



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

## FLORE

# Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

### **Colture energetiche - produzione e bilancio energetico on coltura di sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) da biomassa coltivato in Italia**

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

*Original Citation:*

Colture energetiche - produzione e bilancio energetico on coltura di sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) da biomassa coltivato in Italia centrale / E. PALCHETTI; M. MANZELLI; V. VECCHIO; G. CERTOSI. - In: AGROINDUSTRIA. - ISSN 1724-9015. - STAMPA. - 5:(2006), pp. 15-21.

*Availability:*

The webpage <https://hdl.handle.net/2158/218755> of the repository was last updated on

*Terms of use:*

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

*Publisher copyright claim:*

La data sopra indicata si riferisce all'ultimo aggiornamento della scheda del Repository FloRe - The above-mentioned date refers to the last update of the record in the Institutional Repository FloRe

(Article begins on next page)

# Culture energetiche - produzione e bilancio energetico in coltura di sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) da biomassa coltivato in Italia centrale

E. Palchetti, M. Manzelli, V. Vecchio, G. Certosi

Dipartimento di Scienze Agronomiche e Gestione del Territorio Agroforestale (DISAT), Università degli Studi di Firenze, Italy

## RIASSUNTO

L'utilizzo delle risorse energetiche alternative costituisce oggi un valido strumento volto alla riduzione delle emissioni di gas serra. In particolare l'utilizzo delle colture da biomassa assume una importanza strategica proprio nell'ottica di una maggiore tutela ambientale e di un concreto sostegno allo sviluppo rurale e all'occupazione. Tra le colture da biomassa, il sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) gioca indubbiamente un ruolo di primaria importanza, in particolare in ambienti quali quello mediterraneo. La presente attività di ricerca, inserita nell'ambito di un progetto promosso dalla società Energy Agri Srl per la produzione di energia elettrica ottenuta dalla combustione di biomasse vegetali, ha avuto l'obiettivo di valutare le potenzialità produttive e la risposta a differenti condizioni pedo-agronomiche di colture di sorgo da biomassa. I risultati hanno evidenziato una significativa differenza di comportamento delle colture in funzione dell'ambiente di coltivazione e, soprattutto, della tecnica agronomica adottata nelle aziende inserite nella sperimentazione. Tali differenze hanno interessato sia le produzioni finali sia lo sviluppo delle piante, monitorato attraverso il rilievo di variabili quali altezza della pianta, numero di accestimenti, durata delle fasi fenologiche. Differenze meno marcate sono state invece registrate in termini di bilancio energetico, che è risultato positivo in tutte le località oggetto della sperimentazione. In particolare, le lavorazioni e le modalità di concimazione hanno rappresentato le voci più importanti. Dai risultati ottenuti, emerge la necessità di individuare e/o costituire varietà non solo con elevati livelli produttivi ma anche con migliori caratteristiche di adattamento e meno esigenti da inserire in itinerari agronomici a bassi input al fine di ottimizzare la filiera energetica rendendo il processo energetico ancora più efficiente.

*Parole chiave:* energia alternativa, biomassa, sistemi colturali, sorgo

## SUMMARY

### Energy crops: yield and energetic balance of *Sorghum* (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) for biomass production in Central Italy

**Introduction.** Nowadays the utilisation of alternative energetic resources represents a valid tool in greenhouse gas reduction. In particular, the utilisation of biomass crops plays a strategic role in protecting environment and supporting rural development and employment. Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) is undoubtedly one of the most important biomass herbaceous crops, especially in environments such as those of Mediterranean area. The research activity, inserted in the ambit of a project supported by the company Energy Agri Srl for electric energy production by biomass combustion, aimed to evaluate productive performances and responses to different agricultural conditions of biomass sorghum crops. **Materials and methods.** Four experimental sites were chosen as representative of homogenous agricultural and pedo-climatic areas. Low input technical itinerary were adopted in order to maximize the energetic balance. Experimental sampling were randomly done in each fields assessing sorghum productive parameters. Energetic balance were calculated by quantifying energetic flows in each sites. **Results and discussion.** The results highlighted a significative difference in crop behaviour in function of cultivation environment and, specifically, of technical itinerary adopted by project farms. These differences concerned both final production and plant development, assessed by measurement of quantitative variables such as plant height, tiller number, phenological plant phase length. Specifically, sorghum grown in the locality Collesalveti gave the highest performances. Nevertheless less pronounced differences were observed in terms of energetic balance, which resulted positive in all experimental areas. In fact, the low productivity level associated to zero tillage techniques was balanced in terms of energetic efficiency. The most important items were cultivation and fertilisation modalities. **Conclusion.** Besides highlighting the energetic convenience of biomass sorghum cultivation in the experimental area, the results obtained indicate the need in selecting varieties not only with high production standard but also more reliable and less exigent to be inserted in low input cropping systems in order to optimize the energetic chain and make the energetic process more efficient.

*Key words:* alternative energy, biomass, cropping systems, sorghum

## INTRODUZIONE

L'utilizzo energetico delle biomasse accompagna da millenni lo sviluppo dell'umanità ed assume oggi un'importanza strategica in primo luogo nella riduzione delle emissioni dei gas serra (Berna, 1997; Gustavsson, 1997; Gustavsson *et al.*, 1995) e, più in generale, nella tutela ambientale e nella tutela del mondo agricolo. Dallo sfruttamento delle colture energetiche deriverebbero infatti, oltre ai benefici di

carattere energetico, anche esternalità positive a favore dell'inquinamento, della difesa del suolo, dello sviluppo rurale e dell'occupazione (Galli e Pampana, 2004; Fagnano e Postiglione, 2002). La biomassa assume pertanto un ruolo strategico perché facilmente e diffusamente disponibile, rappresenta una risorsa ubiquitaria, pulita, rinnovabile, versatile e, mediante tecnologie di conversione, può in parte sostituire i combustibili fossili (COM, 1997). Oggi le coltivazioni a scopi energetici rappresentano una reale alternativa a quelle alimentari in differenti realtà agricole del territorio nazionale, in relazione anche all'adeguamento dei nuovi scenari comunitari. Le ricerche

condotte sul territorio nazionale negli ultimi anni sono state indirizzate all'individuazione delle specie vegetali più idonee per la produzione di energia, soprattutto negli ambienti considerati marginali (Foti e Casentino, 2001; Fagnano e Postiglione, 2002; Amaducci *et al.*, 2000; Monti *et al.*, 2002). Tali ricerche si sono orientate verso specie altamente produttive, poco esigenti di input tecnici, ad alta efficienza fotosintetica (piante a ciclo C4) e quindi spesso originarie della fascia sub-tropicale, come il sorgo da fibra (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e il kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.), ma anche specie rustiche come miscanto (*Miscanthus sinensis* var. *Giganteus*), canna comune

Autore corrispondente: M. Manzelli - Dipartimento di Scienze Agronomiche e Gestione del Territorio Agroforestale (DISAT), Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Firenze, P.le delle Cascine 18, 50144 Firenze. Tel. +39 055 3288245, Fax +39 055 332472, e-mail marco.manzelli@unifi.it.

