



Fondo Europeo Agricolo  
per lo sviluppo rurale  
l'Europa investe nelle zone rurali



MINISTERO DELLE POLITICHE AGRICOLE  
ALIMENTARI E FORESTALI



REGIONE SICILIANA



Programma  
Sviluppo  
Rurale PSR  
Sicilia 2007-2013  
l'Europa investe nelle zone rurali



CRA  
CONSIGLIO PER LA RICERCA  
E LA SPERIMENTAZIONE  
IN AGRICOLTURA



CONSORZIO  
DI RICERCA  
GIAN PIETRO  
BALLATORE



Confagricoltura  
Sicilia



CNR  
ISAFOM

PROGETTO E.Ri.C.A.

## PROGETTO E.Ri.C.A. Energie Rinnovabili da Colture Agricole:



progetto di cooperazione  
per l'innovazione  
e lo sviluppo tecnologico  
del settore agroenergetico  
in Sicilia.

Misura 124, PSR Sicilia 2007-13

# **Progetto E.Ri.C.A.**

**“ENERGIE RINNOVABILI DA COLTURE AGRICOLE”**

*Progetto di cooperazione per l'innovazione  
e lo sviluppo tecnologico  
del settore agro-energetico in Sicilia*

© Consorzio di Ricerca “Gian Pietro Ballatore”

ISBN 978-88-903845-2-3



## **Partner di progetto:**

### ***Enti di ricerca***

- Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura - Centro di Sperimentazione e Certificazione delle Sementi (CRA SCS) - Sede di Palermo (Ente Capofila)
- Consorzio di Ricerca “Gian Pietro Ballatore”
- Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) - ISAFOM UOS Catania

### ***Aziende e associazioni di imprese agricole***

- Federazione Regionale Agricoltori della Sicilia (Confagricoltura)
- PRO.SE.ME. S.r.l.
- Consorzio Cipas Soc. Coop.
- Nuovo Orizzonte Coop.
- A.S.A.R.
- C.A.P.O.G. Soc. Coop.
- Azienda agricola Catalano Vincenzo
- Azienda agricola De Gregorio Gregorio
- Azienda agricola Genco Gian Vincenzo
- Azienda agricola Riggio Francesco
- Azienda agricola Rizzo Benedetto Antonio
- Azienda agricola Virzi Fabrizio

### **Responsabile scientifico:**

Claudia Miceli CRA SCS - Sede di Palermo

### **Coordinatori delle azioni progettuali:**

**Azione 1 - Introduzione e collaudo di *Brassica carinata***  
Bernardo Messina - Consorzio di Ricerca “G. P. Ballatore”

**Azione 2 - Introduzione e collaudo di *Cynara spp.***  
Salvatore Antonio Raccuia – CNR ISAFOM UOS Catania

**Azione 3 - Effetti di *Brassica carinata* sul “Mal del piede” dei cereali**  
Claudia Miceli – CRA SCS - sede di Palermo

**Azione 4 - Introduzione, collaudo e ottimizzazione di un sistema di pellettizzazione mobile**  
Bernardo Messina - Consorzio di Ricerca “G. P. Ballatore”

**Azione 5 - Collaudo ed ottimizzazione di un impianto aziendale per l'estrazione dell'olio da semi di *Brassica spp.* e per la produzione di biodiesel**  
Giuseppe Russo - Consorzio di Ricerca “G. P. Ballatore”

**Realizzazione a cura di:**

Bernardo Messina, Claudia Miceli

**Stampa a cura di:**

Consorzio di Ricerca “Gian Pietro Ballatore”

**Progetto grafico della copertina a cura di:**

Giuseppe Catanzaro - Consorzio di Ricerca “Gian Pietro Ballatore”

**Si ringraziano per la collaborazione:**

Giovanna Calandra  
CRA SCS - sede di Palermo

Nathascia Amato, Ivan Campisi, Giuseppe Cascià, Giuseppe Lo Giudice,  
Benedetto Rizzo, Vincenzo Tosto, Silvia Maria Turco  
Consorzio di Ricerca “Gian Pietro Ballatore”

Un particolare ringraziamento all’azienda “Tatano – energie rinnovabili” di Cammarata (AG) per la realizzazione delle prove di combustione del pellet ed al dott. Luca Lazzeri (CRA CIN – Bologna) per le analisi chimiche della granella, del pannello di estrazione e della paglia di *Brassica carinata*.

