS, infatti, consente di analizzare le variabili in gioco che sono sempre spazialmente definite (risorsa disponibile, domanda di calore, costi di trasporto, ecc). Sulla questione specifica della localizzazione di impianti a biomassa vi sono diverse esperienze: in Liguria (Freppaz et al., 2004), in Toscana (BIOSIT, 2003), nel nord della Spagna (Panichelli e Gnansounou, 2008) e in Portogallo (Viana et al., 2010). In questo contesto, BIOPOLE intende fornire uno strumento online, basato su un sistema GIS, che supporti i decisori nel programmare, con un approccio a larga scala, uno sfruttamento sostenibile delle biomasse ai fini di produzione di energia. BIOPOLE, infatti, fornisce in output la localizzazione ottimale (in termini di energia, sostenibilità ambientale ed economica) degli impianti a biomassa dedicati ad asservire una rete di teleriscaldamento. Gli utenti di BIOPOLE possono personalizzare, il valore di alcuni parametri (le categorie di biomassa da includere, la percentuale ed il tipo di domanda di calore da soddisfare, la tipologia dell'impianto, ...) con cui viene poi eseguita la simulazione. BIOPOLE, per essere "*web performing*", contiene algoritmi semplificati ed efficienti per ridurre al minimo l'impiego di CPU.

Sono state individuate, e considerate come casi di studio per implementare il sistema, quattro aree regionali, in rappresentanza di altrettanti diversi contesti ambientali ed economici: la regione Lombardia in Italia, la Vallonia in Belgio, la Slovenia e l'Irlanda del Nord.

Metodologia

BIOPOLE ragiona in modalità raster con pixel quadrati e parte dal presupposto che in ogni cella di 500mx500m, inclusa nella regione considerata, possa essere potenzialmente posizionato un impianto a biomassa. L'approccio metodologico ed i valori limite per i parametri utilizzati in BIOPOLE, derivano da uno studio specifico sviluppato durante il progetto, (Pointner e Waltenberger, 2010), basato sull'analisi statistica di oltre 500 reti di teleriscaldamento a biomassa, localizzate in Austria.

¹ In tal senso, si veda ad esempio (Masera et al., 2006), (Fiorese e Guariso, 2010), (Voivontas et al., 2001) e (Avella et al., 2005).