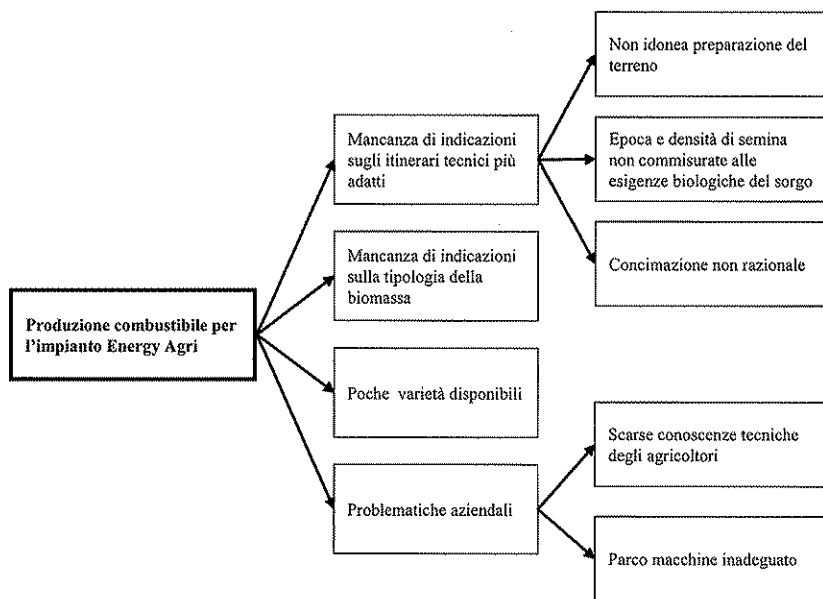


Figura 1 - Produzione di biomassa: albero dei problemi.  
 Figure 1 - Biomass production: problem tree.

(*Arundo donax* L.), cardo (*Cynara cardunculus* L.), ecc.

Il sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) costituisce una delle colture cerealicole più importanti del mondo. Il sorgo è una coltura multifunzionale i cui differenti utilizzi vanno dalla produzione di granella e di foraggi a quella di prodotti derivati quali alcol, melassa, carta, biomassa per costruzioni e a fini energetici. Negli ultimi anni questo cereale è stato oggetto di studio proprio in relazione alla sua attitudine a produrre grandi quantità di biomassa da utilizzare come valida alternativa alle fonti energetiche non rinnovabili (Fagnano e Postiglione, 2002; Amaducci *et al.*, 2000; Olufayo *et al.*, 1997). In particolare alcune ricerche si sono concentrate sull'utilizzo di questa specie in ambiente mediterraneo (Fagnano e Postiglione, 2002; Habyarimana *et al.*, 2004a,

2004b; Mastroianni *et al.*, 1995), dove la coltura, viste le sue caratteristiche di arido-resistenza e l'elevata efficienza fotosintetica, riesce a fornire risultati soddisfacenti anche con tecniche di produzione a bassi input (Fagnano e Postiglione, 2002; Foti e Casentino, 2001; Schenone *et al.*, 1994). Molto interessante è anche la sua utilizzazione in ambienti marginali; a tal proposito basti pensare che, secondo quanto riportato da Monti *et al.*, la messa a coltura dei terreni marginali abbandonati potrebbe coprire circa il 7% del fabbisogno energetico nazionale.

L'attività di ricerca si è inserita nell'ambito di un progetto promosso dalla società Energy Agri Srl di produzione di energia elettrica ottenuta dalla combustione di biomasse vegetali da colture dedicate di sorgo da fibra. Il progetto, oltre alla produzione di biomassa,

ha previsto la realizzazione di un impianto di combustione nel comune di Crespina in provincia di Pisa. La collaborazione con Energy Agri è stata avviata allo scopo di seguire le colture di sorgo acquisendo informazioni specifiche sulle tecniche agronomiche adottate dalle singole aziende e fornendo nel contempo supporto di consulenza alla società. In figura 1 sono schematizzate le problematiche relative alla coltivazione del sorgo quale fonte energetica della filiera messa a punto da Energy Agri affrontate nell'ambito dello studio qui riportato. La prima campagna di coltivazione del sorgo è stata avviata nel 2002 ed ha visto coinvolte una decina di aziende ubicate nel comprensorio circostante l'impianto di combustione, le quali hanno destinato circa 50 ettari alle prove di pieno campo. Nell'ambito di tale campagna, la presente ricerca ha avuto l'obiettivo di valutare le potenzialità produttive e la risposta a differenti condizioni pedo-agronomiche di colture di sorgo da biomassa.

#### MATERIALI E METODI

Degli appezzamenti coltivati nel comprensorio interessato dalla campagna agricola, ne sono stati selezionati quattro come rappresentativi di aree agricole omogenee sulla base di indicazioni geografiche e pedo-climatiche: Fucecchio (FI), Cerreto Guidi (FI), Crespina (PI) e Collesalveti (LI). Nelle suddette località è stata valutata la risposta produttiva della varietà di sorgo Abetone, prodotta dall'azienda sementiera SIS, a diverse tecniche colturali nonché alle diverse condizioni ambientali.

Per tutti gli appezzamenti sono stati scelti itinerari tecnici a basso impatto ambientale senza apporti irrigui supplementari al fine di rendere il bilancio energetico il più positivo

Tabella 1 - Itinerario tecnico.  
 Table 1 - Technical itinerary.

