

STRUMENTI ANALITICI PER LA GESTIONE E PROGRAMMAZIONE DELL'APPROVVIGIONAMENTO DI BIOMASSE DEDICATE IN IMPIANTI DI RISCALDAMENTO CIVILE

Cinzia Buratti¹, Gianni Bidini¹, Franco Cotana¹, Pietro Bartocci¹, Francesco Fantozzi¹

¹ Centro Ricerca Biomasse – Università di Perugia, Via Iorio 8, 06128 Perugia, Italia

SOMMARIO

I combustibili solidi di origine vegetale, ottenuti da biomasse residuali e dedicate, risultano avere un prezzo per unità di energia contenuta minore rispetto ai combustibili solidi di origine fossile. Nel riscaldamento residenziale molti studi di Letteratura mostrano come la sostituzione dell'impianto a combustibili fossili con uno a biomasse comporti un tempo di ritorno dell'investimento ridotto. Stabilita la potenza del nuovo impianto di riscaldamento, risulta interessante individuare il consumo annuo di combustibile e le superfici agricole coltivabili con biomasse dedicate necessarie a soddisfare il fabbisogno. Nel presente studio si è valutata la richiesta di energia primaria di diverse tipologie di utenze abitative, caratterizzate da diversi livelli di isolamento termico ed ubicate in quattro distinte aree climatiche. A tale scopo è stato sviluppato un codice di calcolo che, a partire dai carichi termici, calcolati in funzione dell'ubicazione, delle tipologie costruttive e delle dimensioni notevoli delle strutture, valuta i quantitativi di biocombustibile necessario alla copertura del fabbisogno energetico dell'edificio e successivamente le aree agricole necessarie alla coltivazione; si è implementato un modello capace di descrivere la crescita di una piantagione di biomassa in funzione delle variabili meteorologiche misurabili da una stazione ed un codice di calcolo dei carichi termici dell'edificio.

INTRODUZIONE

Il riscaldamento degli edifici è responsabile di circa un terzo della domanda energetica totale del nostro paese. L'impiego di fonti di energia rinnovabile in questo settore può rappresentare un'azione importante verso la sostenibilità e spesso è anche economicamente conveniente, in quanto il costo per unità di energia della legna è inferiore a quello del metano che, per la sua diffusione, può essere preso come combustibile di riferimento [1].

Prendendo ad esempio un'abitazione di circa 200 m², con un fabbisogno termico di circa 45 000 kWh/anno, il consumo medio annuo di combustibile è stimabile in circa 130 q/anno di legna da ardere stagionata (con un prezzo assunto pari a 11.00 €/q) [2]. Se si alimenta l'impianto di riscaldamento con una caldaia a legna a fiamma inversa da 20 kW si avrebbe un tempo di ritorno dell'investimento di circa 8 anni. Il tempo di ritorno dell'investimento è ovviamente influenzato dal costo della biomassa di partenza. Se si suppone che la biomassa provenga da coltivazioni dedicate in azienda e quindi autoprodotte, si può assumere che il costo di approvvigionamento sia anche inferiore a quello ipotizzato precedentemente.

Il presente lavoro si propone di sviluppare un codice di calcolo user friendly che fornisca al progettista i quantitativi di biomassa e la relativa superficie agricola da coltivare necessarie per riscaldare diverse tipologie di utenze abitative di cui sia nota la configurazione architettonica, la superficie e l'ubicazione.

Il lavoro è articolato nelle seguenti fasi:

1. valutazione dell'utenza termica, basandosi sulla determinazione dei carichi termici;
2. dimensionamento dell'impianto;
3. calcolo della biomassa necessaria per soddisfare l'utenza;

4. stima della resa in biomassa per ettaro in funzione dell'ubicazione;
5. dimensionamento della piantagione di biomassa.

Nella metodologia non si tiene conto dell'aspetto economico, in quanto non si considerano i costi di coltivazione, ma solo il dimensionamento della piantagione di biomasse legnose.