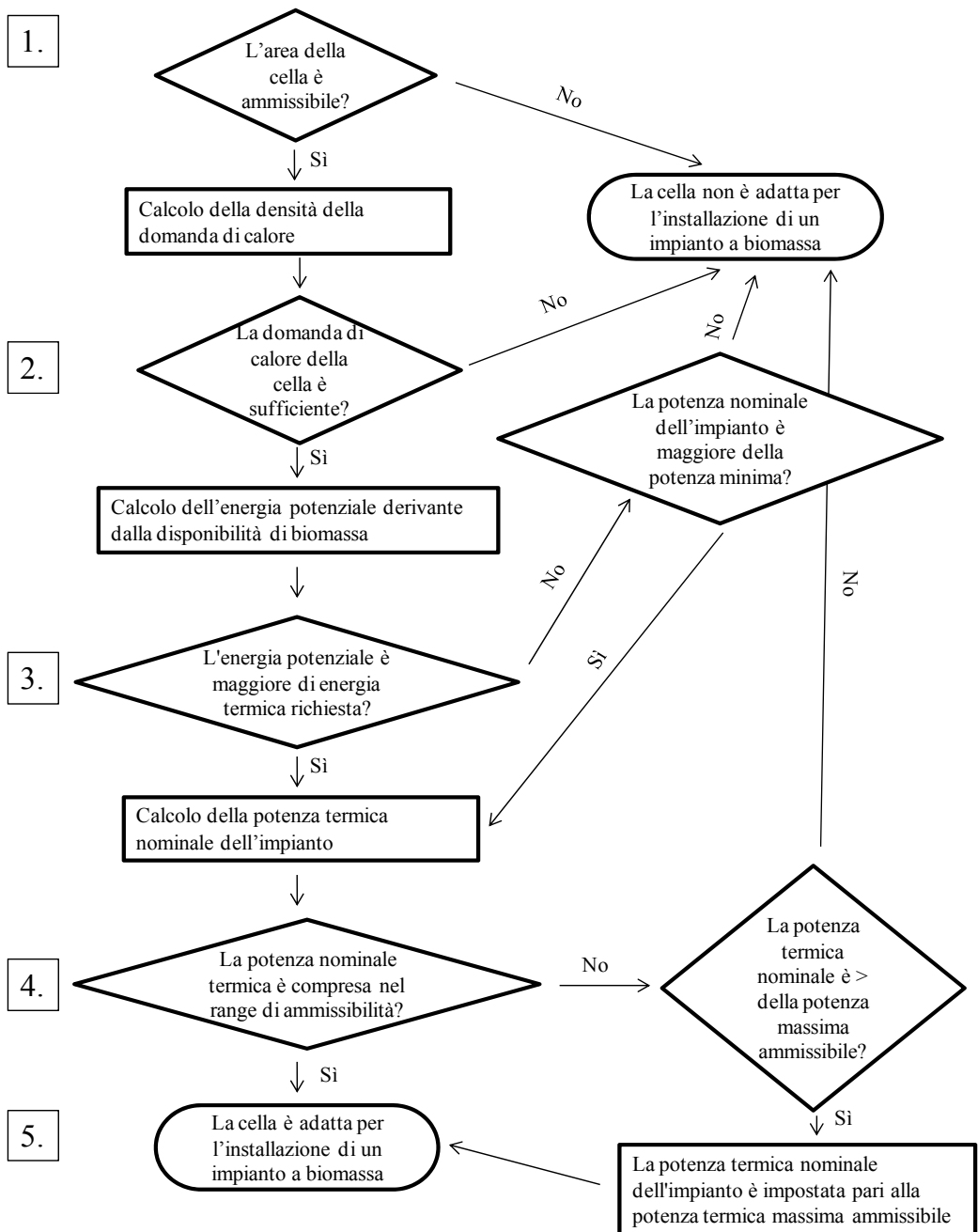


Figura 1. Passi logici per determinare le celle adatte alla realizzazione di un impianto di conversione a biomassa.

Il metodo utilizzato per determinare se una cella è realmente adatta per la realizzazione di un impianto a biomassa che alimenti una rete di teleriscaldamento, può essere suddiviso in alcune fasi logiche successive (vedi Figura 1):

1. Esame dell'ammissibilità di una cella per la localizzazione di un impianto.
2. Controllo che l'intensità della domanda di calore su una cella e sulle celle vicine sia superiore a soglie definite.
3. A seconda del tipo di impianto, verifica che la richiesta di calore (diviso per le efficienze dell'impianto e della rete) possa essere soddisfatta dai bio-combustibili disponibili all'interno del bacino di raccolta delle biomasse considerato.
4. Verifica che la richiesta di potenza termica nominale dell'impianto, soddisfi la richiesta di calore, nella cella considerata, e sia compresa in un intervallo di ammissibilità.
5. Calcolo degli indici di sostenibilità degli impianti individuati.

Localizzazione

Una cella, per essere considerata ammissibile per l'installazione di un impianto a biomassa, deve soddisfare due requisiti fondamentali:

1. "l'area ammissibile" della cella, ottenuta escludendo le zone umide, i bacini idrici e le aree al di fuori dei confini della regione, deve essere maggiore del 75% dell'area totale della cella (valore modificabile dall'utente);
2. la percentuale massima di area urbanizzata di una cella deve essere minore di un valore impostato dall'utente (di default è 90%).

La seconda condizione viene imposta per impedire la localizzazione di impianti a biomassa in celle completamente urbanizzate in cui, molto probabilmente, non è disponibile un sito adeguato; inoltre, il potenziale impatto ambientale, in termini di inquinamento atmosferico e di traffico, sarebbe certamente superiore in aree fortemente urbanizzate.

Identificazione della densità della domanda di calore

BIOPOLE considera separatamente i diversi tipi di domanda di calore (residenziale, industriale e terziario, vedi Tabella 1), tenendo conto delle peculiarità di ciascuna (ad esempio, le fluttuazioni della domanda durante il giorno, i picchi, la domanda media e il numero di ore a pieno carico equivalenti all'anno), verificando se la cella analizzata nel complesso ha una quantità sufficiente di domanda di calore per essere ritenuta ammissibile. Per tenere conto della possibilità che l'impianto possa servire, attraverso di una rete di teleriscaldamento, un'area urbanizzata limitrofa all'impianto stesso, la domanda di calore Q della cella analizzata (" c " in Figura 2), è uguale alla richiesta di calore massima tra quella della cella stessa e quelle nelle quattro celle confinanti (" a, b, d, e " in Figura 2).

