

### III. Colture erbacee poliennali





A  
*Cardo, Arundo donax*



1

*Botanica, biologia, genetica*



---

## a - Canna comune (*Arundo donax* L.)

Venera Copani\*, Salvatore Luciano Cosentino\*

**Nomi comuni:** *canna comune* (italiano); *grand roseau, canne de Provence* (francese); *cana-do-brejo, cana-do reino* (portoghese, Brasile); *giant reed, Spanish reed* (inglese); *pfahlrohr* (tedesco); *qalam, ghab* (arabo); *caña común, caña de Castilla* (spagnolo).

La canna comune è una graminacea erbacea perenne, rizomatosa, a ciclo fotosintetico C3; cresce allo stato spontaneo dal piano sempreverde fino al submontano (Onofry, 1940) nelle regioni temperate che si affacciano sul Mediterraneo ed in molte altre regioni del mondo (Asia, America, ecc.) (El Bassam, 2011). Forma dense colonie lungo le scarpate dei torrenti, nei pressi di corsi d'acqua dolce, nelle zone umide e in prossimità del mare.

La parola greca **donax** (donax, kàlamos donax, kàlamos kyprios) utilizzata degli scrittori greci (Omero, Teofrasto, Dioscoride) per indicare il culmo, la parte fuori terra di questa pianta, corrisponde al latino **arundo**, termine usato per indicare sempre il culmo ma anche gli strumenti che si potevano ricavare da questo: flauto, freccia, bastone. Il nome italiano 'canna' e l'equivalente nelle altre lingue moderne deriva dal latino *canna*.



**Figura 1** - Un canneto nella Piana di Catania (Foto DISPA).

---

\* Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari (DISPA), Università degli Studi di Catania.

### *Inquadramento botanico*

La canna comune (*Arundo donax* L.) appartiene alla famiglia delle *Poaceae* (*Graminaceae*), sottofamiglia *Arundinoideae*, tribù *Arundineae*, genere *Arundo*.

Al genere *Arundo* il GRIN Taxonomy (2011) ascrive quattro taxa: oltre ad *Arundo donax* L., *Arundo donax* var. *versicolor* (Mill.) Stokes, una variante a foglie variegiate; *Arundo formosana* Hack., presente nell'Isola di Taiwan, in Giappone e nelle Filippine; *Arundo pliniana* Turra, nativa del Mediterraneo (*Arundo collina* Ten. secondo Euro-Mediterranean plant diversity (<http://www.emplantbase.org/home.html>). Grin Taxonomy riporta, inoltre, sinonimi e altre denominazioni in passato riferite al genere *Arundo* ed oggi attribuite ad altri generi.

El Bassam (2011) indica per *A. donax* L. un numero di cromosomi  $2n = 110$  ( $2n = 72$  per *A. pliniana* Turra).

### *Importanza economica*

*Ambientale*: contenimento dell'erosione, invasiva (Invasive Species Specialist Group – ISSG, 2011), ornamentale.

*Energia*: dalla biomassa si possono ricavare carburanti di I e II generazione.

*Pasta di cellulosa*: dalla biomassa del culmo per la fabbricazione della carta; in passato per la produzione di rayon (Facchini, 1941).

*Medicina popolare*: emostatico (setti divisorii tra gli internodi) (Sanna *et al.*, 2006), diuretico, depurativo, epatico (rizoma) (Myristica, 2002).

*Unità di misura*: in passato in varie regioni italiane (tra 2 e 3 metri).

*Usi locali*: tutore, fabbricazione di ceste, nell'edilizia abitativa siciliana del XVIII e XIX secolo, strumenti musicali.

### *Origine*

*Arundo donax* L. si ritiene sia originaria del Continente asiatico (GRIN Taxonomy, 2011).

- Asia temperata: *penisola Arabica* (Arabia Saudita), *Asia occidentale* (Afghanistan; Iran; Iraq; Siria), *Asia centrale* (Kazakhstan; Turkmenistan; Uzbekistan), *Cina* (China-Fujian, Guangdong, Guizhou, Hainan, Hunan, Jiangsu, Sichuan, Xizang, Yunnan, Zhejiang), *Asia orientale* (Giappone).
- Asia tropicale: *Sub Continente Indiano* (Bhutan; India; Nepal; Pakistan), *Indocina* (Cambogia; Laos; Myanmar; Thailandia; Vietnam), *Malesia* (Indonesia Malaysia).

### *Diffusione*

La specie è diffusa in tutto il mondo negli ambienti (umidi, ripariali) dove ha trovato condizioni adatte alle sue esigenze.

- Africa
- Asia temperata
- Australia
- Europa
- Nord America
- Sud America

*Descrizione*

Il **rizoma** è grosso, nodoso, intricato, ramificato e robusto (Fig. 2), costituito da gemme pronte a sviluppare nuovi culmi (gemme principali), gemme non del tutto sviluppate, ma destinate a formare culmi (gemme secondarie), gemme destinate a prolungare il rizoma (gemme di prolungamento) (Onofry, 1940). È rivestito nelle



**Figura 2** - Porzione di rizoma da cui si originano le canne (culmi) che fuoriescono dal suolo (Foto DISPA).

parti più giovani da scaglie giallicce, triangolari, secche, che rappresentano le guaine, ridotte, delle foglie (Fig. 3). Esse abbracciano il rizoma, e alla base, nella faccia esterna, sono rivestiti da fitti e lunghi peli bianchi, lucenti, unicellulari, a parete fortemente ispessita (Onofry, 1940). Simili peli si trovano anche alla base esterna della guaina delle prime foglie dei getti. Il rizoma porta numerose radici (Fig. 4) che nascono sia dalla faccia superiore che da quella inferiore dei nodi del rizoma.



**Figura 3** - Porzione di rizoma in cui è ben visibile una gemma principale (con l'apice rivolto verso l'alto) e una di prolungamento (la prima a sinistra) (Foto DISPA).



**Figura 4** - Radici del rizoma (Foto DISPA).

I fusti aerei (culmi) cilindrici e cavi all'interno, misurano in media da 3 a 4 metri (Cosentino *et al.*, 2006), ma possono raggiungere anche gli 8-9 metri. (Lewandowski *et al.*, 2003); sono costituiti da nodi (da 30 a 40) e internodi di lunghezza e spessore decrescenti procedendo dal basso verso l'alto. Il diametro alla base del culmo è di 1-4 cm. Sono rivestiti per gran parte della loro lunghezza dalle guaine fogliari, le quali, eccetto che nelle prime foglie, a lamine ridotte, si espandono in una lunga lamina lineare, gradatamente ristretta verso l'apice. La guaina è percorsa da numerosi rilievi paralleli. I rilievi corrispondono ai fasci fibro-vascolari più robusti. Tra questi sono interposti fasci più esili. Nelle foglie poste a metà del fusto i fasci maggiori della guaina sono 70-80. Detti fasci continuano nella lamina. La ligula è formata da una membrana di circa 2 mm, sprovvista di fasci sia fibrosi che vascolari, formata da cellule allungate nel senso longitudinale e quadrangolari.

Le foglie da giovani presentano lunghi peli nella parte apicale dei margini della guaina. Questi peli sono particolarmente lunghi e formano quasi un ciuffo nelle zone di passaggio dalla guaina al lembo; anch'essi sono unicellulari.

Il culmo termina con una voluminosa pannocchia lunga da 30 a 60 cm, i cui numerosi rami e rametti sono molto scabri. Le singole spighe peduncolate hanno due glume, subeguali, membranacee, acute, quasi eguali ai fiori, glumette inferiori bifide all'apice e brevemente aristate tra i lobi, pelose nella metà inferiore. Ogni spigetta ha per lo più tre fiori (Fig. 6).



**Figura 5** – Fusto aereo (culmo) (Foto DISPA).



**Figura 6** - Infiorescenza della canna comune.

La sterilità dei semi (Boose and Holt, 1999) determinata dalla mancata divisione delle cellule madri delle megaspore (Bhanwra *et al.*, 1982 in Lewandowski *et al.*, 2003) rende obbligata la riproduzione asessuata che avviene in natura attraverso la dispersione di tratti di culmo o di rizoma operata dall'acqua, dal vento, dall'uomo ecc.. Recentemente Mariani *et al.* (2010) hanno ipotizzato l'origine monofiletica di questa specie. Dall'Asia, centro di origine, essa si sarebbe poi diffusa in Europa, Africa, nel Mediterraneo senza tracce di ibridazione con altre specie dello stesso genere presenti in quest'area.

## Bibliografia

- Boose A.B., Holt J.S. 1999. Environmental effects on asexual reproduction in *Arundo donax*. Weed research.
- Cosentino S.L., Copani V., D'Agosta G.M., Sanzone E., Mantineo M., 2006. First results on evaluation of *Arundo donax* L. clones collected in Southern Italy. *Industrial Crops and Products* 23, 212-222.
- El Bassam N., 2011. Handbook of Bioenergy Crops: a Complete Reference to Species, Development and Applications (in <http://books.google.it/>).
- Facchini P. 1941. La Canna gentile per la produzione della cellulosa nobile, l'impresa agricolo-industriale di Torviscosa. SNIA VISCOSA, Milano.
- Germplasm Resources Information Network (GRIN). Taxonomic Information on Cultivated Plants In the Usda-Ars, 2011 (<http://www.ars-grin.gov/>).
- Invasive Species Specialist Group (ISSG), 2011. Global Invasive Species Database (<http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?si=112>).
- Lewandowski I., Scurlock J.M.O., Lindvall E., Christou M. 2003. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy* 25, 335-361.
- Maccioni S., 2002. Le piante nella medicina popolare della Liguria. Myristica ([http://www.myristica.it/apr-2002/indice\\_piante.html](http://www.myristica.it/apr-2002/indice_piante.html)).
- Mariani C., Cabrini R., Danin A., Piffanelli P., Fricano A., Gomasasca S., Di Candilo M., Grassi F., Soave C., 2010. Origin, diffusion and reproduction of the giant reed (*Arundo donax* L.): a promising weedy energy crop. *Annals of Applied Biology* 157, 191-202.
- Onofry A., 1940. La canna comune (*Arundo donax* L.). Cremonese libraio editore, Roma.
- Sanna C., Ballero M., Maxia A., 2006. Le piante medicinali utilizzate contro le patologie epidermiche in Ogliastra (sardegna centro-orientale). *Atti Soc. tosc. Sci. nat., Mem., Serie B*, 113, 73-82.



---

## b - Cardo domestico (*Cynara cardunculus* L. var. *altilis* DC.)

**Rosario Paolo Mauro\***, **Giovanni Mauromicale\***

### 1. Inquadramento botanico



---

\* Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari (DISPA) - sez. Scienze Agronomiche, Università degli Studi di Catania, Catania.

Il cardo domestico [*Cynara cardunculus* L. var. *altilis* DC.] appartiene alla Famiglia delle Asteraceae, Sottofamiglia Tubuliflorae, Tribù Cynareae. La specie, che include anche il cardo (o carciofo) selvatico [*C. cardunculus* L. var. *sylvestris* Lamk], ed il carciofo [*C. cardunculus* L. var. *scolymus* (L.) Fiori], è originaria del bacino del Mediterraneo. Tradizionalmente viene coltivata come pianta ortiva per la produzione dei germogli laterali eduli (carducci o gobbi); tuttavia, negli ultimi due decenni è andato crescendo l'interesse di questa pianta per produzioni alternative, in particolar modo per quelle energetiche.

## 2. Caratteristiche morfologiche

Sotto il profilo organografico, in una pianta di cardo è possibile individuare una parte sotterranea, formata dalla radice principale, fittonante, e da un numero variabile di radici secondarie, fibrose, nonché da un rizoma più o meno espanso, comprendente gemme, sia singole che a gruppi. Le radici di un anno mantengono la funzione assorbitiva fino alla primavera inoltrata, allorché si ingrossano progressivamente ed assumono la funzione di riserva e di sostegno, mentre un nuovo sistema di radici avventizie ne prende il posto sotto il profilo funzionale. Nel complesso il sistema radicale del cardo è molto sviluppato, potendo raggiungere una profondità di oltre 1 m, ciò che consente alla pianta di esplorare un volume di terreno rilevante. Nelle piante di oltre un anno, si rende progressivamente evidente il fusto sotterraneo, rizomatoso (detto anche “ceppaia”), ricco di parenchimi conduttori e di riserva, sulla cui superficie si vanno via via differenziando gemme che daranno origine a germogli laterali, detti carducci, che possono svilupparsi fino a formare una nuova pianta, allargando così la frazione rizomatosa. A livello epigeo, il cardo si presenta come pianta “a rosetta”, per la presenza di un fusto molto raccorciato (3-4 cm), e di un numero elevato di foglie (oltre 40), alterne, pennatosette, di lunghezza spesso superiore ad 1 m (specie in quelle basali). Le foglie si caratterizzano per la presenza di peziolo molto sviluppato ed una grossa nervatura centrale, carnosa, di colore verde chiaro, scanalata in senso longitudinale e ricca di tessuto cribro-vascolare. La lamina fogliare, attraversata da numerose nervature secondarie, risulta più o meno profondamente incisa, di forma differente tanto tra cultivar diverse quanto all'interno della stessa pianta (eterofillia). Essa si presenta di colore verde scuro o cinereo sulla pagina superiore, grigiastro su quella inferiore, per la presenza di una folta tomentosità. Alla fioritura, la pianta presenta uno o più steli fiorali eretti, di altezza variabile (da 1,5 a 3 m circa), ciascuno dei quali del diametro di circa 2-4 cm, munito di piccole foglie alterne e lanceolate, scanalato in senso longitudinale, tomentoso ed assai ramificato. Ogni ramificazione reca in posizione terminale una infiorescenza (detta capolino o calatide), di forma globulare od ovoidale (a seconda della cultivar), avvolta da brattee involucrali, imbricate, di forma ellittico – triangolare, consistenza coriacea e pigmentazione variabile dal verde chiaro al violetto più o meno intenso. La pianta presenta

un numero elevato di capolini (da 10 a 30), dei quali il più grande e precoce (capolino principale) si trova alla sommità dell'asse principale dello stelo; i capolini di ordine successivo (primo, secondo, terzo e così via), emessi in maniera scalare, si presentano di dimensioni progressivamente minori. Ciascun capolino presenta diverse centinaia di fiori (flosculi) ermafroditi, tubulosi, inseriti su un ricettacolo (talamo) molto sviluppato. Quest'ultimo si presenta dapprima di consistenza carnosa e forma concava; in seguito, con il procedere della fioritura, assume forma piatta o convessa e consistenza legnosa, e presenta numerose setole bianche e traslucide (peluria). Alla piena antesi i flosculi presentano stigmi molto evidenti (~5-8 cm), generalmente di colore blu-violetto, sebbene siano noti mutanti con stigmi di colore bianco o lilla. Il frutto è un achenio di forma tetragono-costata, di colore scuro o grigiastro, uniforme o screziato, il cui peso unitario oscilla fra i 20 e i 40 mg e la cui facoltà germinativa è di circa 4-5 anni. La disseminazione è favorita dal calice, metamorfosato in organo di consistenza piumosa (pappo), molto leggero in virtù del basso contenuto in ceneri (1%) e lignina (17-18%), e dell'alto contenuto in cellulosa ed emicellulosa (~73%). Alla maturazione fisiologica degli acheni, i capolini possono raggiungere un peso unitario compreso tra 10 e 120 g; il 18% rappresentato dal ricettacolo, il 25% dalle brattee involucrali, il 32% dagli acheni, il 5% dai flosculi (principalmente stili e stigmi) ed il 20% dalle strutture piumose (setole e pappi).



**Figura 1** - Infiorescenze di cardo in piena antesi.



**Figura 2** - Un mutante di cardo a flosculi bianchi, selezionato presso il DISPA.

### 3. Caratteristiche biologiche

Il cardo domestico è specie erbacea perenne, geofita, la cui durata in campo risulta indefinita, in virtù della vitalità delle gemme presenti sul rizoma. Negli areali caratterizzati da clima mediterraneo-subarido, dove la coltura estrinseca il pieno potenziale produttivo, il ciclo colturale è autunno-vernino-primaverile, con presenza di

una fase di stasi vegetativa in estate, più o meno prolungata, mentre a latitudini intermedie è primaverile-autunnale. Nelle zone del Sud Italia, il ciclo della coltura inizia con la germinazione degli acheni in autunno, cui segue una lunga fase vegetativa, che si protrae fino agli inizi della primavera successiva. Durante tale fase, avviene la progressiva “transizione a fiore” dell’apice del germoglio, che comincia a differenziare il primo capolino (fine inverno-inizio primavera). Questo appare dapprima come un ingrossamento al centro della rosetta fogliare, che diviene in seguito sempre più evidente in virtù dell’allungamento dello stelo florale, mentre altri capolini vanno progressivamente differenziandosi sulle ramificazioni laterali di quest’ultimo. L’antesi ha luogo in primavera inoltrata (fine maggio – prima decade di giugno) ed interessa dapprima il capolino principale, in seguito, scalarmente, quelli più periferici. Il processo si manifesta con la graduale divaricazione delle brattee involucrali di ciascuna infiorescenza, l’appiattimento del ricettacolo e l’apparizione dei primi flosculi centrali. A fioritura avanzata, ogni capolino presenta diverse centinaia di flosculi i quali, in una prima fase si presentano ad un diverso stadio di sviluppo. In ogni singolo capolino, infatti, la maturazione interessa dapprima i flosculi più periferici, poi quelli in posizione centrale. In *C. cardunculus*, la fioritura è dicogama, proterandra. Infatti, lo stigma diventa recettivo fra i 4-5 e gli 8 giorni dopo l’antesi, quando cioè il polline, la cui facoltà germinativa dura 3-4 giorni, ha già perso la vitalità. L’impollinazione è entomofila e la fecondazione è prevalentemente incrociata, in virtù del meccanismo di proterandria anzidetto; tuttavia, una certa quota di autofecondazione fra infiorescenze diverse di uno stesso individuo (geitonogamia) risulta inevitabile, a causa della scalarità di maturazione delle stesse. La maturazione del “seme” avviene in un lasso di tempo compreso tra i 50 e i 60 giorni dopo l’antesi, ed è accompagnata dal progressivo disseccamento della biomassa epigea della pianta; a maturazione ultimata, la disseminazione anemocora degli acheni (agosto-settembre), viene facilitata dallo sfaldamento delle pareti delle calatidi e dalla peculiare struttura dei pappi.

Attesa la mancanza di meccanismi di dormienza, se non in qualche caso particolare (temperature superiori a 29-30 °C accompagnate da anossia), il “seme” risulta prontamente germinabile all’instaurarsi delle condizioni ambientali favorevoli (sufficiente umidità del terreno e temperatura compresa fra 14 e 24 °C). La ripresa vegetativa, dopo l’estate, viene assicurata dalle gemme sotterranee, rimaste quiescenti durante la stagione caldo-arida.

#### 4. Risorse genetiche

Il cardo domestico appartiene al genere *Cynara*, *taxon* la cui differenziazione ha avuto inizio in epoca relativamente recente (circa 18.000 anni fa). Esso è nativo del bacino del Mediterraneo e comprende otto (secondo alcuni Autori sette) specie erbacee diploidi ( $2n = 2x = 34$ ), perenni, robuste, a portamento eretto, spinescenti (eccet-

tuati svariati genotipi di cardo e carciofo) e con infiorescenze a capolino. Il genere *Cynara* risulta suddivisibile in due gruppi. Il primo è costituito dal complesso *C. cardunculus*, comprendente tre varietà botaniche: il carciofo [*C. cardunculus* L. var. *scolymus* (L.) Fiori], il cardo domestico [*C. cardunculus* L. var. *altilis* DC.] ed il cardo (o carciofo) selvatico [*C. cardunculus* L. var. *sylvestris* Lamk]. Quest'ultimo rappresenta un *taxon* omogeneo, al cui interno possono essere identificati due ulteriori sottogruppi o *pool* genici: un primo, centro-orientale (*C. cardunculus* subsp. *cardunculus*) ed un secondo, occidentale (*C. cardunculus* subsp. *flavescens*). Il secondo gruppo, più eterogeneo, comprende sette specie selvatiche: *C. algarbiensis*, *C. humilis*, *C. baetica* (presenti nel bacino del Mediterraneo occidentale), *C. cyrenaica* (circostritta alle coste libiche orientali), *C. cornigera* (arcipelago Egeo, Creta, Cipro e Turchia Meridionale) e *C. syriaca* (diffusa dalla Turchia orientale ad Israele ed alla Giordania). *C. cardunculus* è la specie maggiormente diffusa, essendo presente da Cipro al Portogallo, interessando anche la Macaronesia e le coste africane del Mediterraneo centro-occidentale, dalla Tunisia al Marocco.

È unanimemente accettato che le due forme coltivate di *C. cardunculus* derivino dal carciofo selvatico, sotto la spinta selettiva antropogenica, finalizzata all'aumento delle dimensioni delle infiorescenze (carciofo) e delle nervature e dei piccioli fogliari (cardo domestico). In particolare, quest'ultimo pare sia stato domesticato nella penisola Iberica in un periodo corrispondente al tardo Medioevo, a partire da germoplasma di carciofo selvatico afferente al *pool* genico occidentale.

Le cultivar di cardo domestico oggi in commercio, non molto numerose, figurano nei cataloghi di poche ditte sementiere, e sono il risultato della selezione volta ad accentuare la produzione di carducci a scopo alimentare (cardo da orto); in tal senso, oltre alle dimensioni della pianta, i caratteri presi in considerazione per la selezione dei genotipi sono il colore e la consistenza dei piccioli e delle lamine fogliari. Detti genotipi, rispetto a quelli del carciofo, si distinguono per un minor grado di eterozigosi (da cui discende la possibilità di propagazione gamica), ed una minore variabilità genetica. Vengono ottenuti per lo più tramite selezione massale per via materna, per cui all'interno di ciascuna varietà è ancora ravvisabile una certa quota di variabilità genetica e fenotipica, diversamente da quanto avviene per i moderni ibridi F<sub>1</sub> di carciofo. Nel complesso, infatti, il miglioramento genetico ha fino ad oggi scarsamente interessato questa coltura, in special modo se si fa riferimento ad utilizzazioni agri-energetiche; per queste ultime, infatti, si fa ricorso ai pochi genotipi tradizionali, caratterizzati da maggiore sviluppo vegetativo. Tale aspetto lascia ragionevolmente supporre che, attraverso l'avvio di specifici programmi di costituzione varietale, possano essere notevolmente migliorati caratteristiche quali l'uniformità, la produzione di biomassa e di acheni, ed il contenuto in sostanze oleiche di questi ultimi (per la produzione di bio-diesel).

Le cultivar di cardo domestico maggiormente diffuse in Italia sono "Bianco avorio" (vigoroso, inerme) e "Gobbo di Nizza", entrambi coltivati in Piemonte; "Bianco pieno migliorato", "Pieno inerme" e "Gigante di Romagna" (sinonimo "Gigante i-

nerme a foglia intera”) in Emilia Romagna. In Spagna, a differenza dell’Italia, le cultivar vengono discriminate sulla base della destinazione produttiva, per cui esistono cultivar per il consumo fresco ed altre per l’industria di trasformazione. Tra le prime si ricordano “Verde de Tafalla”, “Blanco de Valencia”, “Lleno de España” e “Rojo de Corella”. Tra i secondi, i più diffusi sono “Blanco de Peralta” e “Verde de Peralta”. In Francia, le cultivar caratterizzate da una certa diffusione sono “Blanc améliorée” e “Rouge d’Alger”.

## Bibliografia

- Lanteri S., Portis E. Globe artichoke and Cardoon. In: Prohens J., Nuez F. (ed) *Vegetables I: Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae, and Cucurbitaceae*. Springer, Berlin Heidelberg, New York, 2008.
- Portis E., Barchi L., Acquadro A., Macua J.I., Lanteri S. Genetic diversity assessment in cultivated cardoon by AFLP (amplified fragment length polymorphism) and microsatellite markers. *Plant Breeding* 2005; 124: 299-304.
- Rottenberg A., Zohary D. The wild relatives and the wild ancestry of the cultivated artichoke. *Genetic Resources and Crop Evolution* 1996; 43: 53-58.
- Rottenberg A., Zohary D. Wild genetic resources of cultivated artichoke. *Acta Horticulturae* 2005; 681: 307-311.
- Rottenberg A., Zohary D., Nevo E. Isozyme relationships between cultivated artichoke and the wild relatives. *Genetic Resources and Crop Evolution* 1996; 43:59-62.
- Sonnante G., Pignone D., Hammer K. The domestication of artichoke and cardoon: from roman times to the genomic age. *Annals of Botany*, 2007; 1095-1100.
- Wiklund A. The genus *Cynara* L. (Asteraceae-Cardueae). *Botanical Journal of the Linnean Society* 1992; 109:75-123.
- Zohary D., Basnizki J. The cultivated artichoke *Cynara scolymus*. Its probable wild ancestors. *Economic Botany* 1975; 29: 233-235

## 2

### *Tecnica colturale*



---

# a - La coltivazione della canna comune (*Arundo donax* L.) ad uso energetico nel Nord Italia

*The agronomic management of giant reed (*Arundo donax* L.) for energy use in Northern Italy*

**Mario Di Candilo\*, Enrico Ceotto\***

## **Riassunto**

Vengono passate in rassegna le principali tecniche agronomiche della canna comune mettendo in particolare evidenza le più recenti acquisizioni della ricerca in merito alla scelta del germoplasma, ai metodi di propagazione ed impianto della coltura e alla fertilizzazione con reflui zootecnici. Vengono discusse le differenti prestazioni produttive ottenute dalla coltura in due diversi ambienti della Regione Emilia-Romagna, nonché i risultati inerenti l'accumulo di carbonio nel terreno dopo 7 anni di coltivazione di canna comune a confronto con altre colture poliennali, con un prato stabile e con un avvicendamento di colture annuali. Infine si accenna alle tecniche per la devitalizzazione della coltura alla fine del ciclo produttivo.

**Parole chiave:** adattamento ambientale, propagazione agamica, tecniche colturali, livelli produttivi, accumulo di carbonio nel suolo.

---

## **Abstract**

*We here describe the main agronomic techniques for giant reed cultivation and highlight the more recent insight regarding the genetic variability of the species, the vegeta-*

---

\* CRA-CIN, Centro di Ricerca per le Colture Industriali, Bologna.

*tive propagation methods and the fertilization with manure. Moreover, we report and discuss: i) the yields obtained in two environments of the Region Emilia Romagna; ii) the soil carbon accumulation after 7 years of cultivation of several bioenergy species, including giant reed, in comparison with a permanent meadow and a rotation of annual crops. Finally, some techniques for getting rid of the crop at the end of its production cycle are proposed.*

**Keywords:** *environmental adaptation, vegetative propagation, management practices, yield performances, soil carbon storage.*

---

La canna comune è una specie erbacea, perenne, appartenente alla famiglia delle graminacee. È originaria del Sud-Est asiatico, ma successivamente si è naturalizzata in tutto il Bacino del Mediterraneo. La pianta ha ciclo C<sub>3</sub>, ma le sue capacità fotosintetiche e produttive sono superiori ad altre piante a ciclo C<sub>4</sub>. In Italia è presente un po' ovunque, sia in areali del bassopiano che submontani. L'Arundo, per le sue eccezionali caratteristiche di rusticità, adattamento ambientale, resistenza agli stress idrici, produttività e accumulo di carbonio nel terreno, è ritenuta una delle specie più promettenti per la produzione di biomassa da energia nei paesi del Mediterraneo. Di seguito viene illustrata la tecnica colturale della specie nel Nord Italia, dando particolare risalto alle recenti acquisizioni della ricerca.

#### *Scelta del germoplasma*

I risultati di uno studio molto recente volto alla valutazione della variabilità fenotipica e genetica in un gruppo di cloni di *Arundo donax* collezionati in 12 regioni italiane, dal Piemonte alla Sicilia, ed uno a Lanzarote (Spagna, isola delle Canarie) indicano forti similitudini fra i cloni indagati, sia per i caratteri biometrici che produttivi. D'altro canto, le analisi del DNA, tramite AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism), hanno evidenziato un livello molto basso di diversità genetica e nessuna associazione tra distanza geografica e distanza genetica dei cloni saggiati (Mariani *et al.*, 2010). La possibilità che tutte le popolazioni di *Arundo donax* presenti in Italia appartengano ad un unico genotipo è altamente probabile se si considera che la specie è sterile e che, conseguentemente, la sua diffusione è avvenuta per via vegetativa. Tale evenienza, se confermata, è negativa ai fini del miglioramento genetico dei caratteri d'interesse agronomico; d'altra parte, però, presenta il vantaggio di poter impiegare indifferentemente il materiale di propagazione presente nel territorio, senza alcun rischio di penalizzare la performance della coltura.

#### *Scelta del terreno*

Come molte altre specie, l'Arundo predilige terreno profondo, di medio impasto, ben dotato di sostanza organica e di umidità; tuttavia, la pianta possiede sorprendenti

capacità di adattamento a tutti i tipi di suolo, compresi quelli marginali e salini (Peck, 1998), riesce a vegetare per lunghi periodi in condizioni estreme di contenuto idrico del terreno, dalle più aride alle più umide (Lewandoswki *et al.*, 2003). Tollera valori di pH compresi fra 5 e 8.7 (Di Tomaso, 1998). Inoltre, studi recenti hanno messo in evidenza le capacità di *A. donax* nel risanamento o decontaminazione ambientale di siti fortemente inquinati da sostanze organiche e metalli pesanti (Kos *et al.*, 2003; Mirza *et al.*, 2010). L'adattabilità dell'*Arundo* a terreni marginali consente di realizzare l'obiettivo strategico di produrre bioenergie senza sottrarre superficie utile alla produzione di alimenti.

Nel Nord Italia la pianta entra in vegetazione in aprile. Grazie all'ampio intervallo di temperatura di vegetazione, la canna comune presenta un elevato tasso di crescita giornaliero (fino a 5 cm, Perdue, 1958) per un lungo periodo dell'anno (inizio aprile-fine ottobre). Il freddo invernale porta al disseccamento della vegetazione ma non pregiudica la vitalità dei rizomi; può subire però seri danni dal gelo dopo la ripresa vegetativa.

#### *Lavorazione del terreno*

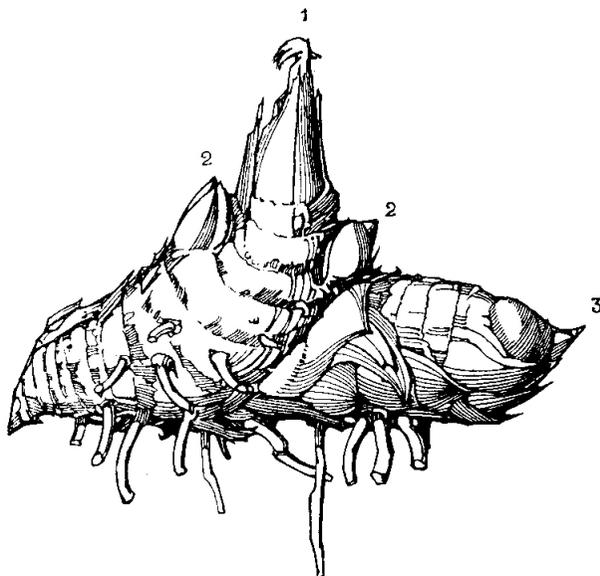
Nei terreni argillosi il livellamento superficiale è importante in quanto agevola lo sgorgo delle acque in eccesso, evitando i ristagni negli strati superficiali che danneggerebbero le caratteristiche fisico-chimiche del terreno.

La preparazione del terreno richiede diversi interventi prima di poter eseguire l'impianto della coltura. In particolare, è necessaria una lavorazione profonda del suolo per favorire l'approfondimento radicale e l'immagazzinamento dell'acqua. In alternativa all'aratura profonda, è consigliabile eseguire la lavorazione a due strati, ovvero una ripuntatura a 40-50 cm, seguita da una aratura superficiale (25-30 cm). Tale tipo di lavorazione offre diversi vantaggi, quali: i) frantumazione degli strati compatti del sottosuolo e della suola di lavorazione, favorendo così la penetrazione dell'acqua a profondità superiori a quella dell'aratura; ii) interrimento meno profondo dei residui organici, tale da favorirne l'umificazione; iii) formazione di una minore zollosità, in modo da facilitare le successive lavorazioni per l'affinamento dello strato superficiale; e vi) maggiore sostenibilità economica ed ambientale. Con riferimento alla disponibilità idrica, in particolare, la lavorazione a due strati facilita il deflusso in profondità dell'acqua in eccesso, riducendo, quindi, i fenomeni di ristagno, mentre in condizioni di carenza idrica favorisce la risalita capillare dell'acqua dagli strati profondi.

I lavori complementari avranno lo scopo di pareggiare ed affinare il terreno e di eliminare le infestanti. Lo sminuzzamento delle zolle può essere eseguito già nel tardo autunno tramite erpici a dischi o a denti, a fine inverno poi la preparazione del terreno può essere completata con una erpicatura leggera, diretta all'interrimento del concime e dell'eventuale diserbante distribuito in pre-impianto. Il criterio generale da seguire in quest'ultima fase è quello di ridurre al minimo il numero dei passaggi delle macchine agricole sul terreno e la profondità di lavorazione, sia per evitare di calpestare eccessivamente lo strato superficiale del suolo, sia per impedire la dispersione di umidità.

### *Impianto*

La canna comune negli ambienti mediterranei non produce seme a causa della sterilità fiorale provocata dal fallimento della divisione della megaspora madre (Onofri, 1940; Bhanwra *et al.*, 1982). La sterilità può essere considerato un carattere positivo per una coltura da energia, poiché tutti i prodotti della fotosintesi potranno essere indirizzati alla produzione di biomassa lignocellulosica e non alla produzione dei semi. D'altro canto però la sterilità è un serio ostacolo per la realizzazione di programmi di breeding, provoca drastica riduzione della variabilità genetica (Mariani *et al.*, 2010) ed ostacola fortemente la propagazione della specie. In sostanza, l'impianto della coltivazione rappresenta la maggiore criticità della filiera agro-energetica in relazione ai costi dell'operazione e alla reperibilità del materiale di propagazione. Quest'ultimo è rappresentato da rizomi (Foto 1), piantine micro-propagate (Foto 2) e talee di culmo (Foto 3). La propagazione per rizomi è la tecnica più impiegata, dà ottimi risultati dal punto di vista tecnico, ma risulta molto onerosa per gli elevati costi delle operazioni di espianto, divisione e reimpianto dei rizomi. Inoltre, il reperimento di questi ultimi risulta difficoltoso, poiché la mancanza di una adeguata attività vivaistica costringe ad attingere da piccoli canneti spontanei o da coltivazioni già in atto. D'altra parte, la tecnica basata sull'impiego di talee di culmo è ancora in fase di perfezionamento. Da uno studio tuttora in corso ad Anzola dell'Emilia (BO), presso l'azienda sperimentale del CRA-CIN, risulta che ai fini dell'attecchimento delle talee di culmi e della uniformità di emergenza dei germogli assume grande importanza l'epoca di prelievo delle talee stesse (Ceotto, 2007). È stato riscontrato infatti che le talee prelevate in primavera inoltrata, da culmi al secondo anno di età, con piccole ramificazioni laterali, interrate orizzontalmente ad una quindicina di cm di profondità, presentano spiccata attitudine alla radicazione e alla emissione di germogli a condizione che nel terreno vi sia sufficiente umidità (Ceotto e Di Candilo, 2010; Di Candilo e Ceotto, 2010). Rispettando tali condizioni il metodo d'impianto per talea di culmo può dare buoni risultati sia in termini di densità di culmi che come uniformità di emergenza (Foto 4). Tuttavia, non va sottaciuto che i canneti ottenuti da talee di culmo, come quelli derivati da piantine micro-propagate, almeno nel primo biennio di vita presentano performance produttive sensibilmente inferiori rispetto alle coltivazioni ottenute da rizomi. Tali differenze sono ascrivibili, molto verosimilmente, al differente contenuto di sostanze di riserva dei propaguli: abbondante nei rizomi, molto scarso, invece, nelle talee di culmo e nelle piantine micro-propagate. Queste differenze ad ogni modo dovrebbero gradualmente venir meno nel giro di 2-3 anni, non appena le coltivazioni derivate da questi propaguli avranno formato rizomi in grado di supportare adeguatamente l'accrescimento dei culmi. Il metodo d'impianto basato sull'impiego di talee di culmo piantate verticalmente nel terreno non ha dato buoni risultati, sia in termini di regolarità di emergenza, con conseguente presenza di aree non coperte dalla coltura, man mano colonizzate dalle infestanti, sia in termini di produttività.



**Foto 1** - Distribuzione delle gemme in rizoma di Arundo: 1, gemma principale; 2, gemma secondaria; 3, gemma di prolungamento del rizoma (da Onofri).



**Foto 2** - Trapianto meccanico di piantine di Arundo micro-propagate.



**Foto 3** - Impianto di Arundo con talee di culmo in fila continua doppia.



**Foto 4** - Coltura di Arundo derivata da talee di culmo piantate in doppia fila.

Le piantine micro-propagate hanno mostrato un buon attecchimento, a condizione che subito dopo il trapianto venga eseguito almeno un intervento irriguo. Dopo l'attecchimento le piante hanno mostrato un elevato indice di accestimento, tuttavia

sia le dimensioni dei culmi che la produzione in sostanza secca nel primo anno sono risultate rilevantemente inferiori a quelle della coltura ottenuta da rizomi; nel secondo anno la coltivazione ottenuta da piantine micro-propagate ha incrementato notevolmente la produzione, senza riuscire però a colmare pienamente il divario produttivo rispetto alla coltura derivata da rizomi.



**Foto 5** - Trapianto meccanico di rizomi di *Arundo*, Conselice (RA), 2007.



**Foto 6** - Coltura di *Arundo* derivata da rizomi, poco dopo l'emergenza, Conselice (RA), 2007.

Nel Nord Italia i rizomi normalmente vengono piantati in marzo, tramite trapiantatrici meccaniche (Foto 5). In prove di confronto svolte nel bolognese non sono state riscontrate differenze di attecchimento e di produzione fra canneti impiantati con talee di rizomi munite di 3 gemme ben differenziate e canneti ottenuti da talee di rizomi di circa 10 cm di lunghezza senza gemme differenziate. In entrambi i casi, per avere buona uniformità di emergenza è stato fondamentale mantenere sufficientemente idratati i rizomi nel tempo intercorrente fra espianto e reimpianto.

La densità d'impianto suggerita è di circa 10 mila rizomi per ettaro; investimenti superiori (20-30 mila rizomi ad ha) sarebbero auspicabili per rendere la coltura più competitiva nei confronti delle infestanti sin dal primo anno e per farla entrare più prontamente in piena produzione; purtroppo, per ragioni di costo tali investimenti non sono praticabili. Di solito i rizomi vengono interrati ad una profondità di 0.15 m circa e a distanze di m 1 x 1.

Le talee di culmo, come già accennato, dovrebbero essere prelevate da culmi del secondo anno quando le gemme dei nodi avranno iniziato la differenziazione delle ramificazioni laterali. I segmenti di culmo della lunghezza di 1 m circa possono essere interrati in fila singola o doppia e a distanze di 60-70 cm fra le file. Subito dopo l'interramento delle talee fino alla piena emergenza dei germogli è necessario mantenere il terreno sufficientemente umido. Perciò tale metodo di propagazione non è proponibile laddove non vi sia la possibilità di irrigare il terreno.

### *Concimazione*

L'Arundo in diverse ricerche non ha mostrato una risposta significativa alla concimazione minerale ed in particolare a quella azotata (Dalianis *et al.*, 1994; Christou, 1999; Monti e Venturi, 1999; Cosentino *et al.*, 2005). Tuttavia, va considerato che le necessità minerali della coltura sono elevate solo nei primi anni dell'impianto, durante il periodo di accrescimento e di accumulo di sostanze nutritive nei rizomi. Successivamente, il decadimento dei rizomi esauriti e la defogliazione invernale consentono una buona restituzione di elementi nutritivi al terreno. Come norma generale, in terreni di media fertilità è bene apportare 150-200 kg ha<sup>-1</sup> di P e K, in pre-impianto, e 100-120 kg ha<sup>-1</sup> di N in copertura; dal secondo anno in poi ci si può limitare alla somministrazione di 60-80 kg ha<sup>-1</sup> di N. Tali ridotte esigenze di nutrienti da parte della coltura sono dovute a peculiari caratteristiche della pianta, quali: i) elevata efficienza d'uso dell'azoto; ii) traslocazione dei nutrienti, in autunno, dalle foglie ai rizomi (Bell, 1997) per utilizzarli successivamente in primavera alla ripresa vegetativa; iii) forte riduzione delle perdite per lisciviazione dei nitrati, grazie alla copertura del terreno per un lungo periodo dell'anno (Tolbert *et al.*, 1998; Pimental e Krummel, 1987).

Una valida alternativa all'impiego di concimi minerali sull'Arundo è rappresentata dallo spargimento di liquami zootecnici (foto 7). Da un esperimento svolto nel bolognese (Di Candilo *et al.*, 2010) risulta che applicazioni di liquami bovini, in dose di 100 e 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, hanno incrementato la produzione di sostanza secca rispettivamente del 37 e del 43% rispetto al testimone non concimato, mentre i fertilizzanti

minerali (120 Kg ha<sup>-1</sup> di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e di N) le hanno incrementate del 32% (Fig. 1). L'impiego di tali reflui su colture da energia come la canna comune permetterebbe di recuperare il valore fertilizzante dei liquami, inoltre, l'applicazione dei liquami offrirebbe il doppio vantaggio di migliorare il bilancio energetico e del carbonio della coltura, da un lato, e di superare le crescenti difficoltà della zootecnia a trovare una adeguata collocazione degli effluenti sulle colture tradizionali, dall'altro.

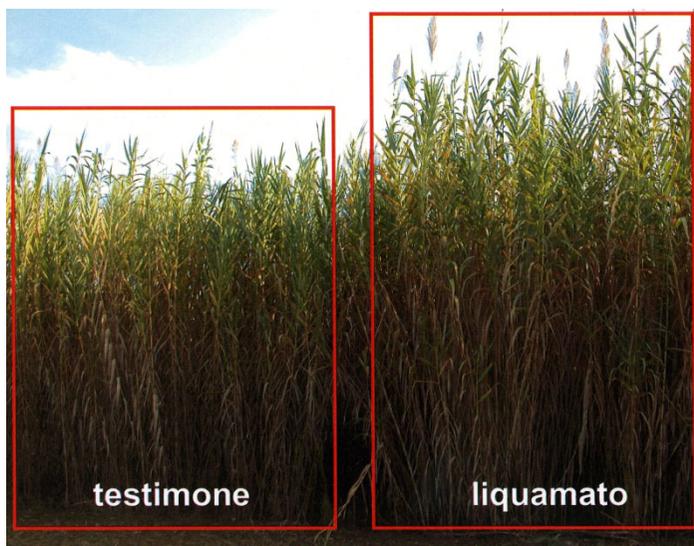


Foto 7 - Parcelle di Arundo non concimato (a sx) e liquamato (a dx). Anzola Emilia (BO), ottobre 2010.

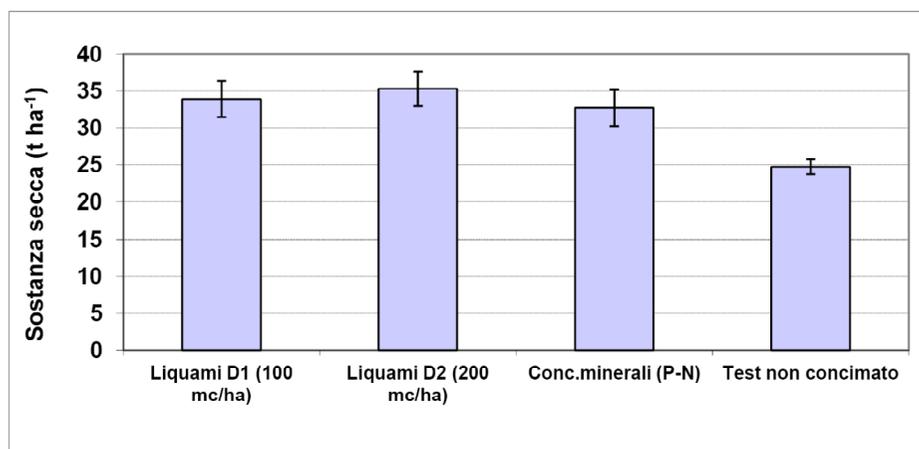


Figura 1 - Produzioni di sostanza secca di canneti concimati e non con liquami e concimi minerali.

### *Irrigazione*

L'Arundo presenta una notevole capacità di raggiungere l'acqua in strati profondi del terreno, inaccessibili alle colture annuali, ed è abbastanza resistente sia ai ristagni d'acqua, sia a condizioni di siccità severe (Ranney and Mann, 1994). Il fabbisogno idrico della coltura è stimato in 282 l kg<sup>-1</sup> di s.s. (Vecchiet *et al.*, 1996). Secondo Christou *et al.* (2003) la canna comune è in grado di incrementare la sua efficienza di utilizzo dell'acqua in relazione alle condizioni ambientali: in condizioni ottimali di disponibilità idrica hanno stimato una produzione di sostanza secca pari a 2-3 g/l di acqua, mentre in condizioni di stress idrico tale indice è risultato sensibilmente più elevato (6-10 g/l di acqua).

Nel nord Italia la coltura non viene irrigata, tuttavia nel primo anno l'irrigazione attuata allo scopo di favorire l'insediamento della coltura potrebbe avere senso, poiché il costo dell'intervento potrebbe essere considerato un investimento sulla coltura, la cui durata può superare i 15-20 anni.

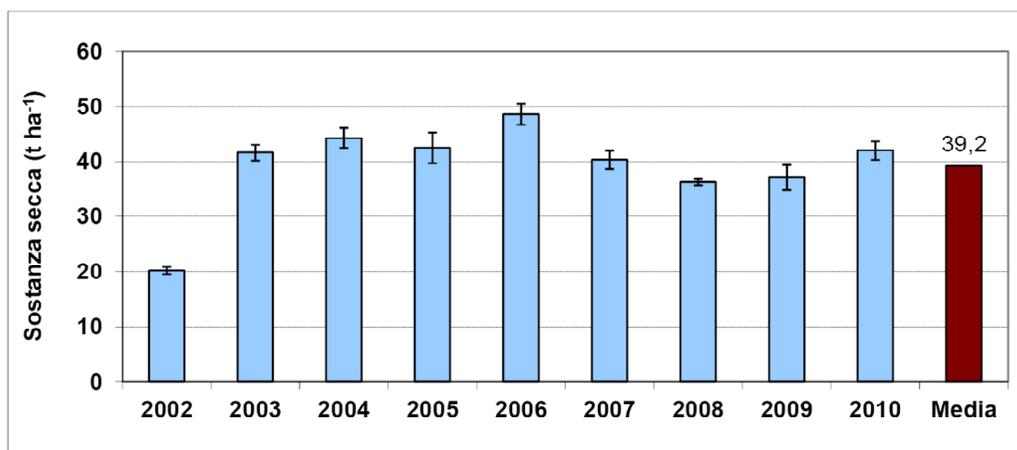
### *Controllo delle avversità*

La canna comune si contraddistingue da molte altre specie per rusticità. Al momento non presenta particolare suscettibilità a patogeni ed insetti, perciò non necessita di alcun trattamento chimico di difesa. I culmi e le foglie di questa specie contengono numerosi composti chimici, fra i quali vari alcaloidi e molto silicio (Jackson *et al.*, 1964; Perdue, 1958); elementi che indubbiamente la proteggono dai parassiti di ogni genere. La coltura subisce, invece, limitatamente al primo anno, la competizione delle infestanti a causa dello scarso vigore delle piante e della insufficiente copertura del terreno. Pertanto, nell'anno d'impianto è buona norma eseguire un diserbo per dicotiledoni. Inoltre, è opportuno realizzare anche una sarchiatura meccanica che, oltre ad eliminare le malerbe nelle interfile, potrà essere utile per interrare il concime dato in copertura. Fra gli erbicidi di post-emergenza si possono citare Nicosulfuron, Dicamba e Mesotrione, anche se non registrati per l'Arundo.

### *Epoca di raccolta e produttività*

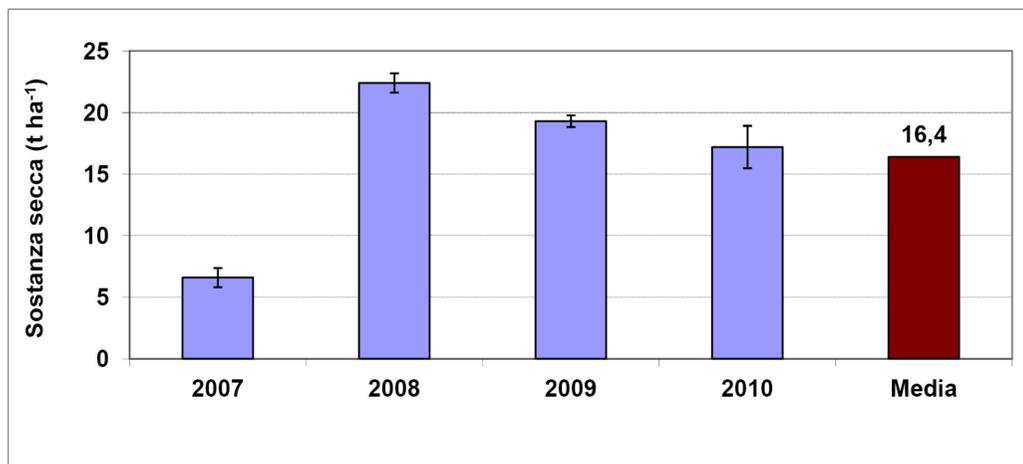
Di norma la biomassa viene raccolta una volta l'anno. Nel caso in cui il prodotto sia destinato alla conversione termo-chimica (combustione) la raccolta viene eseguita durante la stasi vegetativa invernale della pianta (gennaio-febbraio). In tale epoca il prodotto presenta: i) un migliore contenuto energetico, grazie alla riduzione del suo contenuto di umidità, per effetto delle basse temperature; e ii) un maggiore livello qualitativo a seguito della più completa traslocazione degli assimilati al rizoma e per la perdita naturale delle foglie, notoriamente più ricche in ceneri (Monti *et al.*, 2008). Nel caso in cui, invece, la biomassa sia destinata alla produzione di bioetanolo è importante che il prodotto sia poco lignificato, conseguentemente si dovrà intervenire con la raccolta già in estate o al più tardi all'inizio dell'autunno. In ogni caso è importante considerare che i rizomi risentono molto negativamente del compattamento provocato dalle raccogliatrici, perciò bisogna evitare la raccolta quando il terreno offre scarsa portanza alle macchine perché troppo umido.

Sotto il profilo produttivo, la canna comune in diverse prove svolte in territorio nazionale ha evidenziato notevoli potenzialità (Di Candilo *et al.*, 2005; Cosentino *et al.*, 2005; Angelini *et al.*, 2005). La pianta ha un ciclo fotosintetico C<sub>3</sub>, ma la sua capacità fotosintetica e produttiva sono superiori ad altre piante dotate di ciclo C<sub>4</sub> (Beale e Long, 1952; Rossa *et al.*, 1998; Christou, 2001). Infatti, analizzando alcuni parametri come scambio di gas, fluorescenza e conduttanza stomatica in condizioni di crescita naturali, si è registrato un tasso di assimilazione della CO<sub>2</sub> pari a 37  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , circa il 50% in più rispetto al sorgo da fibra, specie dotata di ciclo C<sub>4</sub>. Peraltro, le foglie della canna non hanno mostrato il fenomeno di saturazione luminosa. La canna comune, in virtù delle sue elevate capacità produttive, della rusticità della pianta e delle sue ridotte esigenze di input culturali (Vecchiet e Jodice, 1996; Cosentino *et al.*, 2005) presenta bilanci energetici molto positivi (Mantineo *et al.*, 2009).



**Figura 2** - Andamento delle rese di un canneto nel periodo 2002-2010 ad Anzola dell'Emilia (BO).

In prove di confronto fra diverse specie avviate nel 2002 ad Anzola dell'Emilia, nel bolognese, in terreno franco-limoso, la coltura in 9 anni di valutazione ha fornito una produzione media pari a 39.2 t ha<sup>-1</sup> di sostanza secca. Dopo il raddoppio della resa avutasi nel secondo anno, la produzione ha teso a crescere fino al sesto anno raggiungendo il valore massimo di 48.6 t ha<sup>-1</sup>, nei tre anni successivi (2007-2010) si è poi stabilizzata intorno alle 39 t ha<sup>-1</sup> (Fig. 2). In merito a questo esperimento va evidenziato che: la coltura ha fornito una buona resa già al primo anno di vita; è entrata in piena produzione fin dal secondo anno; e, salvo lievi oscillazioni, ha mantenuto finora un livello produttivo elevato. Tali positivi risultati, oltre che alla specie, sono ascrivibili, verosimilmente, ai tre seguenti fattori: i) densità d'impianto pari a 2.8 rizomi m<sup>-2</sup> (0.60 x 0.60 m), più che doppia rispetto a quella normalmente indicata in letteratura; ii) reintegro annuo del fosforo e dell'azoto nel terreno; e iii) buona piovosità durante la vegetazione della coltura (500-600 mm).



**Figura 3** - Andamento delle rese di un canneto negli anni 2007-2010 a Conselice (RA).

In un altro esperimento avviato nel 2007 a Conselice, in provincia di Ravenna, la performance della coltura nei 4 anni di valutazione è stata meno interessante, raggiungendo una produzione media pari a  $16.4 \text{ t ha}^{-1}$  (Fig. 3). Questa seconda prova si differenzia dalla precedente per alcuni elementi che potrebbero spiegare, almeno in parte, la minore prestazione della coltura. Ci si riferisce in particolare al tipo di terreno che in questo caso è molto argilloso, perciò soggetto a compattarsi notevolmente, con conseguenze negative sull'accrescimento dei rizomi e sull'approfondimento radicale; inoltre, in questo esperimento è stata adottata una minore densità d'impianto ( $1 \text{ rizoma m}^{-2}$ ), a seguito della quale la coltura ha prodotto pochissimo nel primo anno ( $7 \text{ t ha}^{-1}$  di s.s.) e tuttora stenta a raggiungere una sufficiente fittezza di culmi; per di più, in tale sito nei mesi più siccitosi la falda è più profonda rispetto all'ambiente precedente, con scarse possibilità per la coltura di potervi attingere.

La specie si contraddistingue anche per le sue capacità di accumulo del C nel suolo (McLaughlin e Walsh, 1998). Al riguardo, nel 2002 è stato avviato uno studio ad Anzola dell'Emilia (BO), confrontando due erbacee perenni (Arundo e miscanto), tre specie legnose (pioppo, salice e robinia), un prato stabile e un avvicendamento di piante annuali con terreno lavorato annualmente: rispetto a quest'ultimo, dopo 7 anni di coltivazione il contenuto di carbonio nel terreno, nello strato 0-20 cm, è aumentato del 53% per il salice, del 46% per la canna comune e il pioppo, del 31 e 32% per la robinia e il miscanto e del 23% per il prato stabile (Tab. 1, Ceotto *et al.*, 2010). Altri autori (Monti e Zatta, 2009) per l'Arundo hanno riscontrato una quantità di sostanza secca della parte ipogea della coltura 6 volte maggiore rispetto al sorgo e due volte in più rispetto al miscanto. Per tutte le caratteristiche positive, sopra evidenziate, la canna comune è considerata una delle migliori specie per la produzione di biomassa lignocellulosica ad uso energetico nei paesi del Mediterraneo (Lunnan A., 1997; Foti e Cosentino, 2001; Shatalov e Pereira, 2002; Di Candilo *et al.*, 2008).

**Tabella 1** - Contenuti di carbonio organico accumulati nello strato 0-20 cm del terreno, rilevati 7 anni dopo l'avvio delle coltivazioni. Medie con lettere in comune non sono statisticamente differenti per  $P \leq 0.05$ .

Coltura	C nel terreno (t ha <sup>-1</sup> )	Incremento annuo di C (t ha <sup>-1</sup> )	Stoccaggio annuo di CO <sub>2</sub> (t ha <sup>-1</sup> )
canna comune	37.7 a	1.70	6.23
miscanto	34.0 ab	1.18	4.32
robinia	33.9 ab	1.15	4.23
pioppo	37.7 a	1.70	6.23
salice	39.4 a	1.94	7.12
prato stabile	31.7 ab	0.84	3.07
colture annuali	25.8 b	0.00	0.00

### Destinazioni

La biomassa prodotta dalla canna comune, oltre che alla produzione di carta, può essere destinata alla conversione termo-elettrica, per combustione, e/o alla produzione di bioetanolo di “II generazione”, attraverso idrolisi della cellulosa in zuccheri semplici e fermentazione di questi ultimi.

### Ripristino del terreno

Per il ripristino del terreno, alla fine del ciclo produttivo della coltura, è necessario devitalizzare la massa radicale con un erbicida sistemico a largo spettro e non residuale nel terreno. In California sono stati ottenuti buoni risultati con applicazioni di glyphosate (N-phosphonomethyl glycine) in avanzata fase del ciclo vegetativo (Spencer *et al.*, 2008). Al riguardo, è stato osservato che le applicazioni di erbicida sono molto efficaci dopo la fioritura e prima della stasi vegetativa invernale. In tale periodo l'*Arundo* sarebbe particolarmente attivo nella traslocazione dei nutrienti ai rizomi e questo favorirebbe anche la traslocazione dell'erbicida alle radici (Bell, 1997). Altra tecnica sperimentata in California è il *cut and spray*, ossia l'applicazione dell'erbicida mediante una soluzione pura, localizzata sul punto di taglio alla base del culmo. Tale trattamento offre il vantaggio di richiedere una minore quantità di erbicida, ma risulterebbe meno efficace del trattamento fogliare, in quanto la traslocazione sarebbe scarsa.

Prove svolte nel 2010 ad Anzola dell'Emilia (BO) presso l'azienda sperimentale del Centro di Ricerca per le Colture Industriali, hanno evidenziato che una irrorazione fogliare con glyphosate in dose di 5 l ha<sup>-1</sup>, eseguita su piante di circa 2 m di altezza (inizio luglio), ha provocato la completa devitalizzazione del canneto. La possibilità di poter eseguire il trattamento quando i culmi presentano una taglia ancora contenuta è di notevole interesse, poiché semplifica l'operazione; inoltre va pure considerato che non tutte le aziende sono attrezzate per operare su piante di grandi dimensioni.