CALCOLO DEI CARICHI TERMICI

Il calcolo dei carichi termici è effettuato secondo quanto previsto dalla UNI 10344 [3], considerando nulli, a favore di sicurezza, gli apporti dovuti alla radiazione solare e ai carichi termici interni sia per la stima del carico massimo sia per il calcolo dell'energia primaria. Un codice più dettagliato, per la stima dei carichi termici che tenga in conto anche gli apporti gratuiti è in fase di sviluppo e potrà essere impiegato per il calcolo degli andamenti dei consumi effettivi dell'impianto ed una valutazione del biocombustibile necessario al suo funzionamento. L'energia termica scambiata per trasmissione tra l'involucro edilizio e l'ambiente esterno è calcolata mediante valori della trasmittanza termica valutati secondo quanto previsto dalle UNI 7357 [4], UNI 10355 [5], UNI 10351 [6] (per i componenti opachi) e UNI 10345 [7] (per i componenti finestrati); nel caso delle pareti opache sono stati ipotizzati tre diversi livelli di isolamento per ciascuna tipologia residenziale (vedi Figg. 1, 2, 3):

- edifici non isolati, con spessore di isolante pari a $s = 0$ cm;
- edifici tradizionali, con spessore di isolante pari a $s = 4$ cm;
- edifici energeticamente efficienti, con spessore di isolante pari a $s = 9$ cm.

Si è scelto di analizzare i consumi energetici di tre tipologie edilizie molto utilizzate in Italia: edificio bifamiliare, edificio

plurifamiliare in linea ed edificio plurifamiliare a torre, tenendo conto del rendimento medio di una caldaia a cippato. Per una maggiore criticità di analisi, lo studio è riferito a quattro città italiane diverse tra loro climaticamente, quali Milano, Perugia, Napoli e Palermo.

I principali dati meteorologici necessari per l'analisi dei carichi termici e per la crescita colturale sono i gradi giorno GG e la radiazione solare; con riferimento ai dati riportati nell'allegato A del DPR 412/93, per le quattro città scelte come rappresentative del territorio italiano si hanno i seguenti valori dei gradi giorno: Milano: GG = 2404; Perugia: GG = 2289; Napoli: GG = 1034; Palermo: GG = 751.

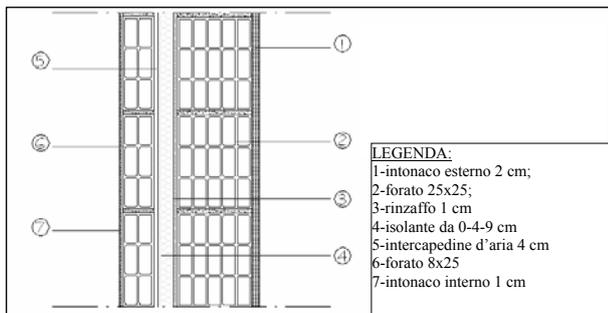


Figura 1 – Sezione verticale di una parete verticale

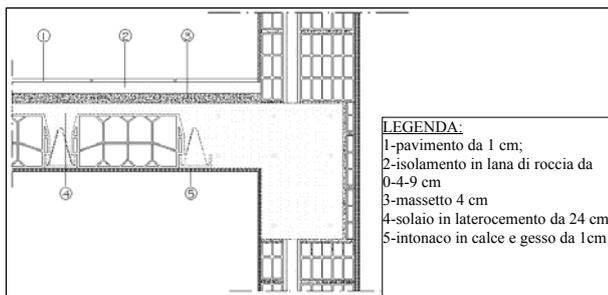


Figura 2 – Sezione verticale di un solaio

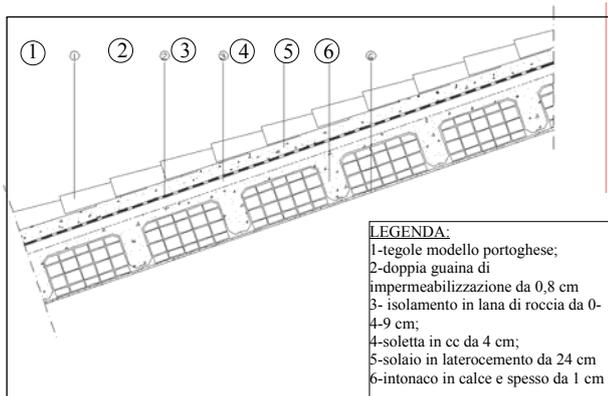


Figura 3 – Sezione verticale di una copertura

Il dato di radiazione solare è impiegato per calcolare la radiazione fotosinteticamente attiva (PAR), attraverso la seguente equazione [8]:

$$PAR = 0.5 * R_{g,d} \frac{\sin \beta (1 + 0.4 \sin \beta)}{\int \sin \beta_m} \quad (1)$$

dove ($R_{g,d}$) è il valore della radiazione, ricavabile direttamente

da [9], mentre $\sin \beta$ e $\int \sin \beta_m$ rappresentano il seno dell'altezza solare e l'integrale dell'altezza solare effettiva, e sono facilmente ricavabili da [8] e [10].