	Località			
	Fucecchio	Cerreto Guidi	Crespina	Collesalveti
Area (ha)	5	2	7	4
Coltura precedente	Mais	Frumento	Frumento	Set aside
Concimazione (kg/ha)				
N	100	0	100	Letame
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	70	0	70	(200 q/ha)
K <sub>2</sub> O	70	0	70	
Preparazione del terreno	Minimum tillage	Sod Seeding	Aratura superficiale Erpicatura	Minimum tillage Rullatura post semina
Semina				
Data	15-04-02	15-04-02	15-05-02	15-04-02
Investimento (p/m <sup>2</sup> )	60	38	80	18
Interfila (cm)	15	36	15	20
Controllo malerbe	-	-	Pre-semina	Pre-semina
Epoca di raccolta	31-08-02	07-08-02	10-08-02	20-08-02

possibile (Tab. 1). È stato quindi ridotto l'utilizzo di concimi, antiparassitari e diserbanti nonché il passaggio dei mezzi meccanici, preferendo le operazioni colturali combinate a quelle semplici.

Le quattro aziende agricole inserite nel presente studio hanno destinato ciascuna 5 ha alla coltivazione del sorgo; la scelta di destinare pochi ettari alla sperimentazione è stata motivata dal fatto di potere inserire la coltura negli ordinamenti aziendali esistenti. Le semine sono state effettuate nella prima metà del mese di aprile ad eccezione della località Crespina, dove la semina è stata effettuata nel mese di maggio; la raccolta è stata effettuata durante il mese di agosto. Il prodotto ottenuto trinciato ed imballato è stato prelevato dalla società Energy Agri per mezzo di un cantiere di raccolta costituito da una trinciastocchi e da una imballatrice semoventi. La biomassa raccolta è stata preparata in presse di dimensioni 90x120x240 cm e peso medio di 750 kg con una densità di 290 kg m<sup>-3</sup>.

I rilievi sperimentali sono stati effettuati in aree di saggio scelte casualmente all'interno di ciascun appezzamento. Ogni campionamento ha previsto il prelievo di 30 piante, su ciascuna delle quali sono state effettuate le seguenti misure: Numero Foglie (NF), Altezza Pianta (AP), Diametro Culmo (DC) misurato a metà del secondo internodo,

Numero Accestimenti (NA), Numero Foglie Accestimenti (NFA), Peso Fresco e Secco del Culmo (PFC e PSC), degli Accestimenti (PFA e PSA) e dei Panicoli (PFP e PSP), Biomassa Fresca e Secca (BF e BS). I pesi freschi sono stati misurati subito dopo il prelievo, mentre quelli secchi sono stati misurati dopo trattamento in stufa ventilata e termostata a 105 °C per 72 ore. Per le misurazioni dei pesi è stata utilizzata una bilancia tecnica al centesimo di grammo. Per ogni parametro rilevato è stato inoltre calcolato l'incremento medio giornaliero secondo la formula:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^{30} x_{i(t)} - \sum_{i=1}^{30} x_{i(t-1)}}{\Delta t}$$

dove:  $x_{i(t)}$  = valore del parametro al tempo t;  $x_{i(t-1)}$  = valore del parametro al tempo t-1;  $\Delta t$  = intervallo in giorni tra il tempo t e il tempo t-1.

Durante il ciclo colturale sono stati inoltre rilevati il grado di copertura, la percentuale di piante allestite, la presenza di eventuali attacchi patogeni ed il livello di presenza di malerbe.

Per le variabili quantitative l'analisi della varianza è stata effettuata adottando il modello fisso. Per ogni fonte di variazione, il confronto tra le medie è stato eseguito

mediante il test di Bonferroni. Il metodo delle Pearson correlation è stato utilizzato per studiare l'entità delle correlazioni esistenti tra le variabili quantitative.

#### Calcolo del bilancio energetico

Per ogni località oggetto della sperimentazione è stato calcolato il bilancio energetico della coltura, attraverso un'analisi colturale nella quale sono stati quantificati i flussi energetici in entrata e in uscita dal sistema.

La coltivazione è da intendersi come un processo all'interno del quale l'energia ambientale (sole, terra, acqua meteorica, ecc.) viene trasformata in prodotto utile, rappresentato, in questo caso, da biomassa per scopi energetici. In questa analisi l'energia ambientale è stata trascurata in quanto disponibile in misura illimitata nel tempo e con carattere di gratuità (Spugnoli *et al.*, 1993). Sono stati inoltre trascurati gli ammortamenti dei costi energetici relativi alla costruzione degli immobili adibiti a rimessa dei mezzi agricoli e quelli relativi alla realizzazione e manutenzione dell'impianto di combustione. Ad ogni operazione agricola è stato attribuito un flusso energetico calcolato sulla base dei seguenti costi diretti e indiretti e secondo criteri prudenziali: carburante, lubrificante, prodotto impiegato (concime, seme, ecc.),