In alternativa al trattamento chimico si può ricorrere alla eradicazione meccanica, ovvero alla escavazione dei rizomi tramite estirpatori o scavatori e al loro allontanamento dal campo. Si tratta ad ogni modo di una tecnica sicuramente molto più onerosa rispetto al trattamento chimico e forse anche meno efficace, poiché i rizomi più profondi possono sfuggire alle attrezzature meccaniche, dando luogo a nuovi ricacci.

## Prospettive della coltura

La canna comune è la specie che si avvicina maggiormente alla pianta ideale per la produzione di biomassa lignocellulosica. Infatti, presenta molte caratteristiche positive, quali: i) elevato tasso di crescita giornaliero, mantenuto per un lungo periodo dell'anno (da marzo alla fine di ottobre); ii) è perennante e questo elimina i costi energetici annuali necessari per le lavorazioni del terreno e per la semina, inoltre è in grado di costituire validi *carbon sinks*, sia per l'incremento di sostanza organica nel terreno, conseguente alla non lavorazione, sia per l'accumulo di carbonio negli organi di riserva (rizomi e radici) che non vengono raccolti; iii) è scarsamente suscettibile ai parassiti, pertanto non richiede alcun trattamento chimico per la difesa contro insetti e patogeni; iv) è competitiva verso le malerbe; v) ha un apparato radicale molto sviluppato, in grado di attingere acqua a profondità elevate, inoltre è dotata di buona resistenza agli stress idrici anche severi; vi) si adatta a qualunque tipo di terreno, compresi quelli marginali non idonei alla coltivazione di specie a destinazione alimentare; vii) presenta ridotte esigenze di concimazione, grazie alla traslocazione dei nutrienti, in autunno, dalle foglie ai rizomi, per utilizzarli successivamente in primavera alla ripresa vegetativa. Benchè dotata dei numerosi punti di forza sopra evidenziati, la coltivazione dell'*Arundo* a fini energetici al momento incontra difficoltà ad espandersi poiché vi sono ancora alcuni problemi da superare in via definitiva, quali il reperimento del materiale vivaistico e soprattutto il suo costo. La sperimentazione svolta nell'ambito del progetto Suscace dimostra che in alternativa ai costosi rizomi possono essere impiegate le talee di culmo, sicuramente più economiche, ma per l'applicazione di questa tecnica su ampia scala occorre meccanizzare le operazioni inerenti la raccolta, il sezionamento e l'interramento delle talee stesse.

Un altro freno temporaneo alla diffusione dell'*Arundo* è rappresentato dalla mancanza di una legislazione chiara e stabile (incertezza normativa, dispersione e scarsa selettività degli incentivi). In tale situazione poco chiara gli imprenditori agricoli preferiscono non impegnare il terreno a lunga scadenza con una coltura poliennale. Tuttavia ciò non toglie che a medio-lungo termine la canna comune ha notevoli prospettive di diffusione.

L'utilizzazione industriale di questa pianta è stata avviata per la prima volta in Italia tra il 1937 ed il 1962 dalla Snia-Viscosa che brevettò un procedimento per la produzione di rayon viscosa e carta a partire da pasta di cellulosa ricavata dalla canna. Attualmente a Crescentino (Vercelli) è in costruzione, da parte della multinazio-

nale Mossi & Ghisolfi, un impianto per la produzione industriale di 40.000 tonnellate annue di bioetanolo di “II generazione”, utilizzando la biomassa della canna comune. A tale scopo è già stato avviato l’allestimento delle coltivazioni di *Arundo* in un raggio di 40 chilometri dallo stabilimento industriale, per una superficie complessiva che in un biennio dovrà raggiungere 4.500 ha.

La sostenibilità economica della coltivazione della canna comune diventa ancora più vantaggiosa se la coltura si inserisce su una filiera corta, basata su microimpianti a cogenerazione per autoconsumo dell’azienda agricola o di piccoli consorzi, con cessione dell’eventuale esubero di energia in rete. In questo caso l’agricoltore assume impegni più gravosi, ma mantiene in casa il valore aggiunto alla biomassa dalla conversione energetica.

## Bibliografia

- Angelini L.G., Ceccarini L., Bonari E., 2005. Biomass yield and Energy balance of giant reed (*Arundo donax* L.) cropped in central Italy as related to different management practices. *Europ. J. Agronomy* 22, 375-389.
- Beale C.V. and Long S.P., 1995. Can perennial C4-grasses attain high efficiencies of radiant energy conversion in cool climates? *Plant Cell Environ.* 18, 641-650.
- Bell, Gary P., 1997. Ecology and management of *arundo donax*, and approaches to riparian habitat restoration in southern California. In: Brock J.H., Wade M., Pysek P, Green D. (eds). *Plant invasions: studies from North America and Europe*. Leiden, The Netherlands: Backhuys Publishers: 103-113. [43820].
- Bhanwra R.K., Choda S.P., Kumar S., 1982. Comparative embryology of some grasses. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 48, 152-162.
- Ceotto E, Di Candilo M., 2010. Shoot cuttings propagation of giant reed (*Arundo donax* L.) in water and moist soil: The path forward? *Biomass and Bioenergy* 34, 1614-1623.
- Ceotto E., 2007. A simple and straightforward method for shoot cutting propagation of giant reed (*Arundo donax* L.). In: M. Borin, S. Bacelle, (eds.) *Proceedings of the International Conference on Multiple Roles of Wetlands*, Padova, Italy. 2007, 84.
- Ceotto E., Librenti I., Di Candilo M., 2010. Can bioenergy production and soil carbon storage be coupled? A case study on dedicated bioenergy crops in the Low Po Valley (Northern Italy). *Proceedings of the 18th European Biomass Conference*, 3-7 May 2010, Lyon, France. 2261-2264.
- Christou M., 1999. Comparative studies of two potential energy crops in Greece. ([www.swithgrass.nl](http://www.swithgrass.nl)).
- Christou M., 2001. Giant reed in Europe. In: *Proceedings of the First World Conference on Biomass for Energy and Industry*, Sevilla, Spain, 5-9 June 2000, pp. 2089-2091.

- Christou M., Mardikis M., Alexopoulous E., Cosentino S., Copani V. and Sanzone E., 2003. Environmental studies on *Arundo donax*. Proc. 8th International Conference on Environmental Science and Technology. Lemnos island, Greece, 8-10 September 2003, pp. 102-110.
- Cosentino S., Foti S., Venturi G., Giovanardi R., Copani V., Mantineo M., D'Agosta G., Bezzi G., Mazzocco T., 2005. Colture erbacee annuali e poliennali da biomassa per energia di possibile coltivazione in Italia. *Agroindustria* 1, 35-48.
- Dalianis C., Sooter C. and Christou M., 1994. Growth and biomass productivity of *Arundo donax* and *Miscanthus sinensis* x *giganteus*. In: Proceedings of 8th European Community Conference on Biomass for Energy, Environment Agriculture and Industry, Vienna 3-5 October 1994, pp. 575-582.
- Di Candilo M, Ceotto E., 2010. Effect of propagation techniques on crop establishment of giant reed (*Arundo donax* L.). Proceedings of 18th European Biomass Conference and Exhibition, 3-7 May 2010, Lyon, France. 255-258.
- Di Candilo M., Ceotto E., Librenti I., Faeti V., 2010. Manure fertilization on dedicated Energy crops: productivity, Energy and carbon cycle implications. Proceedings of the 14th Ramiran International Conference of the FAO ESCORENA Network on the Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture, pp. 4.
- Di Candilo M., Ceotto E., Diozzi M., 2008. Comparison of 7 ligno-cellulosic biomass feedstock species: 6-years results in the Low Po Valley. In: Rossi Pisa P. (ed.) 10th Congress of the European Society of Agronomy, Bologna, Multifunctional Agriculture, Agriculture as a Resource for Energy and Environmental Preservation. *Italian Journal of Agronomy*, Vol. 3, No. 3 suppl., 481-482.
- Di Candilo M., Cesaretti C., Ranalli P., Diozzi M., Pasini P., 2005. Colture da biomassa nel bolognese: produzione e conversione energetica. *Agroindustria* 1, 27-34.
- Di Tomaso J.M., 1998. Biology and ecology of giant reed. In: Bell, Carl E., ed. In: *Arundo and saltcedar: the deadly duo: proceedings of a workshop on combating the torea from arundo and saltcedar*; 1998 June 17; Ontario, CA: University of California, Cooperative Extension: 1-5. [47117].
- Foti S., Cosentino, S.L., 2001. Colture erbacee annuali e poliennali da energia. *Rivista di Agronomia* 35, 200-215.
- Herrera A. and Dudley T.L., 2003. Invertebrate community reduction in response to *Arundo donax* invasion at Sonoma Creek. *Biol. Invas* 5, 167-177.
- Jackson G.C. and Nunez J.R., 1964. Identification of silica present in the giant-reed (*Arundo donax* L.). *Journal of Agriculture of University of Puerto Rico*, 48, 60.62. [46766].
- Kos B., Greman H. and Lestan D., 2003. Phytoextraction of lead, zinc and cadmium from soil by selected plants. *Plant Soil Environ.* 49, 548-553.

- Lewandoski L., Scurlock J.M.O., Lindvall E., Christou M., 2003. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass & Bioenergy* 25, 335-381.
- Lunnan A., 1997. agriculture based biomass Energy supply-a survey of economic issues *Energy Policy* 25, 573-582.
- Mantineo M., D'Agosta G.M., Copani V., Patanè, Cosentino S.L., 2009. Biomass yield and Energy balance of three perennial crops for Energy use in the semi-arid Mediterranean environment. *Field Crops Research* 2, 204-213.
- Mariani C., Cabrini R., Danin A., Piffanelli P., Fricano A., Gomasasca S., Di Candilo M., Grassi F., Soave C., 2010. Origin, diffusion and re production of the giant reed (*Arundo donax* L.): a promising weedy energy crop. *Annals of Applied Biology* 157, 191-202.
- McLaughlin S.B. and Walsh M.E., 1998. Evaluating environmental consequences of producing herbaceous crops for bioenergy. *Biomass and Bioenergy* 14, 317-324.
- Mirza N., Mahmood Q., Pervez A., Ahmad R., Farooq R., Shah M.M., Azim M.R., 2010. Phytoremediation potential of *Arundo donax* in arsenic-contaminated synthetic wastewater. *Bioresour Technol.* 101, 5815-5819.
- Monti A., Venturi P., 1999. Risposta della canna comune (*Arundo donax* L.) alla concimazione azotata. In: Bona S. (ed), *Atti XXXIII Convegno annuale Società Italiana di Agronomia. Le colture non alimentari*. Legnaro (PD), 20-23 settembre 1999.
- Monti A., Zatta A., 2009. Root distribution and soil moisture retrieval in perennial and annual Energy crops in Northern Italy. *Agr., Ecosystems and Environ.* 132, 252-259.
- Monti A., Di Virgilio N., Venturi G., 2008. Mineral composition and ash content of six major energy crops. *Biomass and Bioenergy* 32, 216-223.
- Onofri A., 1940. *La canna comune (Arundo donax L.)*, Ed. INC.
- Peck G.G., 1998. Hydroponic growth characteristics of *Arundo donax* L. under salt stress. In: Bell, Carl E., ed. In: *Arundo and saltcedar: the deadly duo: Proceedings of workshop on combating the threat from arundo and saltcedar; 1998 June 17; Ontario, CA. Holtville, CA:University of California, Cooperative Extension: 71. (47128).*
- Perdue R.E., 1958. *Arundo donax* – source of musical reeds and industrial cellulose. *Economic Botany* 12, 368-404.
- Pimental D. and Krummel J., 1987. Biomass energy and soil erosion: assessment of resource costs. *Biomass* 14, 15-38.
- Polunin O., Huxley A., 1987. *Flowers of the Mediterranean*. Hogarth Press, London.
- Ranney J.W. and Mann L.K., 1994. Environmental considerations in energy crop production. *Biomass and Bioenergy* 6 (3), 211-228.

- Rossa B, TuAers AV, Naidoo G, von Willert DJ., 1998. *Arundo donax* L. (Poaceae)—a C3 species with unusually high photosynthetic capacity. *Botanica Acta* 111, 216–21.
- Shatalov A.A. and Pereira H., 2002. Influence of stem morphology on pulp and paper properties of *Arundo donax* L. *Ind. Crops and Prod.* 15, 77–83.
- Spencer D.F., Tan W., Liow P., Ksander G., Whitehand L.C., Weaver S., Olson J., Newhauser M., 2008. Evaluation of glyphosate for managing giant reed (*Arundo donax*). *Invasive Plant Sci. Manage* 1, 248-254.
- Tolbert V.R., Thornton F.C., Joslin J.D., Bock B.R., Bandaranayake W.E., Tyler D., Pettry D., Green T.H., Makik R., Bingham L., Houston A.E., Shires M., Dewey J. and Schoenholtz S., 1998. Soil and water quality aspects of herbaceous and woody energy crop production: lessons from research-scale comparison with agricultural crops. *Proc. BioEnergy '98: Expanding Bioenergy Partnership*, Madison, Wisconsin, October 4-8, 1998.
- Vecchiet M., Jodice R., 1996. Experiments in the production of giant reed (*Arundo Donax* L.) biomass. *Biomass for energy and the environment*. In: *Proceedings of the Ninth European Bioenergy Conference*, vol. 1, 70-77.
- Vecchiet M., Jodice R., Petrini C., Bazzocchi R. and Schenone G., 1996. Evaluation of giant reed (*Arundo donax* L.) productivity in north and central Italy under two different irrigation regimes. *Proceedings of "Biomass for Energy and the Environment" – 9th European Bioenergy Conference*, Copenhagen, Denmark, 24-27 June 1996, pp. 660-663.

---

## b - La coltivazione del cardo domestico (*Cynara cardunculus* L. var. *altilis* DC.) *The cultivation of cardoon (Cynara cardunculus* L. *var. altilis)*

**Rosario Paolo Mauro\*, Giovanni Mauromicale\***

### **Riassunto**

Il cardo domestico [*Cynara cardunculus* L. var. *altilis* DC.] è un'asteracea di origine mediterranea, tradizionalmente coltivata per la produzione delle giovani foglie opportunamente imbianchite. Negli ultimi decenni, tale coltura ha destato crescente interesse in rapporto alle possibili utilizzazioni energetiche, dovute alla sua adattabilità agli areali mediterranei, unitamente all'elevata produzione di biomassa lignocellulosica e di acheni ad alto contenuto in olio. Quest'ultimo, in rapporto alla sua composizione chimica, risulta idoneo alla produzione di biodiesel attraverso processi di transesterificazione. Nel presente lavoro vengono discussi i principali aspetti morfologici, biologici ed agronomici della coltura, nonché le caratteristiche salienti del prodotto utile ai fini energetici.

**Parole chiave:** *Cynara cardunculus* L. var. *altilis* DC., biomassa per energia, biodiesel, tecnica culturale.

---

### **Abstract**

*The cultivated cardoon [Cynara cardunculus L. var. altilis DC.] is a Mediterranean member of the Asteraceae family, traditionally cultivated for the production of edible young leaves. Over recent decades, the crop has attracted increasing attention because*

---

\* Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari (DISPA), sez. Scienze Agronomiche, Università degli Studi di Catania, Catania.

*of its possible uses for energetic purposes. This flows from its adaptability to the Mediterranean environment, together with the high production of lignocellulosic biomass and achenes with a high oil content. This latter, because of its chemical composition, is suitable for the production of biodiesel through transesterification process. In this paper we discuss the main morphological, biological and agronomic aspects of the cardoon crop, and the main features of the product useful for energetic purposes.*

**Keywords:** *Cynara cardunculus L. var. altilis DC., bioenergy crop, biodiesel, cultivation technique.*

## 1. Esigenze ed adattamento ambientale

Il cardo è specie originaria del bacino del Mediterraneo, per cui manifesta una piena sintonia con il clima mediterraneo-subarido, caratterizzato da piovosità e temperature miti nel semestre autunno-vernino, ed estati calde e aride. A questi due periodi dell'anno, infatti, corrispondono rispettivamente la fase di espletamento delle funzioni vegeto-riproduttive, e quella di stasi vegetativa, per cui la pianta riesce a sopravvivere a lunghi periodi di deficit idrico mediante un'efficace strategia di "sfuggenza". Questo particolare assetto biologico, fa sì che le esigenze idriche della pianta vengano soddisfatte da una normale piovosità autunno-primaverile (~400-500 mm). Le esigenze termiche, non dissimili da quelle del carciofo, prevedono un *optimum* di crescita compreso fra 15 e 22°C, mentre livelli termici inferiori a 10-15 °C rallentano il ritmo di accumulo della biomassa epigea; ciò spiega la tendenza della coltura ad estrinsecare le migliori performance produttive negli areali dell'Italia meridionale, specialmente alle modeste altitudini o lungo le fasce costiere. In corrispondenza di temperature comprese tra i -4 e i -7°C la vegetazione subisce seri danni, mentre a partire da -10°C può essere compromessa anche la vitalità delle gemme inserite sul rizoma sotterraneo.

Il cardo, pur adattandosi ad un ampio *range* di caratteristiche pedologiche, estrinseca al massimo le sue potenzialità in terreni di medio impasto, profondi, privi di scheletro, con pH prossimo alla neutralità e con buona capacità di ritenuta idrica. La pianta manifesta una certa sensibilità ai ristagni idrici, tuttavia mostra buona tolleranza alle variazioni di pH ed alla salinità; secondo taluni Autori, quest'ultimo aspetto deriverebbe dall'alto contenuto di  $\alpha$ -tocoferolo degli acheni, e dalla sua azione protettiva nei confronti delle membrane biologiche dallo stress ossidativo.

## 2. Tecnica colturale

Al fine di massimizzare la produzione di biomassa, di fondamentale importanza è la scelta dell'ambiente in cui effettuare la coltivazione del cardo da biomassa. Come già ricordato, il regime termometrico dei mesi invernali, rappresenta un elemento di

fondamentale importanza, per cui nella scelta dell'areale di coltivazione sono da preferire ambienti situati a basse altitudini, possibilmente ventilati (al fine di ridurre l'incidenza di fitopatie favorite dalla fitta vegetazione), e caratterizzati da terreni freschi, profondi, di medio impasto.

In considerazione della durata poliennale della coltura (3-10 anni), la preparazione del terreno prima dell'impianto assume rilevanza centrale, al fine di ottenere un'emergenza rapida ed uniforme, ed un buon approfondimento dell'apparato radicale, entrambi prerequisiti essenziali per una buona riuscita della coltura. A tale riguardo, risulta utile un'aratura di media profondità (20-30 cm) seguita da un buon amminutamento del terreno, per creare le condizioni migliori ad ospitare il seme. La semina può essere effettuata da settembre a ottobre (a seconda del livello di umidità del terreno) negli areali meridionali, in primavera negli areali in cui sono previste gelate autunnali, prima cioè, della formazione della rosetta fogliare. In quest'ultimo caso, è bene tenere presente che la fase di fioritura e formazione degli acheni si avrà l'anno successivo. La semina può essere effettuata con seminatrici meccaniche o di precisione, interrando gli acheni ad una profondità di circa 4 cm, e considerando un investimento unitario pari a 1,0 – 1,2 piante  $m^{-2}$  (1 x 1 m o 0,8 x 1 m); investimenti superiori (fino a 2,5 piante  $m^{-2}$ ) possono risultare utili a massimizzare la produzione di biomassa nell'anno di impianto. La quantità di seme occorrente può variare da 2 a 4 kg  $ha^{-1}$ . L'emergenza delle plantule si ha in circa 10-12 giorni.

Per quanto concerne le esigenze nutritive, il cardo, al pari del carciofo, è ritenuta una specie nitrofila, soprattutto se considerata in rapporto alla produzione di coste. Tuttavia, in recenti ricerche sulla produzione di biomassa ligno-cellulosica, è emerso che i genotipi più produttivi (produzione areiche superiori a 25 t  $ha^{-1}$  di sostanza secca), sono in grado di estrinsecare una buona capacità produttiva già a livelli di concimazione di bassa o media entità (100 kg  $ha^{-1}$  N, 150 kg  $ha^{-1}$   $P_2O_5$  e 150  $K_2O$ ), con positive ripercussioni sul bilancio energetico della coltura. L'intera concimazione fosfopotassica può essere somministrata alla preparazione del letto di semina, mentre risulta opportuno frazionare l'apporto di azoto in almeno 2 interventi, dei quali il primo alla semina ed il secondo non prima della emissione della 12<sup>a</sup> – 15<sup>a</sup> foglia.

Per quanto riguarda il fabbisogno idrico, si ricorda che il cardo manifesta una spiccata adattabilità al regime pluviometrico tipico degli ambienti a clima subarido-mediterraneo, per cui, il fabbisogno idrico, stimabile in circa 400-500 mm, è generalmente soddisfatto dalle piogge negli areali mediterranei. In ricerche effettuate nell'ambito progetto europeo "Cynara Network", è emerso che la produzione areica di biomassa varia, generalmente, entro valori di 15 t  $ha^{-1}$  di sostanza secca nell'anno di impianto (445 mm di pioggia) e 24,2 t  $ha^{-1}$  al secondo (646 mm). Tuttavia, al fine di anticipare la semina o il risveglio autunnale, massimizzando così l'accumulo di biomassa, ovvero per migliorare l'allegagione in annate particolarmente siccitose, possono risultare utili irrigazioni di soccorso che, al pari di molte altre colture da pieno campo, possono essere agevolmente effettuate mediante *travelling rainer*. L'irrigazione diventa un intervento ordinario negli ambienti in cui l'impianto della

coltura avviene in primavera, specialmente nel caso in cui sia previsto il ricorso al trapianto delle plantule.

A causa del lungo ciclo colturale (~ 9 mesi) il cardo, così come il carciofo, si trova a competere con un spettro di infestanti potenzialmente molto ampio, sia nel periodo autunno-vernino, che in quello primaverile. Tuttavia, se quest'ultimo non richiede, generalmente, particolari interventi, attesa l'elevata capacità competitiva acquisita dalla coltura (specialmente ai più alti investimenti unitari), la presenza di infestanti nel periodo autunno-vernino può compromettere la capacità produttiva della coltura, specialmente nell'anno di impianto. In questa fase, infatti, le piante, non disponendo di riserve accumulate e prontamente traslocabili dalla frazione ipogea, non sono in grado di esprimere elevati ritmi di accrescimento, per cui tendono a soffrire della competizione interspecifica. In questi casi, risulta utile il controllo della flora infestante, da realizzarsi nell'interfila mediante 1 o 2 sarchiature (prima del ricoprimento dell'interfilare da parte della coltura) o, nel caso in cui si vogliano minimizzare gli *input* energetici ed ottenere un controllo più prolungato nel tempo, mediante l'utilizzo di erbicidi ad azione residuale. In questo caso, efficaci risultano i trattamenti in post-emergenza con Chlorpropham ( $1,6 \text{ kg ha}^{-1}$  di sostanza attiva) da solo o in miscela con Diquat ( $1,3 \text{ kg ha}^{-1}$  di sostanza attiva) nel caso di infestanti già emerse. A partire dal secondo anno, la lotta alle infestanti diventa meno onerosa, attesa la capacità rinettante acquisita dalla coltura.

La raccolta del prodotto (foglie, fusti, capolini ed acheni) viene effettuata in estate, a disseccamento della biomassa epigea, cui corrisponde la maturazione fisiologica degli acheni, ma prima della disseminazione di questi ultimi. Per la raccolta della biomassa possono essere perseguite due strategie: una prima, prevede la raccolta integrale della biomassa, da realizzarsi con una barra falciatrice a 5-6 cm dal suolo, seguita da una rotoimballatrice; in questo caso, il prodotto raccolto è costituito da steli, capolini ed acheni, mentre le foglie, contaminate da particelle terrose, costituiscono lo scarto. Nel caso in cui si opti per una raccolta separata dei semi dal resto della biomassa, occorre una macchina combinata con organo di mietitura a barra alta e che permetta il contemporaneo sfalcio della biomassa.

La produzione areica di biomassa risulta alquanto variabile in rapporto a diversi fattori, tra i quali i più importanti sono certamente il genotipo, il regime termopluviometrico dell'areale di coltivazione ed il livello di *input* colturali. I vari contributi fino ad oggi hanno evidenziato produzioni areiche alquanto variabili, comprese fra  $7$  e  $29 \text{ t ha}^{-1}$  di sostanza secca, con punte di oltre  $30 \text{ t ha}^{-1}$ . Produzioni medie pari  $13-14 \text{ t ha}^{-1}$ , con punte di oltre  $20 \text{ t ha}^{-1}$  di sostanza secca sono tipiche degli areali dell'Italia centrale, mentre valori più elevati (oltre  $24 \text{ t ha}^{-1}$  di sostanza secca) sono frequentemente realizzati negli ambienti meridionali ed alle basse altitudini, in virtù del più favorevole decorso termometrico durante il periodo autunno-vernino (Tabella 1). Come in altre colture perenni da biomassa, la produzione areica risulta più bassa nell'anno di impianto, per poi crescere e stabilizzarsi negli anni successivi. Ciò deriva dalla tendenza della pianta a massimizzare, in una prima fase, l'accresci-

mento radicale e l'accumulo di sostanze di riserva, e ad aumentare solo in un secondo momento la produzione di biomassa epigea. In recenti prove di lungo periodo è emerso che la produzione di biomassa del cardo domestico risulta massima tra il 2° ed il 5° anno, per poi risultare significativamente più contenuta, ancorché stabile, tra il 6° e l'11° anno. Alla raccolta, la biomassa è costituita mediamente per il 42-55% da foglie, per il 10-28% da fusti, per il 26-30% da capolini (Tabella 2). Nell'ambito di questi ultimi, una frazione di rilevante interesse è costituita dagli acheni, attese le possibili applicazioni in ambito agri-energetico (produzione di bio-diesel) o farmaceutico (estrazione di anti-ossidanti). L'incidenza degli acheni sulla biomassa totale varia dall'8 al 10%, con produzioni areiche oscillanti entro 1,5 e 2,5 t ha<sup>-1</sup>. Alla raccolta, il contenuto di umidità della biomassa risulta in media pari al 15-20%, generalmente tra il 7 e l'8% negli acheni.

**Tabella 1** - Produzione areiche massime di biomassa lignocellulosica registrate in alcune località italiane.

	Coordinate	Altitudine (m s.l.m.)	Produzione areica minima (t ha <sup>-1</sup> )	Produzione areica massima (t ha <sup>-1</sup> )
Forlì	44°13' N, 12°02'E	34	17,5	24,6
Policoro	40°12' N, 16°40'E	25	7,5	15,6
Siracusa	37°27' N, 15°04' E	10	21,1	30,3
Enna	37°23' N, 14°21'E	550	7,8	24,8

**Tabella 2** - Ripartizione della biomassa epigea.

Parte di pianta	Incidenza sul totale (%)
Foglie	42 – 55
Steli fiorali	10 – 28
Capolini (acheni esclusi)	26 – 30
Acheni	9 – 10

### 3. Utilizzazioni della biomassa

Tradizionalmente il cardo rappresenta una coltura da orto, utilizzata per il consumo dei carducci ('gobbi'), costituiti dalle grosse nervature e da parte delle lamine fogliari. Tuttavia, diversi contributi hanno messo in luce la possibilità di utilizzare la biomassa di cardo come bio-combustibile solido, attraverso processi di combustione diretta o pirolisi. Le caratteristiche che rendono interessante questa coltura sono l'elevata produzione di biomassa, a fronte di una richiesta relativamente limitata di *input* energeti-

ci. Quest'ultimo aspetto scaturisce dalla rusticità e dall'adattabilità della coltura alle condizioni climatiche dell'Europa meridionale, ciò che consente buone prestazioni in terreni marginali ed in condizioni di coltivazione in asciutto, cioè in areali che si prestano meno a produzioni di tipo tradizionale. In prove condotte in Sicilia, è emerso che la produzione di biomassa del cardo risulta non dissimile da quello del sorgo da biomassa e dal miscanthus coltivati nello stesso ambiente. Altre caratteristiche positive risiedono nella bassa umidità della biomassa, che consente di ottimizzare le fasi di trasporto e termo-conversione, nell'adeguata composizione in carboidrati strutturali e lignina, e nel buon potere calorifico inferiore. La biomassa, eccetto gli acheni, si caratterizza per un potere calorifico inferiore pari a 14-16 MJ kg<sup>-1</sup> di sostanza secca (Tabella 3), di poco inferiore, quindi, rispetto alla biomassa di altre specie (arundo, miscanthus), dalle quali si distingue anche per un più basso contenuto di C ed H. Essa, tuttavia, si caratterizza per un alto contenuto in N (~1%), e soprattutto in ceneri (5-20%), in particolare SiO<sub>2</sub> (14,3%), CaO (17,7%) e K<sub>2</sub>O (21,5%) (Tabella 4), con possibili problemi legati all'efficienza di trasferimento termico ed alla accelerata corrosione negli impianti di termo-conversione, la qual cosa ne suggerisce un utilizzo in miscela con biomasse lignocellulosiche di diversa origine.

**Tabella 3** - Potere calorifico superiore ed inferiore (MJ kg<sup>-1</sup> di sostanza secca) della biomassa di *Cynara cardunculus* a fine ciclo (da Fernández *et al.*, 2006).

Parte di pianta	Potere calorifico superiore	Potere calorifico inferiore
Foglie basali	15,3	14,2
Foglie caulinari	17,1	15,9
Steli	17,6	16,4
Capolini (senza acheni)	17,2	16,0
Acheni	23,3	21,8
Biomassa totale	17,1	15,9

Gli acheni, per l'alto contenuto in sostanze oleiche (~25%), si caratterizzano per un maggiore potere calorifico inferiore (22-23 MJ kg<sup>-1</sup>). Da essi, mediante processi di estrazione a freddo (20-25 °C), è possibile estrarre olio, destinabile all'alimentazione umana o alla produzione di biodiesel. Nella composizione chimica dell'olio di cardo, i triacilgliceroli rappresentano la frazione preponderante (Tabella 5), mentre ridotta è la presenza di fosfolipidi e glicolipidi. Le buone caratteristiche alimentari vengono assicurate da un alto contenuto di acido oleico e linoleico, in rapporto bilanciato, così come dalla bassa quantità di acidi liberi, perossidi, acido linolenico ed acidi grassi saturi e l'assenza di acido erucico. Nel complesso la qualità risulta intermedia fra l'olio di mais e girasole.

**Tabella 4** - Composizione delle ceneri della biomassa in cardo domestico (% sostanza secca) (da Angelini *et al.*, 2009).

Composto	Quantità
SiO <sub>2</sub>	14,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,1
CaO	17,7
MgO	2,7
Na <sub>2</sub> O	10
K <sub>2</sub> O	21,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6,3
SO <sub>3</sub>	3,0

**Tabella 5** - Principali caratteristiche dell'olio in due cultivar di cardo domestico (da Maccarone *et al.*, 1999).

	<i>Gigante di Lucca</i>	<i>Bianco avorio</i>
Acidità (% acido oleico)	1,05	0,80
N. di perossidi (meq O <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> )	4,3	2,5
Frazione insaponificabile (%)	3,0	2,3
Acido palmitico (g 100 g <sup>-1</sup> )	11,30	10,30
Acido stearico (g 100 g <sup>-1</sup> )	3,10	2,80
Acido oleico (g 100 g <sup>-1</sup> )	28,25	21,80
Acido linoleico (g 100 g <sup>-1</sup> )	55,25	62,75

Il biodiesel prodotto dall'olio di cardo presenta buone caratteristiche tecniche, tra cui si ricordano: alto punto di infiammabilità (182-184 °C), alto numero di cetano (59-66), basso valore allo iodio (109-117), e bassi residui in fosforo (<5) e zolfo (<0.02) (Tabella 6).

**Tabella 6** - Alcune caratteristiche del biodiesel prodotto da olio di cardo, mediante processo di transesterificazione in etanolo e metanolo (da Fernández *et al.*, 2006).

Parametro	Transesterificazione		Requisiti EN – 14214
	Etanolo	Metanolo	
Densità a 15 °C (g cm <sup>-3</sup> )	0,8794	0,8890	0,86 – 0,90
Viscosità a 40 °C (mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	4,479	5,101	3,5 – 5
Punto di infiammabilità (°C)	184	182	>101
Cloud point (°C)	-5	-4	-
Numero di cetano	66	59	>51
C residuo (% , m/m)	0,28	0,36	<0,3
Valore allo iodio	109	117	<120
Fosforo (mg kg <sup>-1</sup> )	<5	<5	<10
Zolfo (% , m/m)	<0,02	<0,02	<0,02

## Bibliografia

- Angelini L.G., Ceccarini L., Nassi o Di Nasso N., Bonari E. Long-term evaluation of biomass production and quality of two cardoon (*Cynara cardunculus* L.) cultivars for energy use. *Biomass and Bioenergy* 2009; 33: 810-816.
- Fernández J., Curt M.D., Aguado P.L. Industrial applications of *Cynara cardunculus* L. for energy and other uses. *Industrial Crops and Products* 2006; 24: 222-229.
- Fernández J., Hidalgo M., del Monte J.P., Curt M.D. *Cynara cardunculus* L. as a perennial crop for non-irrigated lands: yields and applications. *Acta Horticulturae* 2005; 681: 109-115.
- Foti S., Mauromicale G., Raccuia S.A., Fallico B., Fanella F., Maccarrone E. Possible alternative utilization of *Cynara* spp. I. Biomass, grain yield and chemical composition of the grain. *Industrial Crops and Products* 1999; 10: 219-228.
- Gominho J., Lourenço A., Palma P., Lourenço M.E., Curt M.D., Fernández J., Pereira H. Large scale cultivation of *Cynara cardunculus* L. for biomass. *Industrial Crops and Products* 2011; 33: 1-6.
- Gonzalez J., Perez F., Fernández J., Lezaun J.A., Rodriguez D., Perea F., Romero C., Ochoa M.J., Garcia M. Study of *Cynara cardunculus* L. lignocellulosic biomass production in dry conditions. *Acta Horticulturae* 2004; 660: 221-227.
- Grammelis P., Malliopoulou A., Basinas P., Danalatos N.G. Cultivation and characterization of *Cynara cardunculus* for solid biofuels production in the Mediterranean Region. *International Journal of Molecular Sciences* 2008; 9: 1241-1258.
- Ierna A. Mauromicale G. *Cynara cardunculus* L. genotypes as a crop for energy purposes in a Mediterranean environment. *Biomass and Bioenergy* 2010; 34: 754-760.

- Maccarrone E., Fallico B., Fanella F., Mauromicale G., Raccuia S.A., Foti S. Possible alternative utilization of *Cynara* spp. II. Chemical characterization of their grain oil. *Industrial Crops and Products* 1999; 10: 229-237.
- Mantineo M., D'Agosta G.M., Copani V., Patanè C., Cosentino S.L. Biomass yield and energy balance of three perennial crops for energy use in the semi-arid Mediterranean environment. *Field Crops Research* 2009; 114: 204-213.
- Piscioneri I., Sharma N., Baviello G., Orlandini S. Promising industrial energy crop, *Cynara cardunculus*: a potential source for biomass production and alternative energy. *Energy Conversion and Management* 2000; 41: 1091-1105.



---

## c - La propagazione agamica della canna comune (*Arundo donax* L.)

### *Agamic propagation of giant reed (Arundo donax L.)*

**Salvatore Cosentino\*, Venera Copani\***

**Enrico Ceotto\*\*, Mario Di Candilo\*\***

#### **Riassunto**

La canna comune (*Arundo donax* L.), specie spontanea largamente diffusa in tutto il bacino del Mediterraneo, è stata indicata come una delle più promettenti per la produzione di bioenergia e pasta di cellulosa per gli ambienti dell'Europa meridionale. A causa della sterilità fiorale la propagazione può avvenire per via agamica mediante porzioni di rizoma o talee di culmo. Nell'ambito del progetto SUSCACE del MIPAF sono state realizzate prove sperimentali di pieno campo per studiare l'influenza della tecnica colturale, con particolare riferimento alla propagazione agamica, sull'insediamento e la produzione di questa specie. Le prove sono state condotte nel Nord Italia (Pianura Padana) e nel Sud (Sicilia) tra il 2009 e il 2011.

Relativamente alle prove effettuate nella Pianura Padana, vengono riferiti i risultati di una prova in pieno campo di confronto fra differenti tecniche di propagazione basate sull'impiego di rizomi, piantine micropropagate e talee di culmo diversamente interrato. I dati ottenuti indicano che la propagazione per rizoma nel primo anno di vita del canneto permette di ottenere canne più alte, di maggior diametro e peso rispetto a quelle prodotte con gli altri metodi; tuttavia, l'impiego di talee di culmo interrate orizzontalmente in doppia fila, determina ottimi risultati in termini di fittezza e regolarità di emissione di nuovi culmi, configurandosi come una valida alternativa all'uso dei rizomi e delle piantine micropropagate a condizione che vengano meccanizzate le operazioni di raccolta e sezionamento dei culmi, nonché l'interramento delle talee.

---

\* Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari (DISPA), Università degli Studi di Catania.

\*\* CRA-CIN, Centro di Ricerca per le Colture Industriali, Bologna.

Le ricerche realizzate in Sicilia confermano la superiorità del rizoma in termini di produttività nella prima stagione di crescita e migliore insediamento in condizioni di ridotta disponibilità idrica nell'anno di impianto del canneto, mentre la talea di culmo presenta un miglior indice di attecchimento nel caso di trapianto autunnale. La produttività dell'impianto da talea di culmo, più ridotta nel primo e nel secondo anno rispetto all'impianto da rizoma, eguaglia quest'ultimo nel terzo anno. Negli ambienti meridionali il trapianto effettuato a marzo determina, indipendentemente dall'organo di propagazione utilizzato, i migliori risultati in termini di nuovi culmi differenziati e biomassa prodotta.

**Parole chiave:** *Arundo donax* L., coltura da biomassa per energia, rizoma, talea di culmo, insediamento della coltura, produzione di biomassa.

---

## Abstract

*The giant reed (Arundo donax L.), a wild plant widespread in Mediterranean regions, has been indicated as one of the most promising crop for bioenergy and cellulose pulp production for Southern Europe areas. Because of its floral sterility the propagation of this plant has to be done by rhizome or stem cuttings. In the framework of MIPAF-SUSCACE project, in order to investigate the influence of crop management, with particular emphasis to propagation systems, on plant growth, establishing and yield, researches were carried out in two different environments: Padana Plain and Southern Italy (Sicily), since 2009 to 2011.*

*Results of Padana Plain field experiments where several propagation methods were compared, including rhizomes, micropropagated plants and stem cuttings (vertically and horizontally placed in the furrows) indicate that rhizome propagation allows to obtain, at the end of the first year, tallest plants with larger stem diameter and higher biomass productivity compare to the other methods. However, stem cuttings of one meter length, laid down horizontally, provided also excellent results in terms of plant density and plant establishment.*

*The trials carried out in Southern Italy (Sicily) confirm the best performance of rhizomes in comparison with stem cuttings in terms of the first growing season productivity and a better establishment in rainfed or reduced water availability conditions. Stem cutting showed a good establishment rather than the rhizome when transplanted in autumn. The yields of plants derived from stem cuttings are lower in the first and second year compared to rhizome derived plants, but in the third year the two yields are similar. In the South of Italy the transplant in March gave a better performance in terms of sprouted stems and yield.*

**Keywords:** *Arundo donax* L., biomass energy crop, rhizome, stem cutting, crop establishment, yield.

---

La produzione di energia da fonti rinnovabili reperite all'interno dei confini nazionali è diventata negli ultimi anni una priorità dei Paesi dell'Unione Europea, la cui dipendenza dalle fonti convenzionali, petrolio e gas naturale, è stata messa in evidenza



**Figura 1** – Canneto (Foto DISPA).

già da tempo (Commission of the European Communities, 1997). Una delle strategie perseguite è quella di produrre energia termica da colture dedicate. La canna comune (*Arundo donax* L.) (Fig. 1) è stata indicata come una delle più promettenti per la produzione di energia e pasta di cellulosa per gli ambienti dell'Europa meridionale (Lunnan, 1997; Anatoly *et al.*, 2002; Lewandowski *et al.*, 2003) grazie ad alcune caratteristiche molto interessanti: erbacea perenne, di facile adattamento ad ambienti alquanto diversi (Christou, 2001; Cosentino *et al.*, 2005), elevata produzione di biomassa, ridotte esigenze di input colturali (Cosentino *et al.*, 2005). La canna comune appartiene alla famiglia delle *Poaceae*, sottofamiglia *Arundinoideae*; si ritiene sia originaria dell'Asia, ed oggi diffusa in tutto il mondo, particolarmente nei paesi del bacino del Mediterraneo. Predilige temperature elevate, si a-

datta a suoli di varia natura e riesce a vegetare per lunghi periodi in condizioni estreme di contenuto idrico del terreno, dalle più aride alle più umide. Da tempo immemorabile è utilizzata in Asia, Sud Europa, Nord Africa e Medio Oriente, è stata introdotta nel Nord e Sud America ed in Australia nel XIX secolo (Perdue, 1958, Zohary, 1962). Trova tutt'ora impiego come tutore, per la produzione di panieri, ceste e strumenti musicali. L'utilizzazione industriale di questa pianta è stata avviata per la prima volta nell'Italia settentrionale tra il 1935 ed il 1964 dalla Snia-Viscosa che brevettò un procedimento per la produzione di rayon viscosa e carta a partire da pasta di cellulosa ricavata dal culmo della pianta (Facchini, 1941).

La canna comune è una specie perenne, di statura elevata, a ciclo fotosintetico C-3. I culmi si sviluppano da grossi rizomi sotterranei durante la primavera e l'estate. Le infiorescenze compaiono tra agosto e novembre ma non tutti i culmi fioriscono lo stesso anno.

In condizioni ottimali di disponibilità idrica del terreno la potenzialità produttiva della specie è notevole, superiore alle 100 t ha<sup>-1</sup> di sostanza fresca. In numerose prove condotte nell'Europa meridionale la produzione di sostanza secca si è attestata sulle 30 t ha<sup>-1</sup> con punte superiori a 40 t ha<sup>-1</sup>, (Cosentino *et al.*, 2005). Con riferimento alle esigenze idriche della coltura, le prove sperimentali condotte a Catania dal 1997 al 2000 indicano che in assenza di irrigazione la produzione di biomassa si

aggira intorno a 10-15 t ha<sup>-1</sup> di sostanza secca mentre con volumi idrici intorno a 350 mm si possono raggiungere produzioni di 30-35 t ha<sup>-1</sup>; apporti idrici superiori non comportano ulteriori incrementi di produzione. La risposta della coltura alla concimazione azotata è debole, non sono state osservate, infatti, differenze di produzione con dosi di concime azotato da 60 a 120 kg ha<sup>-1</sup>.

A causa della sterilità che caratterizza la specie al di fuori del suo areale di origine (Polunin and Huxley, 1987) (Fig. 2), la propagazione avviene usualmente per via asessuata attraverso porzioni di rizoma o di culmo.

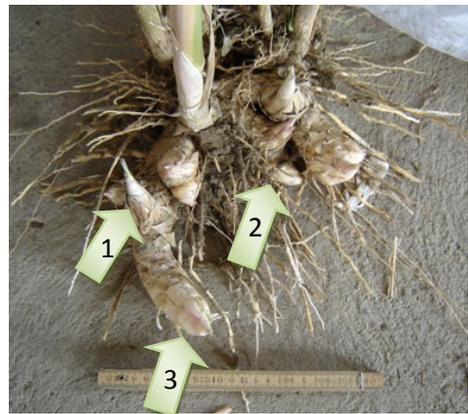
Ai fini della coltivazione di questa specie uno degli aspetti che attualmente richiede maggiore impegno è quello relativo alle modalità di impianto del canneto: per mezzo di rizomi (tratti provvisti di più gemme principali o solo di una o di gemme latenti), di tratti di culmo (con pochi o molti nodi, interrati verticalmente o orizzontalmente) o del culmo intero, per mezzo di piante micropropagate, utilizzando ormoni radicanti ecc.

### *Il rizoma*

Il rizoma è un fusto strisciante che cresce appena al di sotto della superficie del terreno, ramificato, distinto in nodi ed internodi, provvisto di gemme apicali che provvedono al prolungamento del rizoma e alla emersione dal suolo di fusti (Fig. 3). Una porzione di rizoma di *Arundo donax* è costituita, tipicamente, da una serie di nodi (tratti di prolungamento), da una gemma principale, da due secondarie, più piccole, poco al di sotto, e da altre gemme che normalmente sono destinate a prolungare e



**Figura 2** - Semi di canna comune sterili (Foto CRA-CIN).



**Figura 3** - Rizoma neoformato. Sono presenti gemme principali (1), gemme secondarie (2), gemme di prolungamento (3) (Foto DISPA).

ramificare il rizoma (gemme di prolungamento) (Fig. 3) (Onofry, 1940). Alla ripresa vegetativa primaverile dalla gemma principale si sviluppa un germoglio che origina una canna. Le gemme secondarie, accrescendosi e distanziandosi da quella principa-

le danno origine alle canne che si svilupperanno nel corso dell'estate. Le gemme di prolungamento si allungano e divergono dalle secondarie e differenziano alla fine di questo processo nuove gemme delle tre tipologie appena descritte. Con questo andamento il rizoma avanza e colonizza lo spazio disponibile, mentre la parte retrostante invecchia e muore.

#### *La talea di culmo*

Il culmo della canna comune si sviluppa da una gemma del rizoma, può raggiungere i 500 cm di altezza; è suddiviso in nodi (da 30 a 40) ed internodi, di lunghezza variabile; i nodi portano gemme da cui, a maturità e in opportune condizioni (interrati e mantenuti in condizioni di umidità elevata) sviluppano radici e germogli (Fig. 4).



**Figura 4** – Nodo del culmo da cui si sono sviluppati germogli e radici (Foto DISPA).

#### *Criteri di scelta*

L'utilizzo di rizomi assicura un elevato indice di attecchimento (Copani *et al.*, 2003), ma il loro impiego risulta oneroso e di difficile attuazione su vasta scala, mentre il ricorso alle talee di culmo potrebbe rivelarsi più agevole e meno costoso. In ogni caso, la possibile introduzione in coltura di questa specie ha reso necessario verificare l'influenza della tipologia dell'organo di propagazione impiegato e delle sue caratteristiche (dimensione, posizione, età) sulla capacità radicante, sui tempi e modalità di radicazione, sulla produzione di biomassa.

Un punto chiave nell'ambiente semi-arido mediterraneo è rappresentato dal contenuto di acqua nel suolo al momento del trapianto che deve assicurare un buon rifornimento idrico agli organi di propagazione ai fini di un regolare insediamento. Nel periodo autunno-primaverile il contenuto idrico nel suolo è generalmente soddisfacente, ma le basse temperature potrebbero pregiudicare il successo dell'impianto. È perciò necessario trovare la giusta combinazione tra livelli termici e disponibilità idrica nel suolo.

In Italia, grazie ai programmi di ricerca promossi dal MIPAAF (BIOENERGIE, SuSCACE) e a quelli finanziati dalla Comunità Europea [“*Giant Reed (Arundo donax L.) Network Improvement Productivity and biomass Quality*” (FAIR3 CT96 2028)] è stata realizzata una vasta sperimentazione in diversi ambienti sia al Nord (Pianura Padana) che al Sud (Sicilia) sulle problematiche prima indicate (Copani *et al.*, 2008; Copani *et al.*, 2009; Copani *et al.*, 2010; Cosentino *et al.*, 2003; Cosentino *et al.*, 2006).

Si riportano in questa nota alcune delle esperienze più significative realizzate nei suddetti ambienti.

## Studi sulla propagazione della canna comune condotti nella Pianura Padana

*Propagazione per talea di culmo: la scelta del materiale più idoneo.*

La propagazione della canna comune mediante talea di culmo può essere effettuata con successo utilizzando le ramificazioni (rametti) che compaiono sui culmi alla fine del primo anno di crescita e nel secondo anno. Il periodo più adatto alla propagazione per talea di culmo nell'Italia Settentrionale si colloca nei mesi più caldi dell'anno, da maggio a settembre. La radicazione avviene prontamente a condizione che queste talee vengano tenute immerse in acqua per un periodo di circa 30-40 giorni.

Le canne di secondo anno che nella parte apicale portano queste 'ramificazioni', a causa del peso crescente dei fusti secondari presenti in numero di 2-3 per nodo, tendono a reclinare durante l'estate, in questo modo il contatto con il suolo umido dei fossi e delle aree ripariali dove i canneti normalmente trovano il loro habitat ideale, è facilitato. È probabile che per questi meccanismi i fusti secondari giochino un ruolo importante nella diffusione della specie lungo i corsi d'acqua.



**Figura 5** - Dopo 30-40 giorni di immersione in acqua dai culmi secondari si sviluppa un robusto apparato radicale (Foto CRA-CIN).



**Figura 6a** - La radicazione dei culmi secondari di canna comune in contenitori alveolari avviene senza difficoltà a prescindere dal substrato utilizzato. A sinistra radicazione in acqua, al centro terriccio di alta qualità, a destra suolo limo-argilloso (Foto CRA-CIN).

Nella figura 5 che mostra la parte apicale di un culmo, sono ben visibili i nodi da cui si originano ramificazioni (rametti o culmi di secondo ordine). Questi culmi secondari, se immersi in acqua per 30-40 giorni durante il periodo più caldo dell'anno (giugno-settembre) emettono radici molto vigorose. Le talee così costituite possono essere trapiantate quindi in substrati di qualunque tipo, a condizione che sia assicurato un costante rifornimento idrico (Fig. 6a). È importante sottolineare che i culmi di un anno (culmi primari), se immersi in acqua, sono anch'essi in grado di emettere

radici in corrispondenza dei nodi, ma ciò avviene in modo molto irregolare e soprattutto con minor vigore rispetto a quanto si verifica per i culmi secondari (Fig. 6b).



**Figura 6b** - Particolare della radicazione di culmi di primo anno immersi in acqua per un periodo di 30-40 giorni. Si può notare come questa sia molto modesta e poco uniforme (Foto CRA-CIN).

Come mostrano bene le foto, la produzione di talee di culmo radicate a partire da rametti appare di facile realizzazione, ed indica che riprodurre la canna comune su piccola scala è tecnicamente semplice. Il problema diventa più complesso quando si tratta di operare su larga scala, dal momento che la metodologia impiegata richiede un elevato impiego di manodopera per la raccolta e la selezione del materiale di propagazione prima e per il trapianto in campo successivamente.

#### *Un esperimento di confronto tra metodi di propagazione condotto dal CRA-CIN*

##### *Materiali e metodi*

La prova sperimentale è stata avviata tra aprile e giugno 2009 presso l'Azienda sperimentale "Cà Rossa" del CRA-CIN, ad Anzola dell'Emilia (Bologna), nella bassa Pianura Padana (Lat. 44°32'N, Long. 11°80'E, 38 m s.l.m., piovosità media annua 600 mm), su terreno franco-limoso (Udifuventic Haplustepts fine silty, mixed mesic (Soil Survey Staff, 2003). È stato utilizzato un ecotipo locale, denominato "Budrio".

Sono stati messi a confronto le seguenti 10 tesi:

- TCS e TCD - talee di culmo di un metro di lunghezza, prelevate all'inizio di giugno da culmi del secondo anno, interrate orizzontalmente in fila continua singola e doppia;
- TM1, TM2 e TM3 - talee mediane di culmo con uno, due e tre nodi rispettivamente, interrate verticalmente;
- TA1, TA2 e TA3 - talee apicali di culmo con uno, due e tre nodi rispettivamente, interrate verticalmente;

- PM - piantine micropropagate;
- T (testimone) - rizomi con tre gemme pronte (principali e secondarie).

Il terreno destinato alla prova è stato approntato eseguendo l'aratura a fine estate, una fresatura in autunno, previa concimazione fosfatica ( $60 \text{ kg ha}^{-1}$  di  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) ed una erpicatura in primavera.

Per i rizomi, le piantine micropropagate e le talee di culmo trapiantate verticalmente è stata utilizzata una densità d'impianto di  $1,6 \text{ piante m}^{-2}$  (distanza di m 0.80 fra le file e sulla fila). Le talee di culmo interrato orizzontalmente alla profondità di 15 cm circa sono state disposte in file singole e doppie distanziate di 0.80 m (Fig. 7).

I tratti di culmo con ramificazioni laterali sono stati prelevati il 9 giugno da canne di secondo anno ed interrati lo stesso giorno. I rizomi sono stati espianati all'inizio di aprile, opportunamente sezionati e trapiantati il 10 aprile (Fig. 8). Le piantine micropropagate (Fig. 9) sono state trapiantate il 5 giugno.



**Figura 7** - Operazioni di posa e di copertura delle talee di culmo nei solchi (9 giugno 2009) (Foto CRA-CIN).



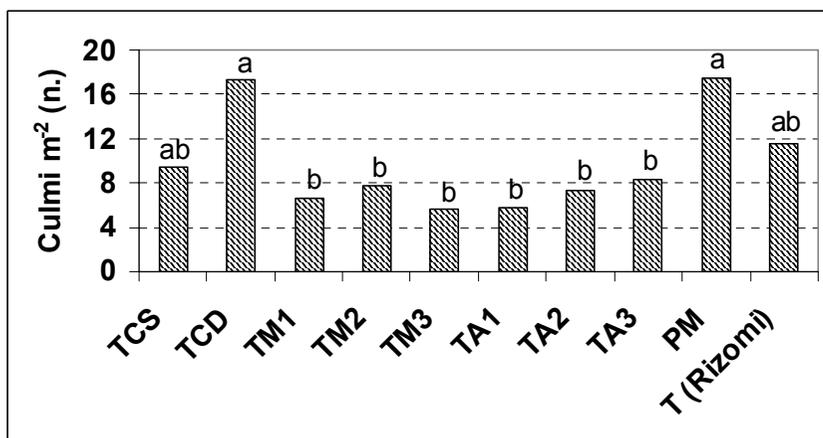
**Figura 8** - Rizoma con tre gemme principali (Foto DISPA).



**Figura 9** - Piantine micropropagate prodotte a partire dall'ecotipo locale (Foto CRA-CIN).

Le tesi a confronto sono state distribuite in campo secondo uno schema a blocco randomizzato con tre ripetizioni e parcelle di 16 m<sup>2</sup>. Al fine di favorire la radicazione e l'insediamento della coltura, subito dopo il trapianto e, successivamente, con un turno di circa 10 giorni sono stati effettuati 7 irrigazioni (volume stagionale di irrigazione pari a 245 mm). In copertura sono stati somministrati 60 kg ha<sup>-1</sup> di azoto, sotto forma di urea. Le infestanti sono state rimosse manualmente.

La raccolta della biomassa prodotta è stata effettuata nel corso dell'inverno 2010. In occasione di tale intervento sono stati rilevati i seguenti caratteri: i) numero di culmi presenti; ii) distribuzione spaziale dei culmi nella parcella; iii) altezza e diametro basale dei culmi; iv) produzione di biomassa fresca; v) contenuto di umidità alla raccolta; e vi) resa areica in sostanza secca.

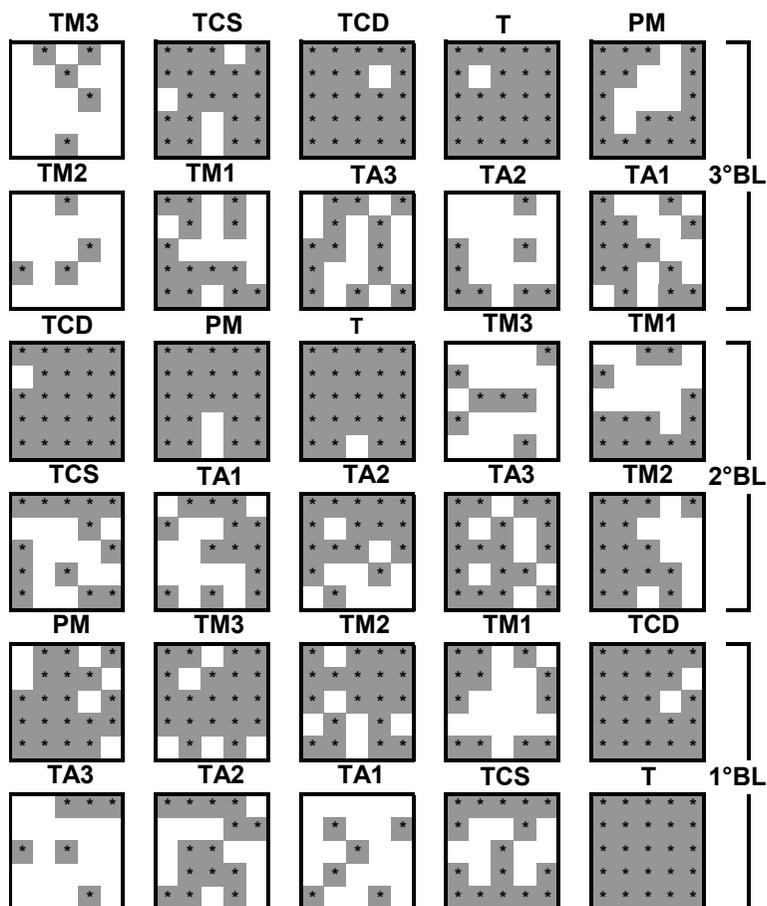


**Figura 10** - Densità d'investimento al termine del primo anno di coltivazione. Istogrammi non aventi lettere in comune differiscono significativamente per  $P=0.05$ .

### Risultati e discussione

Nella figura 10 sono riportate le densità d'investimento in relazione alle tesi allo studio. I valori più elevati (17 culmi m<sup>-2</sup>) sono stati rilevati per le tesi piantine micropropagate e talee di culmo interrate orizzontalmente in doppia fila. Densità significativamente inferiori sono state ottenute con gli altri metodi (6-8 culmi m<sup>-2</sup>). Il testimone rappresentato dai rizomi e le talee interrate orizzontalmente in fila singola hanno evidenziato densità intermedie. Considerato che un canneto ha una durata non inferiore ai 15-20 anni e che la densità dei culmi cresce sensibilmente nel secondo e terzo anno di vita della coltivazione, un investimento iniziale di 6-8 culmi m<sup>-2</sup> potrebbe essere ritenuto già sufficiente, a condizione però che gli stessi abbiano una buona distribuzione spaziale. In realtà, come si può osservare nella figura 11, le tesi allo studio si sono sensibilmente differenziate al riguardo. La propagazione per rizomi, come atteso, ha dato luogo ad una distribuzione molto uniforme; ottimo anche

il risultato fornito dalle talee di culmo interrato orizzontalmente in fila doppia. Le piantine micropropagate, pur avendo determinato una elevata densità di nuovi culmi  $m^{-2}$  (grazie ad un elevato accestimento), hanno presentato una distribuzione irregolare in due casi su tre. Le talee di culmo interrato verticalmente hanno dato luogo a falanze e quindi ad una maggiore diffusione di infestanti (Figura 12). Le talee di culmo interrato orizzontalmente in doppia fila hanno determinato una densità di impianto molto regolare ed una limitata presenza di infestanti (Figura 13).