La PAR è quindi inserita nell'equazione di Monsi Saeki [11] e dà come risultato la radiazione intercettata dalla pianta $I(l)$ (necessaria per calcolare la biomassa ottenibile in campo):

$$I(LAI) = PAR * (1 - e^{-kLAI}) \quad (2)$$

dove k è il coefficiente di estinzione della luce solare (o indice di attenuazione), mentre LAI è l'indice di superficie fogliare (definito come superficie di foglie che insiste su 1 m^2 di terreno e misurata in campo mediante una serie di luxmetri che valutano l'ombreggiamento prodotto dal fogliame).

COLTIVAZIONI SRF (SHORT ROTATION FORESTRY)

Caratteristiche salienti della tecnica di coltivazione SRF (Short Rotation Forestry) o arboricoltura a turno breve

La selvicoltura a breve rotazione è un metodo di coltivazione di piante legnose finalizzato alla produzione di biomassa per uso energetico. Le piante sono periodicamente raccolte (ceduate) e dopo ogni raccolta le ceppaie emettono nuovi germogli, dando inizio a un nuovo ciclo produttivo. Il tempo di rotazione, ossia l'intervallo tra due raccolte successive, è molto breve (2-4 anni), al fine di poter produrre piante di piccolo diametro (minore di 10 cm), più idonee alla raccolta meccanizzata. Questo schema di coltivazione è stato messo a punto in Svezia, dove ha ormai raggiunto la piena fase commerciale, con circa 15 000 ettari di piantagioni realizzate.

Le principali variabili decisionali riguardanti questo tipo di coltivazioni sono:

- tipo di suolo adatto (marginale oppure fertile);
- specie e cloni da coltivare;
- cure colturali da effettuare;
- densità di impianto;
- turno di taglio (1, 2 o 3 anni);
- orizzonte temporale, ossia la lunghezza complessiva del ciclo produttivo.

Modellazione di colture SRF

Le massime rese di una piantagione SRF variano da 20 a 35 t s.s./ha [12, 13] e sono ottenibili con cloni di pioppo appositamente selezionati. Le rese medie ottenibili dalla robinia sono invece intorno a 8-24 t s.s./ha [14]. Le rese dipendono dai parametri agronomici (scelta dei cloni, fase di ambientamento, lunghezza del ciclo di rotazione, densità di impianto, concimazione e raccolta) e da quelli ambientali, dalle caratteristiche del suolo e dalle condizioni meteorologiche.

Molti studi hanno affrontato l'influenza sulla produttività della scelta dei cloni, della spaziatura [14-16] e della densità di impianto [17, 18]. Quest'ultima, ad esempio, è un parametro molto importante, che influenza l'efficienza di impiego della radiazione ed il coefficiente di estinzione della radiazione solare. Al contrario non esistono molti studi sulla correlazione tra produttività, qualità del biocombustibile, fisiologia della piantagione SRF e parametri ambientali (cioè i fattori meteorologici e pedologici), se non misure sull'efficienza di conversione della radiazione solare da parte del pioppo [19] e correlazioni tra superficie fogliare e produzione di biomassa

epigea [20].

A partire da modelli allometrici (cioè che correlano empiricamente parametri dimensionali della pianta, come diametro e altezza, a parametri fisici, come il peso), si sono ottenute equazioni che consentono di calcolare la biomassa prodotta a partire da parametri fisici misurati durante l'accrescimento della pianta (es. altezza o diametro) in modo non distruttivo [21, 22]; tuttavia pochi modelli descrivono l'andamento nel tempo della crescita e delle rese di una piantagione SRF [23]. Per fare ciò è necessario approfondire quali siano i più importanti fattori che influenzano la produttività e la qualità del combustibile. In [24] e [25] gli Autori presentano un'ipotesi di set di equazioni che possono essere impiegate in prima analisi per modellare colture energetiche.

Principali ipotesi del modello proposto

Allo scopo di descrivere l'influenza delle proprietà del suolo e delle variabili meteorologiche sull'accrescimento di una piantagione Short Rotation Forestry è stato utilizzato un modello [24-25] che simula i diversi processi compiuti da una singola pianta arborea SRF. Il modello è stato modificato per tener conto dell'effetto della radiazione solare (o meglio della radiazione fotosinteticamente attiva, PAR) sulla produzione di biomassa. Le assunzioni del modello sono le seguenti:

- i substrati di crescita C ed N utilizzati sono distribuiti uniformemente su tutta la pianta;
- per l'intercettazione solare e la fotosintesi si utilizza l'equazione di Monsi-Saeki [11] dell'attenuazione della luce nella coltura e si suppone che la risposta fotosintetica della foglia alla radiazione sia simulabile tramite un'iperbole non rettangolare;
- la densità del flusso luminoso sopra la coltura è misurata da una stazione meteorologica;
- i coefficienti di ripartizione inseriti nelle equazioni che esprimono la variazione nel tempo di C ed N sono supposti essere costanti, seguendo un modello di crescita esponenziale;
- l'effetto della temperatura sullo sviluppo e l'accrescimento del LAI non è preso in considerazione;
- lo stress idrico non è preso in considerazione.