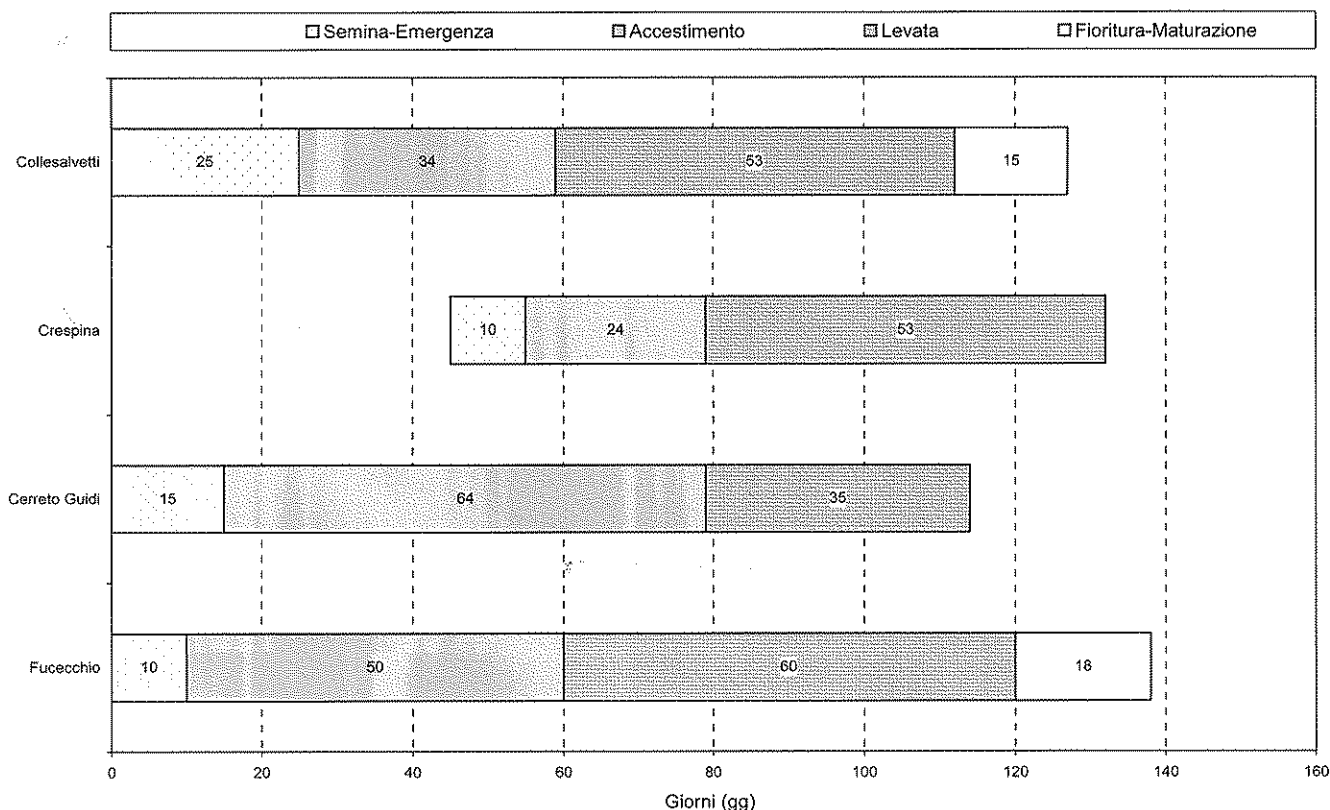


Figura 2 - Ciclo colturale nelle aree sperimentali.  
Figure 2 - Crop cycle in experimental areas.

Tabella 2 - Bilancio energetico.  
Table 2 - Energetic balance.

Produzioni	Località							
	Fuucecchio 32 ton/ha		Cerreto Guidi 13 ton/ha		Crespina 31 ton/ha		Collesalveti 30 ton/ha	
	GJ/ha	%	GJ/ha	%	GJ/ha	%	GJ/ha	%
Lavorazioni	2.5	21.4%	0.0	0.0%	6.7	42.8%	5.1	38.8%
Concimazione	3.5	30.5%	0.0	0.0%	3.5	22.5%	4.2	31.9%
Semina	2.4	26.0%	2.0	43.7%	2.9	18.4%	1.3	10.1%
Raccolta e trasporto	2.5	22.1%	2.7	56.3%	2.2	16.3%	2.2	19.2%
Totale input	10.9	100.0%	4.6	100.0%	15.2	100.0%	12.9	100.0%
Output potenziale <sup>1</sup>	448.0	100.0%	182.0	100.0%	434.0	100.0%	420.0	100.0%
Output energia elettrica <sup>2</sup>	116.5	26.0%	47.3	26.0%	112.8	26.0%	109.2	26.0%
Output/input	10.7		10.2		7.4		8.5	

<sup>1</sup>Valore ottenuto dal prodotto della biomassa secca per il PCI (14 MJ Kg<sup>-1</sup>)

<sup>2</sup>Nel calcolo è stato considerato un rendimento del processo di conversione dell'energia chimica della biomassa in energia elettrica pari al 26 % (valore riportato nel progetto Energy Agri).

ammortamento del costo energetico della trattrice, ammortamento del costo energetico dell'operatrice, manodopera. Per il calcolo degli ammortamenti sono stati utilizzati coefficienti di costo energetico per unità di massa e per ora di esercizio, ottenuti dal rapporto tra il costo energetico a nuovo più quelli di riparazione e manutenzione e la vita tecnica della macchina (Spugnoli *et al.*, 1993).

### RISULTATI

Per esigenze di sintesi vengono qui riportati i risultati più significativi e di maggior valore divulgativo.

L'andamento termo-pluviometrico dell'anno 2002 è stato caratterizzato da abbondanti precipitazioni, in particolare durante il periodo estivo con valori prossimi ai 220 mm; l'unico periodo siccitoso, seppur breve, è stato registrato tra giugno e luglio

con temperature superiori ai 30 °C e la quasi assenza di precipitazioni. Le temperature minime registrate nel periodo successivo alle semine hanno raggiunto valori inferiori ai 10 °C, causando condizioni di stress alla coltura nelle prime fasi di crescita.

L'anticipo della data di semina nelle località di Collesalveti, Cerreto Guidi e Fuucecchio non ha determinato un accorciamento del ciclo culturale, anche se, a parità di data di