**Figura 11** - Distribuzione spaziale dei nuovi culmi emessi in relazione alle tesi allo studio. L'arundo è presente nelle aree grigie, e non in quelle bianche.

I culmi derivanti dal trapianto dei rizomi si sono differenziati nettamente da tutti gli altri per la maggiore dimensione: altezza pari a 300 cm e diametro di 16 mm, contro valori medi delle altre tesi di 125 cm e 9.4 mm rispettivamente (Figure 14 e 15). Differenze significative sono emerse anche per il numero di nodi del culmo, sensibilmente più elevati nel testimone (+72%, in media). La migliore performance della

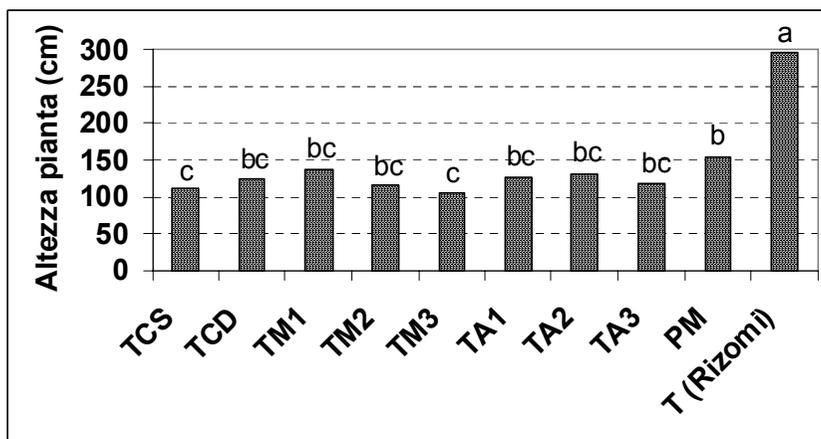
propagazione per rizomi rispetto alle altre metodologie di propagazione, in termini di velocità di attecchimento, emergenza e sviluppo dei culmi è stata determinata, molto verosimilmente, dalle sostanze nutritive di riserva presenti nel rizoma stesso e rese disponibili per lo sviluppo dei nuovi culmi.



**Figura 12** - Il trapianto di talee di culmo interrate verticalmente ha determinato un insediamento irregolare con spazi vuoti occupati dalle infestanti (Foto CRA-CIN).



**Figura 13** - Il trapianto di talee di culmo interrato orizzontalmente in doppia fila ha determinato una elevata regolarità di attecchimento che ha permesso di contenere lo sviluppo delle erbe infestanti (Foto CRA-CIN).



**Figura 14** - Altezza dei culmi alla fine della prima stagione di crescita. Lettere diverse indicano differenze significative per  $P=0.05$ .

Le tecniche di propagazione hanno influenzato, conseguentemente, anche la produzione di biomassa (Tabella 1). L'impianto con rizomi ha determinato una produzione di biomassa fresca pari a  $38.3 \text{ t ha}^{-1}$ , contro una media di  $9.8 \text{ t ha}^{-1}$  delle altre tesi. La biomassa derivante da rizomi e quella ottenuta da piante micropropagate presentava, inoltre, un contenuto di umidità inferiore di circa cinque punti percentuali rispetto a quella derivante dalle altre tesi allo studio (Tab. 1). Pertanto, la biomassa secca prodotta dal canneto di primo anno impiantato con rizomi è stata pari a  $17 \text{ t ha}^{-1}$ ,

più del doppio di quella delle piante micropropagate, tre volte superiore rispetto a quella dell'impianto con talee di culmo interrato orizzontalmente in doppia fila (Tesi TCD), e 6 volte superiore alla resa media delle altre tesi. Va ricordato, in ogni caso, che la produzione della canna comune, alla stregua di altre erbacee perenni, cresce notevolmente negli anni successivi a quello d'impianto, in particolare nel secondo e nel terzo anno.

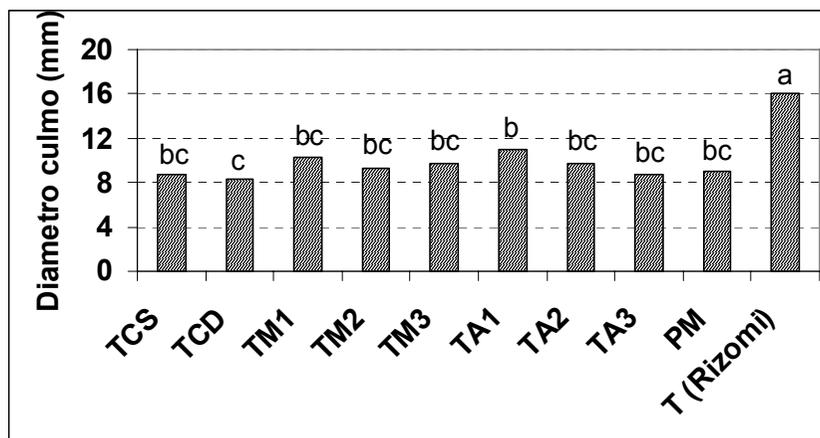


Figura 15 - Diametro basale dei culmi al termine del primo anno del canneto. Lettere diverse indicano differenze significative per  $P=0.05$ .

Tabella 1 - Produzione e umidità della biomassa allo sfalcio e resa in sostanza secca nel 1° anno. I valori non aventi lettere in comune differiscono significativamente per  $P=0.05$ .

Tesi	Biomassa fresca ( $t\ ha^{-1}$ )	Umidità %	Sostanza secca ( $t\ ha^{-1}$ )
TCS	9.0 bd	62.0 a	3.4 cd
TCD	15.5 bc	61.7 a	5.8 bc
TM1	9.0 bd	61.0 a	3.5 cd
TM2	7.4 bd	61.4 a	2.9 cd
TM3	5.0 d	62.0 a	2.0 d
TA1	7.0 cd	62.5 a	2.6 cd
TA2	7.7 bd	62.2 a	2.9 cd
TA3	9.9 bd	63.9 a	3.5 cd
PM	17.3 b	56.6 b	7.5 b
T (Rizomi)	38.3 a	55.7 b	17.0 a
Media	12.7	60.9	5.1

La tecnica di propagazione basata sull'impiego di talee di culmo interrato orizzontalmente in doppia fila, ha permesso di conseguire l'ottimo risultato della regolarità

di emergenza delle nuove canne e quindi della uniforme copertura del suolo (Figura 16 e 17) per cui essa può rappresentare una valida alternativa all'impiego dei rizomi e delle piantine micropropagate (Ceotto e Di Candilo, 2010 a e b).



**Figura 16** - Regolarità dell'emergenza nella tesi che prevedeva l'impiego di talee di culmo interrate orizzontalmente in doppia fila ed irrigate (Foto CRA-CIN).



**Figura 17** - Lo stesso canneto della figura precedente all'inizio di settembre. Si noti l'ottima densità ed uniformità di investimento (Foto CRA-CIN).

L'impianto del canneto con talee di culmo, risulta meno oneroso rispetto alla tecnica basata sull'impiego dei rizomi. In termini economici, l'impiego delle talee di culmo dovrebbe essere meno oneroso rispetto ai rizomi e alle piantine micropropagate, a condizione che vengano meccanizzate le operazioni di raccolta, selezione e sezionamento dei culmi, nonché quelle di trapianto.

## Studi sulla propagazione della canna comune condotti in Sicilia

### *La propagazione agamica: rizomi vs talee di culmo*

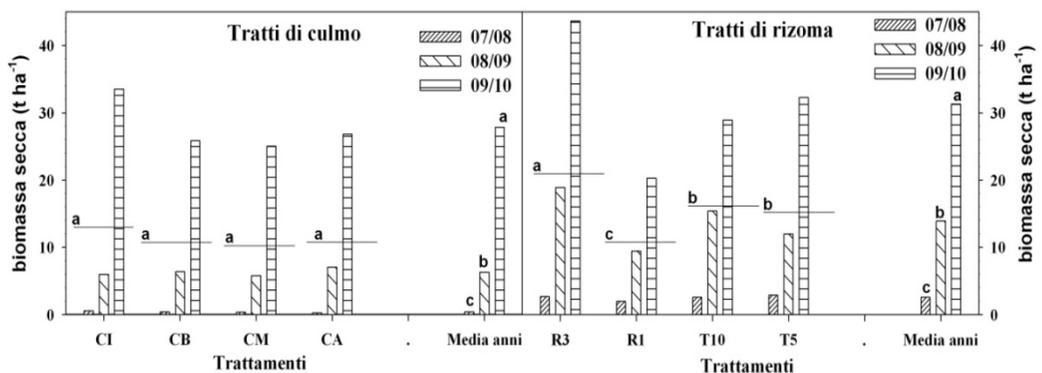
Una prova triennale (2007-2010) realizzata a Catania (Progetto MIPAAF "Bionergie") (Cosentino *et al.*, 2010) su terreno alluvionale, ha posto a confronto rizomi e talee di culmo prelevati dal clone siciliano "Fondachello" e trapiantati in primavera (Aprile). Per ciascuno degli organi di propagazione sono stati previsti 4 trattamenti: nel caso del rizoma sono state utilizzate porzioni con tre gemme principali (R3), con una gemma pronta (R1), tratti di 10 cm con gemme latenti (T10), tratti di 5 cm con gemme latenti (T5). Nel caso del culmo sono stati impiegati culmi interi (Ci) e tratti della lunghezza di 100 cm della regione basale (Cb), mediana (Cm) e apicale (Ca) del culmo, posti in doppio nel solco, con circa 12-13 nodi. Dopo il trapianto e nel corso dell'estate del primo anno è stato somministrato un volume idrico pari a 240 mm; nessuna irrigazione né altro intervento colturale oltre al contenimento delle infestanti è stato effettuato negli anni successivi. Alla fine della prima stagione di crescita (novembre 2007) il numero medio dei culmi emessi nell'impianto da rizomi era di 5,6 culmi m<sup>-2</sup> con differenze tra i trattamenti (dimensione del rizoma) poco signifi-

ficative. L'emissione di nuove canne da talee di culmo è risultata, alla stessa data, più ridotta: 4,3 culmi m<sup>-2</sup>, con differenze tra i trattamenti (tratto di culmo) di scarsa entità. Nel triennio la produttività del canneto è cresciuta in misura esponenziale, soprattutto tra il secondo e il terzo anno (Fig. 18). La biomassa secca è passata, da 2,6 a 31,3 t ha<sup>-1</sup> nel caso di impiego di rizomi e da 0,4 a 27,8 t ha<sup>-1</sup> nel caso di impiego di talee di culmo (Fig. 18). Nei primi due anni la produttività media del canneto derivante da rizomi ha superato quella del canneto derivante da talee di culmo, ma al terzo anno è stato osservato un sostanziale livellamento.

L'impiego di rizomi con tre gemme pronte ha fatto accertare, sempre nel triennio, una significativa superiorità produttiva (21,5 t ha<sup>-1</sup> di s.s. in media, con un massimo assoluto di 43,7 t ha<sup>-1</sup> s.s. nel terzo anno) rispetto alle altre tipologie di tratti di rizoma. Nell'ambito delle talee di culmo non sono state osservate, per contro, differenze significative in relazione all'area di provenienza dei tratti (11,5 t ha<sup>-1</sup> s.s. in media).

Con riferimento ai massimi valori produttivi raggiunti nel terzo anno, le tesi relative al culmo non si sono discostate sostanzialmente dai trattamenti T10 e T5 relativi al rizoma, eccezion fatta per la tesi R3 che ha richiesto, tuttavia, l'impiego di porzioni di rizoma di elevate dimensioni.

L'utilizzo dei tratti di culmo è risultata, pertanto, abbastanza soddisfacente indipendentemente dal tratto utilizzato (basale, mediano, apicale); dopo i primi due anni la produttività rilevata è stata di entità paragonabile a quella osservata utilizzando tratti di rizoma di ridotte dimensioni (T10 e T5).

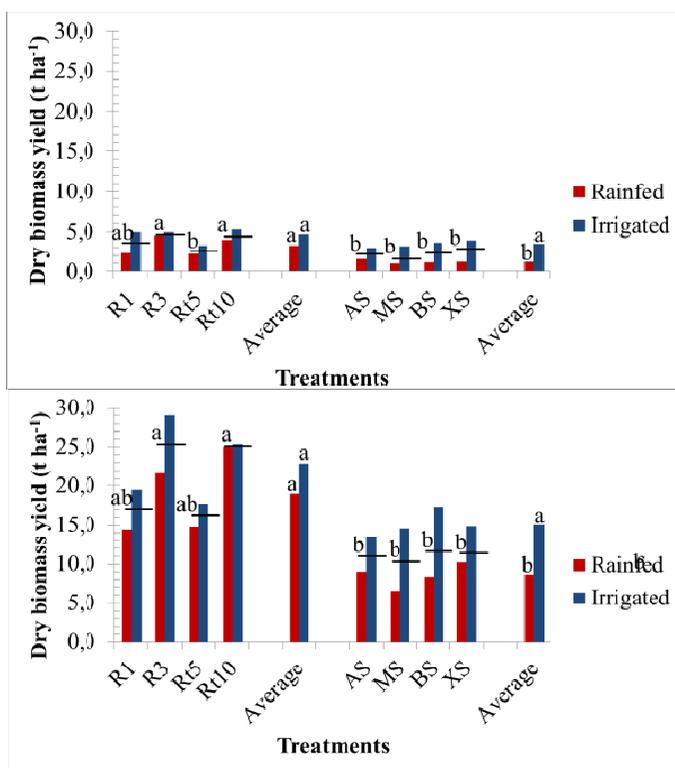


**Figura 18** - Produzione di biomassa secca nel triennio in relazione ai trattamenti allo studio. Per ciascun tipo di organo di propagazione, lettere diverse indicano significatività tra i trattamenti per  $p \leq 0,05$  per le medie del triennio.

Un esperimento simile è stato realizzato sempre a Catania nel biennio 2009-2011 (Copani *et al.*, 2011); in questo caso le diverse tipologie di talee di culmo (porzioni del culmo provenienti dal tratto basale - BS, mediano - MS, apicale - AS, e tratti misti delle tre aree - XS), della lunghezza di circa 100 cm, posti in doppio nel solco e, come nel precedente caso prelevati dal clone "Fondachello", sono stati trapiantati in primavera (Aprile 2009) per verificare il comportamento dei due organi di propaga-

zione in relazione alla disponibilità idrica del suolo. Questa è stata differenziata solo il primo anno, prevedendo l'irrigazione per tutto il periodo estivo (267,5 mm), tesi "irrigata" o solo al trapianto (17,5 mm), tesi "asciutta". I risultati ottenuti hanno confermato quanto emerso nella prova precedente: nel primo biennio la produzione di biomassa nell'impianto realizzato a partire da rizomi ha superato quella delle talee di culmo: 4,0 e 2,3 t ha<sup>-1</sup> s.s., nel primo anno e 20,9 e 11,8 t ha<sup>-1</sup> s.s. nel secondo anno, rispettivamente (Fig. 19).

L'aspetto interessante messo in luce dalla prova è stato che l'irrigazione non è stata determinante per la produttività del rizoma dal momento che, sia nel primo che nel secondo anno, la resa in biomassa non si è differenziata in relazione alle 2 disponibilità idriche: 3,3 e 4,7 t ha<sup>-1</sup>, nel primo anno e 19,0 e 22,9 t ha<sup>-1</sup>, nel secondo anno, rispettivamente per la tesi "asciutta" ed "irrigata". Viceversa, nel caso del culmo, la produzione della tesi "irrigata" è stata significativamente superiore rispetto a quella della tesi "asciutta": 3,4 e 1,2 t ha<sup>-1</sup>, nel primo anno e 15,1 contro 8,6 t ha<sup>-1</sup>, nel secondo anno, rispettivamente (Fig. 19)



**Figura 19** - Resa in biomassa secca (t ha<sup>-1</sup> s.s.) nei primi due anni (2009-2011) di coltivazione. Lettere diverse nell'ambito di ciascuna tipologia di talea indicano differenze significative per P=0,05.

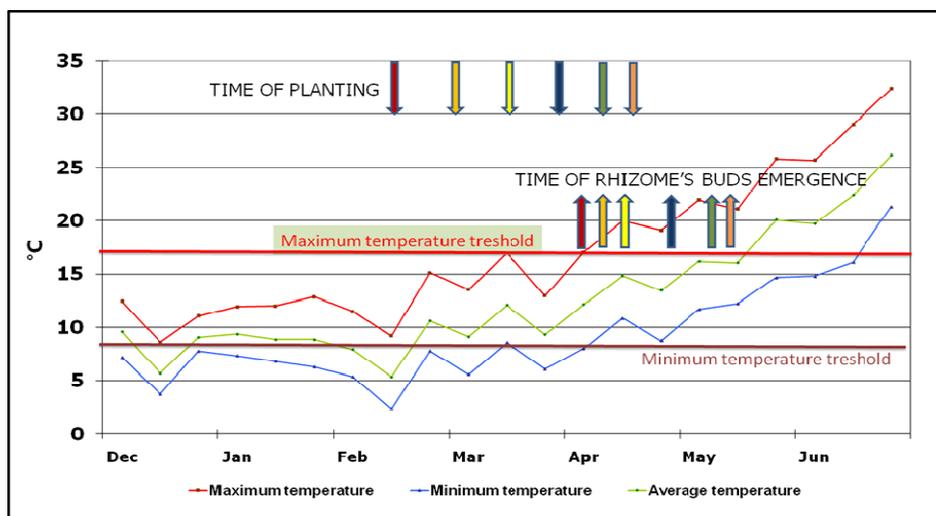
### Epoca di trapianto

La primavera e l'estate sono considerate le stagioni più adatte all'impianto del canneto (Decruyenaere and Holt, 2001). Per individuare il momento più adatto al trapianto e verificare la possibilità di effettuarlo anche nel periodo autunnale, quando la disponibilità idrica del suolo non è un fattore limitante, sono state realizzate due prove sperimentali, una ad Enna (508 m s.l.m.) (Copani *et al.*, 2009) e l'altra a Catania (10 m s.l.m.) (Copani *et al.*, 2010). Nel primo caso sono stati posti a confronto rizomi con una o più gemme pronte a germogliare (adottando una densità d'impianto pari a 1,56 rizomi m<sup>-2</sup>) e talee di culmo (lunghe 1 m, poste in doppio nel solco, con circa 13 nodi m<sup>-2</sup>) in 6 epoche di impianto (tra il 25 febbraio e il 23 aprile 2008).

Sono stati impiegati due volumi irrigui: il primo prevedeva l'irrigazione fino all'emergenza dei nuovi culmi ed il secondo la restituzione dell'evaporato per tutto il periodo estivo (volume irriguo stagionale pari a 124 mm e 658 mm rispettivamente).

Nel secondo caso, a Catania, nel 2009, oltre ai due trapianti primaverili (17 marzo e 30 marzo) è stato realizzato un trapianto autunnale (5 novembre). Il confronto è stato effettuato tra rizomi e talee di culmo poste nel solco in posizione orizzontale (interrati alla profondità di circa 10 cm) e verticali (due nodi interrati ed uno fuori terra). Anche in questo caso sono stati impiegati 2 volumi irrigui: solo al trapianto (23 mm) o al trapianto e ogni qual volta le riserve idriche del suolo raggiungevano la soglia dei 2/3 dell'acqua utile (250 mm).

Nella prova condotta ad Enna, sulla base delle date di trapianto ed emergenza e dei dati meteorologici (temperatura massima e minima dell'aria) è stato possibile calcolare la soglia minima di temperatura necessaria per la germogliazione. Questa è stata stimata pari a 17 °C ( $T_{MAX}$ ) e a 7,5 °C ( $T_{MIN}$ ) (Fig. 20); il dato è in accordo con quanto riportato da Spencer e Ksander (2006) in ambiente controllato.



**Figura 20** - Soglie termiche per la temperature massima e minima dell'aria necessarie per l'emergenza delle nuove canne.

Nella media degli altri fattori allo studio, i due livelli di restituzione idrica non hanno determinato effetti significativi sullo sviluppo vegetativo e sulla produzione di biomassa. Il risultato si spiega con la buona disponibilità idrica del suolo nella fase di insediamento delle piante, determinata dall'irrigazione, in questa fase non differenziata tra le due tesi (124 mm), e alla pioggia (58 mm tra aprile e giugno) (Copani *et al.*, 2009).

Passando dal trapianto di febbraio a quello di aprile la durata in giorni dell'intervallo trapianto-emergenza si è progressivamente ridotta da 40 a 21 giorni per l'impianto da rizomi e da 50 a 37 giorni per l'impianto da talee di culmo. La somma di unità termiche necessarie per l'emergenza è stata pari a 385°C e 361°C rispettivamente per rizoma e talea di culmo (Tab. 2).

**Tabella 2** - Durata dell'intervallo impianto-emergenza e somma di unità termiche per ciascuna epoca di trapianto.

Epoca di trapianto	Trapianto-emergenza (giorni)		Somma di unità termiche (°C)	
	Rizoma	Culmo	Rizoma	Culmo
02/25/08	40	50	405	589
03/05/08	36	56	379	662
03/17/08	29	49	330	631
03/31/08	30	44	405	622
04/12/08	28	43	408	662
04/23/08	21	37	383	618
<i>Media</i>	30,7	46,5	385	631
<i>Dev. Stand.</i>	5,57	7,01	29,4	27,8
<i>C.V..%</i>	17,8	14,9	7,6	4,4

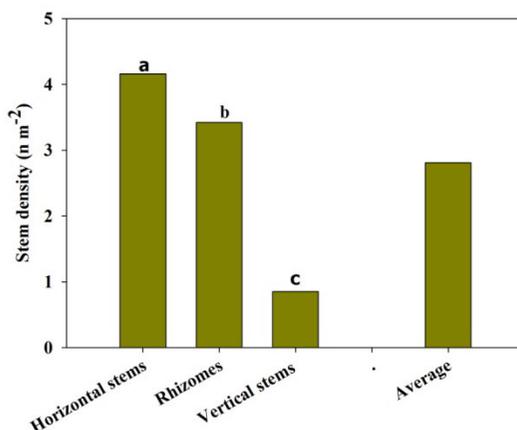
**Tabella 3** - Resa in biomassa in relazione alla data d'impianto e al metodo di propagazione agamica utilizzato. Valori con la stessa lettera non differiscono significativamente per  $p \leq 0.05$  (S.N.K. test).

Data di trapianto	Resa (t ha <sup>-1</sup> s.s.)		
	Rizomi	Culmi	<i>Media</i>
02/25/08	2.86	1.53	2,20c
03/05/08	4.40	4.88	4,64a
03/17/08	5.28	4.22	4,75a
03/31/08	3.79	3.65	3,72b
04/12/08	3.52	2.12	2,82b
04/23/08	3.98	2.44	3,21b
<i>Media</i>	3.97 a	3.14 a	3,56

Alla fine della stagione di crescita risultavano vitali il 91,3% dei rizomi interrati e l'8,1% dei nodi dei culmi, che hanno determinato una densità media d'impianto pari a 1,4 piante  $m^{-2}$  nel caso dei rizomi e 1,0 piante  $m^{-2}$  nel caso delle talee di culmo. Nella media delle epoche, la biomassa prodotta dalle piante derivanti da rizomi è stata significativamente superiore ( $4 t ha^{-1}$  s.s.) rispetto a quella ricavata dal trapianto dei culmi ( $3,1 t ha^{-1}$ ). Entrambe le modalità di trapianto hanno fatto accertare i migliori risultati con il trapianto effettuato a marzo (Tab. 3).

Nella prova realizzata a Catania, nella media delle epoche, la propagazione mediante culmi interrati orizzontalmente ha prodotto un numero di nuovo culmi pari a  $4,2 m^{-2}$ , maggiore rispetto a quello delle piante derivate da rizomi ( $3,4 culmi m^{-2}$ ) e a quello delle piante derivate da culmi interrati verticalmente ( $2,8 culmi m^{-2}$ ) (Fig. 21).

Relativamente all'epoca di trapianto, quella effettuata a marzo è risultata, anche in questo caso, la più conveniente, indipendentemente dalla metodologia utilizzata. Tuttavia, i culmi interrati orizzontalmente hanno mostrato una soddisfacente capacità di insediamento anche nel caso di trapianto autunnale, contrariamente a quanto fatto osservare dai rizomi che hanno prodotto il risultato peggiore (Fig. 22).



**Figura 21** - Densità dei culmi in relazione al metodo di propagazione adottato. Differenti lettere indicano differenze significative per  $p > 0,05$  (SNK Test).

Il positivo effetto dell'irrigazione si è reso più evidente nell'impianto da talee di culmo in tutte e tre le epoche d'impianto, al contrario il rizoma ha mostrato una scarsa risposta in relazione a questo fattore (Fig. 22). Pertanto, il ruolo dell'irrigazione è apparso determinante per l'attecchimento delle talee di culmo, indipendentemente dall'epoca di trapianto, contrariamente a quanto si è verificato per il rizoma.

La produzione del primo anno ha rispecchiato abbastanza fedelmente il dato della densità dei culmi, dal momento che questa componente, insieme all'altezza delle piante, concorre più di altre a determinare la resa (Cosentino *et al.*, 2006). La secon-

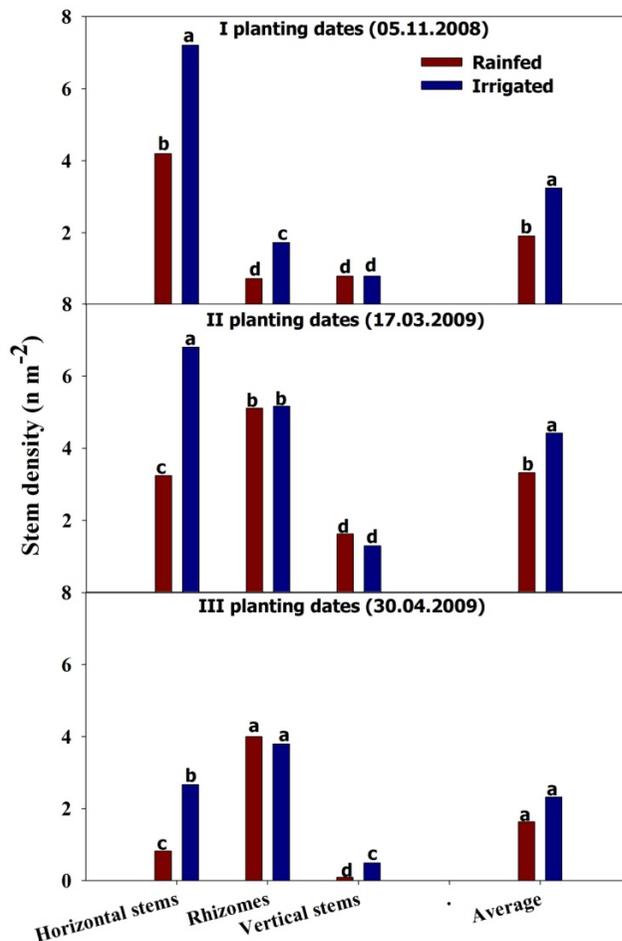
da epoca di trapianto (marzo) è risultata la più efficace dal punto di vista produttivo per tutte le tipologie di impianto, seguita dalla terza (aprile) e quindi dalla prima (novembre). La produzione più alta è stata realizzata con il trapianto di marzo e aprile mediante rizomi irrigati, 10,8 t ha<sup>-1</sup> e con 12,8 t ha<sup>-1</sup>, rispettivamente (Tab. 4); la canna interrata orizzontalmente ha fatto accertare la resa più alta nella seconda epoca irrigata (11 t ha<sup>-1</sup>), ma nella prima epoca (8,8 t ha<sup>-1</sup>) la sua produzione è stata tre volte superiore a quella del rizoma (2,6 t ha<sup>-1</sup>) (Tab. 4). La canna verticale, nelle tre date di trapianto, non ha superato la resa di 2,5 t ha<sup>-1</sup>.

**Tabella 4** - Produzione di biomassa nel primo anno di prova (raccolta del 9.02.2010) e nel secondo (raccolta del 26.01.2011) in relazione a tutti i fattori allo studio. Entro ciascun anno ed epoca di trapianto, valori con differenti lettere indicano significatività per gli effetti principali (p= 0,05).

	Produzione I anno			Produzione II anno		
I epoca di trapianto (05.11.2008)						
	Asciutto	Irrigato	Media	Asciutto	Irrigato	Media
Canne orizzontali	2,6	8,8	5,7a	7,5	19,4	13,4a
Rizomi	1,2	3,3	2,2b	9,6	8,4	9,0b
Canne verticali	0,4	1,3	0,8c	3,4	2,5	2,9c
<b>Media</b>	<b>1,4b</b>	<b>4,5a</b>	<b>2,9</b>	<b>6,8b</b>	<b>10,1a</b>	<b>8,4</b>
II epoca di trapianto (17.03.2009)						
Canne orizzontali	2,4	11,0	6,7b	5,1	14,0	9,6b
Rizomi	6,6	10,8	8,7a	8,0	15,5	11,8a
Canne verticali	1,5	2,5	2,0c	2,9	4,4	3,7c
<b>Media</b>	<b>3,5b</b>	<b>8,1a</b>	<b>5,8</b>	<b>5,4b</b>	<b>11,3a</b>	<b>8,3</b>
III epoca di trapianto (30.04.2009)						
Canne orizzontali	0,6	5,8	3,2b	3,0	15,7	9,3b
Rizomi	4,2	12,8	8,5a	8,6	17,7	13,1a
Canne verticali	0,2	1,4	0,8c	0,1	4,0	2,1c
<b>Media</b>	<b>1,7b</b>	<b>6,7a</b>	<b>4,2</b>	<b>3,9b</b>	<b>12,4a</b>	<b>8,2</b>

Nel secondo anno, la coltura, beneficiando dei soli apporti idrici naturali, ha continuato a manifestare nettamente il divario tra l'asciutto e l'irrigato in relazione a tutte

le epoche di trapianto, a favore dell'irrigato (Tab. 4). Nel caso del trapianto autunnale la canna interrata orizzontalmente nel suolo ha superato la produzione dell'impianto realizzato da rizomi (13,4 e 9,0 t ha<sup>-1</sup> rispettivamente). Con i trapianti primaverili la produzione dell'impianto da rizoma ha superato quello della canna orizzontale e verticale.



**Figura 22** - Investimento unitario dei nuovi culmi misurata il 02/09/2009 in relazione a tutti i fattori studiati. Entro ciascuna epoca di trapianto, istogrammi con differenti lettere indicano significatività per  $P \leq 0.05$ . Le lettere sulle colonne della media indicano la significatività per gli effetti principali, le lettere sulle colonne per ciascun trattamento si riferiscono all'interazione tra i metodi di propagazione e i trattamenti irrigui (S.N.K. test).

## Conclusioni

L'insieme delle prove realizzate permette di enucleare i risultati più significativi.

La scelta di suoli profondi appare strategica ai fini del risparmio idrico dal momento che la pianta è in grado di esplorare strati di suolo profondi dove possono essere presenti riserve idriche.

È necessario un buon contenuto idrico nel suolo soprattutto nella fase di insediamento della coltura, dal trapianto alla fase di emergenza e nella prima fase di approfondimento delle radici. Volumi idrici di circa 200 mm si sono dimostrati indispensabili a garantire il successo della coltura soprattutto nel caso d'impianti da talea di culmo mentre non si sono rivelati indispensabili nel caso dell'impianto da rizomi.

Nella propagazione dell'*Arundo*, tutte le parti di culmo e tratti di rizoma anche di piccole dimensioni, sono state in grado di assicurare l'insediamento della coltura. Tuttavia, i dati ottenuti nella pianura Padana indicano che l'impiego di talee di culmo interrate orizzontalmente in doppia fila, determina ottimi risultati in termini di fittezza e regolarità di emissione di nuovi culmi.

In relazione alla data d'impianto, quella compresa tra febbraio e marzo ha fatto accertare i risultati migliori in termini di culmi emessi e biomassa prodotta. È stato messo in evidenza, comunque, che in caso di trapianto autunnale è preferibile impiegare talee di culmo interrate orizzontalmente e rizomi in primavera. I risultati delle prove indicano che l'emergenza dei germogli avviene quando la temperatura minima supera i 7,5°C.

La biomassa prodotta nell'anno d'impianto, come è ampiamente noto, è alquanto ridotta, non superando le 5 t ha<sup>-1</sup> con le attuali densità d'impianto (1-1,5 rizomi m<sup>-2</sup> o 2 canne sovrapposte della lunghezza di circa di 100 cm m<sup>-2</sup> con circa 12 nodi interrati). Questa produzione cresce in misura esponenziale indipendentemente dall'organo di propagazione utilizzato, per raggiungere al terzo anno valori superiori a 30 t ha<sup>-1</sup> s.s. Al terzo anno, inoltre, la produttività del canneto non appare più influenzata dalle modalità di impianto.

## Bibliografia

- Anatoly A.S., Pereira H., 2002. Influence of stem morphology on pulp and paper properties of *Arundo donax* L. reed. *Industrial Crops and Products*, 15, 77-83.
- Boose A.B., Holt J.S., 1999. Environmental effects on asexual reproduction in *Arundo donax*. *Weed research*, 39: 2, 117-127.
- Ceotto E., Di Candilo M., 2010a. Shoot cuttings propagation of giant reed (*Arundo donax* L.) in water and moist soil: the path forward? *Biomass and Bioenergy*, 34: 1614-1623.
- Ceotto E., Di Candilo M., 2010b. Sustainable bioenergy production, land and nitrogen use. In: Lichtfouse E. (ed.) *Biodiversity, Biofuels, Agroforestry and Con-*

- servation Agriculture. Sustainable Agriculture Reviews, Vol. 5, 101-122, Springer.
- Christou, M., 2001. Giant reed in Europe. Proceedings of the 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, 5-9 June 2000, Sevilla, Spain, 2089-2091.
- Commission of the European Communities, 1997 (COM 2007 354 final). Green paper from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the regions. Adapting to climate change in Europe – options for EU action.
- Copani V., Cosentino S.L., D'Agosta G., Mantineo M., 2003. Validità di differenti metodi di propagazione per l'impianto di una coltura di canna comune (*Arundo donax* L.). Atti XXXV Convegno della Società Italiana di Agronomia. Portici, 16-18 settembre 2003, 163-164.
- Copani V., Cosentino S.L., Guarnaccia P., Scalici G., 2011. Influence of propagation system on *Arundo donax* L. yield in the first two years of cultivation. 19th European Biomass Conference and Exhibition. Berlin, Germany, 6-10 June 2011 (in press).
- Copani V., Cosentino S.L., Scandurra S., 2008. Propagation of *Arundo donax* L. by means of rhizome and stem cuttings. Italian Journal of Agronomy, 3 suppl. 511-512.
- Copani V., Cosentino S.L., Testa G., Guarnaccia P, Litrico A., 2009. Propagation of *Arundo donax* L. by means of rhizomes and stem cuttings in semi-arid Mediterranean environment. 17th European Biomass Conference and Exhibition. Hamburg, Germany, 29 June- 3 July 2009, 595-598.
- Copani V., Cosentino S.L., Testa G., Scordia D., Cosentino A.D., 2010. Current propagation options to establish *Arundo donax* L. in Mediterranean environment. 18th European Biomass Conference and Exhibition. Lyon, France, 3-7 May 2010.
- Cosentino S.L., Copani V., 2010. La produttività del canneto (*Arundo donax* L.) in relazione alla tecnica di impianto. XXXIX Convegno Società Italiana di Agronomia, Roma, 20-22 settembre 2010, 87-88.
- Cosentino S., Copani V., D'Agosta G.M., Mantineo, M. 2005. Performance of different biomass crops for energy in Mediterranean environment. *Proc. 14<sup>th</sup> European Biomass Conference & Exhibition. Biomass for energy, Industry and Climate Protection.* Paris, 17-21 October 2005.
- Cosentino S., Copani V., D'Agosta G., Sanzone E., 2003. La propagazione di una coltura di canna comune (*Arundo donax* L.) mediante talee di culmo. Atti XXXV Convegno della Società Italiana di Agronomia. Portici, 16-18 settembre 2003, 165-166.
- Cosentino S.L., Copani V., D'Agosta G.M., Sanzone E., Mantineo M., 2006. First results on evaluation of *Arundo donax* L. clones collected in Southern Italy. *Industrial Crops and Products* 23, 212-222.

- Cosentino S., Copani V., Mantineo M., D'agosta G.M., Sortino O., 2009. La propagazione della canna comune (*Arundo donax* L.) mediante talee di culmo. Italian Journal of Agronomy, 4:875-879.
- Cosentino S.L., Copani V., Testa G., Scandurra S., 2010. The agamic propagation of giant reed (*Arundo donax* L.) by means of stem cuttings. 18th European Biomass Conference and Exhibition. Lyon, France, 3-7 May 2010.
- Decruyenaere J.G, Holt J.S., 2001. Seasonality of clonal propagation in giant reed. Weed Sci. 49, 760-767.
- Facchini P. 1941. La Canna gentile per la produzione della cellulosa nobile, l'impresa agricolo-industriale di Torviscosa, SNIA VISCOSA, Milano.
- Lewandowski, I., Scurlock, J.M.O., Lindvall, E., Christou, M. 2003. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. Biomass and Bioenergy 25, 335-361.
- Lunnan A., 1997. Agriculture-based biomass energy supply – a survey of economic issues. Energy Policy, 25, 573-582.
- Onofry A., 1940. La canna comune (*Arundo donax* L.). Cremonese Libraio Editore Roma.
- Perdue, R.E. 1958. *Arundo donax* – Source of Musical Reeds and Industrial Cellulose. Economic Botany 12, 368-404.
- Polunin, O., Huxley, A., 1987. Flowers of the Mediterranean. Hogarth Press, London.
- Soil Survey Staff, 2003. Keys to Soil Taxonomy, 9th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- Spencer D.F., Ksander G.G., 2006. Estimating *Arundo donax* ramet recruitment using degree-day based equations. Aquatic Botany 85, 282-288.
- Zohary, M. 1962. Plant life of Palestine. Ronald Press, New York.



# 3

## *Meccanizzazione*



---

# a - Cantieri di raccolta del cardo (*Cynara cardunculus* L.) in Italia

## *Harvesting yards for cardoon (Cynara cardunculus L.) in Italy*

**Luigi Pari\*, Vincenzo Civitarese\*,  
Alberto Assirelli\*, Angelo Del Giudice\***

### **Riassunto**

Il cardo (*Cynara cardunculus* L.) è una interessante coltura in grado di produrre sia biomassa ligno cellulosa che semi oleaginosi.

La coltura ben si adatta alle condizioni xerothermiche dell'Europa meridionale ed in particolare del bacino del mediterraneo. Al fine di raccogliere separatamente le due frazioni prodotte dalla coltura, il CRA-ING ha sviluppato un prototipo di testata per mietitrebbiatrice in grado di effettuare, con un singolo passaggio, la raccolta del seme e la messa in andana della biomassa lignocellulosa che sarà successivamente raccolta, trinciata o imballata.

In questo lavoro vengono riportati i risultati delle prove di raccolta condotte in Emilia Romagna (Forlì) e Calabria (Crotone).

**Parole chiave:** cardo, raccolta, meccanizzazione, biomassa, biodiesel.

---

### **Abstract**

*Renewable energy source presents several benefits, both socioeconomic and environmental, when compared to conventional energy sources.*

---

\* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

*One of the crops that can be used to produce herbaceous biomass and oil is the cardoon, *Cynara cardunculus* L.*

*It exhibits excellent characteristics regarding either biomass production and adaptation to the Mediterranean region, characterized by low annual rainfall regime and its irregular distribution, hot dry summer. One of the main strength of this crop is the possibility to propagate it by seed and the low crop input necessity.*

*Diversification and specialisation seem to be the most suitable ways to add value to the product of this crop. It might well be possible to perform a selective harvest in order to use the lignocellulosic biomass for energy or/and paper pulp and the seeds for oil. This alternative might optimise the integral exploitation of the crop produce and in this context of energy crops, the seed oil could be used for bio diesel production.*

*If the lignocellulosic biomass were used as a solid biofuel and the seeds for oil, the production costs would be shared between the two products; in this way the oil cost would be lower than the cost of sunflower oil*

*CRA-ING unit supplied the project concept of a combine head able to collect separately the different biomass fractions (seeds and stalks). Aim of this work was the proposal and testing of a head which combine an integrated approach for the cardoon harvesting. This head was designed and manufactured modifying a specialized harvester head hence combining windrowing and capitula threshing in the same machine. This machine was used in Italy where efficiency tests were conducted.*

**Keywords:** *Cynara cardunculus, oil energy crop, combine harvester, working capacity.*

---

## Introduzione

Il cardo (*Cynara cardunculus* L.) è una interessante coltura in grado di produrre sia biomassa ligno cellulosa che semi oleaginosi.

La coltura ben si adatta alle condizioni xerotermiche dell'Europa meridionale ed in particolare del bacino del mediterraneo (Grammelis *et al.* 2008; Tuck *et al.* 2006; Sáez *et al.* 1998; Fernández *et al.* 2005) ed andrebbe preferita ad altre specie nei casi in cui l'acqua dovesse risultare un fattore limitante (Solano *et al.* 2010). L'apparato radicale consente di esplorare il terreno fino ad una profondità di 9 m. Le rese ad ettaro sono strettamente correlate alle precipitazioni registrate durante l'anno, ad ogni modo alcuni studi hanno evidenziato livelli di produttività elevati anche in ambienti molto secchi (Gominho *et al.* 2011).

Altri punti di forza di questa coltura sono la possibilità di utilizzare il seme come materiale di propagazione e la possibilità di ammortizzare la spesa per la preparazione del letto di semina in più anni, dato il ciclo poliennale.

Il CRA-ING ha sviluppato un prototipo di testata per mietitrebbiatrice in grado di effettuare, in un'unica passata, la raccolta del seme e la messa in andana della biomassa lignocellulosica che sarà successivamente raccolta, trinciata o imballata. Le

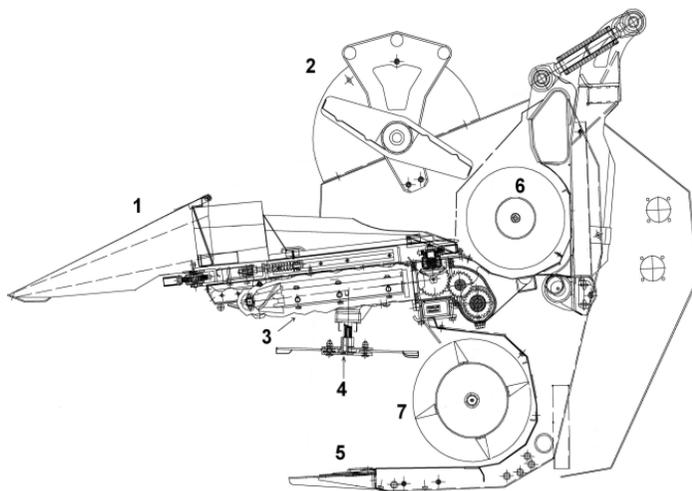
frazioni così ottenute possono essere indirizzate verso diverse trasformazioni: estrazione di olio dagli acheni per la produzione di biodiesel e produzione diretta di energia termica e/o elettrica dalla combustione della biomassa. Tale processo consente di ottimizzare lo sfruttamento integrale della coltura, valorizzare i due sottoprodotti principali e ridurre i costi di produzione.

In questo lavoro vengono riportati i risultati delle prove di raccolta condotte in Emilia Romagna (Forlì) e Calabria (Crotone).

## 2. Materiali

### 2.1 La testata per la raccolta cardo

Il prototipo unisce i dispositivi di una testata da mais a sei file a quelli di una classica testata da frumento (Fig. 1): la parte superiore, derivante da una testata da mais, provvede al distacco dei capolini da inviare all'apparato trebbiante della mietitrebbiatrice, mentre la parte inferiore, derivata da una testata da grano, opera lo sfalcio, il condizionamento e l'andatura della biomassa epigea tra le ruote della mietitrebbiatrice. I residui della trebbiatura dei capolini sono a loro volta rilasciati sull'andana, mentre i semi vengono raccolti dalla mietitrebbiatrice.



**Figura 1** - Vista laterale della testata: 1) parte superiore, 2) rullo alimentatore, 3) rulli mungitori, 4) trinciastocchi, 5) parte inferiore, 6) coclea rotante per il convogliamento dei capolini verso l'apparato trebbiante, 7) coclea rotante per il convogliamento della biomassa in andana.

Il prototipo della nuova testata, tuttavia, non è un semplice assemblaggio delle due testate convenzionali:

- i rulli mungitori sono stati modificati in modo da pervenire al condizionamento e non allo spezzettamento dei fusti, in modo che questi ultimi possano essere raccolti agevolmente durante la successiva imballatura;
- è stata aggiunta una barra falciante a tutta lunghezza, posta sulla verticale in corrispondenza della parte anteriore dei rulli, per realizzare il taglio basale dei fusti;
- i fusti tagliati e condizionati vengono spostati per mezzo di una coclea dalle estremità della testata verso un'apertura in corrispondenza dell'asse longitudinale della mietitrebbiatrice, in modo da formare un'andana compatta sulla quale vengono poi rilasciati i residui della trebbiatura dei capolini. L'andana così realizzata è pronta per essere raccolta da una imballatrice, senza dover ricorrere ad un ranghinatore, riducendo quindi la presenza di terra nel prodotto e la produzione di cenere durante la combustione in centrale;
- è stato installato un aspo rettilineo che, assieme ad una coclea, provvede a spostare i capolini staccati verso l'apparato trebbiante, attraverso la feritoia superiore prevista sulla parte posteriore del telaio.

Le dimensioni della testata sono:

- larghezza: 4940 mm;
- altezza: 1731 mm;
- lunghezza: 2770 mm;
- peso: 3342 kg.

Il convogliamento dei capolini verso il canale alimentatore della mietitrebbia, largo 1280 mm, è effettuato da una coclea della lunghezza di 4516 mm e del diametro di 370 mm, con una velocità di rotazione di 144 giri/min, e da un aspo della lunghezza di 4590 mm e del diametro di 600 mm, con velocità di 50 giri/min.

I rulli mungitori, due per fila, sono leggermente inclinati verso la parte anteriore: ogni rullo ha cinque coltelli per migliorare la presa e il condizionamento. Il diametro e la lunghezza sono pari rispettivamente a 110 mm e 460 mm. La velocità di rotazione è di 954 giri/min con una velocità periferica di 5,5 m/s.

Circa 115 mm sotto la parte anteriore dei rulli mungitori, sono presenti dei coltelli trinciastocchi, con una lunghezza complessiva di 534 mm. La velocità di rotazione è di 2084 giri/min.

Anche la distanza tra i divisori inferiori è pari a 800 mm.

Il linea con gli spazi tra i divisori, 450 mm sotto i trinciastocchi, è posizionata la barra falciante, che opera 644 tagli al minuto; lo spazio tra i divisori inferiori è di 100 mm.

La biomassa viene spostata verso l'apertura di scarico inferiore (larga 1280 mm) da una seconda coclea, lunga 4560 mm, 445 mm di diametro e con velocità di 130 giri/min.

L'inclinazione della testata è ottenuta mediante un sistema meccanico a doppia vite.

La potenza meccanica viene fornita dalla mietitrebbiatrice mediante due giunti cardanici, uno per lato, quella idraulica tramite un accoppiamento idraulico rapido.

## 2.2. Il cantiere di raccolta

La prova in Emilia Romagna è stata condotta abbinando la testata ad una mietitrebbiatrice New Holland CR 960. Data l'elevata percentuale di piante allettate (Tab. 1), la testata è stata parzialmente modificata inserendo una serie di cunei frontali atti a favorire il sollevamento del prodotto (Fig. 2). La prova è stata condotta al fine di valutare l'operatività della testata in condizioni difficili e la biomassa andanata non è stata raccolta.

La prova in Calabria è stata condotta, invece, abbinando la testata ad una mietitrebbiatrice Laverda AL 519 autolivellante (Fig. 3). La biomassa rilasciata sul terreno è stata prima movimentata con un ranghinatore stellare a ruote folli convergenti SLAM GR 300 (Fig. 4) e, successivamente, imballata con una rotoimballatrice New Holland BR7060 (Fig. 5).



**Figura 2** - Testata da cardo abbinata a mietitrebbiatrice New Holland CR 960. Sono visibili i cunei per il sollevamento del prodotto andanato.



**Figura 3** - Testata da cardo abbinata a mietitrebbiatrice Laverda AL 519.



**Figura 4** - Ranghinatore SLAM GR 300 in fase di lavoro.



**Figura 5** - Imballatrice New Holland BR7060 in fase di lavoro.

## 3. Metodi

### 3.1. Rilievi sulla coltura

I rilievi sulla coltura, sia nella fase che precede la raccolta che in quella successiva, sono stati effettuati su 10 plots di 25 m<sup>2</sup> ciascuno, variamente distribuiti su tutta la superficie delle prove. Ciò ha permesso di determinare la densità effettiva (piante/ha e fusti/ha), la percentuale di allettamento, l'altezza e il diametro medi delle piante, l'altezza della prima ramificazione, il diametro dei capolini, il numero di capolini per ettaro, la biomassa raccogliabile.

### 3.2. Rilievo delle prestazioni delle macchine nella raccolta

I tempi di raccolta sono stati rilevati secondo la metodologia ufficiale della Commission Internationale de l'Organisation Scientifique du Travail en Agriculture (C.I.O. S.T.A.) e la raccomandazione dell'Associazione Italiana di Genio Rurale (A.I.G.R.) 3<sup>A</sup> R1, provvedendo a registrare su un apposito software sviluppato in ambiente Visual Basic i tempi necessari alle diverse operazioni durante la raccolta e ad eseguire le successive elaborazioni (Bolli *et al.*, 1987).

### 3.3. Rilievo della qualità di lavoro

Allo scopo di valutare la qualità del lavoro svolto dalla macchina operatrice sono stati rilevati l'altezza di taglio, le perdite di prodotto, le impurità e la percentuale di semi rotti.

### 3.4. Classificazione del prodotto raccolto

Il prodotto raccolto è stato classificato seguendo la metodologia ufficiale proposta nelle Specifiche Tecniche del Comité Européen de Normalisation (TS/CEN), dalla fase di campionamento allo svolgimento delle prove di laboratorio.

Sulla base dei campioni di raccolti sono stati valutati i seguenti aspetti:

- massa volumica del seme e delle rotoballe (EN 15103:2010);
- umidità del seme e della biomassa (EN 14774-1:2009);
- peso di mille semi.

## 4. Risultati

### 4.1. Caratteristiche morfologiche e produttive della coltura

Le caratteristiche morfologiche e produttive degli impianti sono riportate in tabella 1.

**Tabella 1** - Descrizione degli impianti di *Cynara cardunculus*, caratteristiche morfologiche medie della coltura.

Piantagione di <i>Cynara cardunculus</i>		Emilia Romagna	Calabria
Giacitura		Pianeggiante	Pianeggiante/collinare
Superficie	ha	0,60	7,60
Distanza sulla fila	m	0,61	0,50
Distanza tra le file	m	0,70	0,50
Densità effettiva	piante/ha	19.100	40.000
Età dell'impianto	anni	9	2
Età delle piante	anni	1	1
Altezza	m	2,25±0,43	1,79±0,61
Diametro a 10 cm	mm	34,24±11,80	14,10±7,55
Altezza ramificazione principale	m	1,71±0,30	1,07±0,12
Fusti per pianta	n°	1,71±0,71	5±1
Piante allettate	%	22,12	0
Capolini per pianta	n°	10,76±7,22	7,5±4
Capolini per ettaro	n°	205.516	300.000
Diametro dei capolini	mm	62,08±11,81	52,12±8,02
Produzione di biomassa	t/ha	13,25	8,50
Produzione di semi	t/ha	1,17	0,42

L'impianto sito in Emilia Romagna (Fig. 6) si trovava a fine ciclo e la coltura si presentava in buono stato generale e con un grado di sviluppo omogeneo.

I rilievi in campo hanno evidenziato una distanza media tra le file e sulla fila pari rispettivamente a 0,70 m e 0,61 m, con un investimento di 23.382 piante/ha.

La parcella raccolta, di forma trapezoidale e giacitura pianeggiante, si estendeva su una superficie netta di 6000 m<sup>2</sup> ed era stata seminata nove anni prima.

Le piante si presentavano con diametro ed altezza medi pari rispettivamente a 34,24 mm e 2,25 m. La densità effettiva era di 19.100 piante/ha, la percentuale di allettamento si attestava intorno al 19,64% mentre l'altezza della ramificazione principale è risultata pari a 1,71 m.

Su ciascuna pianta sono stati contati mediamente 10,76 capolini con un diametro medio di 62,08 mm corrispondenti ad un totale di 205.516 capolini/ha.

La quantità di semi raccolti è risultata pari a 1,02 t/ha mentre la biomassa andana è stata stimata in 13,25 t/ha.



**Figura 6** - Impianto di cardo sito in Emilia Romagna.



**Figura 7** - Impianto di cardo sito in Calabria.

*L'impianto sito in Calabria* (Fig. 7) si trovava al primo anno di vegetazione ed era stato impiantato due anni prima.

I rilievi in campo hanno evidenziato una distanza media tra le file e sulla fila pari a 0,50 m, con un investimento di 40.000 piante/ha.

Le prove di raccolta hanno interessato una superficie netta e produttiva di 7,60 ha (giacitura in parte pianeggiante e in parte collinare).

Le piante si presentavano con diametro ed altezza medi pari rispettivamente a 14,10 mm e 1,79 m. La densità era di 40.000 piante/ha e l'altezza della ramificazione principale è risultata pari a 1,07 m.

Su ciascuna pianta sono stati contati mediamente 7,5 capolini con un diametro medio di 52,12 mm per un totale di 300.000 capolini/ha.

La produttività della coltura è stata stimata in 0,423 t/ha di semi e 8,50 t/ha di biomassa.

La piantagione era stata interessata da un attacco di *Larinus cynarae* F, un parassita in grado di compromettere seriamente la produzione di seme della coltura. Poiché il trattamento insetticida sistemico (p.a. Imidacloprid) ha interessato soltanto una superficie di 1,48 ha, la produzione in seme si riferisce necessariamente alla sola area trattata.

## 4.2. Tempi di lavoro

Nella tabella 2 sono evidenziati i tempi rilevati nel corso dei diversi cantieri di raccolta. Poiché le prove erano miranti a valutare le prestazioni del prototipo, sono stati rilevati solamente i tempi standard.

**Tabella 2** - Tempi standard e operatività delle macchine coinvolte nei cantieri di raccolta.

<b>Macchina operatrice</b>		Mietitreb	Mietitreb	Ranghin.	Imballat.
<b>Località</b>		Em. Rom.	Calabria	Calabria	Calabria
<b>Tempo standard TS</b>					
Tempo effettivo TE	%	78,21	84,92	82,31	68,87
Tempo accessorio TA	%	21,79	15,08	17,69	31,13
- Tempo per voltate TAV	%	18,99	13,54	17,69	5,58
- Tempo per rifornim. o scarichi TAS	%	2,79	1,54	-	25,56
- Tempo per manutenzione TAC	%	0	-	-	-
Tempo di riposo TR	%	0	-	-	-
Tempo morto inevitabile TMI	%	0	-	-	-
Tempo standard	%	100	100	100	100
<b>Operatività della macchina</b>					
Rendimento operativo Ro	%	78,21	84,92	82,31	68,87
Velocità effettiva ve	m/s	1,28	0,65	1,59	0,85
Velocità operativa vo	m/s	1,00	0,55	1,31	0,59
Capacità di lavoro effettiva	ha/h	1,88	0,95	3,43	1,46
Capacità di lavoro operativa	ha/h	1,47	0,81	2,83	1,00
Produzione oraria operativa (semi)	t/h	1,72	0,342	-	-
Produzione oraria operativa (biomassa)	t/h	19,49	6,15	21,50	7,60

Come precedentemente ricordato la prova eseguita in Emilia Romagna aveva lo scopo di valutare l'operatività della sola mietitrebbia e, pertanto, il prodotto andanato non è stato raccolto. I tempi accessori sono risultati costituiti da tempi per voltate in capezzagna, nella misura del 18,99%, e tempi per lo scarico del seme raccolto, nella misura del 2,79%. Non sono stati registrati, invece, ingolfamenti di nessun genere, tempi di riposo e tempi morti inevitabili. Il rendimento operativo è risultato pari al 78,21% del tempo operativo.

La macchina ha raggiunto capacità di lavoro operative dell'ordine di 1,47 ha/h. Poiché la produzione raccogliabile è risultata pari a 13,25 t/ha di biomassa e 1,17 t/ha

di seme, la produzione oraria operativa è stata pari a 19,49 t/h di biomassa andanata e 1,72 t/h di seme raccolto.

Il cantiere di raccolta in Calabria, invece, era composto da una mietitrebbia con testata da cardo, un ranghinatore e una rotoimballatrice.

Per quanto concerne la mietitrebbia con testata da cardo, i tempi accessori sono risultati costituiti da tempi per voltate in capezzagna, nella misura del 13,54%, e tempi per lo scarico del seme raccolto, nella misura del 1,54%.

Non sono stati registrati, invece, ingolfamenti di nessun genere, tempi di riposo e tempi morti inevitabili. Il rendimento operativo è risultato pari al 84,92% del tempo operativo.

La macchina ha raggiunto capacità di lavoro operative dell'ordine di 0,81 ha/h. La produzione oraria operativa è risultata pari a 6,15 t/h di biomassa sfalciata e andanata e 0,342 t/h di seme raccolto (nella sola area sottoposta a trattamento fitosanitario).