Il set di equazioni del modello è proposto di seguito:

$$\frac{dW_C}{dt} = P - \frac{f_C}{Y} (G_{sh} + G_r) - \alpha NU \quad (3)$$

$$\frac{dW_N}{dt} = NU - f_n * (G_{sh} + G_r) \quad (4)$$

$$\frac{dW_{sh}}{dt} = G_{sh} - \gamma_{sh} W_{sh} \quad (5)$$

$$\frac{dW_r}{dt} = G_r - \gamma_r W_r \quad (6)$$

$$\frac{dLAI}{dt} = \eta f_1 G_{sh} - \gamma_{sh} LAI \quad (7)$$

$$\frac{dN_s}{dt} = nr - \frac{NU}{d\rho_s} \quad (8)$$

La struttura del modello è basata su 6 variabili di stato: C e N nella pianta, Germogli (Sh), Radici (r), Indice di area fogliare (LAI), N nel suolo.

Il contenuto di carbonio libero nella pianta (C) dipende

dalla fotosintesi (termine positivo) e dalla ripartizione e assunzione di azoto (termini negativi). L'assunzione di N è un termine negativo perchè richiede energia, fornita dai carboidrati. L'Eq. (3) descrive il bilancio di carbonio libero nella pianta (sono perciò escluse le riserve immobilizzate sottoforma di amido). Il termine P rappresenta il tasso giornaliero di fotosintesi (come descritto in [8]), f_c ed α sono costanti che rappresentano rispettivamente la frazione di carbonio contenuta nella struttura della biomassa (cellulosa ed emicellulosa) ed il consumo di carboidrati speso per far entrare azoto all'interno della pianta; Y è l'efficienza di conversione ed è supposta essere costante; G_{sh} , G_r e NU rappresentano rispettivamente la massa di germogli, la massa di radici e l'azoto assunto. L'equazione (4) descrive il bilancio di massa dell'azoto; il termine N dipende dall'assunzione di azoto e dalla ripartizione tra foglie e radici; f_n è una costante che definisce il contenuto di azoto nella biomassa. Le Eq. (5) e (6) descrivono i bilanci di massa delle radici e dei germogli in funzione della ripartizione e della senescenza; γ_{sh} e γ_r sono rispettivamente i coefficienti di senescenza dei germogli e delle radici. L'Eq. (7) esprime la crescita dell'area fogliare (LAI) in funzione della produzione di foglie e della senescenza delle stesse; la produzione di foglie risulta dal prodotto di una frazione della crescita dei germogli ($f_1 * G_{sh}$) e dell'incremento specifico di area fogliare (η). L'Eq. (8) descrive infine l'andamento temporale dell'azoto nel suolo, che dipende dal tasso di nitrificazione (nr) e dall'assunzione di azoto. In Fig. 4 si propone un esempio dei risultati ottenuti applicando il modello descritto; i dati sono confrontati con quelli misurati in un campo di robinia con sesto di impianto a fila singola, situato a Perugia. I dati riportati indicano l'andamento nel tempo del peso di una singola pianta; moltiplicando il valore in kg per la densità delle piante si ottiene la produzione di biomassa per ettaro (12.2 t/ha). Si vede come la produttività finale simulata e calcolata siano molto simili; le due curve differiscono invece nella fase centrale, probabilmente per l'insorgere di fattori di stress che riducono l'accrescimento reale rispetto a quello realizzabile potenzialmente.

DESCRIZIONE DEL SOFTWARE

Il software è stato sviluppato in ambiente Matlab ed unisce un codice di calcolo dei carichi termici di un edificio ad uno che determina la resa in biomassa per ettaro in funzione delle caratteristiche meteorologiche.