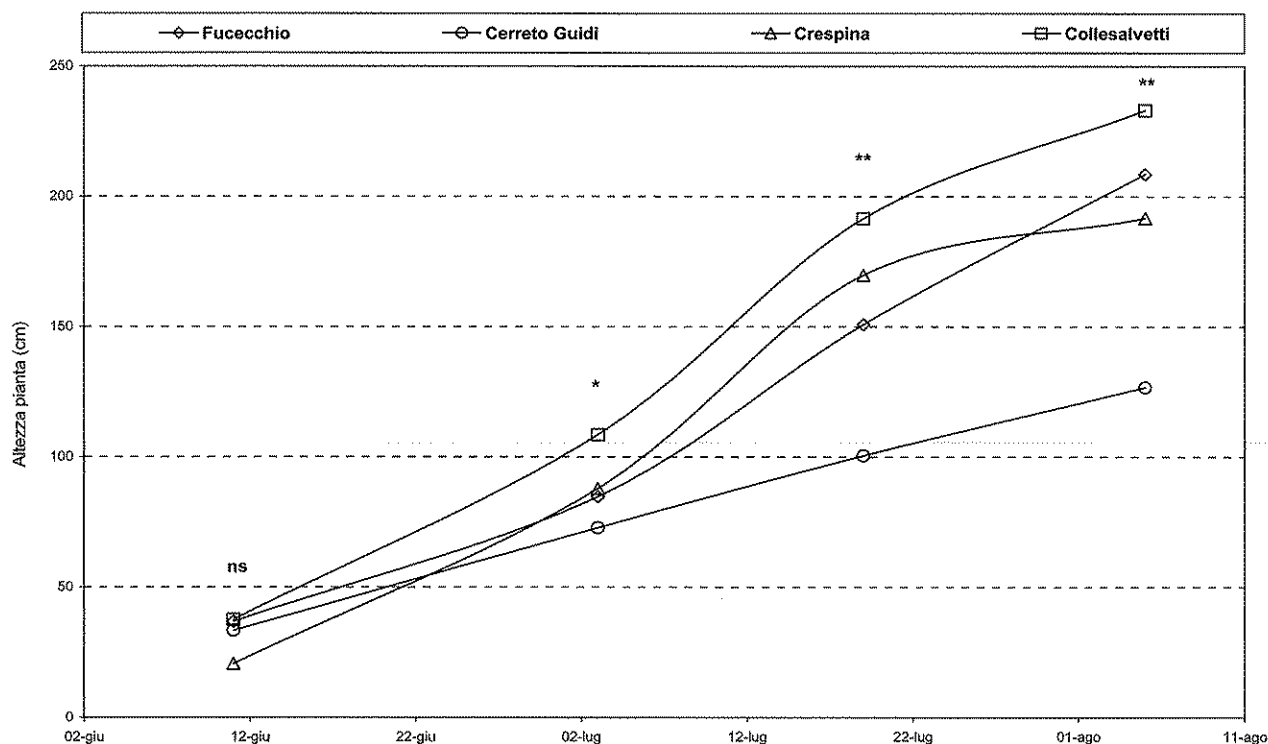


Figura 3 - Andamento della variabile altezza della pianta nelle aree sperimentali (ns = non significativo; \* = significativo per  $p < 0.05$ ; \*\* = significativo per  $p < 0.01$ ).

Figure 3 - Plant height trend in experimental areas (ns = not significant; \* = significant for  $p < 0.05$ ; \*\* = significant for  $p < 0.01$ ).

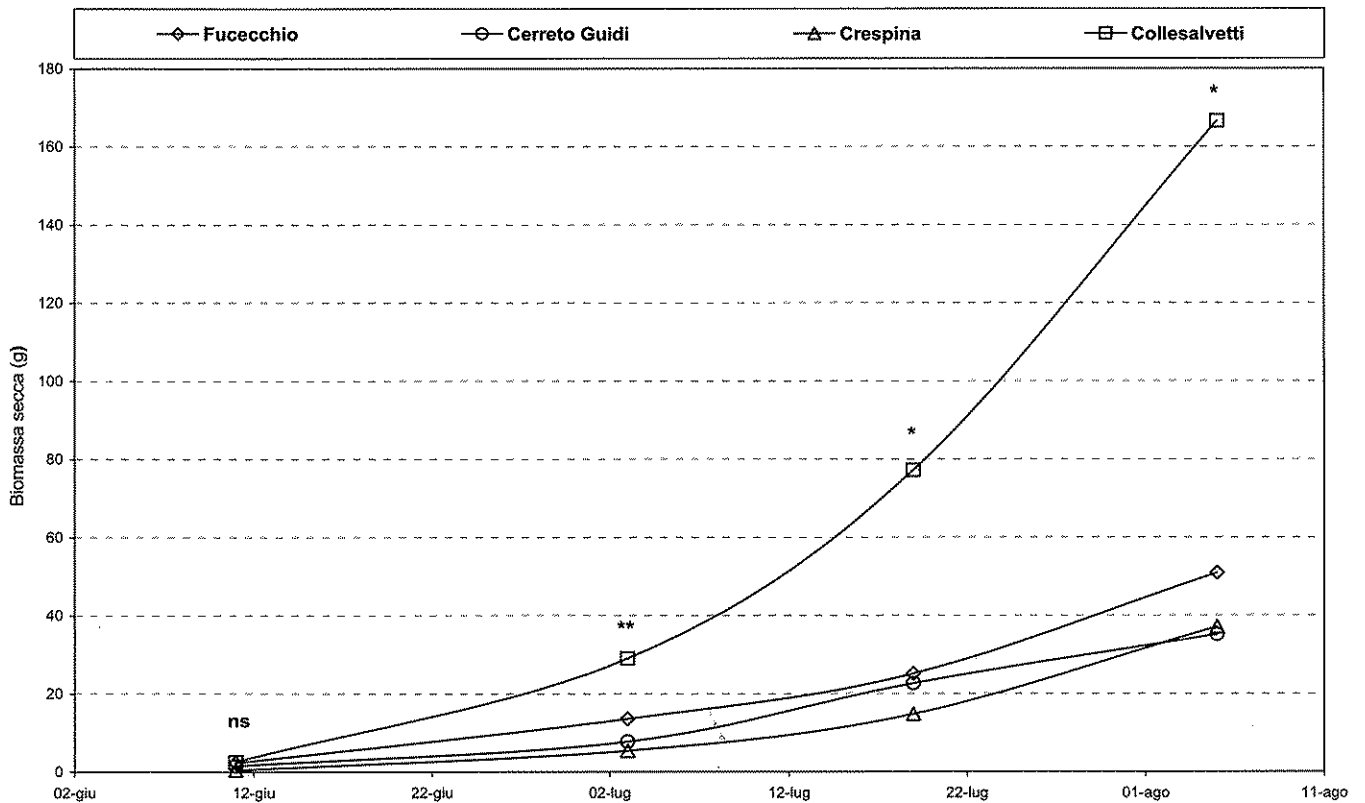


Figura 4 - Andamento della variabile biomassa secca nelle aree sperimentali (ns = non significativo; \* = significativo per  $p < 0.05$ ; \*\* = significativo per  $p < 0.01$ ).

Figure 4 - Dry biomass trend in experimental areas (ns = not significant; \* = significant for  $p < 0.05$ ; \*\* = significant for  $p < 0.01$ ).

semina, si osservano alcune differenze nella durata delle fasi fenologiche (Fig. 2); inoltre la raccolta dell'appezzamento di Cerreto Guidi è stata effettuata in anticipo al termine della levata. Anche in località Crespina, dove la semina è avvenuta in ritardo, la raccolta è stata effettuata in fase di pre-fioritura.