Il ranghinatore è stato usato allo scopo di agevolare la successiva fase di raccolta e imballatura andando ad incrementare il quantitativo di biomassa andanata per metro lineare. I tempi accessori sono risultati costituiti dai soli tempi per voltate in capezzagna (17,69%).

Il rendimento operativo è risultato pari al 82,31% del tempo operativo e la macchina ha raggiunto capacità di lavoro operative dell'ordine di 2,83 ha/h, con una produzione oraria operativa di 21,50 t/h.

Per quanto concerne la successiva fase di raccolta e imballatura, i tempi accessori sono risultati costituiti da tempi per voltate in capezzagna (5,58%) e tempi per lo scarico (25,56%).

Il rendimento operativo è risultato pari al 68,87% del tempo operativo e la macchina ha raggiunto capacità di lavoro operative dell'ordine di 1 ha/h, con una produzione oraria operativa di 7,60 t/h di prodotto raccolto e imballato.

### **4.3. Perdite di prodotto**

Le perdite di biomassa, valutate nel corso delle sole prove condotte in Calabria, sono risultate pari a 0,90 t/ha (10,58% del prodotto raccogliabile), così ripartite (tab. 3):

- piante non raccolte dalla testata e/o non convogliate dalla coclea in andana. Tali perdite sono da imputare all'interfila utilizzata nella piantagione, di fatto la testata nasce per operare con interfile di 0,75 m mentre la piantagione raccolta era stata impiantata con una distanza tra le file di 0,50 m.
- prodotto non raccolto dalla imballatrice. Tali perdite sono riferibili essenzialmente al dispositivo pick up.

Le perdite di semi sono risultate pari a circa il 10% e sono anch'esse imputabili all'interfila utilizzata per la costituzione dell'impianto.

**Tabella 3** - Ripartizione delle perdite di prodotto durante la fase di raccolta.

Perdite	t/ha	%
Prodotto non raccolto dalla testata	0,82	9,64
Prodotto non raccolto dalla imballatrice	0,08	0,94
Totale	0,90	10,58

#### 4.4. Qualità del lavoro svolto

I dati sotto riportati si riferiscono alla sperimentazione condotta in Calabria.

Le impurità presenti nel seme (Fig. 8) sono state valutate nello 0,75% mentre i semi danneggiati sono stati il 2,15% del totale raccolto.

La massa volumica apparente del seme è risultata pari a 689,11 kg/m<sup>3</sup> con una umidità del 6,15%. Il peso delle balle (2,11 m<sup>3</sup>) oscillava tra 300 e 350 kg, con una massa volumica apparente pari a circa 154 kg/m<sup>3</sup>. Mediamente sono state prodotte 20 balle ad ettaro con un contenuto di umidità del 8,02% (Fig. 9).

Il taglio dei fusti è avvenuto in maniera netta e ad una altezza media di 300 mm.



**Figura 8** - Semi di cardo, sono visibili alcune impurità.



**Figura 9** - Biomassa imballata.

## 5. Conclusioni

Le mietitrebbie equipaggiate con testata da cardo CRA-ING hanno raggiunto capacità di lavoro soddisfacenti confermando i risultati registrati in precedenti prove sperimentali (Pari *et al*, 2009).

Tutti i dispositivi preposti al taglio basale della biomassa, al distacco dei capolini, al convogliamento della biomassa in andana e al convogliamenti delle calatidi verso il dispositivo di trebbiatura, hanno lavorato in maniera ottimale.

L'elevata percentuale di perdite di prodotto registrate in Calabria sono da imputare al sesto di impianto utilizzato per la realizzazione della piantagione. Difatti, la macchina è stata progettata per operare su interfile di 0,75 m mentre l'impianto è stato realizzato con una interfila di 0,50 m.

La possibilità di utilizzare testate specifiche, appositamente progettate per una data coltura, consente non soltanto di valorizzare i sottoprodotti, come nel caso del cardo, ma anche di operare in maniera efficiente, riducendo sensibilmente i tempi necessari per le corrette regolazioni e i tempi di manutenzione causati da ripetuti ingolfamenti.

## Bibliografia

- Bolli P., Scotton M., 1987 – Lineamenti di tecnica della meccanizzazione Agricola. Edagricole.
- EN 14774-1:2009. Solid biofuels Determination of moisture content - Oven dry method.
- EN 15103:2010. Solid biofuels. Determination of bulk density.
- Fernández J., Curt MD., 2005. State-of-the-art of *Cynara cardunculus* as an energy crop. In Proceedings of the 14<sup>th</sup> European Biomass Conference. ETA-Renewable Energies & WIP-Renewable Energies (Pub.) Paris, ISBN 88-89407-07-7.
- Gominho J., Lourenço A., Palma P., Lourenço ME., Curt MD., Fernández J., Pereira H., 2011. Large scale cultivation of *Cynara cardunculus* L. for biomass production-A case study. *Industrial Crops and Products*; 33:1-6.
- Grammelis P., Malliopoulou A., Basinas P., Danalatos NG., 2008. Cultivation and Characterization of *Cynara cardunculus* for Solid Biofuels Production in the Mediterranean Region. *Int. J. Mol. Sci.* 9:1241-1258.
- Pari L., Civitarese V., Assirelli A., Del Giudice A., 2009. Il prototipo che abbatta i costi della raccolta del cardo. *Agroenergie dall'impianto alla raccolta*, supplemento n. 1 al numero 29 dell'Informatore Agrario.
- Solano ML., Manzanedo E., Concheso R., Curt MD., Sanz M., Fernández J., 2010. Potassium fertilisation and the thermal behaviour of *Cynara cardunculus* L. *Biomass & Bioenergy*;34:1487-1494.
- Tuck G., Glendining MJ., Smith P., House J., Wattenbach M., 2006. The potential distribution of bioenergy crops in Europe under present and future climate. *Biomass & Bioenergy*;30:183-197.

---

## b - Meccanizzazione della raccolta del materiale di riproduzione di canna comune (*Arundo donax* L.) nel settore vivaistico

*Harvesting mechanization of propagation material of giant reed (Arundo donax L.) in nursery*

**Luigi Pari\***, **Alberto Assirelli\***,  
**Andrea Acampora\***, **Sara Croce\***, **Enrico Santangelo\***

### **Riassunto**

L'introduzione della canna comune (*Arundo donax* L.) nei diversi ordinamenti colturali, per fini energetici, presuppone l'individuazione di una appropriata tecnica di moltiplicazione dal momento che, al di fuori del suo areale di origine, la pianta non fruttifica a causa della sterilità del polline (Boose e Holt, 1999). La fase di impianto della coltura rappresenta la criticità maggiore della filiera agroenergetica in relazione alla reperibilità del materiale di propagazione e ai costi di moltiplicazione. Di norma la canna si riproduce per via vegetativa attraverso rizomi o talee di culmo. La propagazione per rizomi è la tecnica più impiegata e permette di ottenere ottimi risultati dal punto di vista tecnico. Per la mancanza di una efficiente meccanizzazione della raccolta (Pari *et al.*, 2009), la propagazione vegetativa mediante rizoma è una tecnica che risulta molto onerosa per gli elevati costi delle operazioni di espianto, sezionatura di cespi, conservazione, movimentazione e messa a dimora dei rizomi. Nel marzo del 2011, sono state eseguite alcune prove di sezionatura meccanica in vivaio di cespi di *A. donax* L. appositamente coltivati. Lo scopo del lavoro è stato quello di verificare l'applicabilità della sezionatura meccanica a terra e gli aspetti oggetto di verifica hanno riguardato la messa a punto di un'ideale linea di meccanizzazione, la caratterizzazione del prodotto ottenuto e la valutazione del-

---

\* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

la sua attitudine all'impiego come materiale di propagazione. Delle tre classi dimensionali ottenute (<5 cm; 5-10 cm; > 10 cm) nessuna è risultata inferiore al 60 % di germinazione mentre la classe dimensionale maggiore ha superato l'80% di capacità germogliativa.

**Parole chiave:** *Arundo donax* L., rizomi, propagazione vegetativa, sezionatura meccanica.

---

## Abstract

*The introduction of giant reed (Arundo donax L.) in different cropping systems for energy purposes, requires the identification of an appropriate multiplication technique since, outside of its area of origin, the plant will not bear fruit due to pollen sterility (Boose and Holt, 1999). The planting phase is the most critical in relation to the availability of the material, its propagation and the cost of reproduction. Usually giant reed is reproduced by vegetative cuttings through rhizomes or stem cutting. Propagation by rhizomes is the preferred technique and can achieve excellent results from the technical point of view. Due to the lack of an efficient mechanization of harvesting (Pari et al., 2009), vegetative propagation by rhizome is very onerous due to the high cost of explanting, stumps sectioning, storage, handling and planting of rhizomes. In March of 2011, some tests of mechanical sectioning were carried out on nurseries of A. donax. Purpose of this study was to test the applicability of mechanical sectioning directly on field focusing the attention on the development of a suitable line of mechanization, the characterization of the product obtained and the evaluation of its ability to be used as propagation material. The three dimensional classes obtained (<5 cm, 5-10 cm> 10 cm) showed more than 60% of germination, while the rhizomes belonging to the longer class has registered over 80% sprouting capacity.*

**Keywords:** *Arundo donax* L., rhizomes, vegetative propagation, mechanical sectioning.

---

## Introduzione

La fase di impianto della coltura di canna comune (*Arundo donax* L.) rappresenta la maggior criticità della tecnica colturale in relazione alla reperibilità del materiale di propagazione e ai costi di moltiplicazione. Di norma la canna si riproduce per via vegetativa attraverso rizomi o talee di culmo. La propagazione per rizomi è la tecnica più impiegata e permette di ottenere ottimi risultati dal punto di vista tecnico. Comunemente il materiale di propagazione della canna viene ottenuto raccogliendo manualmente la ceppaia (costituita dalla massa nodosa di rizomi prodotti dalla pianta) prodotta dalla pianta. Quest'ultima viene ulteriormente sezionata al fine di ottenere dei rizomi adatti all'impianto.

In tale ambito si pone l'attività di ricerca dell'Unità di Ingegneria Agraria (CRA-ING) del Consiglio per la Sperimentazione e la Ricerca in Agricoltura. La meccanizzazione della fase di raccolta dei rizomi permetterebbe di superare uno dei principali problemi legati alla moltiplicazione tramite rizomi della canna, abbassando i costi che tale pratica richiede in quanto, a tutt'oggi, viene eseguita manualmente o a bassissimi livelli di meccanizzazione. Nel marzo del 2011, sono state eseguite alcune prove di sezionatura meccanica in vivaio di cespi di *A. donax* appositamente coltivati. Lo scopo del lavoro è stato quello di verificare l'applicabilità della sezionatura meccanica per la riduzione della manodopera. Gli aspetti oggetto di verifica hanno riguardato le capacità di lavoro e la caratterizzazione del prodotto ottenuto. Relativamente a quest'ultimo aspetto si è cercato di valutare l'omogeneità del prodotto raccolto e la sua energia germinativa intesa come capacità delle sezioni di generare una nuova pianta.

## Materiali e metodi

Lo studio è stato condotto in Piemonte a Savigliano presso i campi sperimentali di una Società specializzata nella moltiplicazione di colture energetiche. Le prove sono state effettuate su un appezzamento di vivaio di 1.200 m<sup>2</sup> (20 m x 60 m) realizzato nella primavera del 2009 con rizomi di cloni locali interrati a 15 cm di profondità, interfila di 1 m e piante distanziate sulla fila 0,5 m. Durante il periodo vegetativo non sono stati effettuati interventi di irrigazione né di concimazione al terreno, per cui si è scelto di operare su un vivaio biennale e già raccolto un anno per avere maggior continuità fra i cespi. La parte aerea delle piante è stata raccolta sia nel marzo 2010 sia nel 2011. I residui della coltura sono stati eliminati il giorno precedente la prova, mediante un trinciasarmenti ad asse orizzontale. Prima dell'esecuzione delle prove è stata valutata la produttività del vivaio prelevando manualmente tutti i cespi presenti da in sei aree di saggio, di 1 m<sup>2</sup>.

Le prove di sezionatura a terra si sono svolte tramite una zappatrice rotativa modificata in modo da effettuare anche il taglio orizzontale del profilo di terreno interessato. Tale macchina è caratterizzata da un fronte di lavoro pari a 104 cm, giudicato sufficiente per il trattamento di un singolo filare di piante. La zappatrice è composta da un rotore principale ad asse orizzontale formato da un albero di 160 mm di diametro con quattro supporti radiali a distanze rispettivamente di 16 cm dai bordi e 24 cm centrali. Sui supporti sono fissati tramite viti in modo alterno (tre per lato) 6 per un totale di 24 zappette. Per l'esecuzione delle prove sono state progettate e realizzate zappette di conformazione ad L di altezza pari a 24 cm e parte terminale pari a 12 cm in sostituzione di quelle originali in modo da coprire completamente la distanza fra i supporti. Gli elementi sono stati realizzati in acciaio di spessore pari a 10 mm. La sostituzione delle zappette con quelle realizzate per la prova ha comportato

la modifica di alcuni aspetti funzionali dell'operatrice in particolar modo della profondità di lavoro (Fig. 1).



**Figura 1** - Organi lavoranti della zappatrice rotativa modificata.

Prima dell'esecuzione delle prove sono state eseguite alcune simulazioni di lavoro per individuare le regolazioni più idonee quali velocità, regime giri PDP, e profondità di lavoro. Dopo una prima fase di messa a punto del cantiere sono stati individuati velocità di avanzamento e regime giri PTO relativi a tre diversi settaggi scelti in funzione delle lunghezze di taglio teoriche comprese tra 4.4 e 6.5 cm (Tab. 1). Il disegno sperimentale ha previsto la suddivisione dell'area di prova in tre zone (una per ogni settaggio oggetto di studio), ognuna lunga 20 metri e con larghezza corrispondente all'interfila del vivaio. All'interno delle tre tesi, sono state individuate quattro parcelle lunghe 5 m, considerate repliche del singolo settaggio.

**Tabella 1** - Principali caratteristiche funzionali della zappatrice rotativa modificata.

Descrizione	Unità di misura	Valore
Regime di rotazione pdp	Giri min <sup>-1</sup>	540
Regime di rotazione rotore	Giri min <sup>-1</sup>	216
Rapporto di trasmissione ( $\tau$ ) pdp/rotore		1:2,5
Profondità di lavoro originaria	Cm	11
Profondità di lavoro modificata	Cm	16

### *Valutazione materiale ottenuto*

Successivamente al passaggio della zappatrice modificata (Fig. 2) si è proceduto alla raccolta di tutti i rizomi presenti nelle 12 parcelle. Questi sono stati immediatamente chiusi in sacchi in modo da evitarne la disidratazione. I rizomi raccolti sono stati pesati, misurati e quindi raggruppati in funzione di tre classi dimensionali: piccoli (<5 cm), medi (5-10 cm) e grandi (>10 cm).

### *Capacità germinativa*

Per ogni settaggio oggetto di analisi e per ognuna delle classi dimensionali individuate è stato scelto un campione di rizomi, al fine di valutare la capacità germinativa. Il disegno sperimentale utilizzato è stato il blocco randomizzato con quattro repliche, ognuna delle quali costituita da quattro rizomi: per ogni tesi sono stati considerati dunque 48 rizomi suddivisi per le tre classi dimensionali. Ogni replica era costituita da un vaso di diametro 20 cm riempito con terriccio di tipo 50% torba 50% sabbia. I vasi sono stati mantenuti in una serra. Dopo 15 e 30 giorni dalla messa a dimora dei rizomi si è proceduto alla rilevazione dei germinati e al 30° giorno è stato valutato anche il numero di germogli emessi.

I dati sono stati analizzati utilizzando il software MSTAT-C (Michigan State University, 1993).

## Risultati e discussioni

Durante le prove le velocità di lavoro rivelate variavano tra 1,5 e 1,9 km h<sup>-1</sup> (Tab. 2).

Il moto rotatorio dell'organo di lavoro ed il diverso peso specifico fra zolle e rizomi consentiva una prima evidente separazione fra terreno e rizomi sezionati, portati in superficie e depositati entro i primi centimetri di terreno frantumato.

**Tabella 2** - Lunghezze di taglio messe a confronto e parametri operativi della zappatrice rotativa modificata.

Settaggio	Lunghezza di taglio (cm)	Giri motore (rpm)	Velocità di avanzamento (km h <sup>-1</sup> )	Gamma	Rapporto	Pdp (rpm)
1	4,4	1889	1.55	Ridotta	1°	198
2	5,0	1850	1.75	Ridotta	2°	194
3	6,4	1621	1.95	Ridotta	3°	170



**Figura 2** - Particolare delle sezioni di rizoma a terra.

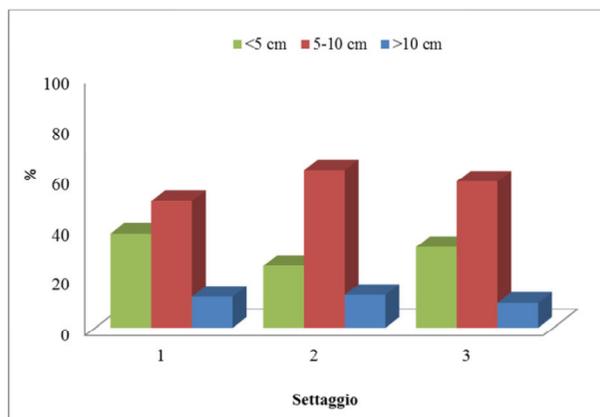
### *Produttività*

In base ai dati ottenuti in seguito all'estrazione manuale dei rizomi presenti nelle sei aree campione, si può affermare che la resa in peso (materiale che richiede un'ulteriore fase di lavorazione per la produzione dei rizomi) è risultata pari a  $960 \text{ g m}^{-2}$ . Utilizzando la zappatrice modificata, ciò che viene raccolto è il rizoma già pronto per la successiva fase di insacchettamento e, nel caso dei tre settaggi studiati, si è ottenuta una produzione di rizomi già sezionati di poco inferiore rispetto alla raccolta manuale dei cespi. Il peso medio dei rizomi raccolti era di  $63,3 \text{ g}$ , mentre la lunghezza media era di  $9,3 \text{ cm}$ .



**Figura 3** - Particolare dei rizomi ottenuti.

Da un primo esame dei rizomi raccolti (Fig. 3) si è potuto riscontrare che la classe intermedia (tra 5 e 10 cm di lunghezza) era quella maggiormente rappresentata nei tre settaggi analizzati (Fig. 4). Il risultato appare piuttosto interessante soprattutto per le regolazioni 2 e 3, scelte al fine di ottenere rizomi o parti di rizomi di lunghezza teorica pari a 5,0 e 6,4 cm, dimostrando, quindi, che con la sezionatura meccanica la lunghezza può essere preventivamente definita.



**Figura 4** - Distribuzione percentuale delle tre classi di lunghezza dei rizomi prodotti utilizzando tre diversi settaggi della zappatrice rotativa modificata.

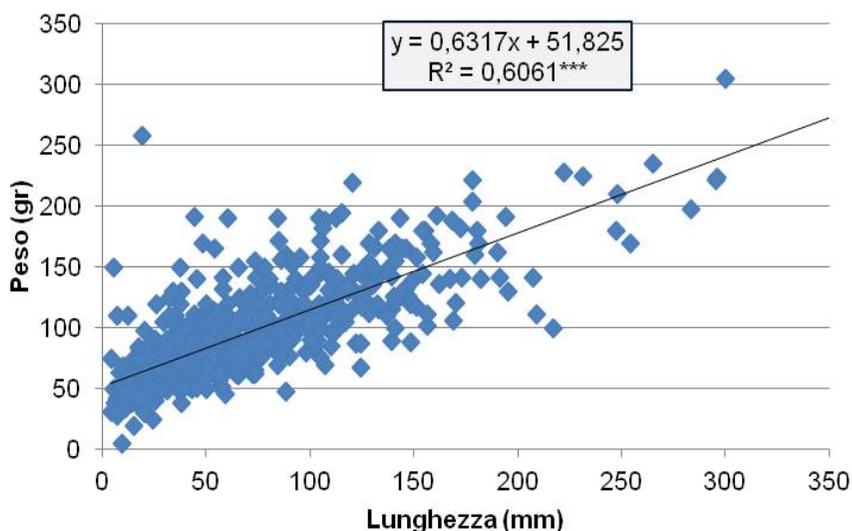
Dal punto di vista della produzione numerica di rizomi per unità di area, l'analisi statistica ha confermato la differenziazione dimensionale del materiale di propagazione (Tab. 3). Complessivamente, senza tenere conto dei diversi settaggi, il numero di rizomi di lunghezza superiore ai 5 cm è risultato pari all'88,7% del totale dei rizomi raccolti (il 90,2% per il settaggio 3).

**Tabella 3** - Numero di rizomi raccolti ( $n\ m^2$ ) utilizzando tre diversi settaggi della zappatrice rotativa modificata (media  $\pm$  E.S.). Si riportano, altresì, le medie ( $\pm$  E.S.) del numero di rizomi raccolti distinti per classe di lunghezza e la percentuale di rizomi più lunghi di 5 cm. Lettere maiuscole differenti indicano differenze statisticamente significative per  $P < 0,01$  dopo test di Duncan.

	Settaggio			Media della classe
	1	2	3	
<b>Media del settaggio</b>	13.5 $\pm$ 2.3	7.3 $\pm$ 1.3	11.2 $\pm$ 1.3	
<b>Classe di lunghezza</b>				
<5cm	1.6 $\pm$ 0.5	0.9 $\pm$ 0.3	1.1 $\pm$ 0.1	1.2 $\pm$ 0.2 C
5-10 cm	6.8 $\pm$ 1.3	4.6 $\pm$ 1.1	6.5 $\pm$ 0.9	6.0 $\pm$ 0.6 A
>10 cm	5.0 $\pm$ 0.8	1.8 $\pm$ 0.2	3.6 $\pm$ 0.6	3.5 $\pm$ 0.5 B
<b>Rizomi&gt;5 cm (%)</b>	87.8	87.1	90.2	88.7

I primi risultati appaiono confortanti, in quanto la classe di rizomi prodotti e maggiormente rappresentata risulta essere quella (5-10 cm) per la quale erano stati programmati i settaggi 2 e 3.

Come prevedibile, con l'aumentare della lunghezza il peso medio dei rizomi aumenta e tale andamento si conferma per i tre settaggi studiati. Con una semplice analisi di correlazione è possibile mettere in evidenza come i due caratteri siano correlati (Fig. 5) e tale aspetto, benché facilmente intuibile, riveste una certa importanza in relazione all'ottenimento di rizomi di dimensione idonea, mediante meccanizzazione della raccolta, ma anche germinabili ed in grado di produrre un adeguato numero di germogli, ossia alla sua capacità di fornire materiale ad uso riproduttivo di buona qualità.



**Figura 5** - Relazione tra lunghezza (X) e peso (Y) dei rizomi (n=605) di canna comune sezionati in campo mediante la zappatrice rotativa modificata.

\*\*\*Statisticamente significativo per  $P < 0,001$ .

#### *Capacità germinativa*

Come si può osservare in Tabella 4, i rizomi più lunghi (e, dunque, più pesanti) hanno mostrato una percentuale di germinazione superiore all'80% per il settaggio 2 e 3 e, non considerando i settaggi, la percentuale di germinazione media della classe di rizomi maggiore di 10 cm è risultata statisticamente differente rispetto alla classe <5 cm. Rizomi più lunghi significano anche presenza di un più alto numero di gemme vitali. Tale osservazione viene confermata dai dati riportati in tabella 5, da cui si evince che passando dai rizomi più piccoli a quelli di lunghezza superiore ai 10 cm il numero di germogli prodotti per rizoma raddoppia.

**Tabella 4** - Percentuale di germinazione registrata per i rizomi ottenuti mediante il sezionamento con zappatrice rotativa modificata (media  $\pm$  E.S.). Prima dell'analisi statistica mediante ANOVA si è proceduto alla trasformazione dei dati nella radice quadrata dell'arcoseno.

Classe di lunghezza	Settaggio			Media della classe
	1	2	3	
<5cm	37.5 $\pm$ 7.2	75.0 $\pm$ 10.2	75.0 $\pm$ 14.4	62.5 $\pm$ 7.51
5-10 cm	75.0 $\pm$ 10.2	50.0 $\pm$ 10.2	75.0 $\pm$ 10.2	66.7 $\pm$ 6.13
>10 cm	75.0 $\pm$ 10.2	81.2 $\pm$ 6.3	87.5 $\pm$ 7.2	81.2 $\pm$ 4.29
<b>Media del settaggio</b>	62.5 $\pm$ 7.2	68.7 $\pm$ 6.3	79.2 $\pm$ 6.0	

**Tabella 5** - Numero di germogli prodotti dai rizomi ottenuti mediante il sezionamento con zappatrice rotativa modificata (media  $\pm$  E.S.). Lettere maiuscole differenti indicano differenze statisticamente significative per  $P < 0,01$  dopo test di Duncan.

Classe di lunghezza	Settaggio			Media della classe
	1	2	3	
<5cm	0.6 $\pm$ 0.1	1.4 $\pm$ 0.3	0.9 $\pm$ 0.2	1.0 $\pm$ 0.1 B
5-10 cm	1.5 $\pm$ 0.3	0.7 $\pm$ 0.2	1.3 $\pm$ 0.3	1.2 $\pm$ 0.2 B
>10 cm	2.3 $\pm$ 0.4	2.3 $\pm$ 0.5	2.8 $\pm$ 0.4	2.5 $\pm$ 0.2 A
<b>Media del settaggio</b>	1.5 $\pm$ 0.3	1.5 $\pm$ 0.3	1.7 $\pm$ 0.3	

Tutto ciò si riflette positivamente sulla preparazione del materiale di propagazione da destinare al mercato. Una semplice simulazione in cui si tenga conto dei valori di germinazione e del numero di germogli ottenuti per rizoma, così come esposto in tabella 4 e 5, mette in evidenza come la meccanizzazione della raccolta e sezionatura dei rizomi possa consentire l'ottenimento di notevoli quantitativi di materiale di propagazione di canna. Le sezioni di maggiori dimensioni consentono di ridurre il quantitativo di materiale necessario a parità di numero di gemme messe a dimora.

## Conclusioni

La riproduzione della canna comune rappresenta, tuttora, uno dei principali elementi che limitano la diffusione della coltura, sia sotto l'aspetto tecnico impiantistico che economico. La realizzazione di nuovi impianti di canna tramite sezioni di rizoma

sembra ancora la soluzione che permette i maggiori margini di affidabilità per la riuscita della coltivazione in tempi contenuti.

CRA-ING si è occupato della messa a punto di linee di meccanizzazione in grado di ridurre gli elevati costi di manodopera attualmente sostenuti per la produzione del materiale di riproduzione. La soluzione adottata prevedeva l'uso di una zappatrice rotativa modificata in grado di sezionare i rizomi a terra, riducendo pertanto la fase di sezionatura successiva. In base ai risultati ottenuti, tale soluzione si è rilevata funzionale nella sezionatura dei rizomi di canna che risultano così già pronti per essere raccolti e confezionati per i successivi impianti.

Due delle tre classi dimensionali ottenute, cioè quelli relativi agli intervalli 5-10 cm e >10 cm si sono rivelate adatte per l'ottenimento di rizomi con una buona percentuale di germinazione. La sperimentazione descritta costituisce un primo tentativo di facilitare la produzione di rizomi in campo ed i risultati ottenuti, rappresentano una possibilità di riduzione delle problematiche legate alla produzione di materiale di propagazione.

Un altro risultato interessante è rappresentato dalla capacità di germinazione mostrata dai rizomi prodotti dalla zappatrice modificata. Da risultati ottenuti, la soluzione proposta si è rilevata interessante per sezionare "cespi" di canna comune e alla luce delle esperienze condotte il perfezionamento di tale metodologia potrebbe consentire la meccanizzazione dell'estrazione del rizoma sezionato che una volta separato dal terreno può direttamente essere confezionato in sacche (big-bag) per un'agevole movimentazione.

## Bibliografia

- Boose A. B., Holt J. S. (1999). Environmental effects on asexual reproduction in *Arundo donax*. *Weed Research*, 39: 117-127.
- Ceotto E. (2007). A simple and straightforward method for shoot cutting propagation of giant reed (*Arundo donax* L.). In: M. Borin, S. Bacelle, (eds.) *Proceedings of the International Conference on Multiple Roles of Wetlands*, Padova, Italy. 2007, 84.
- Ceotto E., Di Candilo M. (2010). Shoot cuttings propagation of giant reed (*Arundo donax* L.) in water and moist soil: The path forward? *Biomass and Bioenergy* 34, 1614-1623.
- Copani V., Cosentino S. L., D'Agosta G. Mantineo M. (2003). Validità di differenti metodi di propagazione per l'impianto di una coltura di canna comune (*Arundo donax* L.) XXXV Convegno Società Italiana di Agronomia, 16-18 settembre: 163-164.
- Pari L., Civitarese V., Suardi A. (2009). Prototipo per meccanizzare il trapianto di canna comune. *Agroenergie*, supplemento a L'Informatore Agrario, n. 29 pag. 19-21.

---

# c - Meccanizzazione del trapianto del rizoma di canna comune (*Arundo donax* L.)

## *Mechanization of rhizome transplant of giant reed (Arundo donax L.)*

**Luigi Pari\*, Alberto Assirelli\***

### **Riassunto**

La produzione dei rizomi di *Arundo donax* L. non presenta particolari limiti sotto l'aspetto agronomico, ma prevalentemente legati all'assenza di un'adeguata meccanizzazione che possa consentire di ridurre gli elevati fabbisogni di manodopera necessari per l'estrazione, la preparazione e la successiva messa a dimora del materiale di propagazione.

Dopo aver sperimentato una soluzione per la sezionatura a terra dei rizomi e per la successiva raccolta e confezionamento, l'Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria del CRA si è dedicata alla meccanizzazione dell'operazione di trapianto delle sezioni di rizoma ottenute.

Per una prima verifica di fattibilità si è progettata e realizzata una trapiantatrice agevolatrice ad alimentazione manuale ed a caricamento meccanico. L'operatrice abbinata a trattore è stata realizzata in collaborazione con una ditta piemontese e nella primavera 2011 sono state svolte le prime prove di messa a dimora delle sezioni di rizoma. La tramoggia presenta una capacità di 1,5 m<sup>3</sup>, l'interfila di semina è di 75 cm e sulla file le sezioni di rizoma venivano deposte ad una profondità pari a 20 cm, distanziate 1,4 m per una densità teorica di 9524 rizomi/ha. La macchina presenta 3 elementi di lavoro ed opera a 1,11 m/s pari a 4 km/h.

**Parole chiave:** trapianto, rizomi, *Arundo donax* L., sezioni di rizoma, moltiplicazione arundo.

---

\* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

## Abstract

*The production of the rhizomes of *Arundo donax* L. does not present particular limits under the aspect of agronomy, but mainly related to the absence of appropriate machinery that may help reduce the high labor requirements necessary for the extraction, preparation and the subsequent development planting of the propagation material. After experimenting a solution for cutting the rhizomes and on the ground for subsequent collection and packaging, the Research Unit for Agricultural Engineering of the CRA has been concerned to the mechanization of the transplant operation sections of rhizome obtained. For an initial feasibility study, it has been designed and built a manual feed and mechanical loading transplanting machine. The operator coupled with the tractor was realized in collaboration with a company in Piedmont and in spring 2011 the first tests were carried out by planting sections of rhizome. The hopper has a capacity of 1.5 m<sup>3</sup>, the inter-row planting is 75 cm and files sections of rhizome were laid at a depth of 0.2 m, 1.4 m apart for a theoretical density of 9524 rhizomes / ha. The machine has 3 work items and operates at 1.11 m / s equal to 4 km / h.*

**Keywords:** *transplantation, rhizomes, *Arundo donax*, rhizome sections, multiplication arundo.*

---

## Introduzione

La produzione dei rizomi di *Arundo donax* L. su larga scala per la moltiplicazione della coltura non presenta particolari limiti sotto l'aspetto agronomico, ma prevalentemente legati all'assenza di un'adeguata meccanizzazione. Le operazioni condotte in vivaio relative alla realizzazione dei campi ed alla loro gestione vengono ancora prevalentemente effettuate manualmente. La messa a punto di adeguate linee di meccanizzazione che possano consentire di ridurre gli elevati fabbisogni di manodopera necessari per l'estrazione, la preparazione e la successiva messa a dimora del materiale di propagazione rappresentano ancora aspetti scarsamente interessati dalla ricerca.

Dopo aver sperimentato una soluzione per la sezionatura a terra dei rizomi e per la successiva raccolta e confezionamento, l'Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria del CRA si è dedicata alla meccanizzazione dell'operazione di trapianto delle sezioni di rizoma ottenute.

Le sperimentazioni condotte a livello di estrazione meccanizzata portavano all'ottenimento di sezioni di rizoma abbastanza regolati e di dimensioni facilmente gestibili con le comuni linee di movimentazione (bins, big-bag, ecc.).

Prima di progettare una macchina dedicata alla messa a dimora delle sezioni di rizoma, alcune aziende coinvolte nell'attività di ricerca hanno effettuato alcune prove di distribuzione utilizzando soluzioni apparentemente più semplici e generalmente

disponibili nelle aziende agricole quali spandiletame a distribuzione centrifuga ed interrimento eseguito ad opera di erpici a disco che, nonostante varie modifiche ed adattamenti hanno immediatamente manifestato seri limiti. Tali limiti riguardavano la regolarità di spandimento e l'ottenimento della densità richiesta, che nei programmi di impianto previsti dovrebbe essere indicativamente pari ad 1 rizoma su metro quadro, densità difficilmente ottenibile con sistemi di distribuzione centrifughi ove la massa della sezione di rizoma riveste un aspetto molto importante durante la fase di lancio. Relativamente alle sezioni di rizoma alcuni limiti sono determinati dalla forma e massa irregolare del materiale di propagazione che riduce anche la movimentabilità e scorrevolezza su piano inclinato delle tramogge o contenitori per una corretta alimentazione dell'organo distributore nell'eventuale automazione del processo.

Altro aspetto che ha mostrato limiti di efficienza nelle esperienze condotte con la tecnica di impianto in due fasi (distribuzione ed interrimento), ha riguarda l'interramento dei rizomi distribuiti in cui il sistema a disco/hi inclinato/i, raramente consentiva un'ideale copertura dei rizomi; la preparazione del terreno e le dimensioni dei dischi e relativa massa dell'erpice utilizzato giocano un ruolo molto importante sull'efficienza del sistema e soprattutto sull'ottenimento di un'adeguata profondità di semina.

## Materiali e metodi

Alla luce delle esperienze condotte ed evidenziata l'importanza di riunire le fasi di distribuzione ed interrimento per ridurre i costi di impianto riducendo personale ed attrezzature si è pensato di impostare l'attività di ricerca verso soluzioni che pur non contemplando elevati livelli di automazione consentissero comunque discrete produttività. Nella primavera 2011 è stata progettato e realizzato un prototipo di macchina agevolatrice ad alimentazione manuale dotata di tramoggia propria e di sistema di apertura e chiusura solco di deposizione. La macchina (Foto 1) si presenta di tipo portato da trattore agricola, opera su 3 file distanziate 0,75 metri, ad interfila variabile secondo necessità di sperimentazione. L'inserimento dei rizomi all'interno del solco avviene ad opera di tre operatori che provvedono manualmente a prelevare i rizomi dal contenitore ed a posizionarli nel solco aperto da un assolcatore a vomero singolo per fila di lavoro. Le principali caratteristiche dimensionali e funzionali rilevate nelle prime esperienze sono riportate in tabella 1.

**Tabella 1** - Principali caratteristiche della trapiantatrice realizzata.

Caratteristiche	Unità di misura	Valori
Tipologia operatrice		Portata
Potenza necessaria	kW	50
Capacità tramoggia	m <sup>3</sup>	1,5
Elementi di lavoro	n	3
Interfila di trapianto	m	0,75
Distanza sulla fila	m	1,4
Larghezza di lavoro	m	2,25
Tipologia di alimentazione		Manuale
Sistema apertura solco		Doppio vomere
Sistema chiusura solco		Coppia dischi convergenti+rullo
Profondità deposizione	m	0,2
Velocità di lavoro	m/s-km/h	1,11-4
Operatori	n	3+1

**Foto 1** - Vista posteriore della trapiantatrice.**Foto 2** - Particolare delle sezioni di rizoma contenute in tramoggia.

La trapiantatrice risulta composta da un telaio principale di tipo portato dall'attacco a tre punti della trattrice sulla quale sono fissati i vari organi di lavoro. Superiormente è fissata una tramoggia della capacità complessiva di 1,5 m<sup>3</sup> (foto 2) inferiormente aperta per permettere la presa dei rizomi da parte degli operatori (foto 3). I tre elementi di lavoro, completamente indipendenti ed articolati anteriormente sono composti da un assolcatore a doppio vomere, un sedile per l'operatore ed un sistema di copertura del solco a doppio disco convergente (foto 4). Posteriormente con funzione di compattatore e pareggiatore è posto un rullo in grado di ripartire il carico sull'intera superficie trattata. Per permettere il mantenimento della regolarità di deposizione lungo la fila è stato posizionato un avvisatore sonoro a ruota di frizione

munita di campanello che in base alla velocità di avanzamento avvisa gli operatori quando è necessario procedere alla deposizione simultanea della sezione di rizoma (foto 5).



**Foto 3** - Particolare della fessura di presa dei rizomi e degli assolcatori.



**Foto 4** - Trapiantatrice in lavoro su tre file distanziate a 75 cm.



**Foto 5** - Particolare della ruota di frizione azionante l'avvisatore acustico per il posizionamento dei rizomi alla distanza impostata.

Le diverse componenti operative dell'operatrice (assolcatori, copritori, compattatori) sono regolabili in altezza e quindi in grado di permettere diverse regolazioni in lavoro per cercare di adeguarsi alle diverse condizioni pedologiche riscontrabili soprattutto in termini di grado di affinamento e consistenza del terreno al passaggio della trapiantatrice.

## Risultati

Nel primo anno di impiego il cantiere realizzato ha operato su appezzamenti di superficie molto eterogenea e comunque caratterizzati da ridotte superfici unitarie e conformazioni piuttosto irregolari. Tale sistemazione ha determinato notevoli incrementi dei tempi di lavoro soprattutto di trasferimento e di chiusura degli appezzamenti. Ad eccezione di alcuni casi in cui si superavano i 10 ha in corpo unico nella rimanente superficie il valore medio trapiantato risulta compreso fra 1 e 1,5 ha.

Il ciclo di lavoro prevede il riempimento diretto della tramoggia tramite elevatore a forche o muletti utilizzando direttamente i big-bag (foto 6) riempiti con le sezioni di rizoma, gli operatori prelevano manualmente le sezioni dall'apertura posta alla base della tramoggia e le depositano nel solco aperto dall'assolcatore a doppio vomero profondo 20 cm ad una distanza di 1,4 metri. Considerando l'interfila di 0,75 metri l'investimento realizzato risulta pari a 9524 rizomi/ha.



**Foto 6** - Particolare dell'area di rifornimento della trapiantatrice.

Nonostante il sistema di alimentazione manuale, l'elevata distanza di posizionamento dei rizomi consente una discreta velocità di avanzamento del cantiere risultata pari a 4 km/h.

Considerando una larghezza di lavoro di 2,25 m, la capacità teorica di lavoro sarebbe di circa 0,9 ha/h a cui andrebbero decurtati i tempi accessori (riempimenti, svolte, registrazioni in campo, ecc.).

I rilievi sono stati eseguiti su di un appezzamento di forma rettangolare di lunghezza pari a 168 m e larghezza pari a 90 m per una superficie complessiva di 1,5 ha. L'area di rifornimento era stata collocata su di un vertice dell'appezzamento e il rifornimento avveniva ogni 8 passaggi, quattro giri completi. In tabella 2 sono riportati i principali valori rilevati sull'operatività del cantiere di trapianto.

Il sistema di riempimento della tramoggia tramite una seconda trattoria munita di caricatore frontale prevedeva anche il tempo necessario per il passaggio dell'opera-

tore addetto alla guida al secondo trattore per il carico. Il tempo di rifornimento è risultato di 15 minuti comprensivi delle operazioni di accostamento della trapiantatrice al rimorchio, scarico del primo saccone, agganciamento e carico del secondo saccone, riposizionamento e secondo scarico in tramoggia del suo contenuto, rientro in posizione di lavoro della trapiantatrice. Il tempo rilevato si può considerare attendibile per distanze inferiori ai 100 metri fra luogo di trapianto e rimorchio di rifornimento della trapiantatrice.

**Tabella 2** - Analisi dei tempi di lavoro riscontrati.

<b>Tempo operativo TO</b>		
	<b>Secondi</b>	<b>%</b>
Tempo effettivo TE	6400	46,04%
Tempo per voltate TAV	2200	15,83%
Tempo per rifornim. o scarichi TAS	4500	32,37%
Tempo per manutenzione TAC	800	5,76%
Tempo accessorio TA	7500	53,96%
<b>Tempo operativo totale</b>	<b>13900</b>	<b>100,00%</b>

Il contenuto di ogni saccone può essere considerato pari indicativamente a 1500 sezioni di rizoma e la logistica tramite big-bag consente un'agevole movimentazione anche in campo con i comuni rimorchi aziendali.

L'intero cantiere di trapianto risulta composto da due trattatrici di cui una dotata di elevatore a forche anteriore, la trapiantatrice un rimorchio e 4 operatori considerando il medesimo trattorista sia alla conduzione della trapiantatrice sia alla momentanea conduzione della trattrice munita di caricatore frontale per le operazioni di rifornimento, addetta anche al trasporto del carro portasacconi.

**Tabella 3** - Capacità operative riscontrate.

<b>Operatività</b>	
Velocità effettiva (m/s)	1,05
Velocità operativa (m/s)	0,48
Lunghezza totale delle file (m)	6720
Rendimento operativo %	46,04
Capacità di lavoro effettiva ha/h	0,844
Capacità di lavoro operativa ha/h	0,388
Superficie netta (ha)	1,5

La velocità effettiva di lavoro si avvicina a 4 km/h che alla luce del sistema di alimentazione manuale dell'operatrice può considerarsi soddisfacente. La velocità operativa, risentendo dei tempi di svolta e soprattutto di rifornimento subisce un drastico

ridimensionamento scendendo al di sotto dei 2 km/h. Dalle prime esperienze condotte la produttività del cantiere, su appezzamenti di forma regolare e di superficie superiore all'ettaro si assesta entro i 3 ettari giornalieri, valore non molto elevato ma in grado di garantire una buona qualità di impianto soprattutto in termini di regolarità di posizionamento e profondità di deposizione. In alcuni casi particolarmente favorevoli soprattutto in termini di dimensione e conformazione degli appezzamenti la produttività ha raggiunto anche i 4 ettari giornalieri.

## Conclusioni

Il prototipo realizzato rappresenta un prima esperienza per la realizzazione su larga scala di impianti di canna comune secondo la tipologia di moltiplicazione ritenuta più efficiente. L'operatrice realizzata richiede alcuni miglioramenti per incrementare le capacità operative soprattutto a livello di sistema di alimentazione sostituendo quella prettamente manuale con sistemi agevolatori se non completamente automatizzati. Esperienze con macchine utilizzando sistemi di alimentazione sempre manuali ma ergonomicamente più vantaggiose per gli operatori sono rappresentate da sistemi di distribuzione rotanti con o senza elementi di presa sulla tipologia di quanto impiegato in orticoltura. Tali sistemi anche se ad alimentazione manuale per via della notevole eterogeneità delle sezioni di rizoma, convogliando il prodotto entro il solco evitano all'operatore il continuo piegamento in avanti per accompagnare la sezione di rizoma in fondo al solco, migliorando qualità del lavoro e prestazioni. In queste applicazioni all'operatore viene demandato il solo compito di prelevare il rizoma dalla tramoggia e deporlo sul sistema di adduzione senza effettuare ulteriori movimenti; il distributore provvederà poi al trasporto verso il solco ed al rilascio al momento opportuno.

Alla luce delle positive esperienze condotte che hanno consentito la messa a dimora di oltre 80 ha di Arundo con capacità giornaliera di 3-4 ha, ulteriore obiettivo potrebbe essere la progettazione e lo sviluppo di un sistema di alimentazione automatizzato che permetta il prelievo diretto della sezione di rizoma dalla tramoggia, il suo trasporto e rilascio in fondo al solco aperto dal sistema a doppio vomere e collocata, all'idonea distanza di deposizione.

---

## d - Sviluppo di un prototipo per l'impianto della canna comune (*Arundo donax* L.) con talea di fusto

*Development of a prototype for the planting of giant reed (*Arundo donax* L.) using stem cuttings*

**Luigi Pari\***, **Alberto Assirelli\***,  
**Vincenzo Civitarese\***, **Alessandro Suardi\***

### **Riassunto**

La propagazione della canna comune (*Arundo donax* L.) coltivata per fini energetici rappresenta una criticità nei nostri climi, legata alla sterilità fiorale. La riproduzione vegetativa risulta da un lato un aspetto positivo in termini di allocazione dei fotosintetati, destinati principalmente alla produzione di biomassa, ma può essere un ostacolo alla diffusione della coltura. Tra le varie tecniche di propagazione disponibili, quella di interramento di porzione di fusto può rappresentare un'alternativa perseguibile, ma ulteriori studi sono necessari per confermare la tecnica riproduttiva. Al fine di agevolare impianti sperimentali su grandi superfici e a costi minori, il CRA-ING, all'interno del progetto SUSCACE, ha sviluppato e testato un prototipo di trapiantatrice di culmi di canna, ipotizzandone futuri sviluppi e miglioramenti nell'ottenimento di una successiva versione commerciale.

**Parole chiave:** Colture energetiche, prototipo, canna comune, talea di fusto, trapianto.

---

\* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

## Abstract

*The spreading of giant reed (Arundo donax L.), grown for energy use, represents a crucial aspect, for the climatic condition in Italy, cause of its flower sterility. The vegetative reproduction represent positive aspect in term of photosynthetic allocation addressed for biomass production, in other hand it could be a limit to crop spreading. Among the available techniques of propagation, the steam cutting could represent a good option, but other research needs to be carry out to confirm method.*

*In order to facilitate experimental plants over large areas and at lower cost, the CRA-ING, within the project SUSCACE, has developed and tested a prototype of the transplanted culms of reed, speculating on future developments and improvements in obtaining a subsequent business version.*

**Keywords:** energy crops, prototype, giant reed, stem cutting, transplanting.

---

## 1. Introduzione

Negli ambienti mediterranei, a causa della sterilità fiorale, la canna comune non produce semi, e indirizza tutti i fotosintetati verso la produzione di biomassa lignocellulosica (1). Questo comporta d'altro canto una drastica riduzione della variabilità genetica e della propagazione della specie.

In assenza di semi, l'impianto della coltivazione risulta una criticità che limita fortemente la diffusione della coltura, soprattutto dal punto di vista economico, per quanto, come tutte le poliennali, ha il vantaggio di poter distribuire i costi iniziali dell'impianto, attraverso l'intero periodo di coltivazione (2).

I sistemi di riproduzione vegetativa potenzialmente impiegabili per la sua coltivazione sono:

1. piantina micro-propagata;
2. talea radicata;
3. talea di rizoma;
4. porzione di fusto adagiato nel solco.

Diverse esperienze condotte a livello nazionale ed internazionale hanno evidenziato che il maggior grado di attecchimento è assicurato dalla propagazione tramite rizomi (3), tuttavia, così come per le piantine micropropagate o le talee di rizoma, il costo di tale materiale resta ancora troppo elevato, anche a causa dell'elevata densità di impianto necessaria (8.000-10.000 p/ha). La moltiplicazione dei rizomi, la loro estrazione, pulitura e sezionatura, unita al confezionamento conservazione e trasporto, rappresentano ancora fasi poco o nulla meccanizzate che rendono il costo di produzione di tale materiale spesso difficilmente contenibile a valori accettabili. La propagazione tramite sezioni di culmo, di più agevole ottenimento sembra possa contri-

buire al contenimento delle spese di impianto purché eseguita con i dovuti accorgimenti legati all'ottenimento delle sezioni di fusto, alla loro conservazione ed induzione al germogliamento. I culmi di canna interrati parallelamente alla superficie del terreno, potrebbero rappresentare una valida alternativa ai rizomi, essendo facilmente reperibili e a costi notevolmente più contenuti.

Al fine di agevolare le operazioni di messa a dimora di questo materiale di propagazione a profondità predefinita e secondo sestri di impianto idonei alla coltura, operazioni ancora eseguite su base sperimentale spesso manualmente, il Cra-Ing ha sviluppato un prototipo per il trapianto dei culmi di *Arundo donax* L., in collaborazione con una ditta privata interessata alla sperimentazione.

Le prove di trapianto sono state effettuate in diverse località tra Sardegna, Umbria, Emilia Romagna e Toscana al fine di valutare l'operatività della macchina in differenti condizioni pedoclimatiche, nonché l'applicabilità della metodologia di propagazione. I risultati riportati in questo articolo si riferiscono alle prove sperimentali effettuate nel maggio 2009 presso i campi sperimentali di Marciano della Chiana (AR) dell'Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo e forestale (ARSIA) della regione Toscana.

Verranno di seguito riportate la descrizione dell'operatrice realizzata, l'operatività e il comportamento del materiale di propagazione utilizzato oltre ad alcune considerazioni per lo sviluppo di una potenziale macchina commerciale.

## 2. Descrizione del prototipo

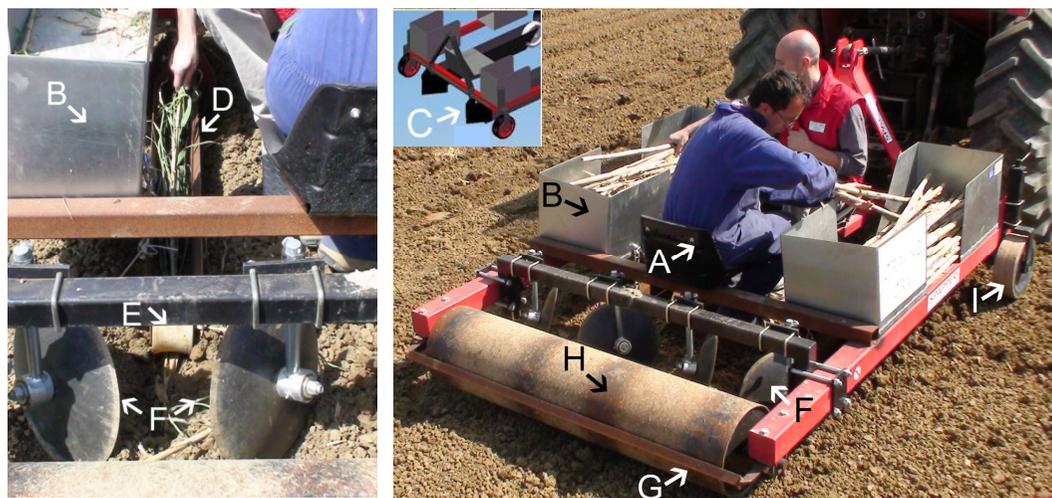
La trapiantatrice sviluppata (foto 1) è una macchina operatrice portata, fissata all'attacco a tre punti posteriore di un trattore. È formata da un telaio principale in profilati metallici sul quale sono fissate alle estremità due contenitori per le talee di fusto e centralmente i sedili per gli operatori. La macchina opera la deposizione di due file simultaneamente con assolcatori anteriori, paratie per mantenere aperto il solco, ruote di compattazione, coppia di dischi e rullo terminale di compattamento per la richiusura del solco.

Gli operatori prendono posto su due sedili (a) rivolti uno di fronte all'altro, dotati di una pedana leggermente inclinata su cui poggiare i piedi. Entrambi introducono manualmente i pezzi di canna, contenuti in due casse laterali in lamiera sagomata (b), che sono posizionati ad una altezza e ad una distanza dall'operatore tali, da ridurre l'affaticamento dello stesso durante il prelievo.

I solchi vengono aperti da due assolcatori a "V" (c) fino ad una profondità di 200 – 250 mm.

Per evitare la ricaduta del terreno in fondo al solco, sono state montate delle paratie in metallo fissate subito dietro gli assolcatori (d), in modo da assecondare l'irregolarità del terreno.

Una ruota folle (e) favorisce il trattenimento della canna in fondo al solco. Questa soluzione risulta particolarmente utile in presenza di materiale non perfettamente lineare (curvature naturali delle canne).



**Foto 1** - Prototipo di trapiantatrice di canna e sue principali componenti: A) sedile; B) cassette laterali per il contenimento dei culmi; C) assolcatori a "V"(visione anteriore); D) paratie in metallo per evitare la ricaduta del terreno nel solco; E) ruote folli per il trattenimento dei culmi nel solco; F) dischi rinalzatori chiudisolco; H) rullo di compattazione; G) profilato per la pulitura del rullo; I) ruote laterali di appoggio folli.

La chiusura dei solchi avviene ad opera di una doppia coppia di dischi convergenti (f).

Infine il prototipo è dotato di un rullo di compattazione (g), di larghezza pari all'ingombro laterale della macchina, che svolge la funzione di comprimere leggermente il terreno precedentemente movimentato, migliorando il contatto tra terreno e fusti interrati. La presenza di un dispositivo raschiante sul rullo impedisce l'adesione del terreno allo stesso (h).

La posizione e l'altezza di lavoro di tutti gli organi sopra descritti sono regolabili per garantire la più ampia adattabilità della macchina alle diverse caratteristiche dei campi su cui l'agevolatrice può trovarsi ad operare.

L'altezza di lavoro viene regolata direttamente dal sollevatore idraulico del trattore e dalla presenza di due ruote folli regolabili in altezza (I).

### 3. Prove sperimentali di trapianto

Le prove sono condotte su una parcella di 600 m<sup>2</sup> ponendo a dimora culmi di canna sezionati in tre parti di lunghezza pari a 1,10 m, provenienti da ecotipi locali prelevati qualche giorno prima da un impianto già presente nel centro ARSIA.

Le porzioni basali ed intermedie dei fusti risultavano caratterizzate da un diametro medio di 17,5 mm, con 4,6 gemme per metro. Le porzioni apicali, invece, mostravano un numero quasi doppio di gemme (8,4 gemme per metro), mentre il diametro medio delle porzioni apicali risultava di poco superiore ai 10 mm.

Il protocollo sperimentale seguito prevedeva quattro tesi con interfila pari a 0,7 m (Tab. 1):

- densità pari ad 1culmo/m, prelevando il materiale dalla porzione basale o intermedia del fusto, ponendo quindi in germinazione 65.780 gemme/ha;
- densità pari a 1,5 culmi/metro, prelevando il materiale dalla porzione basale o intermedia del fusto ponendo quindi in germinazione 98.670 gemme/ha;
- densità pari a 2 culmi/metro, prelevando il materiale dalla porzione basale o intermedia del fusto, ponendo quindi in germinazione 131.560 gemme/ha;
- densità pari a 2 culmi/metro, prelevando il materiale dalla porzione apicale del fusto, ponendo quindi in germinazione 240.240 gemme/ha.

**Tabella 1** - Caratteristiche dei culmi trapiantati secondo le quattro tesi descritte.

Parti del fusto	Diametro Medio (cm)	Gemme (n m <sup>-1</sup> )	Densità Lineare (culmo m <sup>-1</sup> )	Gemme/ha (n)
Porzioni basali o intermedie	1,7	4,7	1	65.780
			1,5	98.670
			2	131.560
Porzioni apicali	1	8,4	2	240.240

Durante la prova sono stati rilevati i tempi di lavoro della macchina al fine di valutare le prestazioni del lavoro effettuato. È stata utilizzata la metodologia ufficiale della Commission Internationale de l'Organisation Scientifique du Travail en Agriculture (Ciosta) con la raccomandazione dell'Associazione Italiana di Genio Rurale (A.I.G.R.) 3<sup>^</sup> R1 (4).

## 4. Risultati

### 4.1. Qualità del lavoro svolto

L'esperienza condotta in campo (foto 2) ha messo in evidenza la validità dell'idea progettuale proposta. Tutti gli organi, da quelli preposti all'apertura e chiusura dei solchi, a quelli per l'interramento del materiale di propagazione ed alla compattazione del terreno, sono risultati ben dimensionati ed efficienti in lavoro (foto 3 e 4).

L'escursione delle viti e dei profilati per le regolazioni in altezza dei diversi organi è risultata sufficiente per l'adattamento della macchina alle diverse condizioni di lavoro incontrate.



**Foto 2** - Prototipo in fase di lavoro. Ogni operatore provvede alla deposizione dei culmi su una singola fila



**Foto 3** - Particolare del fusto di canna interrato a una profondità compresa tra 200 e 250 mm.



**Foto 4** - Profilo superficiale dell'area interessata al trapianto.

Le cassette laterali per il contenimento dei culmi sono risultate di contenuta capacità complessiva, spesso non in grado di garantire una sufficiente autonomia di lavoro, influenzando negativamente sui tempi accessori necessari per il rifornimento.

#### 4.2. Tempi di lavoro

Durante le prove sono state valutate le prestazioni del prototipo (tabella 2). I tempi accessori sono risultati costituiti esclusivamente dai tempi per voltate in capezzagna nella misura del 9,54%, e tempi di rifornimento nella misura di 14,13%.

Non sono stati registrati, invece, tempi di riposo e tempi morti inevitabili.

La macchina ha raggiunto capacità di lavoro operative dell'ordine di 0,10 ha/h con una velocità effettiva di avanzamento di 0,37 m/s.