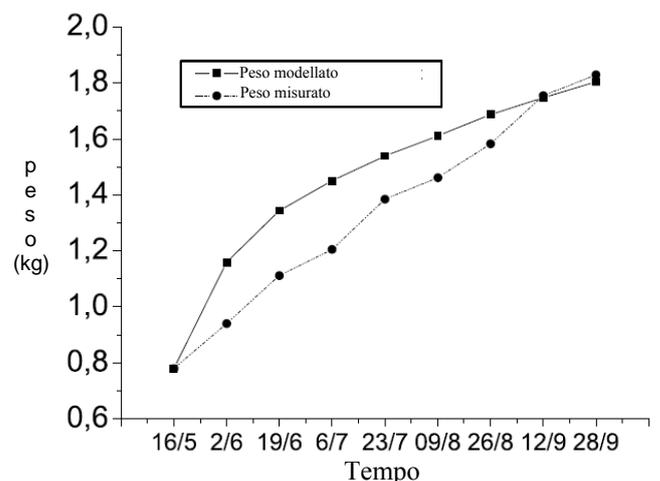


Figura 4 – Confronto tra dati simulati e dati misurati

Gli ipotetici utenti di un software così strutturato potrebbero essere operatori agricoli, progettisti di impianti, policy makers.

L'interfaccia è divisa in diverse parti (Fig. 5): scheda tecnica degli edifici residenziali (ad es. l'area delle superfici trasparenti apribili è assunta pari ad 1/8 delle superfici utili, come da normativa), caratteristiche tecniche relative all'isolamento degli edifici, parametri del biocombustibile e rendimento della caldaia, data base dei parametri ambientali che influiscono sull'accrescimento delle colture energetiche, relativi a tutte le province italiane (radiazione solare, latitudine, gradi giorno).

Scheda tecnica dell'edificio

Scheda tecnica della casa

Superficie Coperta	567.84	m ²
Superficie Utile	1135.68	m ²
Area Chiusure Verticali	904.40	m ²
Volume Complessivo	3974.88	m ³

Particolari Costruttivi

Isolamento	Tradizionale
------------	--------------

Parametri Caldaia e biocombustibile

Rendimento Caldaia	85	%
Coltura	Pioppo	

Parametri Ambientali e Colturali

Provincia	Perugia
-----------	---------

Figura 5: Schermata per l'immissione dei dati in input

RISULTATI

Ipotizzando per le tre tipologie edilizie prese in esame le caratteristiche riportate in Tab. 1 nelle province di Milano, Perugia, Napoli, Palermo, con i diversi gradi di isolamento termico sopra definiti, si ottengono i risultati riportati in Tab.2 e nella Fig. 7.

L'energia primaria richiesta per il riscaldamento degli edifici decresce man mano che ci si sposta verso il sud d'Italia, come era d'aspettarsi. L'edificio plurifamiliare in linea presenta i consumi energetici per unità di volume più bassi, l'edificio plurifamiliare a torre i consumi intermedi, l'edificio bifamiliare i consumi maggiori. Introducendo uno spessore di isolante di 4 cm si riducono mediamente le dispersioni di circa il 40%; portando lo spessore di isolante a 9 cm si ottiene una riduzione media delle dispersioni di un ulteriore 10% (v. Tab. 2).

La produttività di biomassa per ettaro varia poco; infatti, poiché la produzione di biomassa è proporzionale alla radiazione intercettata, ma anche alla quantità di acqua assunta dalla pianta e traspirata, andando da Nord a Sud i vantaggi derivanti da una maggiore radiazione sono pareggiati e quindi

compensati dall'insorgere di problemi dovuti a stress idrico.

Tabella 1: Caratteristiche delle tipologie edilizie prese in esame e dati di input del modello.

	Edificio bifamiliare (EB)	Edificio plurifamiliare in linea (PL)	Edificio plurifamiliare a torre (PT)
SCH	200 m ²	568 m ²	510 m ²
SU	300 m ²	1136 m ²	3570 m ²
ACV	385 m ²	904 m ²	3230 m ²
VC	1000 m ³	3975 m ³	11214 m ³
RC	0,85	0,85	0,85
Coltura	Robinia	Robinia	Robinia

Tabella 2: Risultati delle simulazioni.