Ad eccezione di Cerreto Guidi, la coltura ha mostrato un notevole sviluppo in altezza (Fig. 3). Gli incrementi medi giornalieri dell'altezza sono risultati linearmente crescenti fino al termine della levata, con valori massimi di  $5 \text{ cm gg}^{-1}$ . A Cerreto Guidi la coltura ha invece presentato un ritmo di crescita decisamente minore anche a causa di una tecnica agronomica meno appropriata. Alla raccolta, la coltura ha raggiunto una altezza media di 233 cm a Collesalveti, 208 cm a Fucecchio, 191 cm a Crespina e 126 cm a Cerreto Guidi. Nonostante questa crescita in altezza, i culmi hanno in generale presentato una buona resistenza all'allettamento ed alla rottura. Solamente a Crespina, dove la coltura si è caratterizzata per un maggiore rapporto tra altezza e diametro, sono stati osservati culmi allettati.

Il peso secco della singola pianta, considerando il contributo del culmo principale, degli accestimenti e dei panicoli, ha presentato una crescita costante durante tutto il ciclo, ad eccezione dei valori registrati in località Collesalveti, il cui andamento

esponenziale è da attribuirsi in gran parte al minore investimento iniziale (Fig. 4). Tale andamento complessivo è inoltre confermato dal maggiore diametro del culmo principale e dai valori più elevati nel numero e peso degli accestimenti registrati nelle piante coltivate nell'azienda di Collesalveti; in relazione agli accestimenti, basti pensare anche alla loro pressoché assenza osservata nelle altre tre località, dove l'itinerario tecnico ha previsto densità di semina molto maggiori. In termini di incremento medio giornaliero della biomassa secca (Fig. 5), gli andamenti, oltre a confermare quanto sopra riportato, permettono anche di correlare un incremento pressoché costante di biomassa nelle piante coltivate nelle aziende di Fucecchio e Crespina ad una elevata densità di semina; i ridotti incrementi osservati nella coltura di Cerreto Guidi potrebbero invece essere stati determinati da una minore disponibilità in elementi nutritivi, in accordo con l'itinerario tecnico adottato. Alla raccolta i pesi medi finali della biomassa secca sono stati di 167 g a Collesalveti, 51 g a Fucecchio, 37 g a Crespina e 35 g a Cerreto Guidi.

Nella figura 6 sono riportate le produzioni di biomassa e il contributo delle diverse parti della pianta alla produzione totale. Fatta eccezione per l'appezzamento di Cerreto Guidi, in tutti gli altri appezzamenti sono state raggiunte ottime produzioni, prossime

o superiori alle  $30 \text{ ton ha}^{-1}$ . Come già menzionato, il contributo degli accestimenti alla produzione totale è stato significativo solo nella prova di Collesalveti effettuata con minori investimenti alla semina, mentre nelle altre prove la coltura ha in pratica presentato una media di un culmo per pianta.

I risultati del bilancio input/output sono riportati nella tabella 2. Il costo energetico totale della fase di coltivazione è risultato variabile per le quattro località in funzione dell'itinerario tecnico adottato. Il valore minimo ( $4.6 \text{ MJ}$ ) è stato registrato nella prova di Cerreto Guidi, mentre il massimo ( $15.2 \text{ MJ}$ ) in località Crespina sul quale pesa notevolmente il costo delle lavorazioni. Anche il costo della concimazione incide significativamente sul totale, eccezion fatta per la prova condotta a Cerreto Guidi. La voce output potenziale sta ad indicare la quantità di energia chimica contenuta nella biomassa ed è stata calcolata moltiplicando il peso della biomassa secca prodotta per il Potere Calorifico Inferiore (PCI), il cui valore, ottenuto da prove di combustione della biomassa, è risultato mediamente pari a  $14 \text{ MJ Kg}^{-1}$ . La voce output energia elettrica è stata calcolata in funzione di un rendimento della trasformazione dell'energia chimica della biomassa in energia elettrica pari al 26%. Il rapporto tra i flussi energetici in uscita e in entrata è risultato elevato in tutte le località,