**Tabella 2** - Tempi standard e operatività della trapiantatrice di canna.

<b>Tempo standard TS</b>		
Tempo effettivo TE	%	76,33
Tempo accessorio TA	%	23,67
- Tempo per voltate TAV	%	9,54
- Tempo per rifornim. o scarichi TAS	%	14,13
- Tempo per manutenzione TAC	%	0
Tempo di riposo TR	%	0
Tempo morto inevitabile TMI	%	0
<b>Tempo standard</b>	<b>%</b>	<b>100</b>
<b>Operatività della macchina</b>		
Rendimento operativo Ro	%	76,33
Velocità effettiva ve	m/s	0,37
Velocità operativa vo	m/s	0,28
Capacità di lavoro effettiva	ha/h	0,12
Capacità di lavoro operativa	ha/h	0,10

## 5. Conclusioni e discussioni

Le prove effettuate in campo hanno dimostrato sia la validità dell'idea progettuale che la buona funzionalità della macchina proposta per la massa a dimora delle sezioni di fusto. Si può sottolineare come la funzione del prototipo proposto sia stata quella di agevolare la costituzione di parcelle sperimentali, al fine di valutare la validità e la sostenibilità della metodologia di impianto proposta. Un certo limite è stato riscontrato sulla capacità di lavoro piuttosto ridotta (0,1ha/h) principalmente imputabile all'alimentazione manuale della macchina ma comunque migliore rispetto alla messa a dimora completamente manuale fino ad ora seguita comprensiva anche di apertura e chiusura solchi. Il passo successivo consisterà nello sviluppare un nuovo prototipo di trapiantatrice, costruito sulla base della metodologia sperimentata e in grado di lavorare su non meno di 6 file (larghezza di lavoro 4,20 m). Importante sarà inoltre dotare la macchina di contenitori di culmi più capienti, al fine di ridurre i tempi accessori di rifornimento, prevedendone anche un terzo supplementare, da posizionarsi magari superiormente al rullo di compattazione. Il sistema di prelievo ed interrimento dovrebbe inoltre essere automatizzato, con aumento delle velocità di lavoro e vista la generale regolarità del materiale di propagazione tale applicazione non dovrebbe incontrare particolari difficoltà. Sembra inoltre consigliabile la sostit-

tuzione del rullo posteriore integrale con specifici rulli sagomati per ogni fila di lavoro in grado di effettuare la baulatura del terreno sulla singola fila.

In caso di affermazione di questa metodologia di impianto sarà necessario sviluppare la meccanizzazione della preparazione delle sezioni di fusto che dovrebbe contemplare una ulteriore macchina per la raccolta e la depezzatura delle canne in piedi, al fine di produrre materiale di propagazione con le caratteristiche idonee. Anche questa operazione viene attualmente eseguita manualmente con un considerevole impiego di manodopera e tempo.

## **Bibliografia**

- Angelini L.G., Ceccarini L., Bonari E. Biomass yield and energy balance of giant reed (*Arundo donax L.*) cropped in central Italy as related to different management practices. *Europ. J. Agronomy*. 2005, 22, pp. 375-389.
- Bolli P., Scotton M. Lineamenti di tecnica della meccanizzazione Agricola. Edagricole, 1987.
- Cosentino S., Foti S., Venturi G., Giovanardi R., Copani V., Mantineo M., D'Agosta G., Bezzi G., Mazzocco G.T., Colture erbacee poliennali da biomassa per energia di possibile coltivazione in Italia. *Agroindustria*. 2005, Vol. 4, 1, pp. 35-48.
- Di Candilo M., Ceotto E. La coltivazione della canna comune (*Arundo donax L.*) ad uso energetico nel nord Italia.

---

## e - Meccanizzazione della raccolta del prodotto trinciato di canna comune (*Arundo donax* L.)

*Harvest mechanization of chopped forage of giant  
reed (Arundo donax L.)*

**Luigi Pari\***, **Alessandro Suardi\***,  
**Vincenzo Civitarese\***, **Elisabetta Giannini\***

### **Riassunto**

Lo sviluppo di una agro-filiera è strettamente legato alla presenza di una efficiente meccanizzazione. Questo aspetto risulta essere tanto più importante quanto più i prodotti ottenibili abbiano un basso valore economico e una ridotta concentrazione energetica, come per le biomasse destinate alla produzione di calore e/o elettricità. L'*Arundo donax* è una coltura energetica poliennale molto interessante, sia in termini di produttività che di bassi input necessari per la sua crescita. La sua diffusione risulta comunque ancora limitata per motivi imputabili anche alle problematiche riscontrate nella meccanizzazione di alcune fasi della filiera. Normalmente la raccolta risulta essere una fase cruciale e che si concentra sull'ottenimento del massimo profitto con le minime perdite. Nella canna questa può essere fatta tramite trinciatura del prodotto fresco o imballatura della biomassa trinciata. Il CRA-ING ha testato entrambi i metodi di raccolta e in questo articolo sono riportati i risultati delle prove di raccolta effettuati presso i campi sperimentali dell'ARSIA a Marciano della Chiana (AR) nel biennio 2009-2010, evidenziando le problematiche riscontrate, le possibili soluzioni e indicando la strada per future ricerche finalizzate a migliorare la qualità del prodotto ottenibile e le performance di raccolta.

**Parole chiave:** *Arundo donax*, raccolta, falciatrinciaticaricatrice, Claas Jaguar 850, Nobili BNU 160AD, colture energetiche.

---

\* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

## Abstract

*The development of agricultural supply chain depends closely on the presence of efficient mechanization. Efficient mechanization process is as, if not more, important for supply chains that have products with low economic value and low energy concentration as the biomass collected for heat and/or electricity. Reed giant (*Arundo donax* spp., L.) is a promising energy crop in terms of both yield and low inputs necessary for growing. Its geographical diffusion for bio-energy is limited due to improvements necessary in some mechanization aspects in some stages of its supply chain. Harvesting is a crucial phase that focuses on the maximum yield with the minimum losses. *Arundo donax* could be collected in two ways; self propelled forage harvester or bailing the chopped forage. CRA-ING on Marciano della Chiana (AR) experimental fields, in 2009 and 2010, tested both harvesting systems highlighting problems and outlining possible solutions in future potentials for studies to improve biomass quality and harvesting performance.*

**Keywords:** *Giant reed, harvesting, self-propelled forage harvester, energy crops, Claas Jaguar 850, Nobili BNUI60AD.*

---

## 1. Introduzione

Le operazioni di raccolta della canna comune, che nel bacino del Mediterraneo vengono fatte tra dicembre e febbraio, coincidono con la fine dell'attività vegetativa e l'inizio della defogliazione della pianta. A partire dall'autunno i fusti, che intanto hanno raggiunto il massimo sviluppo, iniziano a seccarsi.

È stato osservato come una raccolta più tardiva comporti una perdita di biomassa nell'ordine del 5-10% legata alle perdite dell'apparato fogliare e apicale (Arsia, 2004). Essendo queste parti più ricche di silice, elemento che peggiora la qualità della biomassa in fase di combustione, ne consegue un prodotto finale migliore da un punto di vista qualitativo. Inoltre una raccolta posticipata comporta un minore contenuto di umidità e più alto contenuto energetico della biomassa.

Fino ad ora la canna non è stata coltivata a livello intensivo e le caratteristiche morfologiche della coltura non sempre coincidono con i parametri costruttivi su cui le convenzionali macchine agricole sono state progettate. Esperienze di raccolta meccanizzata in passato sono state portate avanti con successo attraverso falcia-trincia-caricatrici normalmente impiegate per le colture da foraggio, riscontrando i migliori risultati con macchine dotate di testate prive di file (tipo "Kemper") che permettevano tempi di raccolta di poco superiori all'ora per ettaro (Arsia, 2004).

Nell'ambito del progetto SUSCACE, l'Unità di Ingegneria Agraria del CRA (CRA-ING) nel biennio 2009-2010, presso i campi sperimentali del centro ARSIA<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel Settore Agricolo Forestale.

di Marciano della Chiana (AR), ha valutato l'operatività di due differenti cantieri per la raccolta dell'*Arundo donax*:

- falcia-trincia-caricatrice Claas Jaguar 850 con testata da mais di serie Claas RU 450 XTRA;
- trinciatrice della ditta Nobili BNU 160 AD ancora in fase di sviluppo e rotoimballatrice a rulli e camera fissa RP 320 Farmer della ditta Welger

Rispetto al condizionamento e raccolta in rotoballe, la trinciatura ha il vantaggio di avere, nella biomassa finale, una percentuale di impurità più contenuta e di non dover provvedere alla fase di pretrattamento (apertura della balla e cippatura del prodotto) prima della combustione. Va comunque ribadito che l'imballatura offre alcuni importanti vantaggi. Innanzitutto facilita la movimentazione del residuo, perché ne diminuisce l'ingombro e lo organizza in unità omogenee per forma e dimensioni. Questo consente di sfruttare meglio la capacità di carico dei mezzi destinati al trasporto, prolungandone il raggio economico di azione. Inoltre, l'imballatura facilita uno stoccaggio prolungato, perché le balle occupano meno spazio del residuo sfuso e non presentano i problemi di fermentazione del cippato (Lehtikangas *et al.*, 1998).

Obiettivo delle prove è stato quello di valutare la fattibilità tecnica dei due differenti sistemi di raccolta dell'*Arundo donax* e gli eventuali limiti operativi riscontrabili.

## 2. Materiali e Metodi

### 2.1. Rilievi sulla coltura

Le prove di raccolta sono state effettuate su una superficie netta di 0,32 ha, suddivisa in 4 parcelle di terreno con lunghezza media di 67 m e larghezza di 12 m.

I rilievi sulla coltura, sia nella fase che precede la raccolta che in quella successiva (determinazione della qualità del lavoro svolto dalle raccogliatrici) sono stati effettuati su 10 m<sup>2</sup> scelti in modo randomizzato sull'intera area raccolta, riportando il risultato all'ettaro. Si sono determinate la densità (piante/ha) l'altezza e il diametro medio delle piante nonché la biomassa raccogliabile.

### 2.2. Valutazione della qualità del lavoro

La valutazione della qualità del lavoro è stata fatta attraverso la determinazione delle perdite di raccolta, stimate pesando tutto il materiale lasciato a terra dalle imballatrici (falcia-trincia-caricatrice e rotoimballatrice). Inoltre sono state valutate la qualità del taglio e dei danni provocati al suolo che sono stati stimati attraverso la misurazione dell'approfondimento dei pneumatici.

### 2.3. Classificazione del prodotto raccolto

Il prodotto trinciato e non imballato è stato classificato seguendo la metodologia ufficiale proposta nelle Specifiche Tecniche del Comité Européen de Normalisation (TS/CEN), dalla fase di campionamento allo svolgimento delle prove di laboratorio.

Sulla base dei campioni raccolti sono stati determinati i seguenti parametri:

- massa volumica apparente del trinciato;
- umidità del trinciato;
- granulometria.

### 2.4. Studio dei tempi di lavoro

Lo studio dei tempi ha lo scopo di valutare le prestazioni delle macchine in fase di lavoro. La metodologia utilizzata è quella ufficiale della Commission Internationale de l'Organisation Scientifique du Travail en Agriculture (Ciosta) con le raccomandazioni dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria (AIIA) (Bolli *et al.*, 1987).

### 2.5. Descrizione dei cantieri di raccolta

Nel marzo 2009 la raccolta della canna comune è stata effettuata utilizzando una falcia trincia caricatrice Claas Jaguar 850 equipaggiata con testata di serie Claas RU 450 XTRA (foto 1).



**Foto 1** - Falcia trincia caricatrice Claas Jaguar 850 equipaggiata con testata di serie Claas RU 450 XTRA.

Il materiale, una volta trinciato veniva caricato durante le operazioni di raccolta in due trattrici con rimorchio: un dumper Zaccaria da 21 m<sup>3</sup> a due assi accoppiati portato da un Fendt Farmer 816 da 160 CV (118 kW) e un secondo carro, un Vagnoni trainato da un Fiat 90-90 da 90 CV (67,1 kW).

Il cantiere di raccolta adottato nel marzo 2010 prevedeva invece un'operazione di trinciatura del prodotto in piedi e successiva imballatura. Questo era costituito dal prototipo per la trinciatura delle colture erbacee da biomassa BNU 160 AD della Nobili (foto 2) abbinato frontalmente al trattore Farmer 312 di 92 kW di potenza. L'imballatura era stata effettuata tramite rotoimballatrice RP 320 Farmer della Welger a camera fissa (foto 3) abbinata al trattore Same Iron 150.7 di 110 kW di potenza.



**Foto 2** - Prototipo per la trinciatura delle colture erbacee da biomassa BNU 160 AD della Nobili.



**Foto 3** - Rotoimballatrice RP 320 Farmer della Welger a camera fissa.

### 2.5.1. falcia-trincia-caricatrice Claas Jaguar 850 e testata Claas RU 450 XTRA

La testata di serie RU 450 XTRA applicata alla trinciatrice semovente della Claas, lavora indipendentemente dalle file ed ha una larghezza di lavoro di 4500 mm.

Le trasmissioni sono composte da gruppi di ingranaggi a bagno d'olio che comandano tre dischi rotanti a tre gradini muniti di coltelli autofilettanti. Questi tagliano le piante assicurando un flusso uniforme del materiale che viene mandato, tramite due rulli dentati verticali di convogliamento, alla bocca di alimentazione. La macchina è una trinciatrice semovente azionata da un motore Daimler Chrysler a 6 cilindri in linea, 12,8 litri di cilindrata, gamma OM 060 LA, che eroga una potenza massima di 412 CV (303 kW).

Sotto la cabina e di seguito ai gruppi di alimentazione della testata, è posto l'apparato trinciante costituito da un tamburo ad asse orizzontale largo 750 mm, con diametro di 630 mm, sul quale sono disposte a V due file sfalsate di coltelli. Il tam-

buro ha un regime fisso di rotazione di 1200 giri/min e durante la prova erano montati tutti e 24 i coltelli.

Questi ultimi sono installati in posizione inclinata rispetto all'asse del tamburo, quindi anche rispetto al contro coltello, in modo da sottoporre il materiale ad un taglio a forbice che permette di ridurre l'energia richiesta dall'operazione di trinciatura.

Grazie alla spinta ricevuta dall'acceleratore di lancio, di 680 mm di larghezza, il materiale viene convogliato verso il collo d'oca posteriore. Quest'ultimo ha un brandeggio verticale ed orizzontale ad angolo di 190°, ed è dotato di paratoie direzionali di flusso a regolazione elettromeccanica (tabella 1).

**Tabella 1** - Caratteristiche Claas Jaguar 850.

Descrizione	Unità di misura	Valori
Motore	tipo	Daimler Chrysler OM 460 LA
Cilindri	nr.	6 in linea
Potenza motore (ECE R24) a 1.800 g/min	kW (CV)	303 (412)
Cilindrata	litri	12,8
Giri motore (al lavoro)	giri/min	2.000
Serbatoio carburante + serb.supplementare (a richiesta)	litri	850 + 150
Trazione integrale meccanica con cardano		idrostatico
Abbassamento automatico + carico al suolo CONTOUR		3,80/3,00
Larghezza della cassa d'introduzione	mm	730
Rulli d'introduzione e di precompressione		4
Velocità di introduzione		6
6 marce mecc., lungh.di trinciatura con 20-24-28 coltelli	mm	4/5,5/7/9/14/17 = 24 coltelli
Tamburo di trinciatura		
Larghezza	mm	750
Diametro	mm	630
Giri	g/min	1.200
Disposizione dei coltelli		sfalsati a V
Numero dei coltelli		20/24/28
Acceleratore di lancio, larghezza	mm	680
Gomito di lancio con sicurezza contro gli urti		
Angolo di brandeggio del gomito di lancio	gradi	190
Lunghezza di trasporto	mm	6.431
Lunghezza di lavoro	mm	5.921
Larghezza di trasporto secondo pneumatici	mm	2.990/3.295/3.480/3.995
Altezza in fase di trasporto	mm	3.728
Altezza in fase di lavoro	mm	5.600
Peso	kg	10.840
Pneumatici		540/65-R24 - 700/50-26.5

La Claas 850 in fase di lavoro era stata regolata per tagliare la coltura ad un'altezza di 300 mm. L'altezza di taglio media in campo è risultata essere di 278,70 mm (dev. st.  $\pm 8,8625$ ).

Il rapporto di introduzione della biomassa, che permette alle falcia-tricia-caricatrici della Claas di scegliere la pezzatura del prodotto trinciato in funzione della velocità di entrata del materiale, era stato impostato al terzo e ultimo rapporto previsto dalla macchina, che permetterebbe di ottenere un trinciato, con rullo di serie a 24 coltelli, di dimensioni compresi tra i 19 mm ed i 21 mm (indicazioni Claas).

### 2.2.2. trinciatrice BNU 160 AD e rotoimballatrice Welger RP 320 Farmer

La trinciatrice Nobili BNU 160 AD è una macchina in fase di sviluppo della larghezza totale rilevata di 1.800 mm (la larghezza effettiva di lavoro è di 1.600 mm) e di una lunghezza, compreso l'organo abbattitore regolabile, di 2.500 mm; la massa complessiva è di 605 kg. I principali aspetti dimensionali sono riportati in tabella 2.

**Tabella 2** - Principali aspetti dimensionali della trinciatrice Nobili BNU 160 AD.

Descrizione	Unità di misura	Valori
Larghezza	mm	1.800
Lunghezza (profondità)	mm	2.500
Altezza	mm	560
Peso	kg	605
Potenza richiesta alla pdp	kW	26-37
Larghezza Pick-up	mm	1.600
Organi di lavoro coltelli	n°	32



**Foto 4** - Particolare dell'organo trinciante della Nobili BNU 160 AD.

La trinciatrice anteriormente presenta una barra orizzontale avente la funzione di inclinare e convogliare le piante nella direzione di avanzamento della macchina, facilitandone l'ingresso verso il rotore a mazze rialzato, che effettua sia il taglio che la trinciatura delle piante. L'organo trinciante della macchina ha 16 coppie di coltelli disposti alternativamente (foto 4). È possibile modificare l'ampiezza della camera di trinciatura tramite un martinetto idraulico azionabile dalla cabina del trattore per aumentare o diminuire la pezzatura del trinciato.

Il prodotto trinciato è stato in fine imballato tramite una rotoimballatrice Welger RP 320 Farmer che presenta una camera di compressione di tipo fisso con sistema a rulli; ha una larghezza totale di 2.480 mm, un'altezza di 2.700 mm e una lunghezza di 4.750 mm, mentre il peso complessivo della macchina è di 3.230 Kg. La potenza minima richiesta dall'operatrice è di 50 kW di potenza per poter funzionare in modo ottimale, e il giorno della prova è stata abbinata ad una trattrice Same Iron 150.7 di 110 kW di potenza. Il pick-up, caratterizzato da un diametro di 300 mm, lavora su un fronte di 2.200 mm ed è azionato da una trasmissione sdoppiata che ripartisce la potenza ai diversi organi in funzione dell'effettiva richiesta istante per istante. In tabella 3 sono riportati i principali parametri dimensionali della rotoimballatrice Welger.

**Tabella 3** - Caratteristiche della Welger RP 320 Farmer.

Descrizione	Unità di misura	Valori
Larghezza	mm	2.480
Lunghezza (profondità)	mm	2.700
Altezza	mm	4.750
Peso	Kg	3.230
Potenza richiesta alla pdp	kW	47
Larghezza Pick-up	mm	2.200
Distanza tra i denti esterni	mm	1.860
File di denti	n°	4
Denti per fila	n°	30
Distanza tra i denti	mm	64

La camera di pressatura è composta da 18 rulli a profilo scanalato ognuno dei quali ha un diametro di 220 mm. I rulli vengono trascinati, tre per volta, da catene costantemente ingrassate. Il portellone posteriore, sollevato da due pistoni a semplice effetto, dispone di due archetti che fungono da guide per garantire una corretta chiusura. La chiusura è resa possibile grazie a due perni montati su una feritoia e fissati con due rondelle. I ganci, che permettono al portellone di aprirsi parzialmente, servono a controllare la densità. Durante la pressatura, il portellone si apre in parte e un senso-

re misura la distanza che lo separa dal gancio. Non appena il valore registrato si fa elevato (densità raggiunta), il sensore invia i dati al sistema di comando elettronico ed inizia la legatura.

La Welger RP 320 prevede sia il sistema di legatura a spago che quello a rete. Nella prova le rotoballe erano legate con lo spago. Il sistema a spago è composto da un motore elettrico usato per dar inizio al ciclo di legatura e da due carrelli comandati meccanicamente. Lo spago, mentre si srotola, passa nella puleggia del variatore di trasmissione dei carrelli. La legatura inizia dai lati della palla per poi terminare al centro. La variazione del numero di giri di spago si ottiene per tentativi, modificando il diametro della puleggia del variatore tramite una rotellina. Il sistema di legatura è posizionato in alto, davanti alla pressa.

Nella foto 5 è mostrato un particolare dei rulli scanalati che consentono di pressare il trinciato e formare la rotoballa (foto 6).



**Foto 5** - Particolare della rotoimballatrice Welger.



**Foto 6** - Prodotto finale trasformato in balla.

### 3. Risultati

#### 3.1. Caratteristiche morfologiche e produttive della coltura

Le prove di raccolta sono state effettuate presso i campi sperimentali dell' ARSIA, nel Comune di Marciano della Chiana in provincia di Arezzo.

La coltura, costituita da ecotipi provenienti dall'Emilia Romagna, dalla Sardegna e dalla provincia di Arezzo e Firenze, era stata impiantata nell'aprile del 2006 attraverso il trapianto di rizomi con sestri d'impianto 0,75m x 0,65m e 0,75m x 1,3m. Il primo anno sono state eseguite concimazioni, diserbi e una irrigazione di soccorso (tabella 4).

**Tabella 4** - Operazioni colturali effettuate sull'impianto (Dati ARSIA).

Operazione colturale	Descrizione	Data
Lavorazioni del terreno	Aratura	11/08/2005
	Frangizollatura	30/09/2005
	Erpicoltura	25/01/2006
	Rotoerpicoltura	12/02/2006
	Fresatura interfilare	21/07/2006
Concimazione pre-impianto	Ternario 12-6-18 (5,5 q/ha)	14/02/2006
	Superfosfato triplo (2 q/ha)	
Concimazione localizzata	Urea ( 1,7 q/ha)	18/04/2007
Diserbo	Dicotilenicidi	22/05/2006
		26/04/2007
Trapianto	Manuale (con rizoma)	Dal 29/03 al 12/04/2006
Irrigazione	Aspersione: 1 int. di soccorso (200 m <sup>3</sup> /ha)	31/07/2006
	1° taglio	16-17/04/2007
Raccolta	2° taglio	04/03/2008
	3° taglio	05/03/2009
	4° taglio	24/03/2010

**Tabella 5** - Descrizione dell'impianto di Arundo donax, caratteristiche morfologiche e dati produttivi medi della coltura.

Descrizione	Unità di misura	Prove di raccolta 2009	Prove di raccolta 2010
Superficie di sperimentazione	ha	0,35	0,35
Età dell'impianto	anni	3	4
n° di piante a m <sup>2</sup>	p/m <sup>2</sup>	18	21
n° massimo di piante riscontrato a m <sup>2</sup>	p/m <sup>2</sup>	22	31
Altezza media culmi	m	4,19	3,52
Diametro medio culmi	mm	19,23	15,52
Altezza massima culmi riscontrata	m	6,20	4,65
Diametro massimo culmi riscontrato	mm	32	17,5
Peso medio di una pianta	kg	0,40	0,13
Altezza di taglio media	mm	278,6	130
Umidità alla raccolta	%	51	48,9
Produzione media	t/ha	46,79	26,2
Produzione di s.s. media	t s.s./ha	22,92	13,38
Perdite complessive stimate	t/ha	1,34	8
Perdite complessive stimate di s.s.	t s.s./ha	0,68	4,08

Nel marzo 2009, a tre anni dall'impianto la coltura risultava ben sviluppata e al momento della raccolta aveva una media di 18 piante/m<sup>2</sup>; le piante mediamente erano alte 4,19 m (altezza massima riscontrata 6,20 m) ed avevano un diametro medio al taglio di 19,23 mm (diametro massimo riscontrato 32 mm). Nel 2010, al momento

della raccolta è stata riscontrata una densità media di 21 piante/m<sup>2</sup> con un'altezza media di circa 3,52 m (l'altezza massima rilevata è stata di 4,65 m), mentre è stato riscontrato un diametro medio al taglio pari a 15,52 mm (il diametro massimo da noi riscontrato è stato di 17,50 mm). (tabella 5).

### 3.2. Tempi di lavoro

**Tabella 6** -Tempi operativi e rendimenti delle macchine: falcia-trincia-caricatrice Claas Jaguar 850 (A), della trinciastocchi Nobili BNU 160 AD (B) e della rotoimballatrice Welger RP 320 Farmer (C).

Descrizione	Unità di misura	A	B	C
Tempo effettivo	%	72,29	79,6	60,27
Tempo per voltare	%	27,21	20,4	12,02
Tempo operativo	%	100	100	100
Rendimento operativo	%	72	80	60,29
Velocità effettiva	m/s	0,52	1,5	0,90
Velocità operativa	m/s	0,37	1,19	0,54
Capacità di lavoro effettiva	ha/h	0,55	0,89	0,73
Capacità di lavoro operativa	ha/h	0,39	0,69	0,44
Tempo per legatura e scarico	%	//	//	27,70
Produzione oraria operativa	t/h	18,25	//	12,00

Nella tabella 6 sono riportati i tempi rilevati durante la raccolta dell'Arundo donax con i due cantieri testati. Durante la raccolta con la falcia trincia caricatrice 850 Claas equipaggiata con testata di serie RU 450 XTRA che, si ribadisce, è stata sviluppata e progettata per funzionare al meglio con colture più simili al mais, i tempi accessori sono risultati costituiti da tempi per voltate in capezzagna nella misura del 28%. Non sono stati registrati, ingolfamenti, tempi di riposo ne tantomeno tempi morti inevitabili anche se, durante la raccolta, a causa dell'elevata quantità di biomassa, della consistenza del materiale e per la crescita delle piante non sempre ortogonale al terreno delle piante (diversa rispetto allo sviluppo ordinato di una coltura di mais) il lavoro risultava rallentato, costringendo l'operatore ad eseguire, di tanto in tanto, retromarce per disintrecciare il prodotto. Sulla base della velocità operativa e di quella effettiva è stato possibile calcolare il rendimento operativo che risulta essere pari al 72% del tempo operativo. La macchina, lavorando ad una velocità operativa di 0,37 m/s (1,34 km/h), ha raggiunto capacità di lavoro operative dell'ordine di 0,39 ha/h. Poiché la produzione è risultata pari a 46,79 t/ha di biomassa fresca, la produzione oraria operativa è stata pari a 18,25 t/h di biomassa (tabella 6-A – foto 7).

Nella prova di raccolta avvenuta nel marzo 2010 il cantiere era costituito da una trinciatrice Nobili e da una rotoimballatrice Welger. Per quanto riguarda la trinciatrice della Nobili i tempi accessori sono risultati essere rappresentati, esclusivamente, dai tempi per le voltate quantificabili in circa il 20,4% del totale. Inoltre, lavoran-

do ad una velocità operativa di 1,19 m/sec (4,28 Km/h), la capacità di lavoro operativa raggiunta è stata pari a 0,69 ha/h, mentre la produzione oraria operativa è stata di 24,40 t/ha (tabella 6-B- foto 8).



**Foto 7** - Falcia-trincia-caricatrice Claas 850 in fase di raccolta.



**Foto 8** - Trinciante Nobili BNU 160 AD in fase di raccolta.

I tempi della rotoimballatrice Welger per le voltate in capezzagna sono stati del 12,02% del tempo operativo totale. È stata inoltre riscontrata una velocità operativa di 0,54 m/s (1,95 Km/h) ed una velocità effettiva di 0,90 m/s (3,24 Km/h), mentre i tempi per la legatura e lo scarico delle balle sono stati del 27,7% del tempo operativo totale. Procedendo ad una velocità operativa di 0,54 m/s ha raggiunto una capacità di lavoro operativa di 0,44 ha/h, mentre la produzione oraria operativa è stata di circa 12 t/h. Per la Welger è stato ottenuto un rendimento operativo del 60,29% (tabella 6-C).

### 3.3. Qualità del lavoro svolto

#### 3.3.1. Perdite stimate, qualità del lavoro svolto e del prodotto raccolto dal cantiere con falcia-trincia-caricatrice Claas 850

La testata Claas RU 450 XTRA taglia i fusti di Arundo donax in maniera non netta ma sfrangiata, aspetto positivo da un punto di vista tecnico, limitando il rischio di foratura delle gomme delle macchine in fase di raccolta. Il cippato prodotto dagli organi trincianti è risultato particolarmente fine con massa volumica media del materiale fresco pari a 223,34 kg/m<sup>3</sup>. La dimensione del trinciato, essendo il regime di rotazione fisso a 1200 giri/min, dipende dal numero dei coltelli inseriti sul rullo e dalla velocità degli organi di alimentazione. Dall'analisi granulometrica effettuata su 8 campioni di trinciato da 250 g l'uno, è risultato che poco più della metà è rappresentato per il 52,04% dalla classe dimensionale che va da 6,3 a 12,5 mm (inferiore rispetto alle dimensioni attese).

Il cippato di dimensioni maggiori è rappresentato da un'esigua quantità di materiale (0,36%), e per comodità di lettura è stato raggruppato, graficamente, in un'unica classe dimensionale costituita da elementi di grandezza variabile tra i 25 e 125 mm (tabella 7 - foto 9).

**Tabella 7** - Classi granulometriche del trinciato di *Arundo donax* raccolto dalla Claas Jaguar 850 - rotore CLAAS RU450Xtra.

Ø (mm)	Peso (g)	%
>125	0,0	0,00
100 e 125	0,2	0,01
50 a 100	2,4	0,12
25 a 50	4,6	0,23
12,5 a 25	276,4	13,82
6,3 a 12,5	1040,8	52,04
3,15 a 6,3	453,0	22,65
< 3,15	222,6	11,13
Sovra misure	0,0	0,00
Impurità	0,0	0,00
TOTALE	2000,0	100,00



**Foto 9** - Trinciato prodotto dalla falcia-trincia-caricatrice Claas 850.

Le perdite di prodotto non raccolto, stimate in funzione dell'altezza di taglio media di 278,6 mm, sono risultate di 0,85 t/ha. Se sommate alle perdite di prodotto tagliato ma non trinciato, si stima una perdita complessiva di biomassa fresca di 1,34 t/ha corrispondente a 0,68 t s.s./ha. Ciò significherebbe una perdita stimata di biomassa inferiore al 2%.

Infine i danni al terreno provocati dal cantiere possono considerarsi di media entità, con una profondità dei solchi di 60 mm.

### 3.3.2. Perdite stimate, qualità del lavoro svolto e del prodotto raccolto dal cantiere con trinciatrice Nobili e rotoimballatrice Welger

Dai rilievi effettuati è stato possibile riscontrare un'altezza media di taglio di circa 130 mm, mentre l'altezza delle andane (distanziate tra loro di 1 m), dopo il passaggio della trinciatrice, era in media di 280 mm (foto 10).



**Foto 10** - Andane prodotte al passaggio della trinciatrice Nobili BNU 160 AD.



**Foto 11** - Trinciato ottenuto dalla Nobili BNU 160 AD.

Il prodotto non raccolto si è potuto stimare in circa 8 t/ha, (4,08 t/ha s.s.). Questa perdita stimata di biomassa risulta essere circa il 30% della biomassa totale prodotta.

Il prodotto derivante dalla trinciatura dei culmi risultava di una elevata variabilità dimensionale (foto 11). Aspetto, quest'ultimo, che comunque non ha pregiudicato la successiva fase di formazione della rotoballa.

Le balle, legate con il filo sintetico, venivano espulse e lasciate in terra; esse presentavano mediamente un diametro di 1.600 mm, una larghezza di 1.250 mm ed un peso di 560 Kg. Il volume medio di una balla era di 2,15 m<sup>3</sup>. Le balle si presentavano solide, compatte e regolari. Il sistema di legatura della Welger, in effetti, è caratterizzato da un particolare meccanismo che aumenta i giri del filo sintetico presso le estremità della balla evitando l'effetto di sfaldamento dei bordi.

Per quanto concerne i danni causati al terreno dal passaggio delle macchine operatrici, questi possono essere considerati di entità trascurabile visto che per i solchi lasciati dalla trattrice equipaggiata con la trinciatrice Nobili è stata rilevata una profondità di circa 25 mm, mentre per i solchi dovuti alla trattrice equipaggiata con la rotoimballatrice la profondità media misurata è stata di circa 28 mm.

## 4. Discussione e Conclusioni

Dall'esperienza di raccolta dell'Arundo donax tramite i due cantieri studiati si sono evidenziati alcuni aspetti interessanti da approfondire. Dall'esperienza di raccolta

del 2009 con la falcia-trincia-caricatrice Claas Jaguar 850 con testata di serie Claas RU450Xtra il materiale trinciato risultava di dimensioni estremamente ridotte. Questo potrebbe rappresentare un problema in caldaia durante la fase di combustione a causa del trasporto, con l'aria primaria, del materiale più leggero incombusto. Inoltre durante lo stoccaggio in cumuli, materiale ligno-cellulosico molto fine, può comportare un rallentamento del flusso degli scambi gassosi all'interno del cumulo, provocando anche l'allungamento dei tempi di disidratazione del cippato.

Di conseguenza la biomassa stoccata sarà più soggetta a degradazioni anaerobiche con conseguente perdita di prodotto. Sono tuttavia ancora da verificare sperimentalmente i fenomeni fermentativi che potrebbero instaurarsi nel cippato di canna stoccato in cumuli.

La fase di stoccaggio è infatti fondamentale per garantire la più alta qualità possibile del combustibile, fino al suo utilizzo per la conversione energetica.

Gli studi futuri relativi a questa tipologia di cantiere dovranno quindi puntare sullo sviluppo di testate più adatte alla coltura della canna che permettano di raggiungere migliori performance; inoltre bisognerebbe aumentare le dimensioni del cippato al fine di ridurre al minimo le problematiche legate al trasporto, stoccaggio e conversione energetica già descritte.

Per quest'ultimo aspetto una via potrebbe essere quella di ridurre il numero di coltelli del rotore al fine di arrivare ad un prodotto di maggiori dimensioni e presumibilmente anche di maggiore qualità. Un'altra soluzione potrebbe essere quella di utilizzare trincia raccogliatrici Claas Jaguar equipaggiate con il rotore messo a punto dal Cra-ing già testato nella cippatura del pioppo.

Dall'esperienza acquisita durante i test di raccolta del 2010 con il cantiere costituito da trinciatrice Nobili BNU 160 AD e rotoimballatrice Welger RP 320 Farmer si è evidenziata una produzione ad ettaro non molto elevata. Probabilmente questo dato è imputabile sia ad un scarso sviluppo colturale riscontrato per quell'anno, sia dalle perdite di produzione che, secondo quanto emerso dalle stime di campo e dal confronto con i tecnici ARSIA, sono risultate piuttosto elevate (8 t/ha).

Al fine di ridurre le perdite di raccolta, si potrebbe intervenire principalmente sugli aspetti propriamente legati alle macchine operatrici. Ad esempio, anche se l'altezza media di taglio della trinciatrice non sia risultata eccessiva (130 mm), si potrebbe prevedere di abbassarla ulteriormente modificando l'impostazione dell'organo di taglio, con conseguente aumento della biomassa raccogliabile.

Per quanto riguarda la qualità del prodotto raccolto, risulta evidente come la trinciatura e la successiva rotoimballatura determinano la presenza, nella biomassa finale, di una percentuale di impurità a volte anche elevata rispetto a quanto si ottiene utilizzando macchine operatrici che determinano una trincia-caricatura del prodotto. Questo aspetto risulta essere molto importante nel caso di conversione termochimica della biomassa. A tal proposito sono previste specifiche prove al fine di definire l'esatta percentuale di contaminazione di materiale estraneo alla sostanza secca raccolta.

## 5. Ringraziamenti

Si ringrazia per la collaborazione il centro ARSIA per il collaudo e il trasferimento dell'innovazione di Marciano della Chiana (AR) dove si sono svolte le prove di raccolta dell'Arundo donax presso i campi sperimentali realizzati nell'ambito della collaborazione con la società PowerCrop e con il supporto scientifico della Scuola Superiore di Studi Universitari e di Perfezionamento Sant'Anna di Pisa.

### **Bibliografia**

- ARSIA. 2004. Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy farm. Quaderno Arsia, 6/2004, pp. 51-52
- Bolli P., Scotton M., 1987 – Lineamenti di tecnica della meccanizzazione Agricola. Edagricole.
- Lehtikangas e Jirjis. 1998 - Storage of logging residues in bales. Atti del Convegno "Biomass for Energy and industry". pp. 1013-1015.

# 4

## *Valutazioni economiche*



---

## a - Valutazioni economiche: *Arundo donax* L. (canna comune)

*Economic evaluation: Arundo donax L. (giant reed)*

**Domenico Coaloa\*, Alessandra Grignetti\***

### **Riassunto**

La riduzione della coltivazione della barbabietola ha portato alla conversione di migliaia di ettari di terreno agricolo a colture energetiche dal 2008. Grazie al progetto nazionale di ricerca “SuSCACE”, a supporto tecnico-scientifico per la conversione delle coltivazioni agricole verso colture energetiche, è stato possibile raccogliere ed elaborare dati sulle colture energetiche attualmente esistenti. Il database è attualmente costituito da 2.969 ettari coltivati in 386 appezzamenti, sono coinvolte 312 aziende agricole dislocate in 11 regioni d’Italia. I risultati ottenuti riguardano le superfici investite a ciascuna coltura, il relativo numero di campi e la loro distribuzione regionale, le produzioni, i costi di coltivazione e di produzione il bilancio economico. I dati raccolti riguardanti tutte le operazioni colturali agricole, gli input energetici ha permesso di stimare l’impatto ambientale e il bilancio energetico delle diverse colture. Le produzioni ottenute per le colture annuali da biomassa e le oleaginose sono risultate mediamente buone con differenze significative a livello regionale. Le analisi della produzione e redditività delle specie più diffuse delle colture oleaginose, ha mostrato risultati generalmente positivi nel mercato attuale. Le piantagioni per la biomassa hanno raggiunto già buoni risultati produttivi nei primi anni di coltivazione, anche se migliorabili. Nelle attuali condizioni di mercato la redditività è fortemente dipendente dalle particolari condizioni di prezzo che si possono ottenere mediante contratti di lungo periodo con le imprese di trasformazione energetica.

**Parole chiave:** colture energetiche, costi di coltivazione, bilanci colturali, *Arundo donax*.

---

\* CRA-PLF Unità di Ricerca per le produzioni legnose fuori foresta, Casale Monferrato (AL).

## Abstract

*The reduction of beet cultivation has led to the conversion of thousands of hectares of agricultural land to energy crops since 2008. Thanks to the national research project “SuSCACE”, set up as a technical-scientific support for the cultivation of energy crops, it has been possible to gather and process data on the currently existing energy crops. The database currently concern of 2,969 hectares in 386 plots, 312 farms and 11 regions of Italy affected. The results obtained regard the areas planted to each crop, the relative number of fields and their regional distribution, their yields, cultivation and production costs and their economic balance. The data collected regarding all farming operations and energy inputs allowed us to estimate the environmental impact and energy balance of the different crops. The products obtained for annual field crops are good on average, significant differences at the regional level. The analysis of the production and profitability of the most widespread oilseed species, has shown generally positive results in the current market. Plantations for biomass have reached, in the first years of cultivation, good, though improvable, yields; however in the present market conditions profitability is highly dependant on special price conditions agreed on in contract with the processing industries.*

**Keywords:** *energy crops, cultivation cost, crop balance, Arundo donax.*

---

## 1. Introduzione

L'applicazione della riforma della OCM zucchero ha comportato una riduzione di oltre il 50% della capacità produttiva nazionale dello zucchero e di conseguenza anche una sensibile riduzione della superficie coltivata a barbabietola. Alcune società produttrici di zucchero hanno presentato piani di riconversione della filiera bieticolo-saccarifera verso le filiere agroenergetiche con l'obiettivo di ottenere energia elettrica da biomasse ligno-cellulosiche, biodiesel da esterificazione di oli vegetali e bioetanolo da fermentazione di cereali. Il raggiungimento di tali obiettivi richiede elevate produzioni di biomasse, soprattutto ligno-cellulosiche per far fronte alle esigenze di attivazione di nuovi centri di trasformazione energetica da fonti rinnovabili. Una ulteriore spinta verso i programmi di produzioni energetiche alternative è derivata anche dalle misure di sostegno ed incentivi riguardanti i nuovi coefficienti moltiplicatori dei certificati verdi per le filiere corte (Legge n. 244/2007).

Sulla base delle caratteristiche e sulle potenzialità produttive dei diversi ambiti agricoli, tenuti in considerazione gli obiettivi progettuali per la diversificazione della produzione di energia da parte dei vari distretti energetici (Loi, 2008), le aziende agricole stanno affrontando la riconversione con colture erbacee annuali e perenni (girasole, colza, brassica, sorgo da fibra e canna comune), e con colture arboree (pioppo, robinia, eucalipto).

Nell'ambito dell'attività del progetto SuSCACE "Supporto Scientifico alla Conversione Agricola verso le Colture Energetiche", finanziato dal Mipaaf e coordinato dal Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (C.R.A.), è stato possibile raccogliere, con la collaborazione delle aziende agricole, informazioni necessarie per analizzare e valutare sotto l'aspetto economico e organizzativo la riconversione agricola che coinvolge il settore.

## Metodologia

Costituiscono il database i dati relativi a 350 appezzamenti coltivati per complessivi 2.514 ettari in 11 regioni; 255 sono le aziende agricole coinvolte. Le informazioni riguardano colture poliennali, pioppo, robinia, eucalipto, canna comune, e colture erbacee annuali, colza, girasole, brassica carinata e sorgo da fibra. Per le prime sono stati raccolti dati di localizzazione secondo coordinate geografiche nel sistema metrico WGS84UTM32, riferite al punto centrale degli appezzamenti interessati, invece per quelle annuali al momento si dispongono di dati di localizzazione riferiti soltanto a livello comunale in attesa di dati puntuali.

Grazie alla georeferenziazione degli appezzamenti, tutti i dati acquisiti, riguardanti le caratteristiche ambientali e organizzative delle singole aziende coinvolte, le colture praticate e gli interventi rilevati in tutte le fasi operative, sono stati organizzati in un geo-database (ArcGIS 9.2), gestito dal C.R.A.-PLF (Unità di Ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta, ex Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura di Casale Monferrato).

Lo strumento per il rilevamento e la registrazione dei dati è costituito da fogli elettronici in formato Excel appositamente predisposti. In particolare si tratta di tre fogli, "Anagrafica azienda", "Anagrafica appezzamento", "Anagrafica coltura". Il primo contiene le informazioni e dati identificativi dell'azienda agricola: *id\_società*, *id\_tecnico*, *id\_azienda*, *cod\_azienda*, *denominazione*, *indirizzo della sede*, *località*, *cap*, *provincia*, *referente*, *telefono*, *cellulare*, *centralina meteorologica*, *dimensione azienda*, *forma di conduzione*, *valore indicativo dei terreni*.

Il foglio relativo all'appezzamento riporta informazioni che riguardano: *indirizzo*, *località*, *coltura precedente*, *produttività coltura precedente*, *altre colture praticate in rotazione*, *superficie coltivata*, *giacitura*, *tessitura*, *irrigazione* e *tipo di irrigazione*, *posizione geografica secondo coordinate di longitudine e latitudine*.

Il foglio relativo alla coltura "anagrafica coltura", che può cambiare di anno in anno per appezzamento, almeno per quelle erbacee annuali, considera oltre ai caratteri identificativi codificati nei precedenti fogli: *coltura*, *varietà*, *materiale di propagazione*, *data di semina/impianto*, *densità*, *spaziature*, *centro di conferimento pelle produzioni*.

Il foglio "diario appezzamento" nel quale sono descritte tutte le operazioni e interventi in modo cronologico: *data*, *tipo intervento*, *tipo prodotto*, *prodotto*, *quantità*,

costo unitario, trattrice, potenza, tipo attrezzo, larghezza di lavoro, profondità di lavoro, operai impiegati, superficie lavorata, tempo impiegato, costo complessivo contoterzista,

Sulla base dei dati finora raccolti relative alle colture erbacee e arboree destinate alla produzione di biomasse per uso energetico è stato creato l'archivio cartografico su base GIS. Tale base di dati qualitativi stazionali caratterizzanti i siti di coltivazione e livelli produttivi, consentirà di implementare a livello nazionale la correlazione tra le caratteristiche ambientali con i livelli produttivi potenziali.

Il coordinamento, la verifica e la validazione dei dati rilevati, ha costituito un importante impegno ed ha comportato una attenta valutazione delle criticità registrate in molte fasi di rilevamento e registrazione dei dati di campo relativi alle coltivazioni praticate nel 2009 e nel 2010 secondo il programma di attuazione delle conversioni agricole.

Dall'analisi dei dati rilevati direttamente dai tecnici aziendali, riguardanti l'impiego delle macchine, della manodopera, carburanti, sementi, fertilizzanti, erbicidi ed eventuali interventi di terzisti, sono stati calcolati i costi complessivi di coltivazione per ogni coltura e per tutte le superfici interessate.

Il costo orario delle macchine motrici e degli attrezzi è stato calcolato utilizzando software dedicato (Maso *et al.*, 2006). In alcuni casi gli interventi sono stati svolti da imprese esterne all'azienda agricola, i cui costi sono comprensivi del costo della manodopera e del costo delle macchine.

Le produzioni sono espresse in tonnellate di sostanza secca per ettaro per anno. Normalmente al momento della raccolta nel periodo di riposo vegetativo, le piante arboree e anche la **canna comune** presentano un contenuto idrico superiore al 50% fino al 60%. Tutti i dati di produzione fanno riferimento alla sostanza secca, ossia alla biomassa fresca viene sottratto il contenuto idrico relativo; Ciò permette di rendere omogenei i dati riguardanti le diverse specie in esame.

Le valutazioni economiche hanno riguardato i bilanci colturali nelle attuali condizioni di mercato, ciò ha reso possibile esprimere valutazioni sulla redditività delle colture prese in esame.

## **Arundo donax**

La canna comune, specie erbacea perenne, si presta alla coltivazione agronomica e la sua introduzione nell'ordinamento colturale è facilitato dall'impiego degli stessi mezzi produttivi normalmente in uso in tutte le aziende agricole (Ceotto, 2006).

La propagazione della canna comune può avvenire mediante rizomi o talee di fusto. Attualmente l'utilizzo dei rizomi è la tecnica più comune. I fusti che si sviluppano dalle gemme del rizoma hanno un accrescimento molto elevato e raggiungono altezze di 4-6 metri nella stagione vegetativa. L'elevata densità di impianto dei rizomi (10.000/ha) e la difficoltà di preparazione del materiale adatto rende piuttosto

impegnativa la realizzazione dell'impianto. La durata della piantagione è strettamente connessa al suo grado di produttività nel tempo e che rende sostenibile l'investimento di impianto; generalmente si prevedono cicli di 10 anni con tagli annuali.



L'utilizzo della canna comune per la produzione di biomassa per uso energetico è stata avviata solo recentemente, ma ha avuto già nel secolo scorso un ruolo fondamentale per la fornitura di materiale per la produzione della cellulosa per le fabbriche di Torviscosa in Friuli V.G. (Aa.Vv., 2010).

## **Risultati**

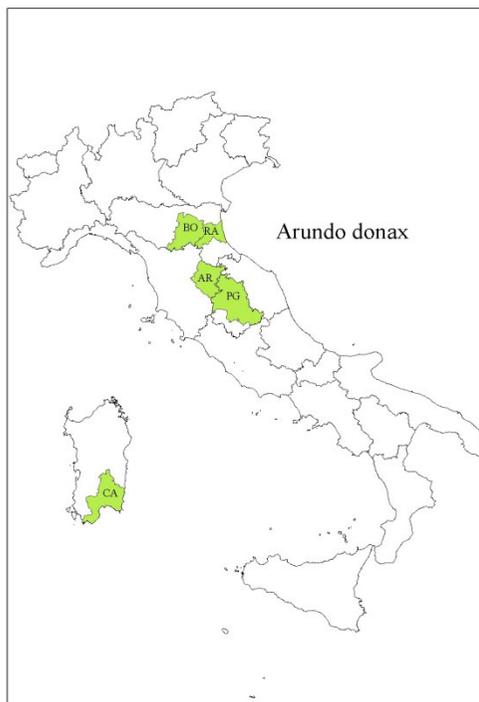
Nel progetto sono state analizzate 7 aziende agricole per un totale di 7 piantagioni, pari a 7,8 ettari e distribuite in quattro regioni. In Sardegna la canna è stata piantata nel 2006, mentre nelle regioni dell'Italia centrale e settentrionale (Toscana, Umbria ed Emilia Romagna) gli impianti sono stati realizzati nel 2007 e 2008 (fig. 1).

Si tratta generalmente di appezzamenti di piccole dimensioni di circa 1 ettaro ciascuno (da 0,5 a 2 ettari).

### *Analisi dei costi*

L'operazione di impianto della canna comune è estremamente impegnativa anche per quanto riguarda i costi.

Oltre la preparazione del terreno con l'aratura, la concimazione di base, l'affinamento del terreno, la messa a dimora dei rizomi richiede l'impiego di manodopera e di macchine in quantità piuttosto rilevanti rispetto alle altre colture agrarie o anche rispetto ad altre piantagioni da biomassa.



**Figura 1** - Localizzazione della coltivazioni di *Arundo donax*.

Dai dati rilevati nei primi 3-4 anni di coltivazione, in cui sono stati effettuati 2 raccolti in 5 impianti su 7, è emerso che i tempi richiesti per la manodopera e per le macchine ammontano rispettivamente a 19,6 e a 11,6 ore per ettaro per anno. Per le operazioni di impianto occorrono in media 8,2 e 3,5 ore per ettaro rispettivamente di manodopera e utilizzo di macchine.



**Figura 2** - Modalità di raccolta della canna comune, trinciatura pianta verde e imballatura pianta essiccata.

In questo primo periodo di coltivazione sono stati distribuiti circa 94 kg per ettaro di azoto, 3,6 kg/ha di erbicidi e sono stati consumati circa 250 kg/ha di gasolio per le macchine.

Al fine di conoscere gli effettivi consumi dei prodotti e impegni in termini di manodopera e di macchine per l'intera durata della piantagione, oltre a quelli già rilevati per il primo periodo, si devono prevedere soltanto concimazioni azotate e raccolte annuali (fig. 2) negli anni successivi.

Altri interventi meccanici, come la lavorazione negli interfilari, non sono necessari e comunque poco praticabili per la graduale completa colonizzazione del terreno da parte dei rizomi. La canna comune è una pianta scarsamente esigente in fatto di terreni, vegeta in condizioni ottimali nei terreni freschi di pianura, sopporta bene anche situazioni di ristagno idrico purché non prolungato ed è considerata una coltura a bassa necessità di acqua in quanto sopporta condizioni di stress idrico.

Si può stimare che, complessivamente per tutta la durata produttiva decennale della piantagione, l'impegno in termini di tempi di manodopera e di impiego macchine siano rispettivamente di 38 e di 30 ore per ettaro, i consumi di carburanti possano raggiungere 600 kg/ha, e l'impiego di concimi azotati e potassici siano rispettivamente di 550 kg/ha e 200 kg/ha.

Di seguito si riportano le valutazioni economico finanziare effettuate sulla base delle condizioni precedentemente descritte (Torquati, 2003). I costi riportati in tabella 1 sono stati attualizzati al saggio del 3%. Dalla produzione totale attesa per i 10 anni della durata dell'impianto (157 tss/ha) e stimata in base alle produzioni medie ottenute nei primi anni di coltivazione (pari a 15,74 tonnellate di sostanza secca per ettaro all'anno), il costo di produzione medio ottenuto e pari a circa 58 €/tss.

**Tabella 1** - Costi di produzione della biomassa da canna comune e utile di coltivazione.

costo impianto	€/ha	4.600,00
costo raccolta	€/ha	2.520,00
costo altre operazioni colturali	€/ha	920,00
costo altri prodotti per coltivazione	€/ha	1.100,00
costo totale (10 anni)	€/ha	9.140,00
produzione	tss/ha/anno	15,74
produzione attesa (10 anni)	tss/ha	157,00
costo produzione	€/tss	58,22
prezzo biomassa	€/tss	80,00
VAN	€/ha	664,00
VAN/anno	€/ha/anno	66,40

Se al quantitativo prodotto si attribuisce il prezzo di mercato della biomassa lignocellulosica (40-50 €/t al 50% di contenuto idrico equivalente a 80 €/tss) si ottiene un Van di 664 Euro per ettaro (66,40 €/ha /anno). Il valore attuale netto (Van) consente

di calcolare il valore attuale (in questo caso con saggio di interesse del 3%) di un investimento o di una serie di flussi di cassa (ricavi-costi) per ogni anno considerato di investimento che produrrà un certo beneficio in futuro. L'investimento risulta tanto più conveniente quanto più elevato è il suo valore attuale netto.

Lo scenario prospettato per la coltivazione della canna comune consente di esprimere un giudizio moderatamente positivo del bilancio economico, ma si può certamente contemplare un miglioramento della situazione nel caso si ottengano, come prevedibile, condizioni più favorevoli del prezzo della biomassa per la trasformazione energetica mediante contratti diretti con le imprese di trasformazione.

Sotto il profilo del bilancio energetico la coltivazione della canna comune risulta una delle più efficienti con la robinia e il pioppo tra le colture per la produzione di biomassa. Il rapporto tra emissioni e assorbimento in termini energetici è di circa il 6% (Coaloa *et al.*, 2011).

## **Bibliografia**

- AA.VV. Progetto BIOCOLT, relazione conclusiva attività di progetto. Area-Sciece Park. (2010), p. 133.
- Ceotto E. La canna comune, una pianta adatta per ottenere energia. *Agricoltura* (2006), 6, pp. 80-82.
- Coaloa D., Grignetti A. "Production, profitability and enviromental impact of crops for energy use in Italy". In *Proceedings 19th European biomass Conference and Exhibition*. ICC Berlin, Germany. 6-10 June 2011. [En]. (2011), p. 4.
- Loi A. Come procede la riconversione degli ex zuccherifici. *L'Informatore Agrario* (2008),44, pp. 40-43.
- Maso D., Pettenella D. Valutazione degli investimenti in arboricoltura da legno. *Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi* (2006), 128, pp. 43-45.
- Torquati B. *Economia gestionale dell'impresa agraria*. Edagricole, Bologna. (2003), p. 365.

B

*Altre specie*



---

# 1 - Panico (*Panicum virgatum* L.)

## Switchgrass (*Panicum virgatum* L.)

**Marcello Scarcella\***, **Marcello Mastrorilli\*\***

### **Riassunto**

*Panicum virgatum* L. è un'erbacea perenne e rizomatosa con ciclo C<sub>4</sub>. È originario del Nord America. Nell'ultimo decennio il panico è stato intensamente studiato in USA e in UE come pianta da biomassa per la produzione di energia (combustione diretta, produzione di etanolo e, ultimamente, produzione di biogas).

I primi risultati sperimentali condotti nel Sud Italia dimostrano che il panico si adatta bene al clima mediterraneo e ai suoli marginali. Per ottenere un buon impianto si raccomanda di effettuare un controllo delle infestanti ed è necessario ricorrere all'irrigazione. Il ricorso al trapianto in sostituzione della semina diretta appare una tecnica assai promettente per il Sud Italia.

**Parole chiave:** specie erbacee perenni, colture rizomatose, produzione di biomassa.

---

### **Abstract**

*Panicum virgatum* is a perennial C<sub>4</sub> grass native to North America. In the last decade, switchgrass has been intensely studied in the USA and EU as a biomass crop for energy production (thermal conversion, ethanol production and recently for biogas production).

The early experimental results carried out in Southern Italy shows that the switchgrass is well adapted both to Mediterranean climate and marginal soils. To achieve a good establishment, especially in the first summer, weeds control and supplementary ir-

---

\*CRA – CAR, Lecce.

\*\* CRA – SCA, Bari.

*rigation are recommend. Transplantation as an alternative of direct seeding is a very promising technique for Southern Italy.*

**Keywords:** *herbaceous perennial crops, rhizomatous crops, biomass production.*

---

## Introduzione

Il Panico (Fam. Poaceae), *Panicum virgatum L.* è un'erbacea perenne e rizomatosa con ciclo C<sub>4</sub>. È originario del Nord America dove si trova allo stato spontaneo, principalmente nelle praterie, a partire dalla latitudine di 55° N fino in Messico, viene impiegato per proteggere i suoli dall'erosione nonché come coltura foraggera per le zone caldo-aride, per alimentare la filiera della carta, inoltre è utilizzato in gran parte del globo come coltura ornamentale.

Si propaga per seme e può essere messo a coltura con bassi costi, richiede moderati input e fornisce un'elevata quantità di biomassa anche in terreni marginali (Sanderson e Wolf, 1995). In base alla varietà ed alle condizioni pedo-climatiche cresce da 50 a 250 cm in altezza.

Nell'ultimo decennio il panico è stato intensamente studiato in USA e in UE come pianta da biomassa (Samson e Omielan, 1992; Sanderson *et al.*, 1996; Madakdze *et al.*, 1999; Lewandowski *et al.*, 1998) per la produzione di energia (combustione diretta, produzione di etanolo e, ultimamente, produzione di biogas).

Altri usi comprendono il suo utilizzo come pianta per la produzione di fibre e per migliorare degli habitat naturali.

In Europa la ricerca per l'uso del panico nella filiera agro-energetica è iniziata sul finire degli anni '90. Dai primi risultati la coltura sembra avere le potenzialità per giocare un ruolo importante nell'ottica della riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, nell'utilizzo di suoli marginali e nel differenziare le attività per le comunità rurali.

Esistono due ecotipi principali di *Panicum virgatum L.*, distinti per caratteristiche morfologiche e preferenze di habitat (Jung *et al.*, 1990; Jacobson *et al.*, 1984).

- Il tipo "Lowland" che si trova principalmente nei climi più umidi, come le pianure alluvionali "floodplains". Questo risulta avere steli più alti, più spessi con portamento cespuglioso ed un più rapido accrescimento.
- Il tipo "Upland" è adattato alle aree più secche del Nord America. Ha gli steli più sottili e spesso semi-prostrato (Porter, 1966).

## Scelta della varietà

Un discreto numero di varietà di origine USA sono state coltivate in Europa per prove sperimentali. I primi risultati dimostrano che il clima Europeo temperato non rappresenta un limite per l'adattamento del panico.

La latitudine di origine è il principale fattore che determina gli areali di adattabilità e la potenzialità. Si è constatato (Elbersen *et al.*, 2001) che:

- le varietà originarie delle latitudini più a Sud hanno una produttività potenziale più elevata;
- in Nord Europa il panico non sopravvive all'inverno e, di conseguenza, qualità e quantità della biomassa sono scadenti.

Le seguenti varietà hanno dato buoni risultati in Europa e sono commercialmente disponibili:

- Cave-in-Rock, per Regno Unito, Olanda e Germania;
- Kanlow, per sud Regno Unito, Germania e Nord Italia;
- Alamo, per Grecia e Italia.