Città	EP (kWh/a)	EPU (kWh/a m ³)	DAC (t/a)	SC (ha/a)
Milano EB				
0 cm isol.	97 100	97	37.7	3.2
4 cm isol.	57 004	57	22.1	1.8
9 cm isol.	43 304	43	17.0	1.5
Milano PL				
0 cm isol.	263 090	66	102	9.0
4 cm isol.	168 960	43	67	5.5
9 cm isol.	136 790	34	53	4.5
Milano PT				
0 cm isol.	886 240	79	344.4	29.1
4 cm isol.	550 070	49	213.8	18.1
9 cm isol.	435 200	39	169.1	14.3
Perugia EB				
0 cm isol.	92 455	92	36.0	3.0
4 cm isol.	54 278	54	21.0	1.8
9 cm isol.	41 232	41	16.0	1.3
Perugia PL				
0 cm isol.	250 510	63	97.3	8.2
4 cm isol.	160 870	40	62.5	5.3
9 cm isol.	130 240	33	50.6	4.3
Perugia PT				
0 cm isol.	843 840	75	328.0	27.7
4 cm isol.	523 750	47	203.5	17.2
9 cm isol.	414 380	37	161.0	13.6
Napoli EB				
0 cm isol.	41 764	42	16.2	1.3
4 cm isol.	24 519	25	9.5	1.0
9 cm iso	18 626	19	7.2	0.6
Napoli PL				
0 cm isol.	113 160	28	44.0	3.7
4 cm isol.	72 670	18	28.2	2.3
9 cm iso	58 835	15	23.0	2.0
Napoli PT				
0 cm isol.	381 180	34	148.1	12.5
4 cm isol.	236 590	21	92.0	7.7
9 cm iso	187 190	17	72.7	6.1
Palermo EB				
0 cm isol.	30 334	30	11.8	1.0
4 cm isol.	17 808	18	6.9	0.6
9 cm iso	13 528	14	5.2	0.4
Palermo PL				
0 cm isol.	82 190	21	32.0	2.7
4 cm isol.	52 781	13	20.5	1.7
9 cm iso	42 732	11	16.6	1.4
Palermo PT				
0 cm isol.	276 870	25	107.6	9.1
4 cm isol.	171 840	15	66.8	5.6
9 cm isol.	135 950	12	52.8	4.5

Le superfici da coltivare a robinia raddoppiano, in tutti i casi, passando dalle condizioni di isolamento massimo (9cm) all'assenza di isolamento; i corrispondenti valori per anno e per unità di volume riscaldato (v. Fig. 7) variano da un minimo di 0.35×10^{-3} ha/anno m^3 per l'edificio plurifamiliare in linea a Palermo con il massimo di isolamento a 3.2×10^{-3} ha/anno m^3 per l'edificio bifamiliare non isolato a Milano.

I dati sui fabbisogni termici sono stati confrontati con quelli forniti dal software CHP3 progettato e realizzato dal Ministero delle Risorse Naturali Canadese [27]; il confronto ha mostrato un buon accordo.

dieci volte superiori passando da un edificio plurifamiliare in linea situato a Palermo con il massimo di isolamento ad un edificio bifamiliare non isolato situato a Milano (0.35×10^{-3} ha/anno m^3 di volume riscaldato nel primo caso, 3.2×10^{-3} ha/anno m^3 nel secondo caso).

Da un confronto delle dispersioni valutate con il modello oggetto di studio e quelli forniti dal software CHP3 (Ministero delle Risorse Naturali Canadese [27]) si è ottenuto un buon accordo.

NOMENCLATURA

α	spesa di energia correlata con la assunzione di azoto dal terreno	kg C/kg N
β	altezza solare	radianti
γ	tasso di senescenza	giorno ⁻¹
η	incremento specifico di area fogliare	m ² foglia/ kg struttura
ρ	densità	kg/m ³
ACV	area chiusure verticali	m ²
DAC	domanda annuale di combustibile	t/ha
EB	edificio bifamiliare	-
EP	energia primaria	kWh/a
EPU	energia primaria per unità di volume	kWh/a m ³
f_i	frazione di crescita strutturale impiegata nella produzione di lamina fogliare	-
f_c	percentuale di carbonio contenuta nella struttura	%
f_n	percentuale di azoto contenuta nella struttura	%
G	crescita	Kg/m ² giorno
GG	gradi giorno	°C
I	radiazione intercettata	W/m ² K
k	coefficiente di estinzione solare	m ² suolo/ m ² foglia
LAI	indice di superficie fogliare	m ² leaf/ m ² terreno
N	concentrazione di azoto	kg N/kg massa strutturale (kg soil)
nr	coefficiente di nitrificazione	kg N/ kg suolo seccol*giorno
NU	assorbimento di azoto	kg N /m ² giorno
P	tasso fotosintetico	kg CO ₂ /m ² foglia sec
PAR	radiazione fotosintetica attiva	W/m ²
PL	edificio plurifamiliare in linea	-
PT	edificio plurifamiliare a torre	-
RC	rendimento caldaia	-
Rg,d	radiazione globale giornaliera	kJ/m ² *giorno
SC	superficie coltivata	ha/a
SCH	superficie chiusa	m ²
SU	superficie utile	m ²
VC	volume complessivo	m ³
W	peso	kg
Y	efficienza di conversione o resa	/