Domanda di calore	Numero di ore annuali a pieno carico
Residenziale	2'000
Industriale	4'000
Terziario	2'000

Tabella 1.-Ore di funzionamento dell'impianto a pieno carico, per le tipologie di domanda di calore considerata.

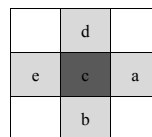


Figura 2. Celle "vicine" (grigio chiaro) all'impianto (grigio scuro) in termini di domanda di calore (quadrato di lato 500m).

Quindi la densità di domanda di calore nella cella c è definita come il rapporto tra la domanda di calore massima (tra le 5 celle individuate in Figura 2) e l'area urbanizzata.

Secondo uno studio effettuato nell'ambito del progetto BioEnerGIS, (Pointner e Waltenberger, 2010), una cella può essere considerata ottimale per la localizzazione di una rete di teleriscaldamento a biomassa se la densità di domanda di calore è maggiore di 50 $\frac{kWh}{anno \cdot m^2}$

Approvvigionamento e disponibilità di biomassa

BIOPOLE prende in considerazione cinque diversi tipi di impianti a biomassa, tre basati sulla combustione e due sulla digestione anaerobica della biomassa stessa (vedi Tabella 2).

Tipo di impianto	Categoria di biomassa	Numero di sottocategorie di biomassa
(1) Combustione	Legno non trattato	15
(2) Combustione	Erbacei	10
(3) Combustione	Legno trattato	3
	Rifiuti organici	3
(4) Digestione anaerobica	Reflui zootecnici	7
(5) Digestione anaerobica	Rifiuti organici industriali	16
	Rifiuti industriali organici da prodotti	7

Tabella 2. Associazione impianti e tipo di biomassa.

Analogamente alla domanda di calore, in BIOPOLE deve essere fornita la biomassa disponibile (massa per ogni cella) dettagliata per ciascuna delle 6 categorie, viene moltiplicata per il rispettivo valore di potere calorifico inferiore (PCI) per calcolare l'energia a disposizione. E' stato definito, per ogni tipo di impianto, quali tipologie di biomassa (tra le 61 considerate) possono essere utilizzate. Al fine di garantire che l'energia primaria disponibile dalla biomassa possa soddisfare la domanda di calore è stata considerata sia l'efficienza della rete e che quella dell'impianto, ed un opportuno coefficiente di sicurezza.

Il PCI si riferisce alla biomassa secca; BIOPOLE utilizza un metodo di correzione per modificare il PCI secco in PCI umido (condizione della biomassa reale), sulla base del contenuto d'acqua di ogni singola tipologia di biomassa. Tale trasformazione è indispensabile per non commettere un errore di sovrastima dell'energia disponibile nella biomassa stessa.

La disponibilità annuale di biomassa in ogni cella viene calcolata considerando che essa possa essere raccolta anche nelle celle vicine, secondo una logica di sostenibilità ambientale di filiera "cortissima" se la distanza tra la cella analizzata e le altre è minore di un valore fisso, che dipende dal tipo di biomassa considerata (Tabella 3).

Tipo di biomassa	Raggio (km)
Biomassa legnosa	30
Erbacei	15
Reflui zootecnici	10
Rifiuti organici/materiale trattato	15

Tabella 3. Distanza massima tra l'impianto e le differenti tipologie di biomassa utilizzate nell'impianto stesso.

Per quanto riguarda la tipologia dell'impianto a biomassa, la scelta del processo di conversione più adatto dipende dalle caratteristiche della biomassa (come il contenuto di umidità, la densità apparente, ecc). Nella Tabella 4 sono riportati, per i cinque tipi di impianti considerati, i rendimenti degli impianti, differenziando se nell'impianto viene prodotta energia elettrica in cogenerazione o se viene fornita unicamente energia termica.