## Ciclo colturale

Le prime osservazioni delle prove sperimentali condotte nel sud Italia a Rutigliano (Bari) e a Monteroni (Lecce) hanno evidenziato che la fase di germinazione-emergenza è lunga. La durata di questa fase dipende dalla temperatura e dall'umidità dello strato superficiale del terreno. Prove di semina a cadenza mensile condotte tra marzo e giugno hanno evidenziato che solo la semina a maggio è stata favorevole all'affrancamento della coltura. Le altre epoche di semina sono fallite per l'insufficiente livello termico e/o per la disponibilità di acqua nel terreno.

Superata questa fase, il panico va incontro alla stagione invernale con piante di modesta altezza (non superiore a 20 cm), ma con un apparato radicale abbondantemente sviluppato. Con l'abbassamento della temperatura dell'aria le foglie ingialliscono completamente e il panico passa la stagione invernale in uno stato di quiescenza (Beaty *et al.*, 1978; George e Reigh, 1987). Nonostante la coltura sia completamente secca è impossibile sradicare a mano le piante dal terreno a causa dell'apparato radicale ben ramificato.

In primavera, l'innalzamento della temperatura dell'aria e dello stato idrico del terreno permette al panico di riprendere la vegetazione (Figg. 6 e 7) e di completare la formazione della granella entro il mese di agosto. Alla fioritura gli steli cominciano a lignificare. Dopo la maturazione della granella il panico non si accresce ulteriormente pur rimanendo pressoché verde fino all'inizio dell'autunno (Fig. 8). Col sopraggiungere dei primi freddi la vegetazione ingiallisce completamente e rimane dormiente fino alla successiva primavera. Durante questa fase i minerali vengono traslocati dalle foglie ai rizomi per essere riutilizzati nel seguente ciclo di vegetazione, questo meccanismo assicura la perennità di questa graminacea.

## La fase di impianto

In Italia meridionale la semina deve coincidere con la tarda primavera. Trattandosi di seme molto piccolo, la preparazione del letto di semina deve essere molto accurata e richiede terreno soffice, ma che non formi crosta a seguito della disidratazione per evaporazione. Generalmente la semina avviene direttamente in campo, ad 1 cm di profondità, utilizzando da 200 a 400 semi vitali per m<sup>2</sup> (0,9 - 1,8 g/1000 semi) allo scopo di ottenere 1500/2000 steli m<sup>2</sup>. Si raccomanda la semina a file distanti non meno di 50 cm per permettere la sarchiatura dell'interfila e lo sviluppo armonico della vegetazione.

Se nel mezzogiorno d'Italia la temperatura del terreno a maggio non è un fattore limitante per il panico, il contenuto idrico del terreno sfavorisce la germinazione e l'emergenza delle plantule (Smart e Moser, 1997; Vasey *et al.*, 1985). Subito dopo la semina l'umidità dello strato superficiale deve essere assicurata attraverso frequenti irrigazioni (Stout *et al.*, 1988). Con temperature del terreno superiori a 15°C e con terreno umido in superficie, per il completamento dell'emergenza del panico sono necessarie dalle 5 alle 7 settimane. Come per tutte le specie della filiera agro-energetica, anche per il panico la fase di avvio della coltura è quella più critica.

Le prime prove di campo hanno messo in risalto che il principale problema agronomico del panico, di questa fase, è il controllo delle malerbe. La sarchiatura è costosa e non risolve il problema delle infestazioni lungo la fila. Il diserbo chimico è limitato dalle scarse conoscenze circa l'interazione tra panico in fase di emergenza e i principi attivi ammissibili che permettono di eseguire il diserbo mirato.

Particolare attenzione va posta alla lotta alle infestanti perennanti, in quanto il loro controllo è molto difficile dopo la messa a coltura.

Per ovviare agli inconvenienti che derivano da una lunga fase di emergenza a fine primavera, si può sostituire la semina diretta col trapianto. L'ipotesi di trapiantare è apparsa assai vantaggiosa. Infatti, in due località (San Ferdinando e Rutigliano) è stato effettuato per via sperimentale il trapianto di piantine di circa 15 cm ottenute precocemente utilizzando contenitori alveolari ed un rudimentale floating system (Fig. 1). In queste condizioni di substrato saturo di acqua, dopo la semina la germinazione avviene rapidamente (5-10 gg), la crescita è molto rapida e raggiunge le dimensioni ideali per il trapianto in 30 giorni.

Negli impianti sperimentali (Fig. 2) il trapianto è avvenuto all'inizio dell'estate su appezzamenti dotati di ali gocciolanti lungo le file della coltura. In questo modo si è potuto constatare che il controllo delle malerbe è più semplice e si evita di irrigare per oltre un mese (dalla semina allo stadio di plantula di 30 cm).

Sia nel caso della semina diretta che in quello del trapianto il giovane impianto di panico deve essere dotato di un sistema irriguo che deve assicurare acqua all'apparato radicale durante la prima estate di vita dell'impianto (Fig. 3). Comunque, per ottenere un'adeguata produzione di biomassa è opportuno che, negli ambienti caldo-aridi dell'Italia meridionale, sia fornita irrigazione di soccorso (Fig. 4).

## Fertilizzazione del suolo

Il panico si adatta bene ai suoli acidi e valorizza anche i terreni con bassa fertilità grazie al suo apparato radicale denso e profondo che riesce a assorbire gli elementi di cui ha bisogno.

Per il primo anno non è consigliabile fornire azoto in quanto, in questa fase, non essendo necessario per lo sviluppo della coltura evita anche di alimentare le infestanti. Fosforo e potassio sono necessari solo se il suolo ne è molto povero.

Negli anni successivi, per la fertilizzazione basterà tenere conto delle asportazioni avvenute con la raccolta della biomassa. La somministrazione di N, anche se modesta (tra 50 e 100 unità/ha) non può essere trascurata, soprattutto per le colture in regime irriguo (Stout *et al.*, 1988).

## Produzione

La produzione di sostanza secca può variare da 6 t ha<sup>-1</sup> in suoli poco fertili situati nel Nord Europa sino a 25 t ha<sup>-1</sup> dei suoli fertili del Sud Europa che non abbiano limitazioni idriche.

Se la coltura è ben gestita può avere una durata economica superiore a 15 anni. La scarsa produzione nel primo anno generalmente è tale da non giustificare le operazioni di raccolta (Fig. 5).

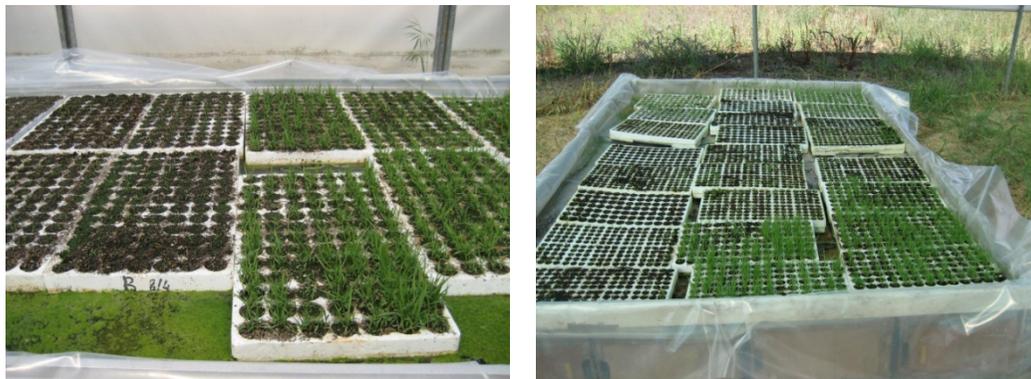
In base alla natura del terreno la massima produzione si può ottenere dopo 2-3 anni in suoli leggeri o 4-5 anni in suoli pesanti. Gelate primaverili o siccità possono ritardare lo stadio di piena produzione.

## Conclusioni

Scegliendo le varietà adatte, la specie si adatta bene ai nostri climi ed anche ai suoli marginali. Il panico richiede un basso apporto di input energetici consentendo di ottenere produzioni di sostanza secca economicamente valide (20 t ha<sup>-1</sup>) a partire dal terzo anno di impianto.

Nel primo anno, per ottenere un buon impianto si raccomanda di effettuare un controllo delle infestanti ed è necessario ricorrere all'irrigazione. Il ricorso al trapianto in sostituzione della semina diretta appare un tecnica assai promettente per il Sud Italia.

Attualmente, limitatamente alle prove sperimentali effettuate, non si sono registrate malattie.



**Figura 1** - Il sistema floatig system per ottenere Panicum da trapiantare (Monteroni, Le).



**Figura 2** - San Ferdinando (Fg), agosto 2010 dopo il trapianto.



**Figura 3** - Monteroni (Le), Panicum in semina diretta, emergenza dopo la scerbatura sulla fila (giugno 2010).



**Figura 4** - Monteroni, semina diretta agosto 2010 e ottobre 2010.



**Figura 5** - Fase di dormienza, inverno 2010-2011.



**Figura 6** - Ripresa vegetativa (marzo 2011) a Monteroni (semina diretta) e a San Ferdinando (trapianto).



**Figura 7** - Monteroni, semina diretta, aprile e maggio 2011.



**Figura 8** - Monteroni, fase di spigatura (luglio 2011) e fioritura (agosto 2011).

## Bibliografia

- Beaty E.R., Engel J.L., Powell J.D., 1978. Tiller Development and Growth in Switchgrass. *Journal of Range Management*, 31/5: 361-365.
- Christian, D. C. and Elbersen H.W., 1998. Switchgrass (*Panicum virgatum* L.). In: N. El Bassam. Energy plant species. Their use and impact on environment and development. London: James and James publishers, pp. 257-263.
- Elbersen, H.W., Christian, D.G., Bassam, N.EL., Bacher, W., Sauerbeck, G., Alexopoulou, E., Sharma, N., Piscioneri, I., Visser, P. DE. van den Bergy D., 2001. Switchgrass variety choice in Europe. *Aspects of Applied Biology* 65, pp. 21-28.
- George, J.R., Reigh G.S., 1987. Spring growth and tiller characteristics of switchgrass. *Canadian Journal of Plant Science*, 67:167-174.
- Jacobson, E.T., Tober D.A., Haas R.J., Darris D.C., 1984. The performance of selected cultivars of warm season grasses in the northern prairie and plains

- States. In: G. K. Clambey and R. H. Pemble (eds.) *The Prairie: Past, present and future*, 9 ed, Moorhead Minnesota. pp. 215-226
- Jung G.A., Shaffer J.A., Stout W.L., Panciera M.T., 1990. Warm season grass diversity in yield, plant morphology and nitrogen concentration and removal in northeastern USA. *Agronomy Journal*, Vol. 82: 21-26
- Lewandowski I., Olsson R., Bacher W., Huisman W., Nikolaisen L., Paavilainen L., 1998. Production and use of perennial rhizomatous grasses (PRG) in the energy and industrial sector of Europe. In *Workshop at the 10<sup>th</sup> European conference "on Biomass for Energy and Industry"*, Vol. 1, p. 80. Ed. I. Lewandowski. Wurzburg, Germany. pp. 80.
- Madakadze I.C., Steward K., Peterson P.R., Coulman B.E., Smith D.L., 1999. Switchgrass biomass and chemical composition for biofuel in eastern Canada. *Agronomy Journal*, Vol. 91: 696-701.
- Porter C.L., 1966. An analysis of variation between upland and lowland switchgrass, *Panicum virgatum* L., in central Oklahoma. *Ecology*, 47:980-992.
- Saderson M.A., Reed R.L., McLaughlin S.B., Wullschlegler S.D., Conger B.V., Parish D.J., Wolf D.D., Tafiaferro C., Hopkins A.A., Ocumpaugh W.R., Hussey M.A., Reed J.C., Tischler C.R., 1996. Switchgrass as a sustainable bioenergy crop. *Bioenergy Technology*. 56: 83-93.
- Samson R.A., Omelian J.A., 1992. Switchgrass: A potential biomass energy crop for ethanol production. In: *The Thirteenth North American Prairie conference*, Windsor, Ontario, pp. 253-258.
- Stout, W.L., Jung G.A., Shaffer J.A., 1988. Effects of soil and nitrogen on water use efficiency of tall fescue and switchgrass under humid conditions. *Soil Science Society of America Journal*, 52:429-434.
- Sanderson M.A., Wolf D.D., 1995. Morphological development of Switchgrass in diverse environments. *Agronomy Journal*, Vol. 87: 908-915.
- Smart A.J., Moser L.E., 1997. Morphological development of Switchgrass as affected by planting date. *Agronomy Journal*, Vol 89: 958-962.
- Vassey T.L., George J.R., Mullen R.E., 1985. Early, mid- and late-spring establishment of switchgrass at several seeding rates. *Agronomy Journal*, Vol. 77: 253-257.



---

## 2 - *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.)

### *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.)

Salvatore Luciano Cosentino\*, Orazio Sortino\*, Sarah Sidella\*

#### Riassunto

La *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) è un'Euforbiacea arbustiva nativa del Centro-America, coltivata principalmente per l'olio contenuto nei semi (tra il 25 e il 40%) che trova applicazione in campo energetico ma anche cosmetico. Pur essendo originaria di ambienti tropicali, cresce bene anche in condizioni climatiche sub-tropicali e temperate. È considerata una specie arido-resistente ma, in condizioni di aridità prolungata, la resa diminuisce sensibilmente. La produzione dei semi avviene a partire dal primo anno, ma rese economicamente sostenibili si hanno dal quarto anno in poi (in media 3,5 t ha<sup>-1</sup> di seme e 1,5 t ha<sup>-1</sup> di olio). In relazione a ciò è considerata una delle più promettenti specie per la produzione di biocarburanti per gli ambienti tropicali.

In questa breve monografia oltre all'inquadramento botanico della specie, alla morfologia e biologia, al germoplasma disponibile, si riportano le principali indicazioni relative alle esigenze pedo-climatiche e nutrizionali, nonché la tecnica colturale praticata negli ambienti di coltivazione.

Nell'ambito del progetto FAESI sono state condotte prove sperimentali in campo (Sicilia Sud-orientale) per verificare l'adattabilità della specie all'ambiente caldo-arido mediterraneo, valutando i genotipi anche per l'efficienza fotosintetica e il tasso di traspirazione; in laboratorio sono state condotte prove per saggiare la germinabilità delle accessioni ripetute (otto genotipi) in relazione a pretrattamenti del seme (osmoprimering e rimozione della caruncola) e la variabilità genetica intraspecifica. Quest'ultima è stata valutata attraverso una caratterizzazione molecolare dei genotipi allo studio che ha evidenziato come il ricorso frequente alla propagazione agamica abbia ridotto la base genetica della specie.

**Parole chiave:** *Jatropha curcas*, biocombustibile, adattamento, germinabilità, caratterizzazione genetica.

---

\*Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari (DISPA), Università degli Studi di Catania.

## Abstract

*Jatropha* is a shrub of Euforbiaceae's family, native of Central America; it is cultivated mainly for oil content in seeds (between 25 and 40%), which is applied in the energy sector and also cosmetic. Although originally from tropical environments, it grows well even in sub-tropical and temperate climate. It is considered an arid-resistant species, but in conditions of prolonged drought its yield decreases significantly. The seed production occurs from the first year, but economic yield occur by the fourth year onward (on average 3,5 t ha<sup>-1</sup> seed and 1,5 t ha<sup>-1</sup> oil). In relation to this it is considered one of the most promising species for the production of biofuel in tropical environments.

In this short monograph, information about botany, morphology and biology, the available germplasm, are described with the main information about soil, climatic conditions, nutritional requirements and the cultivation technique practiced in the areas of cultivation.

Within the FAESI project, tests were conducted in the field (South-Eastern Sicily) to verify the adaptability of the species in warm-arid Mediterranean environment, to evaluate the genotypes for photosynthetic efficiency and the rate of transpiration; in laboratory, tests were conducted to verify the germination of accessions studied (eight genotypes) in relation to pre-treatment of the seed (osmopriming and removal of the caruncle) and to test the intraspecific genetic variability, through a molecular characterization of genotypes in the study that showed that the frequent use of agamic propagation has reduced the genetic basis of species.

**Keywords:** *Jatropha curcas*, biofuel, adaptation, germination, genetic characterization.

## Introduzione

Il termine “*Jatropha*” deriva dalla parola greca “*Jatros*” che significa “medico” e “*Trophe*”, “nutrizione”. Il nome botanico è *Jatropha curcas* L. ma nel mondo è conosciuta con 200 differenti nomi ad indicazione della sua ampia diffusione nei continenti. Tra i nomi più ricorrenti: *Pinhao manso* in Brasile, *Tempate* in Nicaragua, *Jarak* in Indonesia, *Mbono* in Tanzania *Ratanjyot*, *Safed aran Chandrajyot*, in India, *Physic nut*, *Purging nut* e *Barbados nut* in Inghilterra e *Pourghère* in Asia ed in Africa, dove la pianta è principalmente coltivata. Spesso per indicare la specie si utilizza il sinonimo “*Jatropha afrocurcas*” (Pax, 1909).

La *Jatropha curcas* L. appartiene all'ordine Euphorbiales famiglia delle Euforbiaceae, specie diploide con un assetto cromosomico 2n=22, 33, 44, è una pianta tropicale che richiede temperature elevate ed è caratterizzata da esigenze idriche ridotte, molto rustica e longeva, può vivere fino a 50 anni.

La specie utilizza ambienti non idonei da piante alimentari e svolge un ruolo importante contro la desertificazione e l'erosione dei suoli in quanto impiegabile per la stabilizzazione di dune sabbiose e la conservazione del suolo.

La *Jatropha curcas* è originaria del Centro-Sud America, probabilmente del Messico o di zone limitrofe da dove i navigatori portoghesi la introdussero e diffusero nel 16° secolo in Asia ed in Africa. (Heller, 1996). Essendo tutte le sue parti tossiche e pertanto non gradite agli animali, veniva utilizzata per la recinzione di orti e di coltivazioni. Le prime applicazioni commerciali sono da attribuire alla città di Lisbona dove l'olio importato da Capo Verde veniva utilizzato per la produzione di saponi e di lampade.

Nonostante la sua origine sia localizzata nel Centro-Sud America, la *Jatropha* è largamente diffusa nelle zone tropicali e subtropicali del Pianeta, soprattutto in India, Africa (Mali e Tanzania), Argentina Australia e Sud-Est asiatico dove si è naturalizzata.

Le statistiche ufficiali sulle superfici coltivate e la produzione sono ancora piuttosto carenti. Negli ultimi anni, la *Jatropha curcas* L. è diventata il fulcro dei programmi di coltivazione in diversi paesi tropicali a causa del suo potenziale come biocarburante; la maggior parte dei quali sono ancora in fase pilota di sviluppo. Entro il 2030 si stima che, l'India potrebbe avere più di 10 milioni di ettari di piantagioni di *Jatropha curcas* di piccola e grande scala, soprattutto realizzati su terre marginali bonificate. Paesi in Africa tropicale con importanti progetti di sviluppo per la produzione di biocarburanti da olio di *Jatropha* comprendono gli Stati del Mali, Burkina Faso, Ghana, Tanzania, Malawi, Zambia e Madagascar. In Africa, la lunghezza totale di siepi realizzate con *Jatropha curcas* è stimata pari a 75 mila km, con una produzione potenziale di 60.000 t di semi anno<sup>-1</sup>.

La pianta viene coltivata ad altitudini comprese tra 0 e 500 m s.l.m. in climi tropicali e subtropicali e zone temperate dove le temperature medie vanno dai 20°C ai 30°C; vegeta in ambienti con scarse precipitazioni (circa 300 mm) e può resistere a lunghi periodi di siccità. La *Jatropha curcas* può vivere anche in condizioni subottimali ed è in grado di potersi accrescere in zone aride e semi-aride (Jones & Miller, 1992; Makkar *et al.*, 1997, Openshaw, 2000) così come anche in aree tropicali umide, come avviene in Guatemala, nel Vietnam e nella Thailandia settentrionale.

## Descrizione della pianta

La *Jatropha curcas* L. è un semi-arbusto deciduo od un piccolo albero alto 3-5 metri, ha una corteccia liscia grigia o rossastra che quando incisa essuda acqua e un lattice biancastro viscoso.

L'apparato radicale è fittonante, robusto e molto ramificato; è caratterizzato dalla ramificazione della radice primaria in quattro radici laterali, da ciascuna delle quali si diparte un numero considerevole di radici secondarie che si spingono fino a notevole profondità (Heller, 1996; Soares Severino *et al.*, 2007b) consentendo alla pianta di esplorare il suolo in maniera efficace e assorbire gli elementi nutritivi che le sono

necessari per il suo accrescimento e, favorendo al tempo stesso la riduzione del rischio di erosione e di desertificazione (Spaan *et al.*, 2004).



**Foto 1** - Pianta di *Jatropha curcas* L. prima della fioritura (Foto DISPA).



**Foto 2** - Apice vegetativo di *Jatropha curcas* L. (Foto DISPA).

I rami crescono rapidamente rendendo la specie idonea all'impiego come "recinto vivo"; l'accrescimento è di tipo simpodiale. Le foglie semplici, angolari, palmate e lobate (5-7 lobi poco profondi) a margine seghettato ed un lungo picciolo, sono decidue, le prime due alterne. Di colore verde, tendente al grigio pallido, sono ampie e glabre, hanno una lunghezza e larghezza di 6 x 15 cm e sono disposte in modo alternato secondo una fillotassi a spirale; le stipole sono rappresentate da ghiandole ciliate.

Le piante sono monoiche, l'infiorescenza è un racemo terminale o ascellare lungamente pedunculato (5-7cm); i fiori, molto profumati, sono di colore giallo-verdognolo. Solo occasionalmente si possono avere fiori ermafroditi (Dehgan & Webster 1979) capaci di autoimpollinarsi. In Senegal è stato osservato che all'interno della stessa infiorescenza i fiori maschili si aprono dopo quelli femminili e questo favorisce l'impollinazione incrociata, favorita da insetti pronubi (entomofila); sembra tuttavia avere una notevole influenza sul fenomeno l'ambiente in cui la specie si trova. Di norma sono presenti 10 fiori maschili per ogni fiore femminile. Le brattee dei fiori sono ellittico-lanceolate, lunghe circa 1 cm e acuminate; ogni infiorescenza può produrre da 10 a 14 capsule ellissoidali e triloculari contenenti 3 semi ciascuna.

I frutti sono capsule schizocarpace, tricarpellari, lunghe circa 2,5-3 cm che giunte a maturazione si dividono in tre carpelli, contenenti semi; si presentano inoltre lisce e di colore verde per poi diventare gialle e infine secche, nere e deiscenti.

I semi albuminosi, sono di colore nero, lunghi 2 cm e spessi 1 cm, somigliano nella forma a quelli di ricino; diventano maturi dopo due mesi circa dalla fruttificazione; l'esocarpo rimane carnoso fino alla maturazione del seme. I semi sono caratterizzata da una percentuale oleica che oscilla tra il 25 ed il 40%; l'olio in essi contenuto non è

commestibile ma è utilizzabile per la fabbricazione di saponi, come combustibile oppure, se sottoposto a trans-esterificazione, risulta particolarmente adatto come biodiesel (Mohibbe, Azam *et al.*, 2005). Il peso 1000 semi è di 400-730 g.

### **Esigenze rispetto al clima**

La *Jatropha curcas* L. è una specie tropicale, cresce comunque bene in condizioni subtropicali e si dimostra adattabile in zone caratterizzate da climi temperati con temperature medie giornaliere di 20-30°C e precipitazioni annue di 300-600 mm. Può tollerare estremi di temperatura ma non condizioni di gelo e ristagno idrico. Una crescita ottimale si ha in corrispondenza di temperature prossime o superiori a 24°C ma la pianta è in grado di sopportare temperature prossime allo zero, senza tuttavia fiorire; in Sicilia temperature intorno a 0°C hanno compromesso la coltura. In Australia sembra sia stata selezionata una varietà resistente alle basse temperature (-5 °C), ma questa notizia non trova molti riscontri. Escursioni termiche associate a bassa piovosità provocano la dormienza della pianta. La specie resiste comunque a lunghi periodi di siccità (fino a 7 mesi) grazie alla sua elevata arido-resistenza.

In relazione alle esigenze di luce, *Jatropha curcas* non risulta sensibile al fotoperiodo.

### **Esigenze pedologiche**

Per quanto riguarda le esigenze edafiche, la specie non richiede tipi di suoli specifici, essa cresce quasi dappertutto, anche in terreni non lavorati pur dimostrando una preferenza per terreni almeno in parte smossi. I suoli più adatti sembrano essere quelli sabbiosi o limosi, tuttavia la specie cresce bene in suoli ben drenati con una buona aerazione ed si adatta anche a suoli marginali. (Openshaw, 2000), ma non può sopravvivere in terreni saturi d'acqua. Produzioni economicamente sostenibili richiedono terreni ben drenati con buone caratteristiche fisiche e chimiche.

La *Jatropha* si adatta a condizioni di pH tra 5.5 e 8.5, ma suoli troppo acidi o fortemente alcalini non sono tollerati.

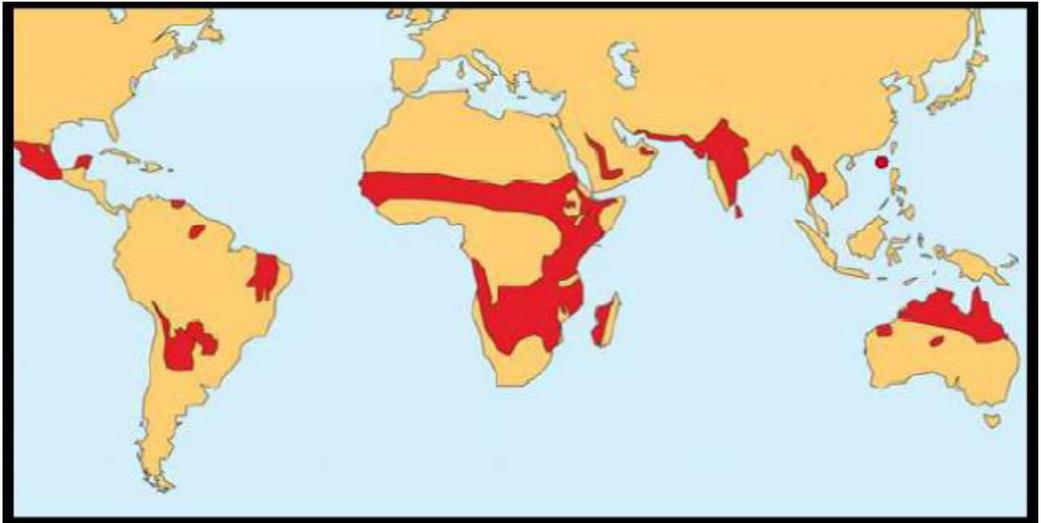
### **Esigenze idriche**

La *Jatropha* essendo una coltura perennante originaria dei paesi tropicali, necessita di una sufficiente quantità d'acqua durante il periodo di crescita estivo; utilizza l'acqua piovana della stagione piovosa delle aree semi-aride dei tropici (**Fig. 1**). La specie, comunque, è capace di crescere in differenti condizioni agro-ecologiche:

- aree semi aride di tropici e subtropici, con una corta stagione di pioggia estiva;
- aree sub-umide dei tropici con una stagione estiva piovosa;

- aree umide dei tropici con una lunga stagione piovosa.

Nei climi aridi e mediterranei con temperature invernali miti, l'irrigazione estiva è necessaria. L'ampio range di climi idonei alla coltivazione di questa specie offre un'idea del potenziale adattamento dei genotipi a condizioni climatiche molto diverse tra loro: la specie cresce con regimi irrigui da 250 a più di 1200 mm anno<sup>-1</sup> (Kattwal e Soni, 2003).



**Figura 1** –Tropici semi-aridi, areali preferenziali di coltivazione di *Jatropha curcas* L. (ICRISAT).

In aree poco piovose e con prolungati periodi secchi, come risposta alla siccità la pianta diminuisce la resa. Al verificarsi di lunghi periodi di siccità la specie perde la maggior parte delle sue foglie allo scopo di ridurre le perdite di evapotraspirazione.

## Propagazione

La *jatropha* è solitamente propagata sia per seme che per via agamica, mediante porzioni di culmo. Una ricerca condotta da Heller nel 1996 sull'influenza di differenti metodi di propagazione sulla sopravvivenza e sullo sviluppo vegetativo della specie, ha potuto verificare che la propagazione agamica comporta una più bassa longevità e una minore resistenza all'aridità e alle malattie rispetto a quella gamica.

La propagazione vegetativa è possibile sia mediante l'impiego di talee messe a radicare sia mediante innesti di vario tipo e propaggini. Tuttavia, l'impiego di talee può comportare un limitato sviluppo laterale dell'apparato radicale e, la superficie di taglio delle stesse, può rappresentare un punto d'entrata per patogeni di varia natura.

Nelle coltivazioni commerciali si ricorre alla propagazione per seme, meno onerosa rispetto a quella agamica; prima della semina i semi vengono immersi in acqua per 12 ore.

Robert Manurung (2007) in Indonesia, ha sperimentato la micropropagazione ottenendo un soddisfacente sviluppo dell'apparato radicale. Colture di tessuti realizzate sia in India che in Nicaragua costituiscono il punto di partenza per il miglioramento genetico futuro di questa specie (Sujatha and Dingra, 1993; Sujatha and Mukta, 1996; Machado *et al.*, 1997; Sujatha and Prabakaran, 2003; Wei *et al.*, 2004).

## Tecnica colturale

### *Preparazione del suolo e semina*

Prima della messa a dimora del seme, il terreno deve essere adeguatamente preparato secondo i dettami della buona pratica agronomica.

I semi o le talee devono essere disposti ad una distanza tra le file di 3 m x 2 m sulla fila. L'allevamento delle piante può avvenire anche in forma di siepe, in questo caso la distanza sulla fila può essere ridotta.

La quantità di seme richiesta per la semina è di 5-7 Kg ha<sup>-1</sup>.

### *Cure consecutive*



**Foto 3** - Parcelle di *Jatropha curcas* L. nella prova realizzata a Ispica (RG) nel 2008 (Foto DISPA).

La cimatura è considerata una pratica necessaria per facilitare lo sviluppo delle ramificazioni; si effettua dopo circa 6 mesi dall'emergenza. Applicazioni di acido gibberellico inducono fioriture anticipate e precoce sviluppo delle capsule.

La potatura delle ramificazioni inizia 3-4 mesi dopo la semina e serve a favorire la fioritura e l'allegagione. La potatura di manutenzione di arbusti "maturi" mira a stimolare la crescita di ramificazioni laterali e limitare lo sviluppo in altezza. Al decimo anno la pianta deve essere tagliata all'altezza del piede per il ringiovanimento della pianta.

Un'altra pratica necessaria è quella del diserbo.

#### *Concimazione*

Le esigenze nutritive della specie non sono state ben delineate. La concimazione si rende necessaria dopo la fase di germinazione. In generale applicazioni di dosi dei tre maggiori elementi nel rapporto 20 (N), 120 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 60 (K<sub>2</sub>O) dal secondo anno di vita della pianta migliorano sensibilmente la resa. Dal quarto anno in poi ulteriori apporti di fosforo sono ritenuti utili (Manurung, 2007).

Fattori come la rotazione colturale e la consociazione con colture leguminose possono contribuire a migliorare l'efficienza d'uso dell'azoto. È stato rilevato, inoltre, che funghi micorizici possono incrementare le rese di *Jatropha* (Jamaluddin and Singh, 2006), così come l'inoculazione di ceppi batterici in camere controllate ha stimolato la crescita delle piante.

#### *Irrigazione*

Produzioni soddisfacenti di semi richiedono un apporto irriguo non inferiore a 400-600 mm. Nei primi 2 anni di vita, la specie si può avvalere di moderate irrigazioni. L'eccesso di umidità in seguito ad abbondanti precipitazioni, può compromettere la sopravvivenza della pianta.

#### *Raccolta*

Nelle zone tropicali di origine, la fioritura è continua durante tutto l'anno; in India è indotta dalla stagione piovosa. Pianta provenienti da semi producono fiori 9 mesi dopo la semina, piante derivate da talea producono fiori dal sesto mese in poi.

I frutti sono raccolti quando il loro colore vira dal verde al giallognolo, i semi in essi contenuti sono separati meccanicamente o manualmente e prima dell'imballaggio vengono fatti seccare per 4-5 giorni per ridurre il grado di umidità sotto la soglia del 10%.

#### *Rese*

La crescita della *Jatropha curcas* è piuttosto veloce nel tempo; la pianta può potenzialmente produrre semi dal primo anno di vita, ma una produzione significativa di semi si ha soltanto alla fine del quarto anno. La produttività media in suoli di media fertilità, con colture al quarto anno dall'impianto è di circa 3,5 t ha<sup>-1</sup> di seme e di 1,5 t ha<sup>-1</sup> di olio. Il campo di oscillazione delle rese è compreso tra 0,4 t ha<sup>-1</sup> al primo anno e 5 t ha<sup>-1</sup> a partire dal quarto anno (Jones & Miller, 1992). Nel caso di piovosità superiore a 900 mm anno<sup>-1</sup> è possibile ottenere produzioni di 12 t ha<sup>-1</sup> di seme (Francis *et al.*, 2005; Daey Ouwens *et al.*, 2007).

## Miglioramento genetico e germoplasma disponibile

Nei paesi tropicali e subtropicali, la *Jatropha curcas* ha un elevato potenziale quale coltura bioenergetica. Tra le specie arbustive oleaginose è considerata una delle più interessanti per la sua resistenza alla siccità, crescita rapida, facile propagazione, basso costo dei semi, alto contenuto in olio, ampia adattabilità e taglia bassa che ne facilita la raccolta. È stato messo in evidenza come la maggior parte del materiale vegetale utilizzato finora derivi da selezioni effettuate all'interno di popolazioni semi-selvatiche o varietà locali; il germoplasma disponibile presenta, pertanto, una bassa diversità genetica, e risulta inoltre suscettibile ad attacchi di insetti e malattie crittogamiche. Le poche varietà selezionate sono state valutate con marcatori RAPD, ISSR e AFLP, i quali hanno evidenziato una stretta base genetica, suggerendo di ampliare gli areali di prelievo del germoplasma. Studi recenti hanno permesso inoltre di isolare alcuni geni JcERF responsabili della resistenza alla salinità e al gelo da parte della pianta. È stata isolata, inoltre una proteina che induce una migliore risposta al deficit idrico.

I due principali obiettivi del miglioramento genetico per *Jatropha curcas* L. sono l'aumento della resa in olio e l'habitus compatto per agevolare la raccolta meccanizzata.

## Composizione chimica

L'olio di *Jatropha curcas* potrebbe essere un efficiente surrogato del diesel. Contiene circa il 24,6% di proteina grezza, il 47,25% di grassi (Akintayo, 2004). La composizione in acidi grassi dell'olio è la seguente: 3,5-15,6% acido palmitico, 0,7-0,9% acido palmitoleico, 6,7-7,5% acido stearico, 34,3-46,3% acido oleico, 30,8-43,1% acido linoleico, 0,2% acido linolenico e tracce di miristico, pentadecanoico, margarico, margaroleico, arachico, gadoleico, behenico, acidi lignocerico e nurvonic.

Il contenuto proteico del pannello di estrazione è di circa il 60% con una composizione in amminoacidi essenziali simili alle proteine della soia, ma superiore nella quantità di amminoacidi contenenti zolfo.

## Ricerche sperimentali

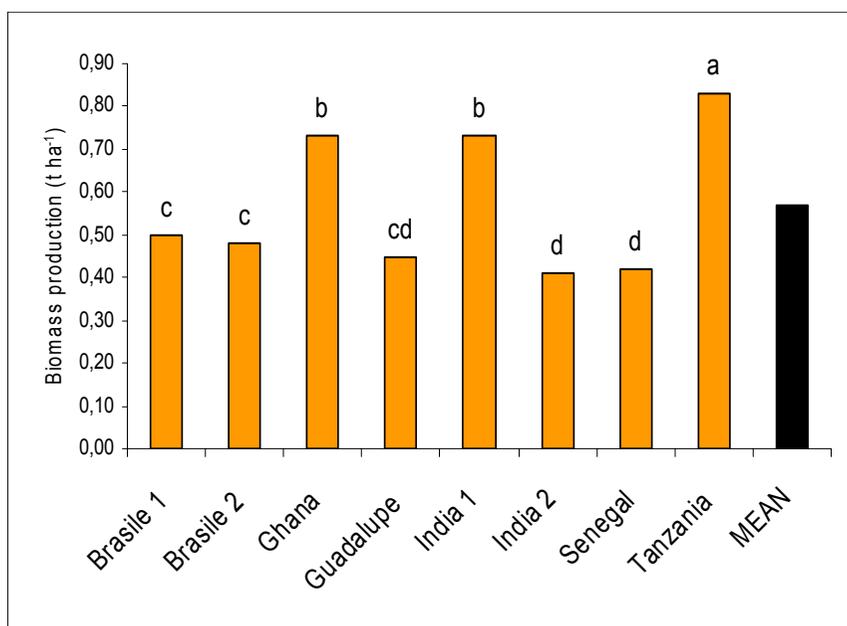
L'attività di ricerca svolta in Sicilia ha avuto inizio nell'anno 2008, quando la Sezione Agronomica del DISPA dell'Università degli Studi di Catania ha condotto alcuni studi di adattamento in ambiente mediterraneo di alcuni genotipi di *Jatropha curcas*.

In uno studio condotto da Sortino *et al.*(2008), in ambiente mediterraneo, accessioni di *Jatropha curcas*, hanno mostrato delle buone performance andando quasi tutte in fioritura al primo anno d'impianto. La statura media raggiunta è stata

di 82,3 cm, il valore più alto rilevato 95 cm. Il numero di branche per pianta è variato da 4 a 7 e la lunghezza media dei fusti è stata di 45,2 cm (Tab. 1). Nella prova, un maggior numero di foglie (219) è stato associato ad un'alta produzione di biomassa: i genotipi posti allo studio hanno mostrato per questo carattere valori da 0,4 t ha<sup>-1</sup> a 0,7 t ha<sup>-1</sup> (Fig. 2).

**Tabella 1** - Caratteristiche morfologiche e biometriche registrate nei genotipi studiati.

Genotypes	Height (cm)	stem diameter (cm)			branches per plant (n°)	Branches lenght (cm)	leaves per plant (n°)	leaves per branch (n°)
		apical	median	basal				
India 2	75 d	3.5 c	5.0 d	6.0 c	6.0 a	40.0 c	169 e	28.2 e
Senegal	75 d	2.5 e	5.1 d	7.7 b	4.0 b	45.1 b	141 f	35.3 cd
Guadalupe	91 b	2.5 e	6.5 a	7.6 b	4.0 b	53.5 a	188 e	47.0 c
Brasile 2	74 d	3.1 d	5.1 d	6.4 c	6.0 a	39.1 c	151 f	21.2 e
Brasile 1	73 d	2.6 e	5.3 c	7.2 bc	6.0 a	40.7 c	219 d	36.5 cd
India 1	93 ab	2.9 de	6.1 b	7.6 b	5.0 ab	53.0 a	299 b	59.8 a
Ghana	82 c	3.9 b	6.1 b	8.1 a	7.0 a	45.2 b	363 a	51.9 b
Tanzania	95 a	4.4 a	5.3 c	7.9 a	7.0 a	45.2 b	229 c	32.7 d
<b>Average</b>	<b>82.3</b>	<b>3.2</b>	<b>5.6</b>	<b>7.3</b>	<b>5.6</b>	<b>45.2</b>	<b>219.9</b>	<b>39.1</b>



**Figura 2** - Produzione di biomassa determinata nei genotipi di jatropha, posti allo studio.

In accordo con i dati riportati in letteratura, dai quali emerge che la fotosintesi in diverse specie tropicali è molto bassa con temperature inferiori a 15°C, e che tali regimi termici possono provocare lesioni visibili sulle foglie (Taylor and Rowley, 1971), in una prova condotta da Sortino *et al.* in Sicilia, la capacità di assimilazione dell'anidride carbonica a livello fogliare dei genotipi di *Jatropha curcas* posti a confronto ha mostrato valori più elevati a fine autunno e progressivamente più bassi in inverno ossia quando le temperature non si dimostrano ottimali per la fotosintesi. La fotosintesi ha mostrato una vasta variabilità tra i genotipi di *Jatropha curcas* posti allo studio. Nella prova condotta in Sicilia, si è passati da valori medi di 9,59 a 0,49  $\mu\text{moli m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Tab. 2). In particolare, i genotipi che si sono distinti per valori più elevati sono risultati Ghana, Senegal, India2 e Brasile2 (intorno a 12  $\mu\text{moli m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), mentre Brasile1, Guadalupe e Tanzania hanno mostrato valori di poco inferiori (ca. 8-9  $\mu\text{moli m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Il valore più basso è stato trovato in India1 (intorno a 0,5  $\mu\text{moli m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). A partire dalla terza decade di novembre alla seconda decade di dicembre per effetto delle temperature più basse la fotosintesi netta si è ridotta in tutti i genotipi, in alcuni di essi come Brasile1, Ghana, Brasile2 e Guadalupe questa riduzione ha mostrato un andamento progressivo; viceversa, nei restanti genotipi è risultata più discontinua soprattutto in India2, India1 e Tanzania. A fine dicembre, la fotosintesi netta ha subito un crollo, dovuto con ogni probabilità alla senescenza delle foglie, che successivamente cadono, lasciando così l'arbusto spoglio.

**Tabella 2** - Fotosintesi netta ( $\mu\text{moli CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) dei genotipi posti allo studio.

<i>Genotypes</i>	17/11	25/11	6/12	19/12	28/12
Brasile 1	9.13	7.33	7.43	5.09	0.90
Tanzania	7.99	3.86	6.96	3.31	0.43
India 1	4.41	3.27	7.19	1.80	0.50
India 2	11.37	2.88	6.97	7.04	0.09
Guadalupe	8.80	3.42	6.85	1.65	0.48
Brasile 2	10.71	5.64	6.91	5.30	0.50
Ghana	12.66	7.13	8.01	4.30	0.99
Senegal	11.66	3.42	5.24	1.87	0.03
<i>Average</i>	<i>9.59</i>	<i>4.62</i>	<i>6.94</i>	<i>3.79</i>	<i>0.49</i>
<i>Std.dev.</i>	<i>2.63</i>	<i>1.81</i>	<i>0.79</i>	<i>1.97</i>	<i>0.34</i>

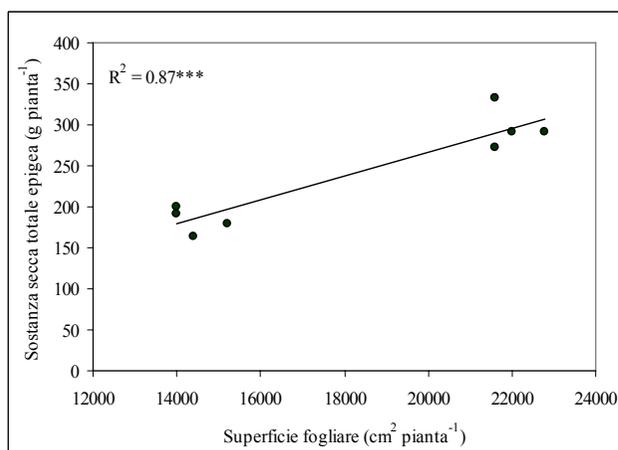
La traspirazione fogliare ha mostrato lo stesso trend osservato con la fotosintesi, con differenze tra i genotipi confrontati: i valori più alti sono stati registrati nei genotipi Ghana, Senegal, Brasile2, India2 and Guadalupe il 17 Novembre (tra 1.3 e 1.5  $\mu\text{moli di H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), mentre Brasile1, Tanzania and India1 hanno mostrato i valori più bassi (da 0.5 a 0.9  $\mu\text{moli di H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Successivamente dalla fine di novembre in poi, è stato osservato un decremento graduale della traspirazione per il verificarsi di temperature più basse (Tab. 3).

È stato suggerito che la chiusura stomatica indotta dal freddo, è probabilmente legata all'azione diretta sulle cellule di guardia; la bassa temperatura può influenzare gli enzimi e i canali ionici responsabili del mantenimento del potenziale osmotico. Il freddo inoltre potrebbe direttamente limitare i processi di fotosintesi, aumentando la CO<sub>2</sub> nella cavità sottostomatica, che indirettamente potrebbe ridurre le aperture stomatiche: questo potrebbe spiegare la diminuzione dell'assorbimento dei gas atmosferici da parte della pianta.

**Tabella 3:** Tasso di traspirazione ( $\mu\text{moli m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) dei genotipi posti allo studio.

<i>Genotypes</i>	<i>17/11</i>	<i>25/11</i>	<i>6/12</i>	<i>19/12</i>	<i>28/12</i>
Brasile 1	0.89	1.14	0.88	0.31	0.31
Tanzania	0.63	1.00	0.56	0.14	0.15
India 1	0.47	1.22	0.66	0.23	0.03
India 2	1.28	1.17	0.82	0.36	0.15
Guadalupe	1.40	1.00	0.91	0.42	0.30
Brasile 2	1.40	0.80	0.91	0.42	0.37
Ghana	1.52	1.29	0.68	0.38	0.19
Senegal	1.47	1.17	1.03	0.34	0.14
<i>Average</i>	<i>1.13</i>	<i>1.10</i>	<i>0.80</i>	<i>0.32</i>	<i>0.20</i>
<i>Std.dev.</i>	<i>0.41</i>	<i>0.16</i>	<i>0.16</i>	<i>0.10</i>	<i>0.11</i>

Nello stesso studio, è emerso che la superficie fogliare totale per pianta è stata influenzata sia dal numero di foglie per pianta che dalle dimensioni delle foglie, con valori tra 14000 cm<sup>2</sup> e 23000 cm<sup>2</sup>. Come atteso, l'accumulo di biomassa secca nelle piante è stato influenzato positivamente dai valori più alti di superficie fogliare rilevata per ciascun genotipo.



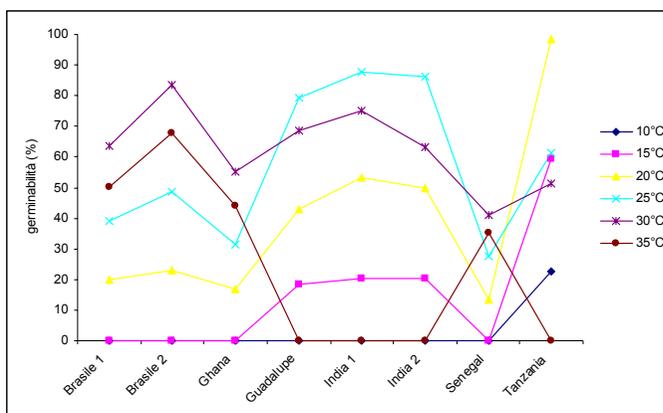
**Figura 3** - Relazione tra la superficie fogliare ( $\text{cm}^2 \text{pianta}^{-1}$ ) e la sostanza secca totale epigea ( $\text{g pianta}^{-1}$ ).

La germinabilità di alcuni genotipi di *Jatropha curcas*, è stata testata in uno studio di valutazione della resistenza alle basse temperature e agli stress idrici, nell'ambito di un progetto basato sulla "Moltiplicazione e valutazione della *Jatropha curcas* per la produzione di olio vegetale". La sperimentazione ha previsto la valutazione della efficacia del pretrattamento osmotico (osmopriming) nello stimolare la germinabilità del seme, sia in termini di velocità, che di percentuale finale di semi germinati, a temperatura ottimale (30°C), subottimale (10, 15, 20, 25°C) e sovraottimale (35°C).

Il pretrattamento osmotico è stato effettuato immergendo i semi in una soluzione continuamente aerata di polietilenglicole (PEG 6000) alla concentrazione di 250 g/L, a 15°C per 3 giorni. Dopo il trattamento, i semi sono stati abbondantemente sciacquati con acqua corrente e successivamente con acqua distillata, posti quindi in germinatoio ad una delle temperature allo studio ed infine asciugati. Nel corso della stessa prova, i genotipi sono stati sottoposti a temperatura costante di 25°C a trattamenti di rimozione della caruncola, immersione in acqua per 12 e 24 ore e rimozione della caruncola + immersione in acqua per 12 e 24 ore (Tab. 4). La percentuale di germinazione, nella media dei genotipi è risultata più marcata alle temperature di 20 e 25 °C mostrando notevole variabilità tra le accessioni poste a confronto (Fig. 4).

**Tabella 4** - Effetti dei pre-trattamenti effettuati sul seme sul carattere germinabilità (%) di alcuni genotipi posti allo studio.

Trattamento	Brasile 2	Guadalupe	India 1	Tanzania
testimone	69,6 c	58,5 d	85,4 d	77,3 c
rimozione della caruncola	88,9 ab	81,3 b	97,4 b	91,5 a
immersione in acqua per 12 h	78,7 b	69,8 c	90,7 c	83,5 b
immersione in acqua per 24 h	83,6 b	77,5 bc	88,2 c	82,5 b
rimozione della caruncola ed immersione in acqua per 12 h	87,3 ab	82,5 b	89,5 c	93,5 a
rimozione della caruncola ed immersione in acqua per 24 h	95,5 a	93,5 a	100 a	95,3 a
<b>media</b>	<b>85,0</b>	<b>77,2</b>	<b>84,5</b>	<b>85,4</b>
<b>CV (%)</b>	<b>10,84</b>	<b>11,38</b>	<b>10,88</b>	<b>10,82</b>



**Figura 4** - Interazione della temperatura sulla germinabilità dei genotipi posti allo studio.

Nello studio è stato anche riscontrato un generale miglioramento della germinabilità passando dalle temperature più basse fino a temperature comprese tra 20 e 30°C (variabile in funzione del genotipo), con l'ottenimento di una migliore energia germinativa alla temperatura più alta. La percentuale di germinabilità ha subito poi un decremento fino ad annullarsi in qualche genotipo in corrispondenza di temperature di 35°C. La precocità di germinazione è risultata variare in funzione della temperatura con un generale ritardo alle temperature più basse, (Tab. 5). Il genotipo Senegal ha evidenziato una maggiore precocità a 30 e 35°C. Il trattamento di osmopriming ha determinato degli aumenti significativi nella germinabilità (Tab. 6) ma in generale, tutti i trattamenti posti allo studio hanno incrementato significativamente la germinazione rispetto al testimone non trattato, anche se, la migliore risposta germinativa è stata ottenuta con la rimozione della caruncola associata all'immersione in acqua per 24 ore.

**Tabella 5** - Interazione della temperatura sulla precocità di germinazione dei genotipi posti allo studio (giorni dalla semina).

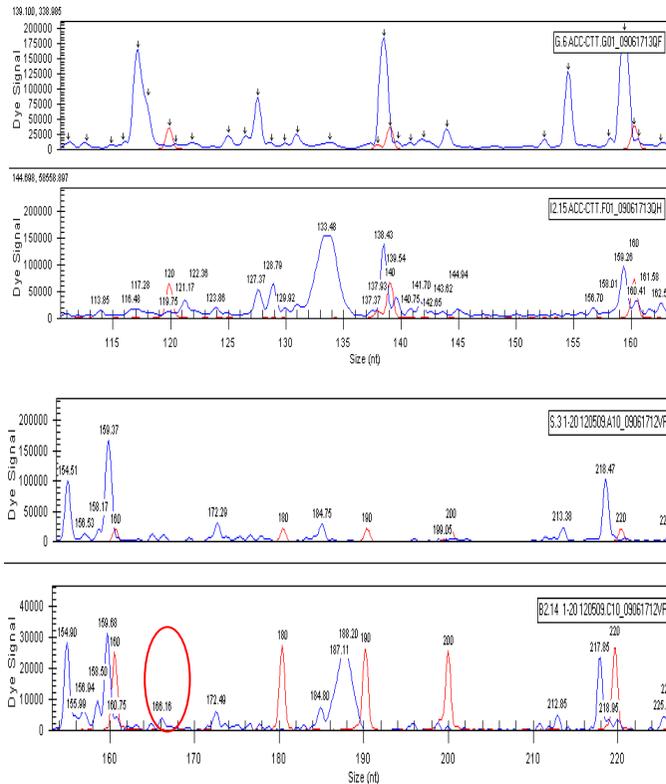
accessione	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C
Brasile 1	-	-	7	6	6	5,5
Brasile 2	-	-	7,5	6	6	5
Ghana	-	-	9	8	8	7
Guadalupe	-	6	6	5	5	-
India 1	-	6	5	5	5	-
India 2	-	6	5	5	5	-
Senegal	-	-	11	10	9	9
Tanzania	5	5	4	3	4	-

**Tabella 6** - Effetti della temperatura e del trattamento di Osmopriming di alcuni genotipi posti allo studio.

Temperatura	Brasile 2		Guadalupe		India 1		Tanzania	
	UP	P	UP	P	UP	P	UP	P
10°C	-	-	-	-	-	-	22,5 b	30,1 a
15°C	-	-	18,5 a	22,5 a	8,3 b	20,1 a	59,3 b	87,2 a
20°C	23,2 b	36,8 a	42,8 a	42,6 a	53,1 b	62,4 a	98,4 a	100 a
25°C	48,7 a	51,8 a	79,5 b	87,7 a	76,1 b	87,9 a	61,4 b	98,7 a
30°C	83,5 a	85,5 a	68,7 a	63,9 a	75,0 a	73,9 a	51,2 b	98,3 a
35°C	67,8 b	81,5 a	-	-	-	-	-	-
<b>media</b>	<b>55,8 b</b>	<b>63,9 a</b>	<b>52,4 a</b>	<b>54,2 a</b>	<b>53,1 a</b>	<b>61,1 b</b>	<b>58,6 b</b>	<b>82,9 a</b>

Allo scopo di effettuare una caratterizzazione genetica di alcune varietà di *Jatropha curcas* L. contraddistinte da semi ad alto contenuto di acido oleico, sono state effettuate delle prove in Sicilia in un ambiente tipicamente mediterraneo. L'utilizzo di marcatori basati su PCR come RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) e AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism), permette inoltre di constatare la distanza genetica fra le accessioni disponibili e ascrivere varietà apparentemente differenti a gruppi filogeneticamente simili. Uno studio condotto ad Ispica (RG) da Cosentino A.D. *et al.*, 2008, ha testato i profili genetici di 8 accessioni di *Jatropha* attraverso l'utilizzo di 4 combinazioni di primers. Le varietà testate provenienti dal Brasile, India, Tanzania, Senegal, Ghana, Guadalupe sono state sottoposte ad uno screening di marcatori molecolari polimorfici per meglio indagare sulla variabilità inter ed intra-specifica.

Nelle accessioni poste al confronto è stato riscontrata una uniforme distribuzione di picchi polimorfici nelle regioni comprese nel range tra 50 e 600 bp, porzione del genoma posta ad analisi per l'utilizzo dei primers di cui sopra. In particolare 2 markers polimorfici sono stati identificati con successo in 2 varietà poste allo studio e pertanto si è potuto constatare la presenza in queste di due polimorfismi: 135 nt e 187 nt (Fig. 5) (Tab. 7). Questi marcatori genetici hanno permesso di distinguere due clusters di varietà: la prima delle quali include le varietà Brazil 1 e India 2, caratterizzate dalla presenza in entrambe le regioni dei due polimorfismi; l'altra delle quali include le rimanenti varietà poste allo studio (Senegal, Tanzania, Ghana, Guadalupe, Brazil 2 e India 1). Nel corso dello stesso studio sono stati trovati altri polimorfismi, in particolare nella regione 133 nt di Brazil 1 e Tanzania, nella regione 143 nt di Ghana, nella 152 nt di Tanzania, e nella 288 nt di India e Senegal. Tra le accessioni confrontate, la varietà India 1, mostra le più rilevanti differenze dalle altre, con la presenza di due unici picchi in corrispondenza della regione 179 nt e 382 nt e l'assenza di picchi 154 nt e 227 nt.



**Figura 5** - Sequenze di elettroferogrammi, mostranti alcuni polimorfismi trovati nei genotipi posti allo studio.

**Tabella 7** - Presenza/assenza dei polimorfismi trovati, nei genotipi posti allo studio.

	135 nt	187 nt
<i>J. Curcas</i> Brazil 1	+	+
<i>J. Curcas</i> Brazil 2	-	-
<i>J. Curcas</i> Ghana	-	-
<i>J. Curcas</i> Guadalupe	-	-
<i>J. Curcas</i> India 1	-	-
<i>J. Curcas</i> India 2	+	+
<i>J. Curcas</i> Senegal	-	-
<i>J. Curcas</i> Tanzania	-	-

Dai risultati ottenuti è emerso l'ampia adattabilità di questa specie all'ambiente mediterraneo con discreti risultati produttivi riscontrati in alcuni genotipi che hanno dimostrato maggiore o minore tolleranza alle basse temperature, fattore limitante la loro l'introduzione in ambiente mediterraneo di questa specie tropicale.

## Prospettive

La versatilità della *Jatropha curcas* e i suoi molteplici utilizzi in campo medicinale, industriale, e come pianta per la produzione di biodiesel, la rendono oggetto di forte interesse soprattutto nelle zone di origine, tropicali e subtropicali. Negli ultimi anni, il suo potenziale come coltura oleaginosa per l'ottenimento di biocarburanti a costi relativamente bassi è stato fulcro di ampie ricerche.

Entro il prossimo decennio questa specie potrebbe diventare una delle maggiori fonti di energia rinnovabile nelle aree tropicali e subtropicali di Asia, Africa e America.

Per massimizzare il potenziale di produzione di olio per ettaro e migliorare la sostenibilità economica deve però essere ancora effettuato un intenso lavoro di miglioramento genetico e delle tecniche agronomiche.