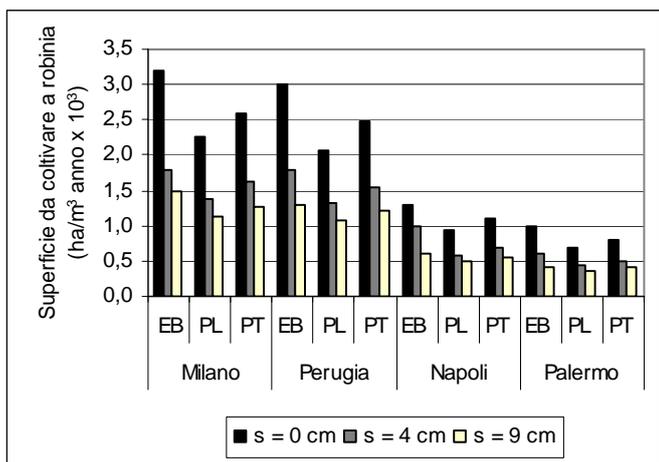


Figura 7: Superficie di robinia da coltivare/anno per unità di volume, per le diverse tipologie edilizie, con diversi gradi di isolamento termico e nelle diverse città italiane.

CONCLUSIONI

Si è realizzato un modello di simulazione della crescita di colture energetiche dedicate a rotazione breve e di correlazione alle dispersioni e ai fabbisogni energetici degli edifici. Il software, denominato Energy Farmer Advisor, è dotato di un'interfaccia grafica che permette di ricavare gli ettari necessari a produrre il quantitativo di biocombustibile per soddisfare il fabbisogno energetico di un'utenza abitativa di cui in input sono forniti i dati dimensionali, di isolamento e l'ubicazione. Il programma fornisce dati di produttività di diverse colture (pioppo o robinia); esso è stato utilizzato per simulare il comportamento di un edificio bifamiliare (EB), di un edificio plurifamiliare in linea (PL) e di un edificio plurifamiliare a torre (PT), ciascuno con tre diverse situazioni di isolamento termico: assenza; isolamento tradizionale, spessore 4 cm; edificio energeticamente efficiente, spessore isolamento 9 cm.

Si è supposto che gli edifici siano situati nelle quattro città di Milano, Perugia, Napoli e Palermo. L'energia primaria richiesta decresce spostandosi verso il sud d'Italia, con i valori più bassi per l'edificio plurifamiliare in linea, intermedi per l'edificio plurifamiliare a torre e più elevati per l'edificio bifamiliare. Con uno spessore di isolante di 4 cm le dispersioni sono ridotte mediamente del 40%; con uno spessore di 9 cm si ottiene un'ulteriore riduzione del 10%.

La produttività di biomassa per ettaro varia poco, per effetto dell'aumento, da nord a sud, sia della radiazione solare intercettata sia dello stress idrico; le superfici da coltivare a robinia per anno e per unità di volume riscaldato diventano

PEDICI

C	carbonio
N	azoto
sh	germogli
r	radici
s	suolo

BIBLIOGRAFIA

- [1] Wood biomass for energy, Forest Products Laboratori
- [2] Bartolelli V., Schenone G., Artese C., Caldaie a biomasse per impianti di riscaldamento domestico, ITABIA;
- [3] UNI 10344 Riscaldamento degli edifici – Calcolo del fabbisogno di energia;
- [4] UNI 7357 Calcolo del fabbisogno termico per il riscaldamento degli edifici;
- [5] UNI 10355: Murature e solai, valori della resistenza termica e modalità di calcolo;
- [6] UNI 10351 Materiali da costruzione, Conduttività termica e permeabilità al vapore;
- [7] UNI 10345 "Riscaldamento e raffreddamento degli edifici. Trasmittanza termica dei componenti edilizi finestrati. Metodo di calcolo" ;
- [8] Updated system description of the wofost crop growth simulation model as implemented in the crop growth monitoring system applied by the european commission; Treebook 7 January 2003, ISBN 90-804443-8-3 Treemail Publishers, Heelsum, The Netherlands;
- [9] UNI-CTI 10349: "Calcolo del fabbisogno termico per il riscaldamento di edifici – Dati climatici", 1994;
- [10] Penning de Vries, F.W.T., and H.H. van Laar. 1982. Simulation of growth processes and the model BACROS. p. 114–135. In F.W.T. Penning de Vries and H.H. van Laar (ed.) Simulation of plant growth and crop production. Center for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, the Netherlands.
- [11] Thornley JHM, Johnson IR. Plant and crop modelling: a mathematical approach to plant and crop physiology. Oxford University Press, 1990.
- [12] Ciria MP, Mazón P, Carrasco J, Fernandez J. Effect of rotation age on the productivity of poplar grown at high plantation density. In Chartier P et al., editors. Biomass for energy, environment, agriculture and industry (Proceedings of the Eighth European Biomass Conference, Vienna, Austria, 1994). Oxford: Pergamon, 1995. p. 489-94.
- [13] Scarascia-Mugnozza GE, Ceulemans R, Heilman PH, Isebrands JG, Stettler RF, Hinkley TM. Production physiology and morphology of Populus species and their hybrids grown under short rotation. II. Biomass components and harvest index of hybrid and parental species clones. Canadian Journal of Forest Research 1997; 27:285-94.
- [14] Facciotto G., Zenone T., Sperandio G., Dalle colture da biomassa reddito incerto senza aiuti, L'informatore agrario 10/2003 pag. 91-93
- [15] Shengzuo F, Xizeng X, Shixing L, Louzhong T. Growth dynamics and biomass production in short-rotation poplar plantations: 6-year results for three clones at four spacings. Biomass and Bioenergy 17 1999 p. 415-425.
- [16] Aravanopoulos FA, Kim KH, Zsuffa L. Genetic diversity of superior Salix clones selected for intensive forestry plantations. Biomass and Bioenergy 16 1999 p.249-255.
- [17] Armstrong A, Johns C, Tubby I. Effects of spacing and cutting cycle on the yield of poplar grown as an energy crop.