Tipologia di impianto	Efficienza – solo termico	Efficienza - cogenerazione	Processo
(1) Biomassa legnosa	0.8	0.7	Combustione
(2) Biomassa legnosa	0.8	0.7	Combustione
(3) Rifiuti legnosi	0.8	0.7	Combustione
(4) CHP biogas da agricoltura	0.425	0.425	Digestione
(5) CHP Biogas da rifiuti organici	0.425	0.425	Digestione

Tabella 4. Efficienza di conversione per i differenti tipi di impianto a biomassa considerati.

Il *range* ammissibile di potenza termica considerato in BIOPOLE è tra 250 kW e 10 MW. Si presume che gli impianti a combustione possano funzionare sia unicamente per la produzione di energia termica sia in cogenerazione (CHP), mentre gli impianti a digestione anaerobica possano operare solo in cogenerazione. In questo modo, BIOPOLE considera 8 tipi di impianti a biomassa: 6 per la combustione e 2 per la digestione anaerobica (Tabella 5).

Impianti con solo funzionamento termico	Impianti con funzionamento in cogenerazione
Combustione biomassa legnosa	Combustione biomassa legnosa
Combustione biomassa erbacea	Combustione biomassa erbacea
Combustione di rifiuti organici	Combustione di rifiuti organici
	Biogas da materiale agricolo/zootecnico
	Biogas da rifiuti

Tabella 5. Tipologie dei possibili impianti presenti in BIOPOLE.

Analisi dell'output di BIOPOLE

Una volta che BIOPOLE ha raggiunto la fine del processo descritto in Figura 1, è possibile individuare due diversi tipi di celle:

- ✓ Celle non adatte, in cui uno o più vincoli (nella disponibilità di territorio, sulla domanda di calore, sulla disponibilità di biomassa, o sulla potenza termica dell'impianto) non sono soddisfatti.
- ✓ Celle adatte, in cui sono soddisfatti tutti i vincoli.

Per ogni cella idonea, BIOPOLE calcola:

1. Le tipologie di impianto a biomassa installabili. E' importante notare che non tutti i tipi di impianti potrebbero essere ammissibili dal momento che non tutte le tipologie di impianti potrebbero soddisfare contemporaneamente tutti i vincoli di fattibilità nella stessa cella.
2. La potenza termica nominale da installare per ogni tipologia di impianto realizzabile.
3. Gli indici di sostenibilità per ogni impianto realizzabile.

Criteri di sostenibilità e ordinamento degli impianti

Il passo successivo consiste nella costruzione della classifica, rispetto agli indici di sostenibilità, di tutti i possibili impianti a biomassa identificati, al fine di evidenziare la migliore realizzazione, vincolata ad alcuni criteri espressi dal decisore.

L'approccio seguito dall'applicativo *web* di BIOPOLE attualmente considera la realizzazione di ciascun impianto come indipendente rispetto a tutte le altre possibili realizzazioni nel dominio; questo significa che la domanda di calore può essere soddisfatta da ciascun impianto e la biomassa può essere utilizzata in qualsiasi impianto. Questo approccio è utile per la scelta della migliore localizzazione di un impianto a livello locale, ma non per riassumere tutti gli impianti potenzialmente realizzabili in un approccio di pianificazione regionale. E' disponibile una versione off line di BIOPOLE che, viceversa, permette di tenere conto della "competizione" tra i vari impianti a biomassa.

BIOPOLE offre tre criteri di sostenibilità che sono poi stati trasformati in indici (cioè normalizzati tra 0 e 1, rispettivamente la peggiore e le migliore situazione), grazie a delle specifiche funzioni utilità. Tali criteri, ritenuti i più significativi dalle diverse consultazioni con gli *stakeholders* svolte durante il progetto BioEnerGIS, sono:

- ✓ Rapporto tra domanda e offerta

Una quantità adeguata di biomassa è un prerequisito fondamentale per la realizzazione di una specifica tipologia di impianto a biomassa. Un surplus della biomassa disponibile,

rispetto alla quantità necessaria, riduce l'eccessiva dipendenza di approvvigionamento di fonti di biomassa dai singoli mercati e dalle variazioni di produzione.