## Bibliografia

- Cosentino A.D. Molecular characterization of eight genotypes of *Jatropha curcas* L. 17th European Biomass Conference and Exhibition, 29 June - 3 July 2009, Hamburg, Germany, 565-567.
- Henning, R. June 2009, The Jatropha Book. The Jatropha System, an integrated approach of rural development, <http://www.jatropha.de/>, Weissenberg, Germany.
- Jongschaap *et al.*, 2007. Claims and facts on *Jatropha curcas*. Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme. Report 158 Plant Research International, Wageningen UR.
- Manurung R., 2007. Valorization of *Jatropha curcas* using the biorefinery concept. Expert seminar on *Jatropha curcas* L., Agronomy and genetics. 26-28 March 2007, Wagenin, Netherlands, Published by FACT Foundation.
- Sortino *et al.* 2009. Preliminary results of the behaviour of *jatropha curcas* in the south of Italy. 17th European Biomass Conference and Exhibition, 29 June - 3 July 2009, Hamburg, Germany, 568-570.
- Openshaw, K. 2000, "A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise", *Biomass and Bioenergy*, vol. 19, no. 1, pp. 1-15.
- Sortino *et al.*, 2009. Capacità di sviluppo e attività fotosintetica di *Jatropha curcas* in ambiente mediterraneo. Atti XXXVIII Convegno SIA, Firenze, 21-23 Settembre 2009, 271-272.
- Sortino *et al.*, Leaf gas exchange in field experiments on 8 varieties of *Jatropha curcas* L., in semiarid Mediterranean environment. 17th European Biomass Conference and Exhibition, 29 June - 3 July 2009, Hamburg, Germany, 571-573.
- Sortino *et al.*, 2009. Primi risultati della caratterizzazione bio-morfologica e fisiologica di genotipi di *Jatropha curcas* coltivati in un ambiente della Sicilia sudorientale al fine dell'introduzione in coltura della specie per la produzione di olio e biodiesel. Relazione CER (Compagnia per Energie Rinnovabili), progetto "Ca-

ratterizzazione Biomorfologica e Fisiologica di Genotipi di *Jatropha curcas* Coltivati in un Ambiente della Sicilia Sudorientale al fine dell' introduzione in Coltura della Specie per la Produzione di olio e biodiesel"; dati non pubblicati.

Sortino *et al.*, 2010. Moltiplicazione e valutazione della *J. curcas* per la produzione di olio vegetale: valutazione della resistenza alle basse temperature e agli stress idrici. Relazione CER, (Compagnia per Energie Rinnovabili), progetto "Caratterizzazione Biomorfologica e Fisiologica di Genotipi di *Jatropha curcas* Coltivati in un Ambiente della Sicilia Sudorientale al fine dell' introduzione in Coltura della Specie per la Produzione di olio e biodiesel"; dati non pubblicati.

[www.JatrophaCurcasPlantations.com](http://www.JatrophaCurcasPlantations.com)

---

## 3 - Ricino (*Ricinus communis* L.)

### *Castor* (*Ricinus communis* L.)

**Orazio Sortino\*, Salvatore Luciano Cosentino\*, Sarah Sidella\***

#### **Riassunto**

Il Ricino (*Ricinus communis* L.), è una specie oleaginosa afferente alla Famiglia delle Euphorbiaceae, originaria dell’Africa Tropicale. Pianta perenne semi-tropicale (Weiss, 1983), rustica e moderatamente arido-resistente, ha un ciclo biologico che tende alla poliannualità, anche se negli ambienti temperati, gelate e basse temperature del periodo autunno-vernino possono determinare la morte della pianta, motivo per cui in questi ambienti, solitamente si preferisce coltivarla a ciclo annuale. In ambiente mediterraneo, il ricino può essere validamente coltivato come coltura intercalare primaverile-estiva. La sua produttività è legata essenzialmente alle caratteristiche dell’ambiente in cui la pianta cresce, tuttavia le rese della specie oscillano tra 2,5-3 t ha<sup>-1</sup> di seme.

Il Ricino, vanta molteplici utilizzi da quello ornamentale, a quello cosmetico, farmaceutico ed industriale; il suo possibile impiego quale “bio-combustibile” è da attribuire all’olio contenuto nei semi (dal 40 al 60%), caratterizzato da un’elevata percentuale di acido ricinoleico che lo rende molto viscoso e pertanto di difficile impiego nel settore motoristico allo stato puro; ridotta o addirittura eliminata tale componente nell’olio, questo diventa di possibile impiego come surrogato del diesel di origine fossile.

In questa sede la specie viene descritta dal punto di vista botanico, ecologico, ed agronomico.

Nell’ambito del Progetto FAESI, sono state effettuate alcune ricerche su alcuni genotipi di ricino selezionati dal DISPA di Catania; in particolare si è indagato sulle rese della specie allevata come coltura poliennale in Sicilia, ottenute in seguito a coltivazione con differenti input colturali, sull’influenza della tecnica di capitozzatura, sulle rese in seme e in olio e sugli effetti dell’impiego di ammendante a base di compost in ambiente marginale e salino della Tunisia Sud-Occidentale.

---

\*Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari (DISPA), Università degli Studi di Catania.

**Parole chiave:** *Ricinus communis* L., biocombustibile, arido-resistenza, input colturali, capitozzatura.

---

## Abstract

*The castor (Ricinus communis L.) is an oilseed species of the Euphorbiaceae family, native to tropical Africa. Semi-tropical perennial plant, wild and moderately dry-resistant, it has a perennial cycle, although, in temperate climates, it is cultivated in annual cycle because winter frost can kill the plant. In the Mediterranean environment, the castor bean, may be cultivated in spring and summer. Its productivity is essentially linked to the environment in which the plant grow, however the yields of the species range from 2,5 to 3 t ha<sup>-1</sup> seeds.*

*The castor, has many uses from ornamental to the cosmetic, pharmaceutical and industrial; its possible use as “bio-fuel” can be attributed to oil content in seeds (40 to 60%), characterized by high percentage of ricinoleic acid, which makes it very viscous and therefore difficult to use in engineering in its pre state. Reduced or even eliminated this component in the oil, it becomes possible to use as a substitute for fossil diesel. In this short monograph, the species is described in terms of botanical, ecological and agronomic. In the FAESI project, some researches were carried out on some genotypes selected from Castor by DISPA of University of Catania. In particular, the yields of castor were investigated in a multi-year crop in Sicily, under different crop inputs. Also, the influence of topping practice on seed and oil yields and the effects of the use of fertilizer- compost in a marginal and saline South-West of Tunisia, are investigated.*

**Keywords:** *Ricinus communis* L., biofuel, arid resistance, crop inputs, topping.

---

## Introduzione

Il nome generico “*Ricinus*” deriva dal latino e significa “zecca”, termine attribuitogli per il suo aspetto che somiglia appunto a quello dell’insetto. Il ricino è anche conosciuto come *Mano aperta*, *Cafè da olio*, *Manteca* o *Fico d’inferno*.

Secondo la tassonomia botanica, il ricino, *Ricinus communis* L., noto anche come *Ricinus vulgaris*, appartiene alla Famiglia delle Euphorbiaceae, Ordine Euphorbiales.

In Francese la specie è nota come *Ricin*, in Inglese *Castor oil plant*, in Spagnolo *Higuera infernal*, in Tedesco *Wunderbaum*, *Rizinus*.

Semi di ricino e olio estratto da questi hanno origini antichissime; nell’Antico Egitto sono stati rinvenuti semi in tombe risalenti al 4000 a.C., inoltre fin dai tempi dei faraoni la pianta di ricino veniva utilizzata per finalità curative.

L’addomesticamento del ricino risale al VI millennio a.C. nell’Asia sud-occidentale; la specie, originaria dell’Africa tropicale è stata introdotta in Europa prima dell’Impero romano. Oggi è coltivata in tutto il mondo, soprattutto nelle zone tropicali e

subtropicali (in particolare Asia e America del Sud), ma anche in zone caratterizzate da clima temperato, sia allo stato spontaneo che coltivato per il suo elevato contenuto in olio che viene utilizzato in farmacia e in varie applicazioni industriali.

A seguito di un periodo di notorietà conosciuta dal Ricino nel mondo antico, la coltura subisce un periodo di declino, probabilmente per l'interesse da parte di viaggiatori europei nei secoli XVI- XVII verso "nuove" oleaginose quali girasole, colza e soia, per poi nuovamente riapparire nel XVIII secolo.

Nella seconda metà dell'ottocento, con l'isolamento della ricinina e della ricinoleina, il ricino comincia a recuperare e nel novecento si comincia a trarne olio per utilizzo industriale.

La coltivazione del ricino è stata avviata in Italia nella Pianura Padana, intorno al 1880; nel periodo post-unitario, la coltura ha assunto nuovamente un ruolo secondario.

La produzione mondiale di semi di ricino ammonta a circa 1 milione di tonnellate anno<sup>-1</sup>. Le zone principali di produzione sono India, Cina e Brasile che contribuiscono a circa 66%, 21% e 6% della produzione mondiale.

## Descrizione botanica

L'habitus spontaneo negli ambienti tropicali e subtropicali è quello arbustivo-perennante, quello delle specie coltivate negli ambienti caratterizzati da climi temperati è generalmente quello di specie erbacea annuale.

Il ricino è una pianta perenne semi-tropicale (Weiss, 1983); il suo ciclo tende alla poli-annualità, anche se negli ambienti temperati gelate e basse temperature del periodo autunno-vernino possono determinare la morte della pianta, motivo per cui solitamente in questi areali si preferisce coltivarla a ciclo annuale.

Nelle zone costiere della Sardegna, dove la coltura cresce allo stato spontaneo, è presente una forma perennante; nei litorali mediterranei e nelle zone a clima mite, è talvolta considerato una pianta infestante.

L'altezza media è di 2-3 m, ma nei paesi di origine arriva a 8-10 m di altezza. L'apparato radicale è di tipo fittonante e può arrivare a notevole profondità, è formato da un grosso fittone che si sviluppa in profondità e da radici laterali superficiali.

Il fusto principale è eretto e cavo al suo interno, di lunghezza variabile tra 60 cm ad oltre 5 metri; si presenta liscio o pruinoso, più o meno ramificato e termina con una infiorescenza a pannocchia dal cui nodo immediatamente sottostante si origina una ramificazione. La crescita è di tipo simpodiale (infiorescenza all'estremità del fusto e ramificazione sotto ogni infiorescenza); dopo la formazione dell'infiorescenza primaria nella parte apicale del fusto, segue la formazione di infiorescenze secondarie. Il numero dei nodi sotto la prima infiorescenza è influenzato dall'epoca di semina e, la resa potenziale della specie sembra essere in correlazione con la quantità di pruina presente sul fusto della pianta.

A seconda delle varietà e delle condizioni in cui la pianta cresce, anche i rami secondari danno origine a rami terziari dai nodi sottostanti i racemi. Questa emissione di rami e racemi può continuare per tutto il ciclo biologico della pianta.

Per ridurre l'altezza delle piante e quindi facilitare la raccolta, sono state selezionate varietà con internodo corto (varietà nane alte 60-120 cm), idonee negli ambienti aridi e particolarmente interessanti nell'ottica della raccolta meccanizzata, piuttosto difficoltosa nel ricino; queste, hanno consentito lo sviluppo della meccanizzazione su larga scala della coltura.



**Foto 1** - Racemo di *Ricinus communis* L. - Foto DISPA).



**Foto 2** - Capsule verdi di *Ricinus communis* L. (Foto DISPA).

Le foglie caduche e palmate (da 5 a 15 lobi), sono alterne lungo il fusto, ad eccezione del primo nodo dove ne sono inserite due opposte; si presentano larghe fino anche ad un metro, con margini dentellati e sorrette da robusti piccioli a sezione circolare, cavi al loro interno, saldamente fissati al fusto e ben forniti nella parte prossimale di ghiandole nettariifere. A seconda della varietà le nervature possono essere più o meno marcate e colorate. Le foglie possono essere di colore verde o rosso, quest'ultime sono utilizzate a scopo ornamentale. Il ricino è una pianta monoica con fiori raggruppati in infiorescenze a grappolo o pannocchia; queste, portano fiori femminili picciolati nella parte alta e piccoli grappoli di fiori maschili nella parte bassa. Quasi tutte le varietà sono a fioritura estiva ma questa non avviene contemporaneamente tra fiori maschili e femminili.

Il ricino è una pianta allogama, i fiori, unisessuati, sono disposti a spirale sull'asse del racemo, non hanno petali e sono protetti da un bocciolo di 3-5 sepalì che alla fioritura rimangono saldati alla base. L'impollinazione è anemofila.

Il frutto è una capsula triloculare, spinosa o liscia che contiene 3 semi ovoidali; è deiscente a maturità nelle forme selvatiche e indeiscente in alcune varietà selezionate. Il numero di capsule prodotte da un singolo racemo, varia tra 2 e 8.

La capsula a maturità si apre lungo la sutura dorsale ed i semi si disperdono; la maturazione dei frutti lungo l'asse del racemo non è regolare, perché frutti basali maturano prima di quelli apicali.



**Foto 3** - Capsule mature di *Ricinus communis* L. (Foto DISPA).

I semi, lunghi circa 1 cm, contengono dal 40 al 60% di olio e il 15% di fibra, presente principalmente nel guscio esterno; hanno una forma ovoidale compressa, con una delle estremità più arrotondata e con l'altra fornita di una protuberanza detta caruncola; presentano tegumento duro ma fragile, lucente, di colore dal grigio al giallastro e rossastro con strie e macchie di altro colore e internamente contengono una pellicina sottile, biancastra (nella quale si trova la ricina) e abbondante albume oleoso nel quale è immerso l'embrione.

Il rapporto tra guscio e seme può variare approssimativamente da 1:2 a 1:4 in peso; il peso di 1000 semi oscilla tra meno di 100 g a più di 1000 g, ma la maggior parte delle varietà commerciali ad internodo corto raggiunge approssimativamente la media di 300 g.

L'olio di ricino è composto interamente da trigliceridi; il gliceride principale è la ricinoleina, di cui il componente acido grasso principale è l'acido ricinoleico C17, a cui si devono le proprietà purgative conferite all'olio. Questo acido è, inoltre responsabile dell'alta viscosità dell'olio che ne rende difficoltosa la trasformazione in biodiesel per un suo utilizzo energetico.

Il principio anti-ossidante nell'olio di ricino è il tocoferolo, il cui contenuto totale si aggira tra 22 e 50 mg per 100 g nell'olio grezzo.

## Biologia

Il ciclo biologico può essere distinto nelle seguenti fasi:

- *Germinazione*: avviene in circa 12-15 giorni con temperature comprese tra 15-18 °C, l'optimum di umidità per tale fase si aggira intorno al 16%.
- *Sviluppo vegetativo*: è il periodo delimitato dall'emergenza e dalla emissione del racemo fiorale, ha una durata che varia anche a seconda dell'andamento climatico dai 25 ai 60 giorni.
- *Fase riproduttiva*: è il periodo che va dall'emissione del racemo fiorale fino alla maturazione. Richiede circa 45-60 giorni in relazione alla varietà impiegata e all'andamento termo-pluviometrico.

#### *Esigenze rispetto al clima*

Il ricino trova buone condizioni di crescita nelle regioni temperato-calde ed in quelle tropicali ma si adatta anche ad una vasta gamma di situazioni climatiche; in relazione a questa sua caratteristica la specie si è naturalizzata anche in Sicilia, dimostrando così la piena adattabilità negli areali caldo-aridi tipici dell'ambiente mediterraneo.

Coltivazioni commerciali di questa pianta possono riscontrarsi sia a livello del mare che a diverse altitudini, fino a 3000 m nei luoghi d'origine; i limiti geografici spaziano da 40°S a 52°N.

Essendo originario di aree tropicali e subtropicali, la specie si avvantaggia delle precipitazioni estive di queste zone dove trova le migliori condizioni per la sua crescita, nonostante si dimostri capace di crescere in tutte le regioni, da quelle tropicali umide a quelle subtropicali aride, purché siano soddisfatte le sue esigenze termiche.

#### *Temperatura*

Il ricino richiede una temperatura moderatamente elevata in tutte le sue fasi di sviluppo; quella ottimale per la sua crescita è di 20-26°C (Weiss, 1983), temperature al di sopra di 38°C inibiscono la produzione di semi in quanto possono comportare il disseccamento del fiore.

Il seme germina in 7-14 giorni con temperature del suolo di 16-17°C (Zinnerman, 1958) mentre la fioritura richiede una temperatura compresa tra 24 e 26°C.

Nelle regioni temperate sono soprattutto le basse temperature ad imporre i limiti alla coltivazione di questa oleaginosa. Durante l'emergenza, temperature del suolo al di sotto di 10°C ritardano notevolmente la fuoriuscita delle plantule dal terreno, rendendo i semi più sensibili all'attacco di agenti patogeni. Un'esposizione della pianta a temperature di -2°C per 4 ore continuative, è sufficiente a provocarle la morte (Weiss, 1983). L'elevata temperatura favorisce una maggiore produttività della coltura ed un'elevata percentuale di olio nei semi che in condizioni favorevoli può arrivare ad una resa del 63%.

Da uno studio effettuato nel 1983 in Sicilia (Abbate e Copani, 1988) in due località poste a 200 e 500 m s.l.m., è stato riscontrato una durata dell'intervallo semina-emergenza di circa 80 giorni con semine invernali e di circa 35 giorni con semine primaverili e risultati produttivi scadenti in presenza dei soli apporti idrici naturali.

### *Fotoperiodo*

Nei confronti della luce, il ricino è una pianta longigiurna nelle zone di origine e neutrodiurna alle nostre latitudini; i giorni corti ritardano la fioritura ma in generale la sensibilità al fotoperiodo, soprattutto alle nostre latitudini è molto attenuata, a dimostrazione dell'ampia adattabilità della specie a diversa lunghezza del giorno.

### *Esigenze pedologiche*

In relazione alle esigenze pedologiche, il ricino presenta un'elevata adattabilità ai vari tipi di suolo, fatta eccezione per quelli troppo argillosi e quelli mal drenati poiché la pianta è sensibile all'eccesso di umidità, soprattutto nelle prime fasi di sviluppo. Pur adattandosi a diversi terreni, le migliori produzioni si ottengono in suoli limo-sabbiosi, ben drenati e ricchi di sostanza organica; la specie si adatta a pH compreso tra 5 ed 8, pur prediligendo pH neutro. Il ricino è in grado di valorizzare ambienti marginali e risulta inoltre mediamente resistente alla salinità.

### *Esigenze idriche*

Il ricino consuma mediamente 400 litri per kg di sostanza secca formata. Nelle aree con precipitazioni estive, 500 mm di pioggia sono sufficienti per la coltivazione di varietà nane; la quantità ottimale di acqua è però compresa in un range tra 750 e 1000 mm. (Lal S. and Yadaw D.S., 1980). Grazie alla profondità del suo apparato radicale, il ricino è capace di esplorare strati profondi di suolo e attingere a falde acquifere sotterranee. Nonostante sia considerato una specie arido-resistente, assicura la migliore estrinsecazione delle sue potenzialità con una disponibilità idrica di 600-700 mm; tuttavia in Sud Africa, sono stati ottenuti ottimi risultati produttivi con una piovosità di 375-500 mm.

In ambienti moderatamente siccitosi come quelli della Sicilia, sono state ottenute produzioni non superiori a 0,5-0,6 t ha<sup>-1</sup> con una piovosità modesta (tra 60 e 90 mm), ma in suoli profondi di origine alluvionale (Abbate e Copani, 1988); negli stessi ambienti la disponibilità idrica vicina a 500 mm ha portato la produzione a circa 1,3 t ha<sup>-1</sup> (Copani e Abbate, 1988).

Variazioni nell'entità e nella distribuzione delle piogge nelle diverse aree geografiche, fanno variare notevolmente l'epoca di semina; questa, viene effettuata in novembre-dicembre per le zone piovose del Nord Africa e del medio Oriente, in marzo-maggio negli Stati Uniti o in settembre-ottobre nel Sud America. In Italia, il periodo migliore per le semine sembra collocarsi tra i mesi di aprile-maggio (Vannozzi e Baldanzi, 1988).

### *Esigenze nutritive*

Il ricino non si adatta a terreni dotati di un eccessivo grado di fertilità, poiché in questi casi tende a produrre una grande massa vegetativa a scapito della produzione di seme: la specie è infatti più spesso coltivata in terreni di moderata e bassa fertilità.

La pianta è particolarmente esigente in potassio e azoto, meno in fosforo; riguardo le esigenze nutritive, l'asportazione di elementi nutritivi per 1 tonnellata di semi

con capsule è di circa 30 Kg di N, 5 Kg di P 12 Kg di K, 4 Kg di Ca e 3 Kg di Mg (Geus J.G., 1973).

Le maggiori esigenze nutritive corrispondono al periodo di massima formazione di olio nel seme e cioè tra il ventesimo e il settantesimo giorno dopo la fioritura.

## Genetica

Il ricino ( $2n = 20$ ) è una specie prevalentemente allogama (Brigham, 1967), per cui i metodi impiegati nel miglioramento genetico sono quelli tipici delle piante allogame. Attualmente, vengono utilizzati quasi tutti i metodi classici del miglioramento per la costituzione di varietà ibride e sintetiche e varietà a libera impollinazione. L'intenso lavoro di miglioramento genetico ha riguardato in particolare l'adattamento pedoclimatico, l'altezza del fusto, la produttività, la deiscenza delle capsule, il peso e il tenore in olio, l'introduzione della monoracemia e la resistenza alle avversità.

Dall'unica specie *Ricinus communis* L. si sono originate numerosissime varietà che si differenziano per morfologia, ciclo della pianta, e sviluppo, frutti più o meno spinosi, colore e dimensione dei semi e così via. Il Genere *Ricinus* è considerato monotipico ed il *Ricinus communis* è la sola specie alla quale possono essere attribuite sei sub-specie: *Persicus*, *Chinensis*, *Zanzibariensis*, *Sanguineus*, *Indicus* e *Mexican*.

## Tecnica colturale

Il ricino può essere allevato sia come pianta annuale per ricavarne il seme (da cui estrarre l'olio), sia come pianta perenne, diventando in questo caso anche di notevoli dimensioni.

Nell'avvicendamento colturale, il ricino occupa la posizione di una sarchiata da rinnovo. La propagazione del ricino avviene mediante seme generalmente pre-immerso in acqua per circa 24 ore; a seconda della grandezza dei semi, la quantità di seme da impiegare è di 12-18 Kg ha<sup>-1</sup>.

La semina è effettuata "a postarelle" con deposizione di 2-3 semi per volta o in alternativa semina in vivaio e successivo trapianto con sesto d'impianto di 2 m x 2 m; è eseguita generalmente in primavera, con una profondità di semina di circa 5-10 cm, distanza sulla fila di 40-50 cm e tra le file di 90-100 cm. L'investimento ottimale di 40.000-60.000 piante ha<sup>-1</sup> (4-6 piante m<sup>-2</sup>).

Fondamentali prima della semina si rivelano una buona preparazione del terreno effettuata tramite aratura profonda (30 cm), fresatura e livellamento e l'estirpazione delle malerbe pre-esistenti. Nelle prime fasi del ciclo, il ricino è sensibile alle infestanti, le quali vengono controllate con un diserbo chimico effettuato in pre-emergenza e con successive sarchiature, a seconda delle necessità.



**Foto 4** - Prove di coltivazione di *Ricinus communis* L. in Sicilia (Foto DISPA).

Per quanto riguarda l'irrigazione, il ricino si avvantaggia notevolmente di interventi irrigui, specie subito dopo la semina per favorire la germinazione. Inoltre trae vantaggio da un'irrigazione effettuata allo stadio di 6-8 foglie, prima della formazione del racemo primario. Le piogge tardo-estive favoriscono la ripresa vegetativa della pianta e l'emissione di nuovi racemi, causando spesso problemi alla raccolta. Per quanto concerne la concimazione, il fabbisogno medio in elementi per il ricino è di circa 150 Kg di N, 100-120 Kg di  $P_2O_5$  e 80-100 Kg di  $K_2O$  da somministrare prima della semina e ad inizio fioritura.

La maturazione dei semi e delle capsule è scalare; alle nostre latitudini la raccolta inizia per le varietà precoci in agosto per finire ad ottobre per le varietà più tardive. Le capsule sono raccolte quando presentano un colore bruno e gli aculei diventano consistenti e fragili. Con le varietà indeiscenti si esegue la raccolta delle capsule pienamente mature e la sgusciatura si esegue mediante l'ausilio di macchine sgusciatrici; nelle varietà deiscenti, le capsule si raccolgono prima che abbiano raggiunto la piena maturazione e vengono poi lasciate essiccare.

## Produzione di seme

Le rese medie del ricino sono di 2,5-3 t ha<sup>-1</sup> di semi i quali contengono in media una percentuale di olio tra il 40 e il 60% e il 20% circa di materiali albuminoidi ai quali si aggiungono sostanze di varia natura quali: zuccheri, gomma, sali, resine e l'alcaloide ricinina.

Prima della spremitura o estrazione dell'olio, il seme viene in genere sgusciato; i tegumenti seminali rappresentano circa il 17-20% del peso del seme.

La produttività delle cultivar è legata essenzialmente alle caratteristiche dell'ambiente. Nelle aree del centro-sud d'Italia si raggiungono in media 1,5 t ha<sup>-1</sup> di seme con punte di oltre 2 t ha<sup>-1</sup>; in Sicilia, in condizioni asciutte, la coltura è in grado di raggiungere circa 1 t ha<sup>-1</sup>.

## Composizione dell'olio

Il ricino è una pianta tossica, la cui tossicità è dovuta alla presenza della glicoproteina ricina e dell'alcaloide ricinina, concentrate in massima parte nei semi della pianta. In questi è presente anche un enzima lipolitico che può causare una rapida idrolisi dei gliceridi se non vengono conservati in luoghi asciutti. La ricina, può però essere facilmente eliminata attraverso desolventizzazione della farine di estrazione. Trattamenti di detossificazione, provocano la perdita di alcuni amminoacidi (lisina, cisteina e metionina), dovuta alla denaturazione delle proteine, ed è per questo motivo che le farine di ricino detossificate potrebbero venire utilizzate in zootecnia solo per gli animali ruminanti, mentre per i monogastrici si dovrebbe provvedere a reintegrare nei livelli dovuti gli amminoacidi mancanti.

## Impieghi

Il ricino, oltre che come biocombustibile o biomassa energetica, trova impiego anche nel controllo dell'erosione dei suoli, finalità a salvaguardia dell'ambiente. È inoltre molto apprezzato non solo per le sue proprietà medicinali ma anche come pianta ornamentale grazie alle sue foglie particolarmente decorative e per le infiorescenze molto colorate ed appariscenti.

L'olio estratto dai semi di ricino attraverso il sistema continuo e quello discontinuo, contiene per il 90% acido ricinoleico che gli conferisce elevata viscosità, elevato peso specifico, miscibilità in olio e basso punto di congelamento; l'olio di ricino viene impiegato anche nel campo degli adesivi e dei plastificanti, nonché come fluido per freni e per comandi idraulici.

È inoltre un ottimo lubrificante, poco infiammabile e non secca se esposto all'aria. Ha inoltre una composizione particolare in quanto mantiene lo stesso livello di fluidità indistintamente a temperature molto basse o molto alte. Grazie a questa proprietà viene usato nei motori spinti e ad elevato numero di giri, nelle gare di rally ed in motori per aeromodelli.

I pannelli, sottoprodotti derivati in seguito all'estrazione di olio, sono tossici per la presenza di un'albumina tossica: la ricina (Osborne *et al.*, 1905), alcuni potenti fattori allergenici (polisaccaridi legati a proteine) (Spies e Coulson, 1943) ed un alcaloide: la ricinina (Tuson, 1905) e pertanto non commestibili né tantomeno utilizzabili

in nutrizione zootecnica ad eccezione di quelli provenienti da genotipi selezionati per la bassa tossicità. I pannelli vengono però impiegati come concimi organici naturali per il contenuto di elementi umici (75%) oltre che di macro e micro elementi che li caratterizza (5-6% di N, 2-3% di P e 1,1 % di K), e vengono inoltre utilizzati per la produzione di biogas.

## Ricerche sperimentali

L'irrigazione è uno degli aspetti della tecnica colturale più studiato, soprattutto nelle regioni meridionali dove l'esito della coltura dipende appunto dalla possibilità di intervenire o meno con l'irrigazione.

Da una prova condotta in Sicilia da Copani *et al.* nel 1988, basata sul confronto tra prefissati interventi irrigui in corrispondenza delle fenofasi e la restituzione del 50% dell'ETm durante l'intero ciclo colturale, è emerso un incremento del consumo di acqua da 1700 a 3200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, ma anche un incremento di resa del 50% rispetto alla coltura irrigata senza la restituzione.

Un risultato simile è stato ottenuto in due differenti prove realizzate nelle Marche (Laureti e Fedeli, 1995; Laureti e Marras, 1995), nelle quali sono state confrontate colture irrigue differenziate in base al criterio di restituzione di ETm, stabilito secondo prefissati coefficienti colturali di restituzione idrica; la resa ottenuta è stata proporzionale all'aumento di volume stagionale d'irrigazione.

Il ricino, in ambiente mediterraneo, può essere validamente coltivato come coltura intercalare primaverile-estiva (Sarno *et al.*, 1993; Patanè *et al.*, 1995; Laureti e Marras, 1995; Laureti, 2002). La specie può avere durata poliennale, soprattutto nelle zone di origine.

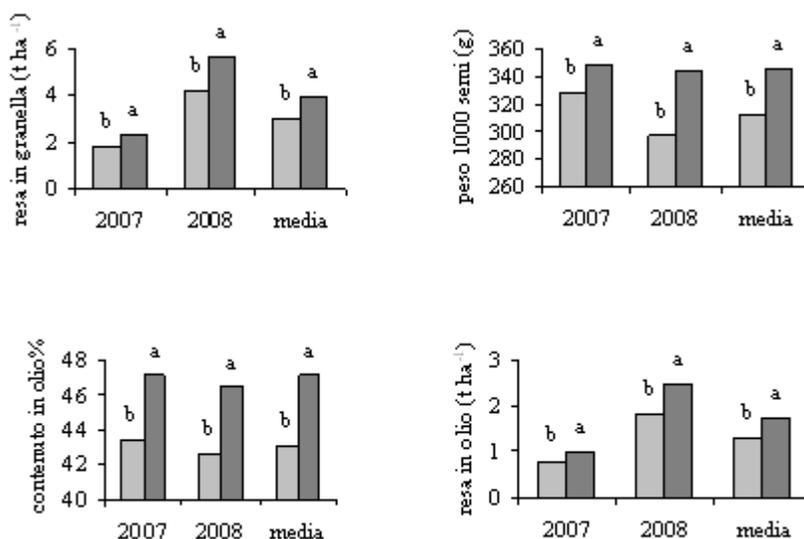
**Tabella 1** - Statura delle piante e produzione della biomassa epigea totale nel biennio di prova con tecniche a bassi (T<sub>0</sub>) ed alti input (T<sub>1</sub>) nei trattamenti (bassi e alti input).

caratteri	T <sub>0</sub>			T <sub>1</sub>		
	2007	2008	media	2007	2008	media
Statura piante (cm)	114 b	186 b	150	221 a	273 a	247
Biomassa secca (t ha <sup>-1</sup> )	2,6 b	7 b	4,8	6,3 a	15 a	10,7

Nella Sicilia sud-orientale, è stato condotto un biennio di prove (2007-2008), durante il quale si è indagato sulla risposta produttiva di una linea di *Ricinus communis*, selezionata dalla Sezione Agronomica del DISPA dell'Università di Catania, da popolazioni spontanee, coltivata in ciclo poliennale con due diverse tecniche di coltivazione: una ad alti input (irrigazione alla semina e dall'emergenza alla maturazione del racemo principale e concimazione alla semina di 80 Kg ha<sup>-1</sup> di N, 80 Kg ha<sup>-1</sup> di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 60 Kg ha<sup>-1</sup> di K<sub>2</sub>O), ed una a bassi input (irrigazione soltanto alla semina). Come previsto, la statura delle piante è risultata essere influenzata dalla tecnica col-

turale utilizzata, variando tra 114 cm ( $T_0$ ) e 221 cm ( $T_1$ ) al I anno e tra 186 cm ( $T_0$ ) e 273 cm ( $T_1$ ) al II anno e, la produzione di biomassa è aumentata con l'utilizzo della tecnica ad alti input, raggiungendo alla fine del II anno valori di circa 7 e 15 t ha<sup>-1</sup> (rispettivamente per  $T_0$  e  $T_1$ ) (Tab. 1).

La tesi  $T_1$  (alti input) nei 2 anni, ha fornito una resa in granella, significativamente superiore rispetto a quella fornita nella tesi  $T_0$  (bassi input), con valori di 4 t ha<sup>-1</sup> e 3 t ha<sup>-1</sup>, nella media rispettivamente. La riduzione degli input colturali ha determinato in entrambi gli anni di sperimentazione, una riduzione del peso dei 1000 semi (312 g vs 346 g) e del contenuto in olio (43% vs 47%) (Fig. 1)



**Figura 1** - Resa in granella, peso 1000 semi, contenuto e resa in olio nel biennio di prova, a seguito dei trattamenti  $T_0$  (chiaro) e  $T_1$  (scuro).

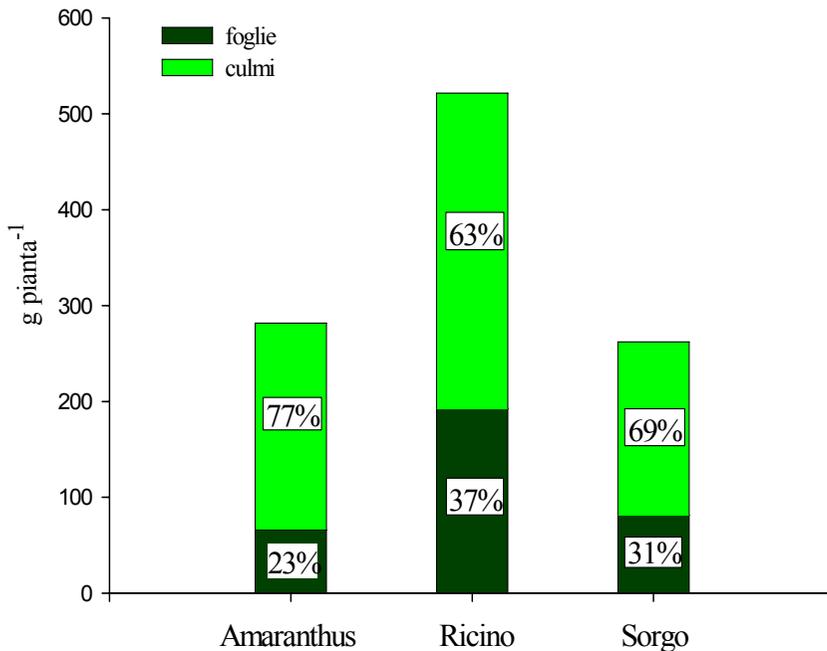
Dalla prova è emerso che il ricino, coltivato in ciclo poliennale, anche con una riduzione di input agronomici, sembrerebbe in grado di realizzare buone produzioni in seme ed in olio (Sortino *et al.*, 2009).

In riferimento alla potenzialità bioenergetica del ricino, è stata condotta una prova da Sortino *et al.*, (2005) nella quale è emersa l'elevata capacità produttiva della specie in confronto ad altre confrontato con esso (*Amaranthus* e *Sorgo*) dovuta all'elevata superficie fogliare e quindi ad una più ampia superficie fotosintetizzante, unita ad una maggiore quantità di biomassa secca (500 g pianta<sup>-1</sup>), giustificata da un più grande diametro del fusto (basale 34 mm, mediano 25 mm, apicale 12 mm) del ricino, rispetto alle altre due specie. Anche le caratteristiche qualitative della biomassa sono risultate idonee ai processi di conversione bioenergetici, avendo mostrato il ricino un alto contenuto energetico (18 MJ Kg<sup>-1</sup>) e quindi un alto potere calorifico, ed un modesto contenuto in ceneri (5%) (Tab. 2) (Fig. 2) (Fig. 3) (Fig. 4).

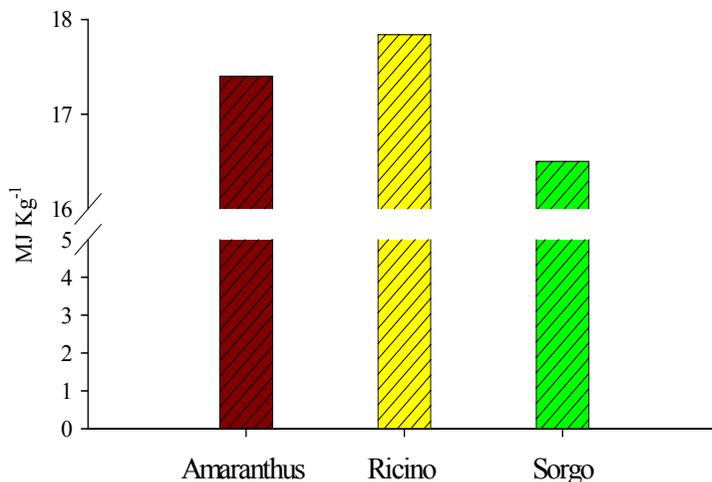
Il *Ricinus communis*, per le sue caratteristiche di arido-resistenza e tolleranza alla salinità, fornisce una produzione che può essere finalizzata allo sviluppo della filiera bioenergetica, e allo stesso tempo può contribuire al contenimento dell'erosione e della desertificazione, ricorrente soprattutto nelle regioni desertiche e semidesertiche del Pianeta, tra le quali la Tunisia, appunto caratterizzata da vaste aree semi-aride saline, incolte ed abbandonate.

**Tabella 2** - Confronto tra caratteri morfo-biometrici delle tre specie allo studio.

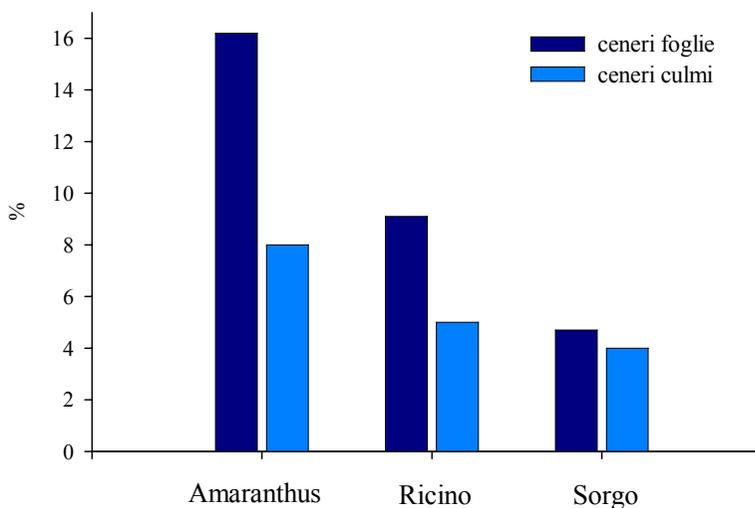
	altezza pianta	ramificazioni	foglie	diametro fusto basale	diametro fusto mediano	diametro fusto apicale	superficie fogliare
	<i>cm</i>	<i>n</i> <sup>o</sup>	<i>n</i> <sup>o</sup>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>cm</i> <sup>2</sup> <i>pianta</i> <sup>-1</sup>
Amaranthus	226,7	10	70	22	14	9	5313
Ricino	167,7	11	128	34	25	12	34276
Sorgo	380,3	-	18	24,5	22	8,7	6187
<i>DMS</i>	39,3	-	31,4	7,5	1,8	2,5	13851



**Figura 2** - Ripartizione della biomassa secca epigea nelle tre specie allo studio.

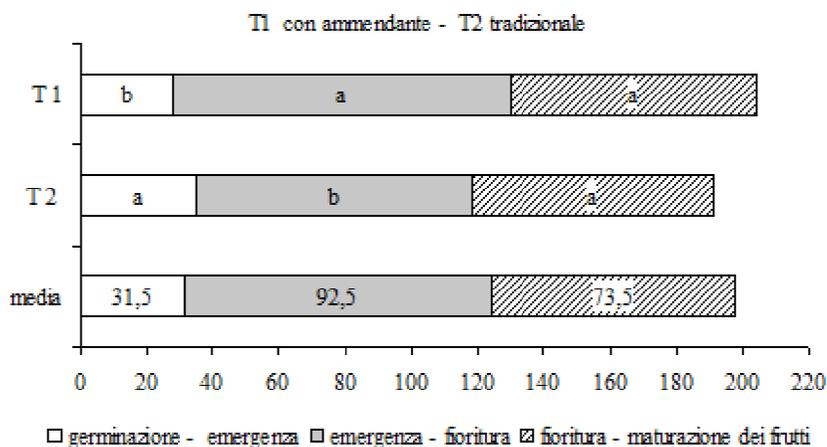


**Figura 3** - Potere Calorifico Inferiore (PCI) determinato nelle tre specie allo studio.



**Figura 4** - Contenuto in ceneri determinato nelle tre specie allo studio.

Una prova condotta dalla Sezione Agronomica del DISPA dell'Università di Catania, condotta in collaborazione con il Commissariat Regional au Developpement Agricole de Gafsa) a Metlaoui (Lat N 34° 18', Long E 8° 28' a 189 m s.l.m.), nel 2009, ha dimostrato l'adattabilità del ricino negli ambienti marginali della Tunisia sud-occidentale, nei quali la specie ha avuto un ciclo biologico della durata di 198 giorni nella media dei trattamenti effettuati (Fig. 5) e una produzione di 1,6 t ha<sup>-1</sup> di granella e di 0,74 t ha<sup>-1</sup> di olio, corrispondenti ad una percentuale oleica di 46,1%, molto buona soprattutto in considerazione delle condizioni quasi "estreme" di crescita a cui è stata "costretta" la coltura (Tab. 3).



**Figura 5** - Durata del ciclo biologico e di alcuni suoi intervalli nelle tesi poste allo studio.

**Tabella 3** - Resa e suoi componenti delle tesi poste allo studio.

Trattamento	Produzione t ha <sup>-1</sup>	Peso dei 1000 semi (g)	% Olio	Produzione di olio t ha <sup>-1</sup>
T <sub>1</sub> con ammendante	1.7a	272a	47.4	0.81
T <sub>2</sub> tradizionale	1.5b	237b	44.8	0.67
Media	1.6	254.5	46.1	0.74

L'ampia diffusione della specie allo stato spontaneo in molte aree meridionali, è indice di notevole adattabilità del ricino in ambiente mediterraneo.

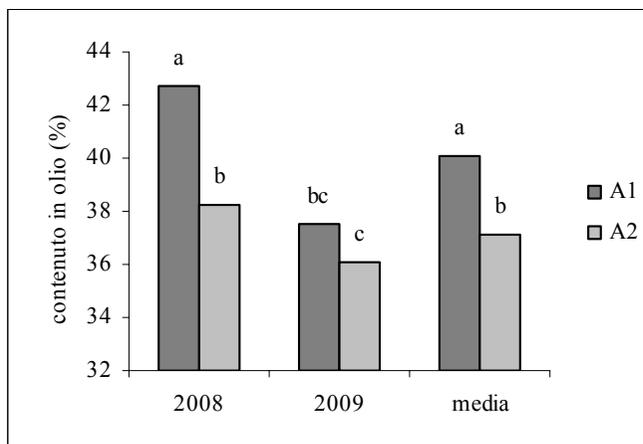
In una prova condotta da Sortino *et al.*, nel triennio 2007-2008-2009 su *Ricinus communis*, allevato in coltura poliennale nella Sicilia sud-orientale, si sono studiati gli effetti della potatura sulle produzioni di seme ed olio delle piante poste allo studio.

La tecnica di capitozzatura, effettuata nei 3 anni di prova, ha determinato una significativa riduzione del numero di racemi, un maggior allungamento degli stessi ed un aumento del numero di capsule, rispetto alle piante non capitozzate (A<sub>1</sub>) (Tab. 4). I semi delle piante capitozzate (A<sub>2</sub>), hanno però fatto rilevare un minor quantitativo in olio (37% vs 40%) (Fig. 6).

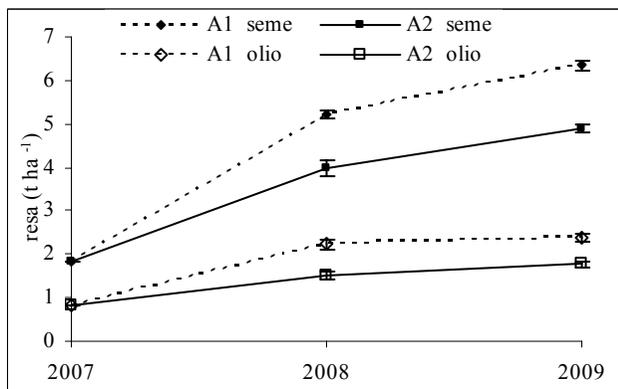
Dai risultati della prova è emerso anche che, nella media del triennio, la pratica della potatura ha influenzato negativamente la resa in seme (4,43 t ha<sup>-1</sup> vs 5,78 t ha<sup>-1</sup>) e la resa in olio (1,6 t ha<sup>-1</sup> vs 2,3 t ha<sup>-1</sup>) (Fig. 7)

**Tabella 4** - Caratteri biometrici e produttivi nei trattamenti allo studio, rilevati al II e III anno di coltivazione

anno	A1	A2	media
<b>n° di racemi per pianta</b>			
<b>2008</b>	158	56	<b>107.0 a</b>
<b>2009</b>	265.7	58.2	<b>161.9 a</b>
	<b>211.9 a</b>	<b>57.1 b</b>	
<b>lunghezza media racemi (cm)</b>			
<b>2008</b>	10.8	18.1	<b>14.4 a</b>
<b>2009</b>	11.6	19.4	<b>15.5 a</b>
	<b>11.2 b</b>	<b>18.8 a</b>	
<b>n° di capsule per racemo</b>			
<b>2008</b>	8.1	17.5	<b>12.8 a</b>
<b>2009</b>	8.7	19.9	<b>14.4 a</b>
	<b>8.4 b</b>	<b>18.7 a</b>	
<b>peso 1000 semi (g)</b>			
<b>2008</b>	295.7	302.2	<b>298.9 b</b>
<b>2009</b>	306.4	322.6	<b>314.5 a</b>
	<b>301.1 b</b>	<b>312.4 a</b>	



**Figura 6** - Contenuto in olio (%) dei semi nel triennio di prova, con (A<sub>2</sub>) o senza (A<sub>1</sub>) capitozzatura.



**Figura 7** - Andamento nel triennio della resa in seme ed in olio, in piante capitozzate (A<sub>2</sub>) e non (A<sub>1</sub>). Le barre verticali rappresentano l'errore standard.

## Bibliografia

- Espig, 2001. La coltivazione delle piante tropicali e subtropicali. Edagricole.
- Sortino O., Bellomia L., Sanzone E., Terranova G., 2007. Potenziali colture da biomassa per usi bioenergetici: *Amaranthus* (*Amaranthus caudatus* L.) e Ricino (*Ricinus communis* L.). Atti XXXVII Convegno SIA, 13-14 settembre 2007, Catania, 165-166.
- Sortino O., Cosentino S.L., Dipasquale M., Di Lella E., 2010. Risposta alla Riduzione degli Input Colturali in *Ricinus communis* in Coltura Poliennale per la Produzione di Olio in Sicilia. Atti XXXIX Convegno SIA, 20-22 settembre 2010, Roma, 177-178.
- Sortino O., Dipasquale M., Daparo L., Criscione M.A., 2010. Effetti della Potatura sulle Produzioni di *Ricinus communis* allevato in coltura poliennale nella Sicilia Sud-Orientale. Atti XXXIX Convegno SIA, 20-22 settembre 2010, Roma, 179-180.
- Vannozzi G.P., Baldanzi, 1988. Tecnica colturale del ricino. Agricoltura Ricerca, 90, 53-62.
- Weiss E.A., 1971. Castor, Sesame and Safflower. Leonard Hill, London, 11-307.
- Weiss E.A., 1983. Oilseed crops. Tropical Agriculture Series, Longman, London and New York, 31-99.



---

## 4 - Canna d'Egitto [*Saccharum spontaneum* L. ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel.] e specie minori

*African fodder cane* [*Saccharum spontaneum* L. ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel.] and minor species

Salvatore Luciano Cosentino\*, Venera Copani\*,  
Danilo Scordia\*, Giorgio Testa\*

### Riassunto

*Saccharum spontaneum* L. ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel. è una specie spontanea del bacino del mediterraneo, ampiamente diffusa lungo le coste siciliane. Risulta poco studiata e i primi risultati di prove sperimentali condotte in Sicilia permettono di indicarla quale possibile coltura dedicata alla produzione di biomassa per energia per gli ambienti caldo-aridi. Dalle prove condotte sono emersi elevati livelli produttivi superiori a quelli di Miscanto (*Miscanthus* ssp.) e di altre specie erbaeece poliennali del bacino del mediterraneo (*Sorghum halepense*, *Cymbopogon hirtus* e *Oryzopsis miliacea*). È emerso che nei suoli profondi è possibile ottenere produzioni elevate anche in assenza di irrigazioni, ma che la restituzione del 50% dell'evapotraspirazione migliora sensibilmente le performance produttive della specie. Studi sulla bioconversione energetica di *Saccharum spontaneum* L. ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel. hanno evidenziato l'elevato contenuto in polisaccaridi strutturali e la loro buona attitudine alla fermentazione per la produzione di bioetanolo di seconda generazione.

**Parole chiave:** *Saccharum spontaneum* L. ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel., specie spontanea del mediterraneo, biomassa per energia.

---

\*Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari (DISPA), Università degli Studi di Catania.

## Abstract

*Saccharum spontaneum L. ssp. aegyptiacum (Willd.) Hackel. is a wild species in the Mediterranean basin where it is widely spread along the Sicilian coasts. It has not received attention so far, however, preliminary results of experimental trials carried out in Sicily allowed to draw the attention on this species as possible dedicated crop for biomass production for semi-arid environments. Trials carried out in Sicily have shown the high level of production, in comparison with biomass crops, such as Miscanthus ssp. and other Mediterranean wild grasses (Sorghum halepense, Cymbopogon hirtus and Oryzopsis miliacea). High yields were also achieved, in depth soils, without irrigation practice, while a further increase have been obtained by using 50% of evapotranspiration restoration. Further increases in the level of irrigation did not give significant increase of yields.*

*Concerning its possible utilization as bioenergy crop, studies on Saccharum spontaneum L. ssp. aegyptiacum bioconversion have shown the high level of structural polysaccharides and their good attitudes to be fermented for the production of second generation bioethanol.*

**Keywords:** *Saccharum spontaneum L. ssp. aegyptiacum (Willd.) Hackel., Mediterranean endemic species, energy crop.*

---

## Introduzione

Il clima mediterraneo è caratterizzato da estati calde e secche; la maggior parte dei modelli di riscaldamento globale prevedono una riduzione nella disponibilità idrica ed un incremento della temperatura dell'aria, in particolare durante il periodo estivo, con un conseguente incremento dell'evapotraspirazione (Rosenzweig e Tubiello, 1997; Metzger *et al.*, 2005). Pertanto, l'individuazione di colture da biomassa per energia con elevata tolleranza alle alte temperature e ad elevata capacità di utilizzazione delle risorse idriche potrebbe rispondere a tali richieste.

Rispetto alle specie agrarie convenzionali, le erbacee poliennali (*Arundo donax*, *Miscanthus* spp., *Cynara cardunculus*), in genere, richiedono minori input energetici (fertilizzanti, irrigazioni, pesticidi, etc.), possono essere coltivate su terreni marginali e contribuire al miglioramento della struttura e stabilità del suolo (controllo dell'erosione), alla sua fertilità (aumento della sostanza organica e ritenzione dei nutrienti) e al mantenimento della biodiversità (creazione di habitat per la fauna selvatica). Ulteriori vantaggi possono derivare dal fatto che queste specie fungono da serbatoi di carbonio e da sistema di filtraggio per la rimozione di prodotti agrochimici.

Rispetto alle colture annuali, le specie poliennali da biomassa per energia non competono con le più comuni colture agrarie per l'uso della terra dal momento che possono essere coltivate anche su terreni marginali e/o degradati.

In generale, l'ideotipo di una coltura dedicata da biomassa dovrebbe racchiudere alcune caratteristiche, quali: produzione di biomassa quanto più vicino alla produzione potenziale per ogni ambiente, elevata efficienza d'uso dell'acqua, dell'azoto e della radiazione solare in relazione all'ambiente, resistenza agli stress biotici ed abiotici, con specifiche caratteristiche per il differente uso finale (biogas, biodiesel, etanolo di prima o seconda generazione, bioidrogeno, etc.), positivo bilancio energetico e del carbonio (ratio e net gain).

Attualmente, le colture energetiche trovano spazio soprattutto nelle aree a clima temperato; la loro introduzione nelle zone mediterranee pone gravi limitazioni al pieno sfruttamento del loro potenziale produttivo a causa della ridotta disponibilità idrica nel corso della stagione estiva che coincide con il periodo di massimo sviluppo di molte di queste specie (es. *Miscanthus*).

Molte specie perenni presenti allo stato spontaneo negli ambienti caldo-aridi mediterranei potrebbero essere introdotte in coltura a fini energetici. Tra queste si annoverano: *Ampelodesmos mauritanicus* (Poir.) T. & Durand Schinz, *Oryzopsis miliacea* (L.) Asch. & Schweinf, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Hyparrhenia hirta* (L.) Stapf (sin. *Cymbopogon hirtus*), *Lygeum spartum* L. e *Saccharum spontaneum* L. ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel. che appare una delle più promettenti.

## Descrizione della pianta

*Saccharum spontaneum* (L.) ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hack. o canna d'Egitto, è una pianta cesugliosa, perenne, rizomatosa con culmi eretti (2-4 m), robusti, pieni ed internodi solidi, molto simile nell'aspetto esteriore al Miscanto (Foto 1). Possiede



**Foto 1** - *Saccharum spontaneum* L. ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel. (Foto DISPA).

foglie pelose sulla guaina, con lamina glabra di colore verdastro tendente al bianco-argento, tagliente ai margini (50-200 cm), scabra, larga 1-3 cm, ma generalmente convoluta. Ligula bi-auricolata e pelosa. Pannocchia ampia, a contorno lanceolato (20-50 cm), lanosa con spighette 4-6 mm avvolte da peli di 10-12 mm; racemi 3-15 cm con rachide fragile ai nodi, glume acuminate, cigliate alla base; spighette 4-6 cm, appaiate (una sessile e l'altra pedunculata), avvolte da peli di 10-12 mm; glume acuminate, cigliate alla base (Pignatti, 1982).

## Tassonomia

Ordine: *Poales*

Famiglia: *Poaceae*

Sottofamiglia: *Panicoideae*

Tribù: *Andropogoneae*

Genere: *Saccharum* L.

Specie: *Saccharum spontaneum* L.

Subspecie: *Saccharum spontaneum* (L.) ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hack.

## Esigenze rispetto al clima

*Saccharum spontaneum* ssp. *aegyptiacum* è classificata come una pianta xerofita, mesofita o idrofita, poiché può sopravvivere sia in condizioni di umidità elevata che di siccità altrettanto elevata. La capacità di sopravvivere anche a periodi prolungati di siccità può essere attribuita all'apparato radicale che riesce ad approfondirsi notevolmente esplorando strati di suolo con maggiori riserve idriche.

Essendo originaria di ambienti caldo-aridi temperati è una specie che predilige inverni miti ed estati calde, tipiche delle regioni del sud del Mediterraneo.

Le gelate possono danneggiare irreversibilmente il canneto, specialmente all'inizio della ripresa vegetativa; anche il rizoma è sensibile ai forti abbassamenti di temperatura. La grandine può anch'essa danneggiare il canneto ed in particolare le foglie e la guaina che riveste i culmi.

## Esigenze pedologiche

*Saccharum spontaneum* ssp. *aegyptiacum* predilige terreni ben drenati con abbondante umidità del suolo, ma si adatta a tutti i tipi di terreno dalle argille pesanti alle sabbie sciolte, tollera terreni di bassa qualità, come quelli salini prossimi alle coste dove infatti è possibile rinvenire estese colonie di questa pianta.

## Propagazione

La propagazione di *Saccharum spontaneum* ssp. *aegyptiacum* può avvenire mediante la divisione dei rizomi (Foto 2 e 3). A questo scopo l'apparato rizomatoso deve essere dissotterrato e ridotto in frazioni che abbiano almeno una gemma principale o più secondarie. I tratti di rizoma impiegati per la propagazione hanno un peso compreso tra 100 e 300 g.



**Foto 2** - Rizoma di *Saccharum spontaneum* ssp. *aegyptiacum* (Foto DISPA).



**Foto 3** - Particolare del rizoma di *Saccharum spontaneum* ssp. *aegyptiacum* (Foto DISPA).

Non sono riportati in letteratura dati relativi all'impiego di talee di culmo quale metodo di propagazione agamica, contrariamente a quanto avviene per la canna comune (Copani *et al.*, 2010).

## Tecnica culturale

La lavorazione principale può essere effettuata mediante aratura ad una profondità di circa 30 cm seguita da erpicature per l'amminutamento delle zolle. In casi di terreni pesanti può essere opportuno effettuare una ripuntatura per permettere alle radici di esplorare meglio gli strati più profondi del suolo. Nei terreni poveri la concimazione di fondo con fosforo (circa 100 kg ha<sup>-1</sup> di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) è necessaria per accrescere la dotazione che la pianta utilizzerà nell'anno di impianto e negli anni successivi. Nei terreni ricchi di potassio la somministrazione di questo elemento può essere omessa. L'azoto può essere apportato con le lavorazioni consecutive in quantitativi compresi tra le 60 e le 80 unità ad ettaro. Negli anni successivi, subito dopo la raccolta della biomassa si può procedere alla distribuzione di 60 kg ha<sup>-1</sup> dello stesso elemento sotto forma di nitrato ammonico.

Il trapianto dei rizomi può essere effettuato con successo all'inizio della primavera. La densità ottimale, anche in relazione al contenimento dei costi di impianto, è quella di 1-2 rizomi al m<sup>2</sup>. La raccolta avviene alla fine dell'inverno, quando il contenuto di umidità della biomassa arriva ai livelli minimi.

La fase di impianto è la fase più delicata dell'intero ciclo produttivo. Infatti, i due fattori che devono essere attenzionati maggiormente sono la qualità del rizoma utilizzato per la propagazione e la densità di impianto che si vuole ottenere. Tali fattori influenzeranno la produttività del canneto e quindi la redditività della coltivazione.

Il *Saccharum spontaneum* ssp. *aegyptiacum* grazie alla sua elevata densità di culmi al m<sup>2</sup> non permette un eccessivo sviluppo di erbe infestanti non risentendo quindi di fenomeni competitivi. Tuttavia, nell'anno di impianto potrebbe rendersi necessario un trattamento erbicida post-emergenza.