Biomass and Bioenergy 17 1999 305-314.

[18] Bullard MJ, Mustill SJ, Carver P, Nixon PMI. Yield improvements through modification of planting density and harvest frequency in short rotation coppice Salix spp.-2. Yield response in two morphologically diverse varieties. Biomass and Bioenergy 22 2002 pp. 27-39.

[19] Deraedt W, Ceulemans R. Clonal variability in biomass production and conversion efficiency of poplar during the establishment year of a short rotation coppice plantation. Biomass and Bioenergy Vol.15 Nos 4/5, 1998 pp.391-398.

[20] Pellis A, Laureysens, Ceulemans R. Growth and production of a short rotation coppice culture of poplar I. Clonal differences in leaf characteristics in relation to biomass production. Biomass and Bioenergy 27 2004 pp.9-19.

[21] Telenius BF. A software tool for standardised non-destructive biomass estimation in short rotation forestry. Bioresource Technology 60 1997 pp.267-268.

[22] Converse TE, Betters DR. Biomass yield equations for short rotation black locust plantations in the central great plains. Biomass and Bioenergy, Vol. 8. No. 4. pp. 251-254, 1995.

[23] Senelwa K, Sims REH. Tree biomass equations for short rotation eucalypts grown in New Zealand. Biomass and Bioenergy Vol. 13, No. 3, 1998 pp. 133-140.

[24] Deckmyn G, Laureysens I, Garcia J, Muys B, Ceulemans R. Poplar growth and yield in short rotation coppice: model simulations using the process model SECRETS. Biomass and Bioenergy 26 2004 221-227.

[25] Cotana F., Bidini G., Bartocci P., Buratti C., Fantozzi F. L'influenza degli agenti meteorologici e delle caratteristiche del suolo sulla produttività e sulla qualità del combustibile ricavato da una piantagione di robinia nella regione (Umbria), In: 61. Congresso Nazionale ATI : Perugia 12-15 settembre, 2006, vol. II. Atti del convegno: "61° Congresso Nazionale ATI", Perugia:Morlacchi Editore, 2006. p. 593-598.

[26] Bidini G., Bartocci P., Buratti C., Fantozzi F., The influence of environmental variables and soil characteristics on productivity and fuel quality of black locust plantation in umbria region (Italy); 14th European Biomass Conference, 17-21 October 2005, Paris, France.

[27] Combined Heat and Power Project Model, Natural Resources Canada.

SUMMARY

Solid biofuels obtained from dedicated and residual biomasses have a lower price per contained energy unit with respect to fossil fuels. Concerning domestic heating several studies available in Literature show how it is possible to substitute a fossil fuel fed boiler with a biomass fed boiler having a very short payback period. In the present paper primary energy input for different residential typologies, characterized by different level of thermal insulation and situated in 4 cities throughout Italy are evaluated. A calculus code was developed in Matlab; it evaluates the thermal input of the buildings, depending on their geographical position, residential typologies and dimensions. Together with thermal demand also biofuel demand is calculated and the required cultivated areas, by means of a crop model that describes the growth of a biomass plantation as a function of meteorological variables measured by a meteorological station.