✓ Distanza media della biomassa dall'impianto

Un impatto rilevante di un impianto a biomassa è determinato dai mezzi che trasportano la biomassa dalle aree di raccolta all'impianto stesso. Tale impatto, chiaramente, dipende dalla distanza percorsa da tali mezzi e deve quindi essere minimizzata.

✓ Popolazione coinvolta

Essa è calcolata come il rapporto tra le persone potenzialmente interessate dell'impatto ambientale causato dall'impianto a biomassa, rispetto alle persone che potrebbero beneficiare della rete di teleriscaldamento. Un impianto a biomassa è una fonte di inquinamento atmosferico nel territorio circostante e, nello stesso tempo, rappresenta un beneficio per le persone che utilizzano la rete di teleriscaldamento.

Una volta che i valori dei tre indicatori sono calcolati per ogni cella idonea, essi devono essere normalizzati prima di poter essere sommati, poiché hanno differenti unità di misura. La normalizzazione viene eseguita mediante la trasformazione degli indicatori (i_1, i_2, i_3) in indici (I_1, I_2, I_3) sulla stessa scala, tra 0 e 1, per mezzo di funzioni di utilità. Una funzione di utilità è una funzione che riflette la soddisfazione (massimo 1 e minimo 0) in relazione al valore assunto dall'indicatore considerato. Per poter aggregare tali indici ed ottenere un indice di sostenibilità globale attraverso il quale definire l'ordinamento delle diverse possibili localizzazioni degli impianti, l'utente deve assegnare un peso (w_i) a ciascuno indice. L'utente può variare tali pesi e visualizzare la nuova classifica degli impianti risultante.

Il sistema di supporto alle decisioni BIOPOLE

La metodologia precedentemente descritta è stata interamente implementata nell'applicazione *WebGIS* BIOPOLE. L'interfaccia web di BIOPOLE offre:

- l'accesso all'informazione primaria (disponibilità di biomassa, domanda di calore, fattibilità dell'impianto) in modo coerente, strutturato e comparabile nelle quattro regioni europee partner del progetto. Tale funzionalità di *geo-database* è erogata attraverso un semplice *WebGIS*;
- la possibilità di simulare scenari definiti dall'utente per la localizzazione degli impianti.

Più in dettaglio, in BIOPOLE, un utente registrato (la registrazione è aperta a tutti), attraverso l'interfaccia *WebGIS*, può analizzare la domanda di calore o la disponibilità di biomassa della regione considerata (Figura 3); ad esempio, l'utente può verificare la disponibilità di biomassa in ogni cella, sia in termini di massa sia in termini di energia potenziale. Può essere prodotta una mappa della disponibilità di ogni singolo tipo di biomassa e per ogni singolo settore di domanda di calore; tali mappe possono anche contenere più tipologie di biomassa o di domanda di calore.

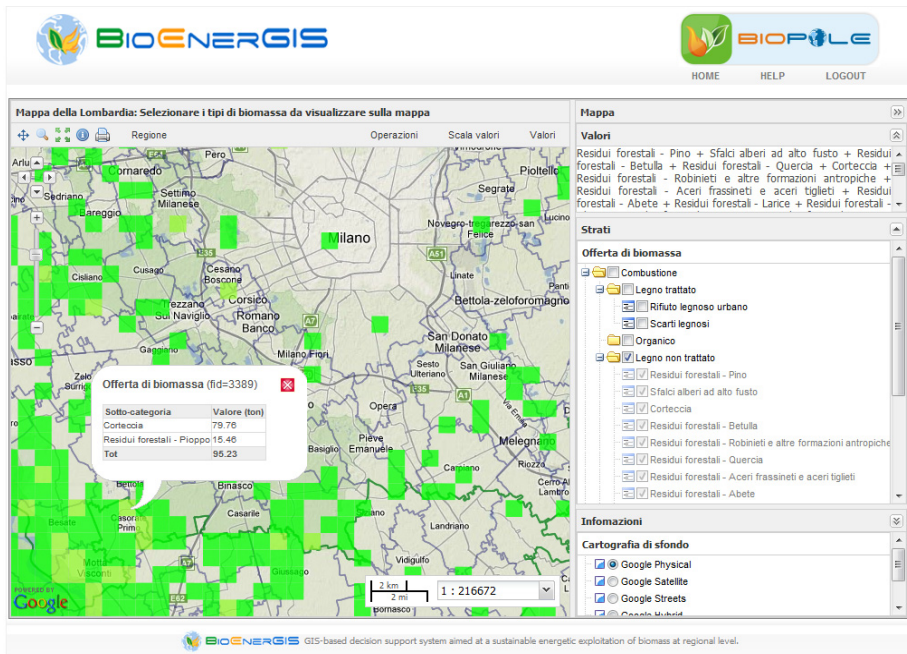


Figura 3. BIPOLE: schermata di consultazione della quantità di biomassa disponibile.