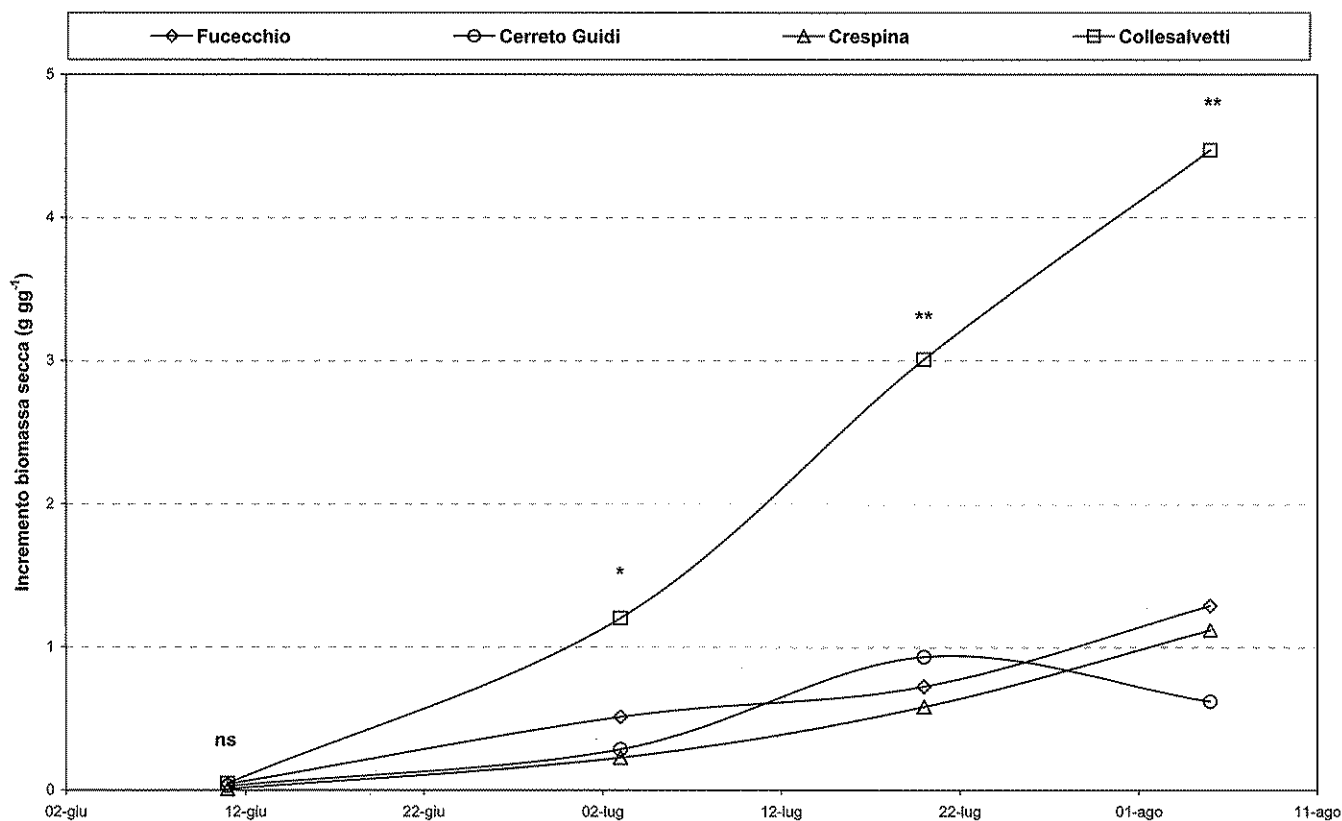


Figura 5 - Tasso di incremento della variabile biomassa secca nelle aree sperimentali (ns = non significativo; \* = significativo per  $p < 0.05$ ; \*\* = significativo per  $p < 0.01$ ).

Figure 5 - Dry biomass increase rate in experimental areas (ns = not significant; \* = significant for  $p < 0.05$ ; \*\* = significant for  $p < 0.01$ ).

confermando la convenienza energetica del processo. Particolarmente interessante è il risultato ottenuto nella prova di Cerreto Guidi, dove il ridotto apporto di input ha sensibilmente compensato una produzione significativamente più bassa, raggiungendo un valore del rapporto output/input prossimo a quello registrato in località Fucecchio

## DISCUSSIONE DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

Le prove effettuate hanno fatto emergere aspetti interessanti che meritano di essere approfonditi. In primo luogo è emersa una non ottimale tecnica agronomica circa la coltivazione del sorgo da fibra da parte delle aziende inserite nella sperimentazione. In particolare la semina, sia per quanto riguarda l'epoca, l'investimento e le attrezzature, rappresenta la prima tecnica agronomica da mettere a punto. Infatti in località Crespina, dove il sesto d'impianto ha previsto una elevata densità di semina, le piante hanno presentato una maggiore suscettibilità all'allettamento e un minore accumulo di sostanza secca nei culmi. È quindi preferibile una semina più rada con un'interfila di 45-50 cm in modo da facilitare anche altre operazioni colturali; in tal modo è inoltre possibile

controllare l'accestimento ed evitare la competizione intra-pianta nelle fasi iniziali di crescita.

Nelle colture meno fitte è stato registrato un contributo maggiore dell'accestimento alla biomassa finale. A Collesalveti, dove è stata adottata una densità di semina minore, sono state registrate ottime produzioni: piante alte ma con un basso rapporto altezza-diametro e quindi meno suscettibili all'allettamento, contenuto di sostanza secca nei culmi almeno doppio rispetto alle altre località, sviluppo di culmi secondari fino alla raccolta, migliore incremento medio giornaliero di biomassa.

La data di semina deve essere commisurata alle esigenze termiche della specie evitando di seminare con temperature inferiori ai 12-13°C; ciò per evitare sia danni da freddo alle giovani piantine che la riduzione del tasso di crescita della coltura e quindi la capacità del sorgo di competere con le infestanti. In tre delle quattro località la semina eseguita ad Aprile ha esposto le giovani piantine a temperature non ottimali con parziale danno all'apparato fogliare. Semine anticipate determinano inoltre l'emissione del panico già nel mese di agosto, ma, come è noto, per la produzione di biomassa occorre ritardare la fioritura il più possibile.

In relazione alla raccolta, è quindi

importante intervenire in pre-fioritura in corrispondenza della fase fenologica dove è massimo l'accumulo di sostanza secca nella pianta e gli incrementi di biomassa tendono praticamente a zero.

Nonostante che la varietà Abetone abbia dato risposte agronomiche contrastanti in funzione della località di coltivazione e, soprattutto, in relazione agli itinerari adottati, i risultati di questa sperimentazione permettono di affermare che la coltivazione del sorgo da fibra è risultato in questo areale un processo efficiente dal punto di vista energetico. Il prodotto ottenuto, la biomassa, è convenientemente utilizzabile per la produzione di energia sia termica che elettrica. L'output energetico è risultato infatti superiore all'input energetico immesso durante le fasi di coltivazione, raccolta e trasporto della biomassa in tutte le località oggetto della ricerca, benché siano stati adottati itinerari tecnici sensibilmente differenti e ottenute differenti risposte produttive. In ogni caso la positività dei bilanci energetici è da correlarsi all'adozione, seppure diversa da località a località, di tecniche agronomiche a basso impatto ambientale. È infatti importante notare come un ridotto o quasi nullo intervento agronomico comporti sì una significativa riduzione delle produzioni