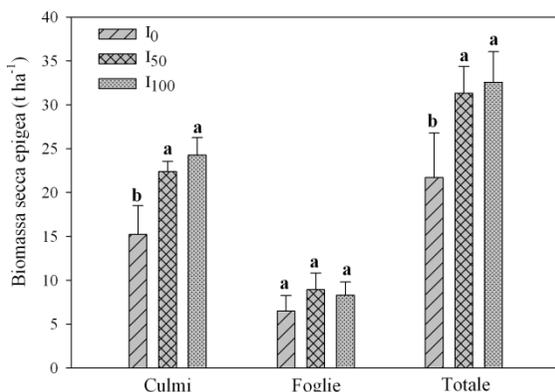
Prove di irrigazione su *Saccharum* effettuate in Sicilia (Catania) a tre diversi livelli di restituzione dell'evapotraspirazione della coltura (ETc) (100%, 50% e 0%) corrispondenti a 600, 300 e 0 mm di acqua (tesi I<sub>100</sub>, I<sub>50</sub> I<sub>0</sub>), hanno messo in evidenza che le due tesi che prevedevano i livelli più elevati di soddisfacimento irriguo (I<sub>100</sub> e I<sub>50</sub>) hanno fatto registrare le produzioni significativamente più elevate. In termini di efficienza d'uso dell'acqua (WUE), i valori più elevati sono stati riscontrati nella tesi che non prevedeva l'uso dell'acqua di irrigazione (6,85 g l<sup>-1</sup>) seguita dalla tesi I<sub>50</sub> (5,07 g l<sup>-1</sup>) e dalla tesi I<sub>100</sub> (3,56 g l<sup>-1</sup>), così come mostrato in tabella 1 (Cosentino *et al.*, 2011).

## Produzione

Nel corso del triennio 2002-2005 sono state condotte a Catania delle prove sperimentali ponendo allo studio specie poliennali da biomassa per energia (Cosentino *et al.*, 2006): 6 genotipi appartenenti al genere *Miscanthus* ed uno al genere *Saccharum*, quest'ultimo prelevato nell'area della costa ionica della Sicilia, allo scopo di confrontarne la capacità produttiva in condizioni ordinarie di coltivazione in ambiente caldo-arido. *Saccharum* si è distinto per l'elevata produzione di biomassa (5,3 kg m<sup>-2</sup> di s.s. al terzo anno) rispetto a quella dei genotipi di *Miscanthus*, variabile tra 3,4 kg m<sup>-2</sup> di s.s. (*M x giganteus*) e 0,37 kg m<sup>-2</sup> di s.s. (*M. sinensis* cv Roland). Da prove condotte sempre in Sicilia negli anni successivi da Cosentino *et al.* (2011) che prevedevano tre livelli di restituzione dell'evapotraspirazione è emerso che le due tesi che prevedevano i livelli più elevati di soddisfacimento idrico (I<sub>50</sub> e I<sub>100</sub>) hanno fatto registrare le produzioni significativamente più elevate rispetto alla tesi I<sub>0</sub>. Produzioni superiori a 20 t ha<sup>-1</sup> di sostanza secca sono state ottenute con le sole precipitazioni stagionali, mentre 31 t ha<sup>-1</sup> con 300 mm di irrigazione supplementare (Fig. 1).

L'irrigazione ha influenzato in maniera significativa tutti i caratteri rilevati, fatta eccezione per il numero di nodi per culmo. Per quanto riguarda il peso di un culmo ed il diametro basale i valori significativamente più elevati sono stati registrati nella tesi I<sub>100</sub> (pieno soddisfacimento idrico) mentre i valori significativamente più bassi nella tesi I<sub>0</sub> (condizioni idriche naturali). Le due tesi irrigue sono state tra loro indifferenziate in riferimento all'altezza totale del culmo (249,0 e 249,7 cm, rispettivamente per I<sub>100</sub> e I<sub>50</sub>), mentre valori significativamente più bassi (214,7 cm) sono stati

osservati nella tesi I<sub>0</sub> (Tab.1). La ripartizione della biomassa in culmi e foglie non è stata significativamente influenzata dai diversi livelli irrigui, 72,1% e 27,9% rispettivamente per culmi e foglie (Tab.1).



**Figura 1** - Biomassa secca epigea ( $t\ ha^{-1}$ ) e sua ripartizione in culmi e foglie in relazione ai trattamenti allo studio (I<sub>0</sub>, I<sub>50</sub>, I<sub>100</sub>).

**Tabella 1** - Dati biometrici rilevati alla raccolta ed efficienza d'uso dell'acqua (WUE) di *S. spontaneum* spp. *aegyptiacum*.

Tesi	Peso di 1 culmo (g)	Nodi culmo <sup>-1</sup> (#)	Diametro basale (mm)	Altezza totale (cm)	Ripartizione (%)		WUE (g l <sup>-1</sup> )
					Culmi	Foglie	
I <sub>0</sub>	172,4 ± 43,5b	14,0 ± 3,4a	0,92 ± 0,19b	214,7 ± 43,1b	71,41a	28,59a	6,85
I <sub>50</sub>	213,8 ± 60,7ab	15,0 ± 2,9a	1,04 ± 0,23ab	249,7 ± 45,5a	71,44a	28,56a	5,07
I <sub>100</sub>	230,5 ± 34,8a	14,3 ± 4,1a	1,15 ± 0,15a	249,0 ± 37,5a	73,50a	26,50a	3,56

Valore medio e deviazione standard (±) di dieci determinazioni.

## Composizione chimica e conversione biochimica

Come coltura da biomassa, *Saccharum spontaneum* spp. *aegyptiacum*, può essere utilizzata in processi termochimici come la combustione diretta per la generazione di energia elettrica e/o calore, o in processi biochimici come la produzione di bioetanolo di seconda generazione. Nel primo caso i fattori che rivestono un ruolo di primaria importanza, oltre all'elevata produzione in biomassa e al contenuto di umidità, sono il potere calorifico, il contenuto in ceneri e la sua composizione. Per il primo parametro non esiste alcun dato in letteratura, mentre per il contenuto in ceneri è emerso che quest'ultimo è in linea con quello delle principali colture da biomassa. Il contenuto in ceneri delle foglie è pari a circa il 5,4%, mentre quello dei culmi al 5,8% della biomassa secca totale. Il contenuto in potassio è pari allo 0,9% nelle fo-

glie e all'1,9% nei culmi; la silice è pari a 91,0 mg kg<sup>-1</sup> e a 19 mg kg<sup>-1</sup>, rispettivamente nelle foglie e nei culmi (dati DISPA non pubblicati).

Da prove condotte dal Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari – DISPA (Università di Catania) in collaborazione con l'USDA Forest Products Laboratory di Madison, WI, USA è stata studiata la possibile utilizzazione di *Saccharum spontaneum* spp. *aegyptiacum* come substrato per la produzione di bioetanolo di seconda generazione. Da questo studio è emerso che i polisaccaridi strutturali compongono il 61,5% del peso totale della biomassa, con la cellulosa, composta esclusivamente da glucani per il 36,8%. I principali polimeri che compongono l'emicellulosa sono xilani e arabinani, i quali ammontano al 21,5% e al 2,2 %, rispettivamente (Scordia *et al.*, 2010). Queste caratteristiche confermano la composizione chimica delle monocotiledoni, dal momento che gli arabino-xilani compongono la maggior parte dell'emicellulosa degli stocchi di mais, riso, frumento, avena e sorgo (Ebringerova and Heinze, 2000; Polizeli *et al.*, 2005). Galattani, mannani e ramnani compongono la restante parte dell'emicellulosa, 0,72, 0,16 e 0,14%, rispettivamente. La lignina compone la biomassa secca totale per circa il 20% (Scordia *et al.*, 2010), contenuto simile a quello riportato per altre colture erbacee (15-20%), ma relativamente basso se comparato al legno di angiosperme o gimnosperme (20-35%) (Chang, 2007).

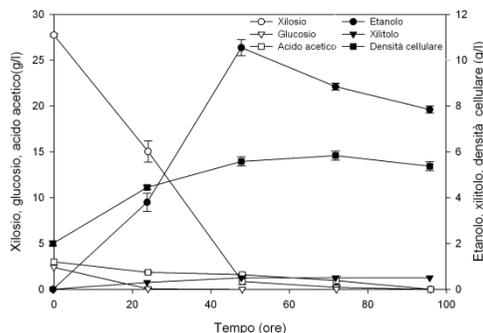
La prova condotta, che prevedeva il pre-trattamento mediante *steam explosion* per frazionare la biomassa di *Saccharum spontaneum* spp. *aegyptiacum* nelle sue macrocomponenti (emicellulosa, cellulosa e lignina), ha permesso di ottenere bioetanolo da due diverse frazioni della biomassa: frazione emicellulosica (parte liquida, composta da monomeri C5 e C6) e frazione solida composta principalmente da cellulosa (polimeri di zuccheri C6) e lignina acido insolubile. La produzione di bioetanolo ottenuta dalla fermentazione della frazione emicellulosica, mediante l'utilizzo di un ceppo di lievito che naturalmente fermenta zuccheri a 5 atomi di carbonio (*Pichia stipitis* CBS 6054), ha permesso di ottenere una concentrazione di etanolo di 10,5 g l<sup>-1</sup> corrispondente al 69% della resa massima teorica di conversione (Fig. 2) (Scordia *et al.*, 2010).

La produzione di bioetanolo ottenuta dalla fermentazione della frazione solida attraverso un processo di simultanea saccarificazione e fermentazione, utilizzando enzimi cellulase e *Saccharomyces cerevisiae* FPL450, ha fornito una produzione di 19 g l<sup>-1</sup> di etanolo, ed un'efficienza di fermentazione del 90% (Fig. 3) (Scordia *et al.*, 2010).

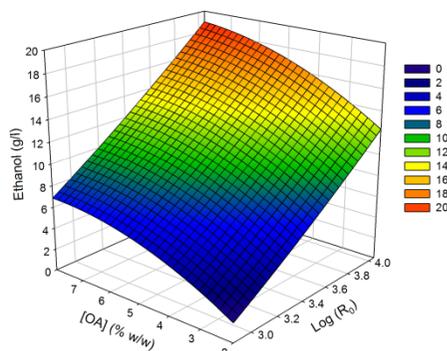
## Ricerche sperimentali

Nell'ambito del progetto FAESI sono in corso ricerche allo scopo di valutare la potenzialità produttiva di *Saccharum spontaneum* spp. *aegyptiacum* in confronto con altre specie spontanee del bacino del Mediterraneo (*Sorghum halepense*, *Cymbopo-*

*gon hirtus*, *Oryzopsis miliacea*) (vedi schede di presentazione). Le specie sono state trapiantate presso l'azienda didattico sperimentale della Facoltà di Agraria dell'Università di Catania. Il trapianto di piccoli cespi e rizomi è stato effettuato il 2 dicembre 2009, alla distanza di 100 cm sia sulla fila che tra le file in parcelle di 80 m<sup>2</sup>.



**Figura 2** - Frazione emicellulosica di *Saccharum spontaneum* L. ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hack., ottenuta dopo pretrattamento e sua fermentazione utilizzando il lievito *Pichia stipitis* CBS 6054 a 150 rpm, 30°C e pH 6,0 (Scordia *et al.*, 2010).



**Figura 3** - Produzione di bioetanolo dopo simultanea saccharificazione e fermentazione.  $\text{Log}(R_0)$  = Severity Factor, combina temperatura e tempo in un unico parametro. OA = concentrazione di acido ossalico durante il pretrattamento (Scordia *et al.*, 2010).

Nel corso del primo anno di prova è emersa la maggiore produttività di *Saccharum spontaneum* spp. *aegyptiacum* (9,6 t ha<sup>-1</sup>) rispetto alle altre colture studiate (2,7 t ha<sup>-1</sup> nella media) (Tab. 2).

**Tabella 2** - Dati biometrici e resa delle specie studiate nell'ambito del progetto FAESI (dati del primo anno di prova).

	N° culmi m <sup>-2</sup>	Diametro basale (mm)	Altezza culmo (cm)	Culmi (%)	Foglie (%)	Umidità culmi (%)	Umidità foglie (%)	Biomassa fresca (t ha <sup>-1</sup> )	Biomassa secca (t ha <sup>-1</sup> )
<i>S. spontaneum</i> ssp. <i>aegyptiacum</i>	21	10,20	274	70	30	68,03	42,68	27,63	9,59
<i>Sorghum halepense</i>	23	6,40	156	80	20	32,57	9,44	7,75	2,69
<i>Cymbopogon hirtus</i>	133	2,55	120	57	43	48,12	32,37	7,13	2,47
<i>Oryzopsis miliacea</i>	54	3,40	130	72	28	67,83	55,35	8,51	2,95

## Bibliografia

- Chang, M.C.Y., 2007. Harnessing energy from plant biomass. *Curr. Opin. Chem. Biol.* 11, 677-684.
- Copani V., Cosentino S.L., Testa G., Scordia D., Cosentino A.D., 2010. Current propagation options to establish *Arundo donax* L. in Mediterranean environment. In: 18th European Biomass Conference and Exhibition. Lyon, France, 03 May - 07 May. ISBN: 978-88-89407-56-5
- Cosentino, S.L., Copani, V., D'Agosta, G.M., Mantineo, M., Litrico, A., 2006. Valutazione di germoplasma di specie del genere *Miscanthus* e *Saccharum* per la produzione di biomassa. *Italus. Hortus.* 13, 433-436.
- Cosentino S.L., Copani V., Scordia D., Testa G., 2011. *Saccharum spontaneum* L. ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel possibile coltura per la produzione di biomassa per l'ambiente caldo-arido mediterraneo. Atti del XL convegno della Società Italiana di Agronomia. Teramo 7-9 settembre 2011, pp. 160-161.
- Ebringerova, A., Heinze, T., 2000. Xylan and xylan derivatives – biopolymers with valuable properties, 1 – naturally occurring xylans structures, procedures and properties. *Macromol. Rapid Commun.* 21, 542-556.
- Metzger M.J., Bunce R.G.H., Jongman R.H.G., Múcher C.A., Watkins J.W., 2005. A climatic stratification of the environment of Europe. *Global Ecol Biogeogr* 14:549-563
- Pignatti S., 1982. Flora d'Italia. Edagricole, Bologna. Vol. I.
- Polizeli, M., Rizzatti, A.C.S., Monti, R., Terenzi, H.F., Jorge, J.A., Amorim, D.S., 2005. Xylanases from fungi: properties and industrial applications. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 67, 577-591.
- Rosenzweig C., and Tubiello F.N., 1997. Impacts of global climate change on Mediterranean agriculture: Current methodologies and future directions: An introductory essay. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 1, 219-232.
- Scordia D., Cosentino S.L., Jeffries T.W., 2010. Second generation bioethanol production from *Saccharum spontaneum* L. ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hack. *Bioresource Technology* 101(14), 5358-5365.

## Schede di presentazione

### ***Cymbopogon hirtus* (L.) Janchen (Barboncino mediterraneo)**

Famiglia: *Poaceae*

Genere: *Cymbopogon* Spreng.

Specie: *Cymbopogon hirtus* (L.) Janchen

Diffusa in Liguria, Italia centrale, Sicilia, Sardegna, Corsica ed Isole minori, predilige macchie e garighe, rupi soleggiate, terreni incolti ed aridi.

Habitus cespuglioso (30-60 cm diametro), culmi eretti, gracili (Foto 4). Foglia con lamina stretta di 2-4 mm; ligula breve (1 mm), portante un ciuffo di lunghi peli patenti. Infiorescenza formata da spighe appaiate lunghe 3-4 cm, ciascuna coppia portata da un peduncolo comune inserito all'ascella di foglie cauline spatiformi, rigonfie, larghe 5-6 mm, più o meno violacce arrossate; glume 6 mm, lemma lineare con resta lunga 2 cm circa (Pignatti, 1982).



**Foto 4** - *Cymbopogon hirtus* (L.) Janchen (Foto DISPA)

### ***Oryzopsis miliacea* (L.) Asch. et Schweinf. (Miglio)**

Famiglia: *Poaceae*

Genere: *Oryzopsis* Michx.

Specie: *Oryzopsis miliacea* (L.) Asch. et Schweinf.

Diffusa in Liguria, Toscana, attorno al Garda, nel triestino, Sardegna, Corsica, Sicilia ed in molte Isole minori. Predilige pendii umidi e zone ombreggiate, alvei e siepi.

Pianta cespugliosa con numerosi culmi eretti o ascendenti, talora scendenti, assai ramosi, quasi completamente avvolti dalle guaine (Foto 5). I culmi sono legnosetti alla base, abbastanza induriti, nodosi con numerosi rami laterali. Nelle zone più calde essi sono spesso svernanti, e per tutti questi caratteri rappresentano un'interessante convergenza con la strut-



**Foto 5** - *Oryzopsis miliacea* (L.) Asch. et Schweinf. Foto DISPA

tura bambusoide, caratteristica di molte graminacee tropicali e subtropicali, che rappresentano per l'ambiente mediterraneo una forma insolita, classificabile come fanerofitica.

Foglia con lamina larga fino a 7 mm, pubescente alla base, solcata, scabra e più o meno convoluta; ligula ottusa, 1 mm (nelle foglie superiori fino a 3 mm). Pannocchia ampia, ricca, lunga 10-30 cm; rami infiorescenza in verticilli, generalmente unilaterali; spighe uniflore, lungamente peduncolate, glume paglierine 3-3,5 mm, lembo 2,5 mm, con resta capillare di 3-5 mm, inserita ad un quarto dall'apice, spesso precocemente caduca (Pignatti, 1982).

***Sorghum halepense* (L.) Pers. (Sorgo selvatico, Sorghetto, Sagginella, Melghetta, Melgastro, Canestrello, Cannerecchia)**

Famiglia: *Poaceae*

Genere: *Sorghum* Moench

Specie: *Sorghum halepense* (L.) Pers.

Si trova in tutto il territorio del mediterraneo, predilige terreni sarchiati, incolti sabbiosi umidi. Specie con rizomi sotterranei orizzontali, culmi eretti (50-300 cm), fogliosi fino all'infiorescenza (Foto 5). Foglie con lamina larga 1-2 cm e 20-90 cm lunga, sul bordo ruvida, tagliente per aculei rivolti verso l'alto; ligula 2 mm con un pennello di peli bianchi.

Pannocchia ampia, aperta con rami patenti; spighe 4-6 mm, appaiate, l'una sessile con un fiore ermafrodita, l'altra pedunculata con un fiore maschile o abortivo; glume pubescenti in basso, lucide, mentre quelle delle spighe peduncolate brunorossastre; lembo mutico o con resta di 5-15 cm (Pignatti, 1982).



**Foto 5** - *Sorghum halepense* (L.) Pers. (Foto DISPA)



---

# 1 - Utilizzo e destinazione delle colture energetiche erbacee poliennali

## *Perennial herbaceous crops utilization for energy production*

**Giuseppe Altieri\*, Genovese Francesco\*, Antonella Tauriello\***

### **Riassunto**

Una valida soluzione per l'approvvigionamento di biomassa ad uso energetico è la coltivazione dedicata di specie erbacee, sia annuali che poliennali. Si tratta di colture, alternative a quelle alimentari, con un elevato potenziale produttivo di biomassa.

La composizione chimica della biomassa erbacea (maggior contenuto in ceneri, azoto, silicio e altri microelementi) ha da sempre ostacolato la realizzazione di una filiera biomassa-energia completa ed efficiente, ma nonostante ciò recentemente sul mercato sono state presentate delle soluzioni tecnologiche di piccola e media potenza, sviluppate in maniera specifica per la combustione delle biomasse erbacee.

Si riportano alcuni aspetti relativi all'utilizzazione delle colture erbacee poliennali sia per la combustione, mediante caldaie riferibili a differenti tecnologie e criteri costruttivi, che per la produzione di bioetanolo impiegato come combustibile o come prodotto intermedio per la generazione di additivi per la benzina.

Con riferimento alle specie erbacee prese in considerazione si rileva che, ai fini della combustione, la canna comune (*Arundo donax*) presenta un potere calorifico compreso tra 16,7 e 18,3 MJ kg<sup>-1</sup> e un contenuto in ceneri piuttosto elevato (tra il 4,8 e il 7,4%), anche se la temperatura di fusione di queste è piuttosto alta, mentre la biomassa di cardo può essere utilizzata sia per la produzione di energia per termoconversione (con un potere calorifico inferiore di 16-17 MJ kg<sup>-1</sup> compresi i semi) sia per usi cartari data la buona

---

\* Università degli Studi della Basilicata, Facoltà di Agraria, Dipartimento Tecnico Economico per la Gestione del Territorio Agricolo-Forestale, Potenza.

qualità della fibra; il contenuto in ceneri della biomassa è comunque piuttosto alto, 13-15% della sostanza secca, con un contenuto in silice che, invece, risulta piuttosto basso (12-18%). Attualmente sono presenti in commercio caldaie di piccola taglia per uso domestico o per la fornitura di un numero limitato di utenze, o impianti di media grossa potenza, da affiancare a sistemi di cogenerazione (contemporanea produzione di energia elettrica) e trigenerazione (viene prodotta energia frigorifera), e che consentono anche la creazione di reti di teleriscaldamento.

Inoltre, soprattutto negli Stati Uniti ed in Brasile (tra i primi paesi nel mondo a produrre bioetanolo per scopi energetici) sono allo studio impianti innovativi per la produzione di bioetanolo di cosiddetta seconda generazione a partire da specie erbacee poliennali come *Arundo donax* e cardo. Infatti, negli Stati Uniti, la produzione di bioetanolo per scopi energetici ha rappresentato un'ottima occasione per risollevare l'economia di alcune aree depresse e per la produzione di prodotti secondari, ma è evidente che la produzione di etanolo richiede la realizzazione di impianti di grosse dimensioni e la tecnologia non è dunque proponibile come tecnologia di conversione energetica adatta a piccole realtà locali.

**Parole chiave:** biomassa, cogenerazione, bioetanolo, combustione.

---

## Abstract

*Nowadays fragile geopolitics make many nations dependent on petroleum while increased emissions of CO<sub>2</sub> increase the climate change. In the first two decades of the twenty-first century, global demand for oil is projected to increase by 50-70%, so renewable and less polluting fuels are need.*

*Herbaceous crops can be converted mainly into two types of product: heat/ electrical energy, and transport fuel. Combustion is the most common way of converting solid biomass to energy, and the technology is well understood but the desire to burn uncommon fuels (as herbaceous crops for example) improving efficiency, reducing costs and decreasing emissions needs the developing of optimized plants. Combustion releases the chemical energy stored in the biomass source, converting the hot gases (by a boiler) is possible to produce steam and electricity via a turbo generator. The choice of the best technology for herbaceous biomass conversion is related to many aspects as: moisture content, calorific value, ash/residues content, alkali metal content and cellulose/lignin ratio. In fact, knowledge of the relationship between herbaceous biomass properties and combustion efficiency is very limited, so a better understanding is necessary to optimize the combustion quality, due to the presence of corrosive minerals which cause considerable problems.*

*The combustion installation needs to be properly designed for a specific fuel type to guarantee an adequate combustion and low emissions, In fact, an incomplete combustion results in poor mixing of air and biomass giving local problems in the chamber and too high combustion temperatures, so through experiments new boiler geometries and combustion concepts have been developed referring to air staging and preheating, temperature control systems, novel materials.*

*Nowadays different combustion technologies are available both for small scale and large scale applications, but the more diffused systems are the fixed bed combustion system and the fluidized bed combustion. For power production through biomass, steam turbines, ORC (Organic Rankine Cycle) systems and steam piston engines are available as proven technology.*

*Transportation fuels include also ethanol and biodiesel derived from biological materials; ethanol can be blended with gasoline or used to power internal-combustion engines. Ethanol is generally made from starchy seeds or roots of plants such as maize, wheat, potato, cassava, etc., or from the sugar materials (sugarcane, sugar beet, sweet sorghum). While ethanol is obtained easily from fermentation of sugars and starches, it can also be produced from the biomass and residues of any plant species, but the technology for transforming cellulosic biomass is much more complex. Cellulosic ethanol (a second generation fuel) seems to be more promising than the first generation one, and herbaceous energy crops have seen an increase in interest due to need to reduce the dependence on fossil fuels. Nowadays no method for making bioethanol from cellulosic-rich biomass has been proven commercially, but US Department of Energy, for example, has funded six pilot plants which would be operational by 2012. Then, over 20 commercial cellulosic ethanol plants have been reported to be under development within the USA.*

*Among the energy crops for bioethanol production there is the fibre cane (Arundo donax) which produces high lignocellulosic stems that constitute the largest part of biomass, has an high yield up to 57 Mg ha<sup>-1</sup>, so it has a great potential as a cellulosic energy crop.*

*Technology to convert herbaceous biomasses into ethanol is not in a commercial stage, but in a pilot plants developing. Agriculture has a great capacity to produce energy, but challenges have to be met, in terms of resolving issues of economy of scale, infrastructure, and appropriate incentives.*

*In fact, for example, rather than competing with food crops, energy crops for biomass production would be established on marginal or surplus lands. Definitively, herbaceous energy crops hold the potential to become an important component of the global energy mix, but technologies for conversion need to be developed.*

**Keywords:** biomass firing, cogeneration, biofuels, bioethanol.

---

## Introduzione

La composizione chimica della biomassa erbacea avendo un maggior contenuto in ceneri, azoto, silicio e altri microelementi rispetto alla normale biomassa ottenuta da colture legnose (pioppo, salice, eucalipto, robinia), comporta una limitata predisposizione alla combustione in quanto vengono ad essere compromesse tutte le proprietà che caratterizzano la biomassa ai fini di un corretto utilizzo energetico, in particolare per quanto concerne il potere calorifico. La presenza consistente di metalli alcali

lini determina un abbassamento della temperatura di fusione delle ceneri, e ciò è causa di un peggioramento del funzionamento delle caldaie, a causa di una maggior incidenza dello sporco e di un peggioramento dell'efficienza degli scambiatori di calore. Resta inoltre attuale anche una problematica che riguarda le emissioni di particolato, problema che interessa gran parte delle tipologie di biomassa da combustione. È anche opportuno ricordare che tali caratteristiche negative (tenore in ceneri e silice, temperatura di fusione) risultano più o meno importanti anche in funzione delle tecnologie di utilizzazione delle stesse biomasse in sede di combustione.

Nonostante tutti gli aspetti accennati ostacolano la realizzazione di una filiera biomassa-energia completa ed efficiente, recentemente sul mercato sono state presentate delle soluzioni tecnologiche di piccola e media potenza, certificate per la combustione delle biomasse erbacee, alla luce della richiesta sempre più elevata di diversificazione delle fonti di approvvigionamento dei biocombustibili, dell'interesse sempre più marcato per le colture erbacee poliennali e della volontà di sviluppare modelli di filiere agro-energetiche sostenibili su piccola scala (Di Renzo *et al.*, 1985).

Le tecnologie per la conversione energetica delle biomasse possono essere suddivise in tre gruppi.

- a) Impiego di caldaie eventualmente accoppiate a macchine a ciclo *Rankine* o *Stirling* per la conversione dell'energia termica in energia meccanica ed elettrica. Le attuali applicazioni fanno riferimento, nella pratica e per la quasi totalità dei casi, a questo gruppo ed alle macchine a ciclo *Rankine*.
- b) Sistemi di gassificazione della biomassa ed utilizzo di motori endotermici alternativi o turbine a gas, anche se tali applicazioni non si sono ancora affermate a livello commerciale.
- c) Impiego di un combustibile, ottenuto dalla biomassa, in motori di diverso tipo (diesel, turbogas ecc.). Esempi sono il biogas prodotto dalla fermentazione anaerobica di liquami zootecnici, gli oli vegetali e i loro derivati (ottenuti da oleaginose), il bioetanolo ed i suoi derivati.

Per quanto riguarda le caldaie, sono attualmente disponibili diverse tecnologie che si differenziano in base ai criteri costruttivi ed alle capacità degli impianti.

- a) Caldaie di piccola taglia (fino a 100 kW) alimentate a cippato o pellet prodotto a partire da diverse biomasse ligno-cellulosiche. Queste caldaie sono normalmente utilizzate per la generazione di energia termica al servizio di singole utenze e potrebbero anche essere accoppiate a piccole macchine *Rankine* a fluido organico (ORC) per la generazione di energia elettrica.
- b) Caldaie di media taglia (fino a 1-2 MW), alimentate a cippato di legna, residui vari o pellet al servizio di utenze collettive di tipo civile o di utenze industriali; anche queste caldaie sono accoppiabili a sistemi ORC.
- c) Caldaie di media taglia (fino a 20 MW), alimentate a cippato di legna, residui vari o pellet al servizio di piccole - medie reti di distribuzione. Date le caratteri-

stiche dell'utenza anche in questo caso è consigliabile l'accoppiamento a macchine ORC, mentre i sistemi a vapore pongono qualche problema a livello gestionale.

- d) Caldaie di elevata taglia (fino a 70 MW termici) che possono utilizzare un'ampia varietà di materiali combustibili al servizio di un impianto industriale o di una rete di teleriscaldamento. Per la produzione di energia elettrica, la scelta è quella delle turbine a vapore.

## Piccole caldaie ad uso civile

A questa categoria appartengono le caldaie di piccole dimensioni, progettate specificamente per la generazione di energia termica (5 - 100 kW), disponibili già da tempo sul mercato.

Attualmente, secondo stime recenti, si produrrebbero più di 300.000 piccoli dispositivi di combustione all'anno destinati al riscaldamento domestico, con un mercato del pellet superiore a 300.000 t all'anno.

Le piccole caldaie, nonostante offrano elevata flessibilità operativa e siano in grado di servire il gran numero di piccoli/medi edifici sparsi in ambito rurale, rappresentano il sistema più trascurato negli studi di pianificazione energetica. Da un punto di vista tecnico, le piccole caldaie potrebbero risultare idonee per generare anche elettricità (tuttavia con rendimenti alquanto bassi pari a 0,15-0,17) o per realizzare dei sistemi di cogenerazione, applicando la tecnologia ORC o la tecnologia *Stirling*. La prima richiede che la caldaia produca olio diatermico a temperature dell'ordine dei 300°C; la seconda un vettore termico, preferibilmente a temperature ancora più elevate. Entrambe richiedono una sorgente fredda che, per queste applicazioni, non può essere che l'aria ambiente. Tali soluzioni, molto interessanti da un punto di vista energetico e teorico, sono scarsamente diffuse sul territorio (ciclo ORC). Il combustibile da utilizzare per questo tipo di impianti è essenzialmente costituito dagli scarti legnosi di natura agroforestale o dal pellet prodotto a partire da coltivazioni dedicate o da residui agricoli.

## Caldaie di media-grande potenza

Nel caso in cui sia possibile disporre di elevati quantitativi di biomasse residuali o provenienti da colture appositamente impiantate, ed allo scopo di progettare grandi impianti di conversione energetica associando la produzione di energia elettrica (con rendimenti alquanto bassi pari a 0,15-0,17) (cogenerazione) e/o la produzione di energia elettrica e frigoriferie all'energia termica (quindi in trigenerazione) le caldaie di media e grande potenza rappresentano la soluzione ottimale.

Indipendentemente dalle biomasse impiegate, il rispetto delle limitazioni di legge è legato ad una serie di fattori che comprendono una combustione ottimale ed un idoneo trattamento dei fumi. Quanto migliore è la combustione, tanto più semplice è il trattamento dei fumi a valle della caldaia ma ciò presuppone che il sistema di combustione sia tecnicamente progettato per lo specifico tipo di combustibile: per i residui legnosi, in particolare, lo schema ritenuto ottimale prevede caldaie a tubi d'acqua e griglie di combustione di tipo mobile.

I modelli di caldaia a griglia si distinguono in quelli di tipo fisso o mobile (in relazione alla tipologia della griglia). La griglia fissa è adatta alla combustione di biomassa legnosa a basso contenuto di umidità (non superiore al 35%) e residuo in cenere relativamente basso, per evitare cicli di pulizia manuale molto frequenti, mentre la griglia mobile è adatta ai combustibili più umidi (fino al 50%), anche di pezzatura grossolana. Il vantaggio dei sistemi a griglia mobile consiste nella possibilità di mantenere il letto di combustione in continuo movimento limitando il fenomeno di agglomerazione delle ceneri con conseguente formazione di grossi residui che peggiorano le condizioni di combustione. Inoltre, sfruttando l'inclinazione della griglia mobile, le ceneri vengono convogliate in una zona di raccolta predefinita e successivamente estratte dalla camera di combustione e portate all'esterno con una coclea.

Inoltre, per garantire una combustione ottimale, la quantità di combustibile in ingresso, la temperatura in camera di combustione e l'eccesso d'aria primaria, secondaria e terziaria sono regolate automaticamente. Con questo tipo di tecnologia si può utilizzare un materiale con umidità fino al 60% (sul tal quale) garantendo un buon processo di combustione e bassi livelli di emissione; in alcuni impianti vengono installati particolari filtri (a maniche), preceduti da raffreddatori che garantiscono una temperatura dei fumi all'ingresso del filtro inferiore a 200-220°C, anche in condizioni di caldaia sporca o con eventuale sovraccarico. Per l'abbattimento delle polveri, vengono sempre più utilizzati anche gli elettrofiltri, soluzione costosa ma affidabile, per limitare i controlli sull'impianto e la sicurezza di funzionamento.

La combustione della biomassa avviene in appositi impianti in cui si realizza anche lo scambio di calore fra i gas di combustione e i fluidi di processo (acqua, olio ecc.); quando il materiale organico di partenza presenta un'alta percentuale di ceneri, la fase di combustione e quella di scambio di calore vengono di norma realizzate separatamente per ottenere un miglior controllo di entrambi i processi, ma di norma la combustione diretta di biomasse ricche di cellulosa e di lignina, purché con contenuti in acqua inferiori al 35%, si realizza con buoni rendimenti (70-80%). (Bonari *et al.*, 2004).

Con riferimento alle specie erbacee prese in considerazione in questo lavoro si rileva che, ai fini della combustione, la canna comune (*Arundo donax*) presenta un potere calorifico compreso tra 16,7 e 18,3 MJ kg<sup>-1</sup> e un contenuto in ceneri piuttosto elevato (tra il 4,8 e il 7,4%), anche se la temperatura di fusione di queste è piuttosto alta, mentre la biomassa di cardo può essere utilizzata sia per la produzione di energia per termoconversione (con un potere calorifico inferiore di 16-17 MJ kg<sup>-1</sup> com-

presi i semi) sia per usi cartari data la buona qualità della fibra; il contenuto in ceneri della biomassa è comunque piuttosto alto, 13-15% della sostanza secca, con un contenuto in silice che, invece, risulta piuttosto basso (12-18%) (Bonari *et al.*, 2004).

Infatti sebbene le biomasse provenienti da specie erbacee poliennali possano rifornire diverse tipologie di impianto termico, spaziando da quelli di potenza medio-bassa (fino a 2 MW) fino a quelli di potenza elevata (fino a 20 MW), l'obiettivo di favorire un impiego di biomasse prodotte in ambito locale farebbe preferire impianti di potenza medio-piccola.

La motivazione del ritardo nella presentazione di specifici modelli adatti alla combustione di biomasse più "difficili", quali quelle erbacee, oltre che nell'inerzia del mercato, è da ricercare nella necessità di uno sviluppo tecnologico innovativo degli impianti di piccola e media potenza, legato in particolare alla realizzazione di specifiche camere e griglie di combustione che garantiscono elevate prestazioni in termini di efficienza, automazione e costi di gestione limitati.

Infatti nonostante i tentativi di produrre materia prima di qualità anche a partire da biomasse di natura erbacea, sia annuale che poliennale, si rileva che allo stato attuale la gran parte degli impianti di combustione di piccola potenza presenta evidenti problemi operativi, in quanto progettati per funzionare con biomasse legnose.

Con riferimento alle caratteristiche della materia prima si rileva che la pelletizzazione della biomassa trinciata consente di aumentare notevolmente la densità del materiale (circa 680 e 665 kg m<sup>-3</sup> rispettivamente per la canna comune e per il miscanto, con notevole riduzione dei costi di movimentazione, trasporto e stoccaggio; per di più si riducono i costi di investimento per la realizzazione delle infrastrutture necessarie alla valorizzazione energetica (caldaia e silo di stoccaggio).

Basti pensare che nel pellet di canna comune i valori di azoto sono molto elevati (circa 8 volte rispetto al pellet di legno e circa 2 volte e mezzo quello di miscanto) ed anche i valori misurati per zolfo e cloro sono particolarmente elevati, soprattutto per la canna comune. Tuttavia, la concentrazione del cloro nella pianta è uno degli elementi che presenta maggiore variabilità in assoluto.

Pertanto, allo scopo di alimentare materiale vegetale con caratteristiche differenti, quale quello di natura erbacea, sono necessarie modifiche sostanziali soprattutto in relazione alle coclee di movimentazione ed ai sistemi automatici di gestione ed estrazione delle ceneri (basati su vibrazione, movimentazione o rotazione). Inoltre, come avviene ormai per gran parte delle tecnologie disponibili sul mercato per lo sfruttamento energetico delle biomasse è previsto l'impiego di sensori per il monitoraggio delle temperature e dei livelli gassosi presenti in caldaia ed allo scarico.

Questi biocombustibili dovrebbero essere utilizzati in caldaie sviluppate per la combustione di biomasse con elevati contenuti di ceneri, al fine di evitare problemi operativi durante la combustione e con le emissioni in atmosfera.

In particolare è raccomandata la presenza di meccanismi automatici, opportunamente regolati, di rimozione e movimentazione delle ceneri e di pulizia degli scambiatori di calore.

In relazione ai depositi formati sugli scambiatori di calore e in considerazione della composizione elementare del biocombustibile, in particolare per il pellet di canna comune, sarebbero necessari test di lunga durata per monitorare eventuali effetti corrosivi.

In alcuni studi sono state compiute prove per la combustione di specie erbacee con una caldaia innovativa, allo scopo di definire le prestazioni in termini di combustione, formazione di residui, emissioni gassose (ossigeno, anidride carbonica, monossido di carbonio, ossidi di azoto, biossido di zolfo, composti organici volatili) e di polveri.

Durante la sperimentazione sono state apportate anche alcune modifiche per ottimizzare l'asportazione delle ceneri depositate nella zona di combustione, con particolare riferimento alla riduzione della frequenza e dell'estensione di movimento della griglia della caldaia.

Dai risultati della ricerca è stato possibile evincere che con gli accorgimenti adottati le emissioni medie di monossido di carbonio sono state molto basse indipendentemente dalla specie erbacea combusta, con valori inferiori ai 40 mg MJ<sup>-1</sup>, e grazie ai movimenti della griglia mobile è stata ridotta la formazione di scorie fuse, salvo nel caso della canna comune. Pertanto si può anche concludere che il controllo della caldaia mediante sonda lambda è più flessibile rispetto ai sistemi di controllo della temperatura, in quanto può permettere di utilizzare differenti tipi di combustibile pur mantenendo un buon livello di emissioni.

In definitiva, i pellets di canna comune, nonostante le non eccellenti caratteristiche qualitative, possono essere considerati adatti all'impiego in caldaie in grado di gestire combustibili con elevato contenuto di ceneri e dotate di dispositivi per il controllo-gestione dell'eventuale formazione di ceneri.

Per ridurre le emissioni di polveri, principalmente composti minerali, particolarmente abbondanti nel caso della canna comune, è possibile agire solo sulla qualità del biocombustibile in ingresso e poco ancora sulla caldaia, alla luce dei bassi livelli di monossido di carbonio (combustione efficiente) (Picco *et al.*, 2009).

## Cogenerazione

Parallelamente alla produzione di energia termica è sempre possibile immaginare, per gli impianti medio-grandi, la produzione di energia elettrica da impiegare in processi produttivi o da immettere nella rete del gestore dei servizi elettrici. Secondo la norma UNI 8887-1987 si intende per cogenerazione l'insieme delle operazioni volte alla produzione combinata di energia meccanica/elettrica e calore, partendo da una qualsiasi sorgente di energia. In tali sistemi il calore generato viene trasferito all'utenza finale in forme diverse (vapore, acqua calda, aria calda), e può essere destinato a usi civili di riscaldamento e/o raffreddamento o a usi industriali. Finora il principale ostacolo allo sviluppo dei sistemi cogenerativi è stato rappresentato dagli elevati

costi iniziali di impianto per via della complessità di tali sistemi, se confrontati con i costi di altri sistemi tradizionali (Duvia *et al.*, 2004).

Tra i sistemi maggiormente diffusi per la cogenerazione di energia termica ed elettrica vi sono quelli basati su sistemi ORC, turbine a gas o su motori endotermici (Drescher *et al.*, 2007; Duvia *et al.*, 2004; Schuster *et al.*, 2008).

Nel caso di impianti di taglia medio-piccola (fino a 2 MW elettrici) la generazione viene di norma realizzata mediante impianti ad olio diatermico, nei quali l'energia proveniente dalla camera di combustione viene ceduta ad un fluido intermedio (appunto l'olio diatermico) e successivamente alla turbina che genera energia elettrica (ciclo ORC – *Organic Rankine Cycle*).

Complessivamente le varie fasi della tecnologia si possono così schematizzare: la biomassa viene alimentata in caldaia e viene eseguita la combustione e la generazione di energia termica nel rispetto degli standard di sicurezza. L'olio diatermico, impiegato come fluido vettore, trasferisce l'energia termica ad un fluido operante all'interno della turbina, il quale espande e consente il movimento della turbina e la generazione di energia elettrica.

A livello commerciale sono diverse le soluzioni proposte, oggetto anche di numerosi studi bibliografici, che si distinguono per alcuni aspetti progettuali ed operativi: generatore elettrico, scambiatori di calore, strumentazione di regolazione e controllo dell'impianto, sistemi antinquinamento e di insonorizzazione.

Addirittura per taglie piccole (fino a 350 kW) possono essere adottati sistemi a microturbina o anche celle a combustibile, ma entrambe le soluzioni presentano tuttora costi molto elevati (fino a 2500 €/kWe nel caso della microturbina e fino a 5000 €/kWe nel caso delle celle a combustibile). Per di più, nel caso delle microturbine, l'efficienza meccanica risulta relativamente bassa e la cogenerazione è limitata ad applicazioni a bassa temperatura (Drescher *et al.*, 2007; Rentzelas *et al.*, 2009).

I principali vantaggi associati agli impianti di cogenerazione consistono in un miglioramento dei rendimenti (diminuzione dei consumi a parità di potenza) ed in un minor impiego di combustibile a parità di energia ricavata, di contro per l'impiego di impianti di cogenerazione è necessario che sia presente contemporaneamente la domanda di energia termica e di energia elettrica in quanto l'elettricità non è accumulabile e il calore lo è solo per brevi periodi.

## Generazione di bioetanolo di seconda generazione

Il bioetanolo ottenuto a partire da materie prime di origine vegetale può essere impiegato come combustibile o come prodotto intermedio per la generazione di additivi per la benzina (Etil-terz-butil-etero ETBE o Metil-terz-butil-etero MTBE). Generalmente l'etanolo può essere ottenuto per fermentazione, in condizioni anaerobiche, di substrati zuccherini preventivamente idrolizzati e successivamente fermentati (barbabietola, sorgo zuccherino per esempio), substrati amidacei (patata, sorgo

da granella, mais) o da materiali ligneo celluloseici sottoposti ad idrolisi in condizioni acide (Busby *et al.*, 2007; Lemus *et al.*, 2009; Pimentel *et al.*; 2005, Rooney *et al.*, 2007).

La canna da fibra (*Arundo donax*) è una specie erbacea poliennale nativa del sud Europa ma presente in molti altri paesi. Originariamente conosciuta come specie ornamentale si è affermata come fonte di canne per la produzione di strumenti musicali.

La canna da fibra, classificata come specie invasiva o nociva in molte regioni degli Stati Uniti, non produce semi vitali, pertanto l'impianto avviene per propagazione di materiale vegetale, tipo i rizomi.

Gli steli, che contengono grosse quantità di materiale lignocelluloseico, costituiscono la vera e propria biomassa della specie, con rese che per piante mature può variare da 27 a 57 Mg ha<sup>-1</sup>, anche se sono riportati valori fino a 90 Mg ha<sup>-1</sup> in caso di colture irrigate.

Il potere calorifico può variare da 17 a circa 19 kJ g<sup>-1</sup> per gli steli e da 15 a 18 kJ g<sup>-1</sup> per le foglie. Per tali caratteristiche e con queste rese la canna da fibra ha elevatissime potenzialità energetiche.

Nel mondo, soprattutto negli Stati Uniti ed in Brasile (tra i primi paesi nel mondo a produrre bioetanolo per scopi energetici) sono allo studio impianti innovativi per la produzione di bioetanolo di cosiddetta seconda generazione a partire da specie erbacee poliennali come *Arundo donax* e cardo. Infatti, negli Stati Uniti, la produzione di bioetanolo per scopi energetici ha rappresentato un'ottima occasione per risollevere l'economia di alcune aree depresse (Campbell *et al.*, 2008) e per la produzione di prodotti secondari quale il "distilled dried grain" (DDG) da utilizzare come mangime in campo zootecnico. In Brasile, invece, la produzione di bioetanolo, incentivata dalla grande disponibilità di materie prime zuccherine, ha determinato la disponibilità di riutilizzare alcuni scarti (borlande) a scopo agronomico, ed i residui dell'estrazione del sugo zuccherino (bagasse) per la generazione di energia da impiegare per l'alimentazione degli impianti di distillazione (Scaramucci *et al.*, 2006).

In Italia esiste un gran numero di distillerie, circa una sessantina, che concorrono alla produzione di bioetanolo a partire dalla fermentazione di materiale vegetale, ma parte di questo alcol è destinato al mercato alimentare mentre la restante parte (alcol anidro) è utilizzato a scopo energetico o per la produzione di ETBE; in ogni caso le quantità prodotte sono poco rilevanti, e dell'ordine di alcune decine di migliaia di tonnellate all'anno. A tutt'oggi, nel tentativo di riconvertire alcuni zuccherifici viene proposta la produzione di bioetanolo a partire da materiale vegetale, in alcuni casi frumento.

Il bioetanolo si distingue in prodotto di prima e seconda generazione. Quello di prima generazione è prodotto a partire da substrati zuccherini e/o amidacei (tipicamente mais e canna da zucchero) mentre quello di seconda generazione è ottenuto a partire da substrati di natura celluloseica.

Nella scelta di un materiale cellulosico per la produzione di un biocombustibile come il bioetanolo vanno affrontate alcune considerazioni relative ai costi di produzione della coltura energetica su scala industriale, ai costi del processo produttivo, alla qualità del prodotto ottenuto, al bilancio energetico globale e ad eventuali ricadute di carattere ambientale (Johnson *et al.*, 2007).

Resta il fatto che negli ultimi decenni la domanda globale di petrolio tende ad aumentare del 50-70% (circa 13 bilioni di litri al giorno), pertanto le moderne economie sono continuamente alla ricerca di fonti alternative a quelle fossili, possibilmente rinnovabili e con un minor impatto ambientale (Johnson *et al.*, 2007).

Il bioetanolo è tra i biocombustibili attualmente oggetto di studio per l'impiego in addizione alla benzina, o per alimentare motori a combustione interna, e la cui produzione è stata in crescente aumento nel primo decennio del ventesimo secolo.

**Tabella 1** - Produzione annuale di etanolo tra il 2004 ed il 2006 (modificata da Lemus *et al.*, 2009).

Stato	Anno		
	2004	2005	2006
		<b>10<sup>6</sup> litri</b>	
Brasile	15978.4	15978.1	16976.0
Cina	3643.9	3795.1	3844.3
Francia	827.8	907.2	1969.4
Germania	268.4	430.9	202.8
India	1746.4	1697.2	1897.6
Spagna	298.6	351.5	461.2
Stati Uniti	13362.3	16117.9	18351.9

Mentre la produzione di etanolo è abbastanza semplice per fermentazione di substrati zuccherini, la tecnologia si complica se il substrato di partenza è di natura ligno-cellulosica ed infatti gli impianti per la conversione in bioetanolo di materiali ad elevato contenuto di cellulosa scarseggiano (Busby, 2007). Nei soli Stati Uniti, dove la ricerca nel settore è molto sviluppata, sono allo studio impianti pilota per la trasformazione di substrati ricchi in cellulosa in bioetanolo, impianti che diventeranno operativi dal 2012; inoltre dalle fonti disponibili pare che circa 20 impianti industriali sono in fase di sviluppo e verranno commercializzati in breve tempo, allorquando sarà ottimizzata la tecnologia. Infatti, la produzione di etanolo di derivazione cellulosica è una tecnologia che appare molto promettente in termini di energia netta prodotta e di emissione di CO<sub>2</sub> legata al processo. Appare evidente che una qualsiasi produzione sostenibile di bioenergia sia strettamente correlata al tipo di biomassa impiegata, in quanto ciascuna tipologia presenta vantaggi e svantaggi in termini di energia impiegata per realizzare il processo di conversione, di risorse naturali impiegate (acqua, terra), e di mercato (potenziale competizione con colture ad uso alimentare) (McLaughlin *et al.*, 1999).

**Tabella 2** - Volumi di etanolo prodotti da varie fonti, emissione di CO<sub>2</sub> e rapporto tra input ed output (modificata da Lemus *et al.*, 2009).

Tipologia di biocarburante e fonte	Produzione annuale (10 <sup>3</sup> litri)	Emissioni CO <sub>2</sub> (kg l <sup>-1</sup> )	Rapporto energetico netto (input/output)
Biodiesel da canola	1.89	0.91	1:2.5
Etanolo da fonte ligno-cellulosica	0.20	0.23	1:2-36*
Etanolo da cereali	17.39	1.94	1:1.3
Etanolo da canna da zucchero	16.97	1.08	1:8-10

\*l'efficienza dipende dalla tecnologia adottata e dal tipo di substrato impiegato.

In sostanza dai dati disponibili è evidente che la produzione di etanolo richiede la realizzazione di impianti di grosse dimensioni e la disponibilità di grandi quantità di materia prima di origine agricola, pertanto non è proponibile come tecnologia di conversione energetica adatta a piccole realtà locali, come può avvenire per altre tecnologie (combustione, produzione di biogas).

Per quanto riguarda le valutazioni complessive sull'impiego delle colture erbacee poliennali a scopo di produzione di energia termica appare evidente che, nonostante le rese di produzione siano inferiori, il Miscanto, con i suoi più bassi costi di produzione rispetto ad esempio a canna e cardo, garantisce ricavi lordi unitari superiori (cfr. tabella 3).

**Tabella 3** - Valutazioni economiche per tre colture energetiche erbacee poliennali (mod. da Progetto Bioenergy Farm).

	Canna	Miscanto	Cardo
<b>Resa (t s.s./ha anno)</b>	30,9	22,6	10,1
<b>Costi totali (€/ha anno)</b>	1.073	645	490
<b>Costo produzione biomassa (€/t s.s.)</b>	34,6	29,9	48,3
<b>Ricavo unitario (€/t s.s.)</b>	57,1	57	34,1
<b>Ricavo lordo unitario (€/t s.s.)</b>	22,5	29,3	-14,2

Estendendo le considerazioni ai costi di investimento ed operativi per la realizzazione di un impianto per la conversione in energia termica di biomasse erbacee, appare evidente che sempre il miscanto è la coltura energetica ottimale rispetto alle altre alternative che consistono in altre colture energetiche sia erbacee poliennali (Canna e Cardo) sia rispetto alle colture legnose da SFR che ovviamente rispetto ai combustibili fossili. A tale risultato concorre la bassa UR% alla raccolta (<20%) del Miscanto e la sua elevata resa colturale per ettaro; infatti, ad esempio, la UR% della Canna alla raccolta è mediamente del 55% e necessita di una fase di stoccaggio per far diminuire l'UR% della biomassa. Inoltre il Cardo, allo stato attuale, risulta non conveniente come coltivazione energetica.

**Tabella 4** - Costo dell'energia termica erogata (€/MWh) nel caso di utilizzo come combustibile di canna comune, miscanto, metano e gasolio (mod. da Progetto Biocolt).

Impianti e costi operativi	U.M.	Canna comune	Miscanto	Metano	Gasolio
Saggio di interesse	(%)	4	4	4	4
Durata investimento	anni	15	15	15	15
Potenza nominale caldaia	kW	200	200	200	200
Ore annuo funzionamento	h	1500	1500	1500	1500
Energia termica utile - output impianto	MWh/anno	300	300	300	300
Rendimento medio annuo	%	85	85	90	88
Fabbisogno energia in ingresso - Input impianto	MWh/anno	353	353	333	341
<b>Costi di investimento (IVA inclusa)</b>	<b>€</b>	<b>115.000</b>	<b>115.000</b>	<b>26.000</b>	<b>36.000</b>
Costi di capitale (a)	€/anno	14.180	14.180	3.210	4.440
Costo/prezzo unitario del combustibile (IVA inclusa)	€/U.M.	72,52	72,82	0,74	1,12
Spesa annua combustibile (b)	€/anno	6.918	6.425	25.694	38.567
Manutenzione ordinaria e straordinaria (c)	€/anno	1.859	1.718	500	500
<b>COSTI ANNUI (a+b+c)</b>	<b>€/anno</b>	<b>22.956</b>	<b>22.323</b>	<b>29.404</b>	<b>43.507</b>
<b>COSTI UNITA' ENERGIA EROGATA</b>	<b>€/MWh</b>	<b>76,52</b>	<b>74,41</b>	<b>98,01</b>	<b>145,02</b>

## Conclusioni

Negli ultimi decenni la domanda di petrolio tende ad aumentare del 50-70% pertanto attualmente a livello globale ci si interroga sulla ricerca di fonti alternative a quelle fossili, rinnovabili ed a minimo impatto ambientale. Per quanto riguarda le specie erbacee poliennali (in particolare *Arundo donax* e cardo) è da sempre noto che la pessima qualità delle materie prime (composizione particolarmente sfavorevole) non le rende ottimali per la combustione negli impianti sviluppati per le colture legnose, perciò l'alternativa è lo sviluppo di impianti specificatamente realizzati per queste biomasse. Per quanto riguarda le considerazioni di carattere tecnico fin qui sviluppate, da un attento studio e da un'approfondita ricerca bibliografica, si evince che mentre per la produzione di energia per combustione gli impianti dedicati alle erbacee poliennali hanno raggiunto un livello di sviluppo elevato in termini di controllo della temperatura, delle ceneri e del rilascio di particolato nell'atmosfera, e che a questo risultato ha contribuito in maniera rilevante la ricerca compiuta dalle aziende produttrici di impianti in collaborazione con le università e gli enti di ricerca, lo stesso non si può affermare per la conversione in bioetanolo.

Infatti, sebbene la produzione di bioetanolo si sia affermata in alcuni paesi storicamente dediti a tale produzione (Brasile e Stati Uniti) ed in quelli emergenti (Cina ed India) ed in alcuni casi ha rappresentato un'ottima occasione per risollevarne l'economia di alcune aree depresse è evidente che la produzione di etanolo richiede

la realizzazione di impianti di grosse dimensioni e la tecnologia non è attualmente matura e nemmeno proponibile come tecnica di conversione energetica adatta a piccole realtà locali. Tuttavia lo studio dell'ottimizzazione e sviluppo di tali impianti sta ancora evolvendo e nei prossimi anni potrebbero essere presentati nuovi impianti commerciali in grado di convertire le biomasse, anche erbacee, in bioetanolo, con buoni risultati in termini economici e produttivi, anche per paesi come l'Italia dove ultimamente, nel tentativo di riconvertire alcuni zuccherifici viene proposta la produzione di bioetanolo a partire da materiale vegetale, in alcuni casi frumento.

## Bibliografia

- Amirante P., Di Renzo G.C. (1985). Sottoprodotti vegetali: una fonte di energia da recuperare, Riv. Terra e Vita, 40.
- Bonari E., Picchi G., Guidi W., Piccioni E., Fraga A., Villani R. (2004). Le colture da energia. -Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm - Quaderno ARSIA.
- Busby D.P. (2007). The cost of producing lignocellulosic ethanol [MS thesis]. Mississippi State University, Mississippi, MS, p. 125.
- Campbell J.E., Lobell D.B., Genova R.C., Field C.B. (2008). The global potential of bioenergy on abandoned agriculture lands. *Environmental Science and Technology*; 42:5791-4. doi:10.1021/es800052w.
- Drescher U., Bruggemann D., (2007). Fluid selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) in biomass power and heat plants. *Applied thermal engineering*, 27, 223-228.
- Duvia A., Gaia M. (2004). Cogenerazione a biomassa mediante turbogeneratori ORC Turboden: tecnologia, efficienza, esperienze pratiche ed economia. Relazione del Convegno "Energia prodotta da scarti del legno: opportunità di cogenerazione nel distretto del mobile".
- Johnson J.M.F., Coleman M.D., Gesh R., Jaradat A., Mitchell R., Reicosky D. (2007). Biomass-bioenergy crops in the United States: A changing paradigm. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology*;1(1):1-28.
- Lemus R., Parrish D.J. (2009). Herbaceous crops with potential for biofuel production in the USA. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 4.
- McLaughlin S.B., Walsh M.E. (1999). Evaluating environmental consequences of producing herbaceous crops for bioenergy. *Biomass and Bioenergy*; 14(4): 317-24.
- Rentizelas A., Karellas S., Kakaras E., Tsiopoulou I. (2009). Comparative techno-economic analysis of ORC and gasification for bioenergy applications. *Energy conversion and management*, 50, 3, 674-681.

C

*Utilizzo e destinazione*

- Picco D., Ferro L. (2009). Canna comune e miscanto vogliono una caldaia speciale. *L'Informatore Agrario, Supplemento Energia Rinnovabile* 17, 30-33.
- Pimentel D, Patzek TW. (2005) Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. *Natural Resource Research*, 14(1):65–76. Available from URL: <http://www.springerlink.com/content/r1552355771656v0/> (accessed 29 July 2009).
- Rooney W.L., Blumenthal J., Bean B., Mullet J.E. (2007). Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*; 1:147-57.
- Scaramucci J.A, Perin C., Pulino P., Bordoni O.F.J., da Cunha M.P., Cortez LAB. (2006). Energy from sugarcane bagasse under electricity rationing in Brazil: a computable general equilibrium model. *Energy Policy*; 34(9):986–92. doi:10.1016/j.enpol.2004.08.052.
- Schuster A., Karellas S., Kakaras E., Spliethoff H. (2008). Energetic and economic investigation of Organic Rankine Cycle applications. *Applied Thermal Engineering*, 29, 1809-1817.