L'utente di BIPOLE può, inoltre, eseguire una simulazione sulla localizzazione degli impianti a biomassa (Figura 4), modificando alcuni parametri, in particolare il tipo di impianto, il tipo e la percentuale di biomassa da utilizzare, il tipo e il tasso di domanda di calore da soddisfare, la percentuale massima di area urbanizzata presente in una cella per essere considerata ammissibile ed i pesi da assegnare a ciascun indice di sostenibilità.

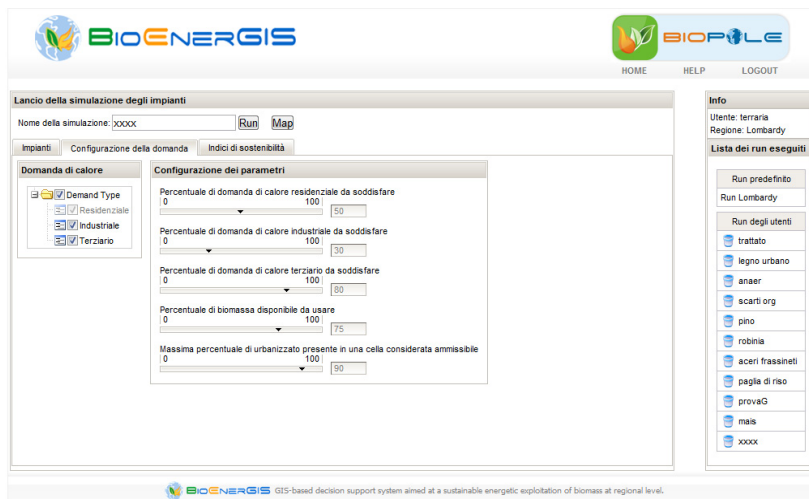


Figura 4. BIPOLE: schermata di inserimento dei parametri necessari per effettuare una simulazione modellistica.

Il risultato della simulazione eseguita (*run* modellistico), viene reso disponibile dopo un periodo variabile da qualche decina di secondi ad alcuni minuti (a seconda della quantità biomassa e di domanda di calore selezionate dall'utente) e consiste in una mappa contenente le localizzazioni ottimali, per ciascuna tipologia di impianto a biomassa, in cui l'utente può visualizzare la potenza termica necessaria ed il valore degli indici di sostenibilità (singoli valori degli indici e indice globale); viene inoltre fornita la posizione dell'impianto selezionato rispetto alla classifica totale ottenuta mediante un indice di sostenibilità globale (Figura 5). Cliccando su una cella in cui è possibile costruire un impianto, l'utente può visualizzare, inoltre, una scheda tecnica contenente un esempio di un impianto virtuoso esistente, con caratteristiche simili a quello selezionato (Figura 5).