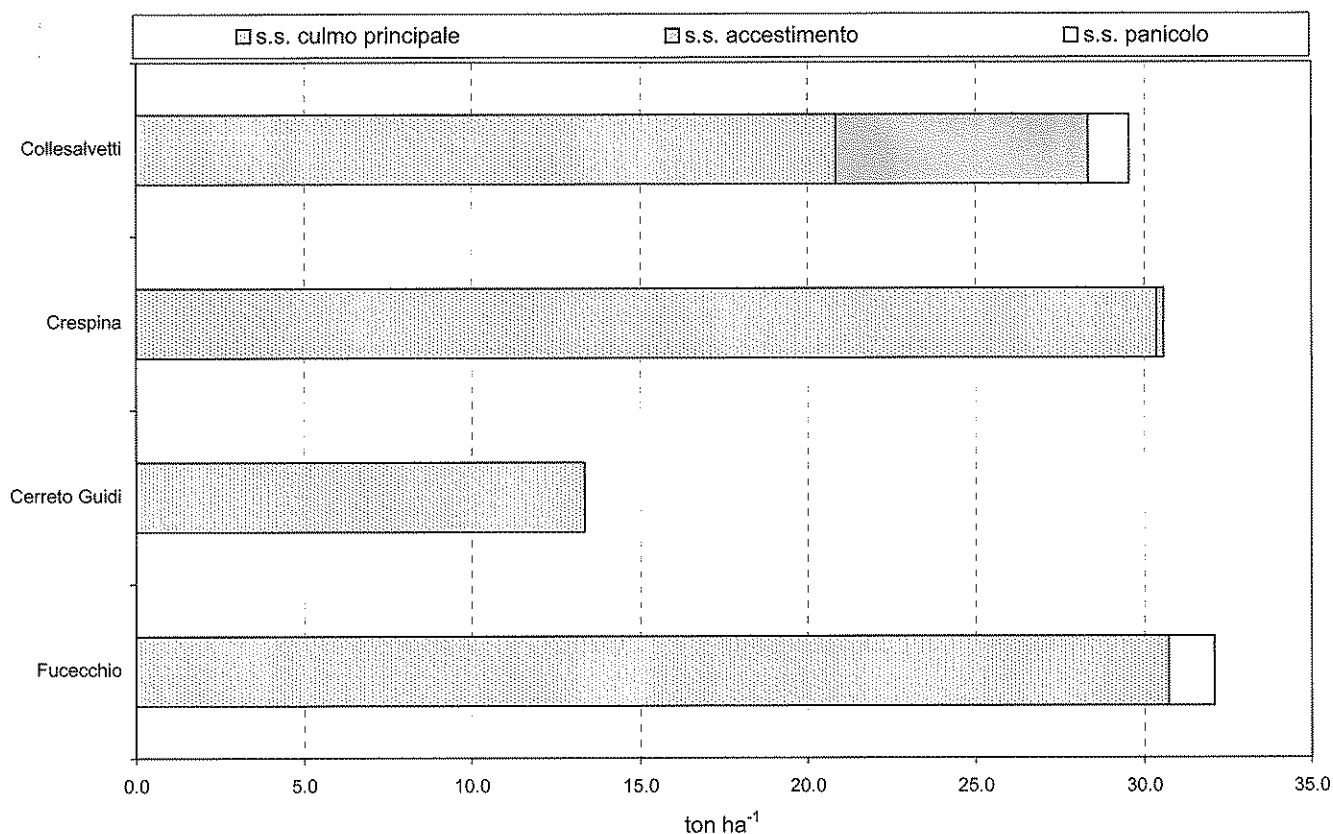


Figura 6 - Rese unitarie delle principali componenti della pianta.  
Figure 6 - Yields of main plant components.

ma determini nel contempo un aumento per unità di prodotto significativamente maggiore nel rapporto output/input. È auspicabile pertanto l'individuazione e/o la costituzione di varietà non solo con elevati livelli produttivi ma anche più adattabili e meno esigenti da inserire in itinerari agronomici a bassi apporti al fine di rendere il processo energetico ancora più efficiente. È altresì importante ai fini di ottimizzare la filiera energetica da un lato individuare tecniche agronomiche e itinerari tecnici ben adatti al contesto agro-ecologico di intervento dall'altro disporre di informazioni sul potenziale produttivo dei differenti areali.

#### BIBLIOGRAFIA

- Amaducci S., Amaducci M.T., Beneti R., Venturi G., 2000. Crop yield and quality parameters of four annual fibre crops (hemo, kenaf, maize and sorghum) in the North of Italy. *Industrial Crops and Products* 11, 179-186.
- Berna F., 1997. Il ruolo delle biomasse nella prevenzione dell'effetto serra. In: conferenza nazionale sulle energie per uno sviluppo sostenibile, Roma 13-15/11.
- European Commission, 1997. Energy for the future: Renewable sources of energy. White Paper for a Community Strategy and Action plan. COM (97) 599 final.
- Fagnano M., Postiglione L., 2002. Sorgho da energia in ambiente mediterraneo: effetto della concimazione azotata con limitati apporti idrici. *Rivista di Agronomia* 36, 227-232.
- Foti S., e Cosentino S.L., 2001. Colture erbacee annuali e poliennali da energia. *Rivista di Agronomia* 35, 200-215.
- Galli M. e Pampana S., 2004. Le fonti rinnovabili per la produzione di energia: il ruolo delle biomasse. In: *Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm, Quaderno ARSIA* 6, 11-27.
- Gustavsson L., 1997. Energy efficiency and competitiveness of biomass-based energy system. *Energy* 22 (10), 959-967.
- Gustavsson L., Börjesson P., Johsson B., Svenningsson P., 1995. Reducing CO2 emission by substituting biomass for fossil fuels. *Energy* 20 (11), 1097-1113.
- Habyarimana E., Bonardi P., Laureti D., Di Bari S., Casentino S., Lorenzoni C., 2004a. Multilocational evaluation of biomass sorghum hybrids under two stand densities and variable water supply in Italy. *Industrial Crops and Products* 20, 3-9.
- Habyarimana E., Laureti D., De Ninno M., Lorenzoni C., 2004b. Performances of biomass sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] under different water regimes in Mediterranean region. *Industrial Crops and Products* 20, 23-28.
- Mastorilli M., Katerji N., Rana G., Seduto P., 1995. Sweet sorghum in Mediterranean climate: radiation use and biomass water use efficiencies. *Industrial Crops and Products* 3, 253-260.
- Monti A., Venturi G., Amaducci M.T., 2002. Confronto tra sorgho, kenaf e discanto a diversi livelli di disponibilità idrica e azotata per la produzione di energia. *Rivista di Agronomia* 36, 213-220.
- Olufayo A.A., Ruelle P., Baldy C., Aidaoui A., 1997. Biomassa of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) under variable water regime. *Biomass and Bioenergy* 12, 383-386.
- Schenone G., Parrini F., Smedile E., 1994. Biomass crops for electricity production: a research program promoted by Enel (Italian electric board). Proc. 8th European Biomass Conference, Vienna, 3-5 ottobre 1994, 156-167.
- Spugnoli P., Baldi F., Parenti A., 1993. L'analisi energetica per un migliore uso delle risorse nei processi agricoli. Applicazione ad aziende agricole toscane. *Rivista di Ingegneria Agraria* anno XXIV 4.

28