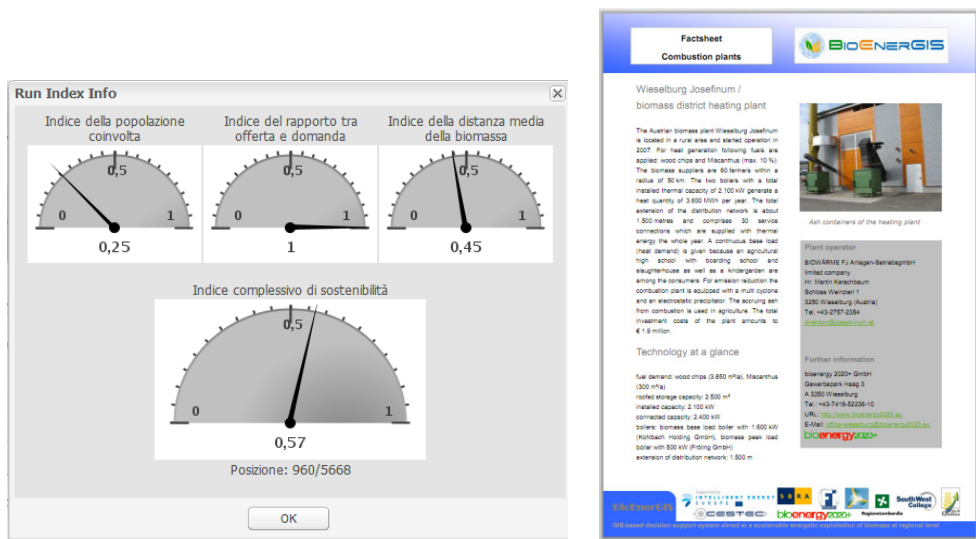


Figura 5. BIOPOLE: schermata di visualizzazione degli indici di sostenibilità (a sinistra) e di una scheda di un impianto virtuoso esistente (a destra).

Conclusioni

Questo lavoro presenta l'applicazione WebGIS BIOPOLE per il supporto alla localizzazione ottimale di impianti a biomassa che alimentino reti di teleriscaldamento, sviluppata all'interno del progetto europeo IEE BioEnerGIS. BIOPOLE è uno strumento online che, a seconda della disponibilità di biomassa, della domanda di calore ed altri parametri scelti dall'utente, trova la localizzazione alla macroscale ottimale di un impianto, dedicato ad asservire una rete di teleriscaldamento; tale applicazione aiuta il pianificatore regionale ad individuare gli ambiti territoriali più idonei. BIOPOLE non è, quindi, uno strumento per la localizzazione dell'impianto e della rete, ma il pianificatore locale può ricavare informazioni utili sul dimensionamento, la tipologia di impianto, le disponibilità di biomassa nonché informazioni relative a impianti analoghi già in esercizio.

E' disponibile offline una nuova versione del software che permette il calcolo della produzione totale di energia da biomassa disponibile in un territorio. Il metodo di calcolo è iterativo, si individua ogni volta il miglior impianto (ovvero quello che ha indice di sostenibilità maggiore) eliminando, ad ogni passo successivo, la biomassa già utilizzata e la richiesta di calore soddisfatta.

Riferimenti bibliografici

- Viana H., B. Warren Cohenb, D. Lopesc, J. Aranhac, (2010) Assessment of forest biomass for use as energy. GIS-based analysis of geographical availability and locations of wood-fired power plants in Portugal, *Applied Energy*, 87(8), 2551–2560.
- Pointer C., R. Waltenberger, (2010) “Parameters for the localization of biomass district heating and anaerobic digestion plants for the software BIPOLE”, *AFO, Bioenergy2020+*, <http://www.bioenergy2020.eu/>.
- Fiorese G., G. Guariso, (2010) “A GIS-based approach to evaluate biomass potential from energy crops at regional scale”, *Environmental Modelling & Software*, 25(6), 702-711.
- Panichelli L., E. Gnansounou, (2008) “GIS-based approach for defining bioenergy facilities location: a case study in Northern Spain based on marginal delivery costs and resources competition between facilities”, *Biomass and Bioenergy*, 32(4), 289–300.
- Masera O., A. Ghilardi, R. Drigo, M. A. Trossero, (2006) WISDOM: “A GIS-based supply demand mapping tool for woodfuel management”, *Biomass and Bioenergy*, 30(7), 618-637.
- Avella R., C. Bassano, (2005) “Il GIS nella pianificazione della risorsa biomassa”. *Energia, Ambiente e innovazione*. 5/05. ENEA.
- BIOSIT – *GIS based methodology and algorithm* (2003), ETA Renewable Energie.
- Freppaz D., R. Minciardi, M. Robba, M. Rovatti, R. Sacile, A. Taramasso, (2004) “Optimizing forest biomass exploitation for energy supply at a regional level”, *Biomass and Bioenergy*, 26, 15-25.
- Voivontas D., D. Assimacopoulos, E.G. Koukios, (2001) “Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method”, *Biomass and Bioenergy*, 20(2), 101-112.