**Per i riferimenti bibliografici citare come:**

B. Messina, C. Miceli, 2014. Progetto E.Ri.C.A. “Energie Rinnovabili da Colture Agricole” - Progetto di cooperazione per l’innovazione e lo sviluppo tecnologico del settore agro-energetico in Sicilia. Consorzio di Ricerca “Gian Pietro Ballatore”

# INDICE

<b>1.</b>	<b>Progetto “Energie rinnovabili da colture agricole” (E.Ri.C.A.)</b>	<b>pag. 9</b>
	<i>Claudia Miceli</i>	
<b>2.</b>	<b>Introduzione e collaudo di <i>Brassica carinata</i></b>	<b>pag. 13</b>
	<i>Bernardo Messina, David Campisi, Rosario Catalano, Davide Costantino, Alessandro Fonti, Giuseppe Ippolito, Giorgio Rizzo, Giuseppe Russo, Vito Campanella, Vincenzo Angileri, Antonio Aronadio, Claudio Mandalà, Claudia Miceli</i>	
2.1	Introduzione	pag. 14
2.2	Obiettivi	pag. 15
2.3	Piano di lavoro	pag. 15
2.4	Risultati e discussioni	pag. 19
2.5	Conclusioni	pag. 20
<b>3.</b>	<b>Introduzione e collaudo di <i>Cynara spp.</i></b>	<b>pag. 23</b>
	<i>Salvatore Antonino Raccuia, Salvatore Scandurra, Maria Grazia Melilli</i>	
3.1	Introduzione	pag. 24
3.2	Il Cardo	pag. 24
3.2.1	Tecnica colturale	pag. 25
3.2.2	Raccolta	pag. 25
3.2.3	Resa in biomassa e sue componenti	pag. 26
3.2.4	Impieghi delle diverse componenti della biomassa	pag. 26
3.3	Obiettivi	pag. 28
3.4	Piano di lavoro	pag. 28
3.5	Risultati e discussioni	pag. 29
3.6	Conclusioni	pag. 30
<b>4.</b>	<b>Effetti di <i>Brassica carinata</i> sul “Mal del piede” dei cereali</b>	<b>pag. 35</b>
	<i>Vito Campanella, Vincenzo Angileri, Antonio Aronadio, Claudio Mandalà, Claudia Miceli</i>	
4.1	Introduzione	pag. 36
4.2	Obiettivi dell’azione	pag. 37
4.3	Piano di lavoro	pag. 37
4.4	Risultati e discussioni	pag. 40
4.5	Conclusioni	pag. 45

<b>5.</b>	<b>Introduzione, collaudo e ottimizzazione di un sistema di pellettizzazione mobile</b>	<b>pag. 47</b>
	<i>Giuseppe Toscano, David Campisi, Davide Costantino, Alessandro Fonti, Bernardo Messina</i>	
5.1	Introduzione	pag. 48
5.2	Obiettivi	pag. 50
5.3	Piano di lavoro	pag. 50
5.4	Risultati e discussioni	pag. 52
5.5	Conclusioni	pag. 54
<b>6.</b>	<b>Prove di combustione del pellet in caldaia</b>	<b>pag. 63</b>
	<i>Rosalia Tatano</i>	
<b>7.</b>	<b>Collaudo ed ottimizzazione di un impianto aziendale per l'estrazione dell'olio da semi di <i>Brassica carinata</i> spp. e per la produzione di biodiesel</b>	<b>pag. 67</b>
	<i>Bernardo Messina, Giuseppe Russo, David Campisi, Davide Costantino, Alessandro Fonti, Giuseppe Toscano</i>	
7.1	Introduzione	pag. 68
7.2	Obiettivi	pag. 70
7.3	Piano di lavoro	pag. 71
7.4	Risultati e discussioni	pag. 72
7.5	Conclusioni	pag. 77
<b>8.</b>	<b>Aspetti economici riguardanti la coltivazione della <i>Brassica carinata</i> in Sicilia e la trasformazione aziendale della granella e dei residui colturali</b>	<b>pag. 81</b>
	<i>Bernardo Messina</i>	
8.1	Introduzione	pag. 82
8.2	Piano di lavoro	pag. 82
8.3	Risultati e discussioni	pag. 88
8.4	Conclusioni	pag. 91
<b>9.</b>	<b>Considerazioni finali</b>	<b>pag. 95</b>
	<i>Claudia Miceli</i>	



---

# *Capitolo 1*

## **Progetto “Energie rinnovabili da colture agricole” (E.Ri.C.A.)**

C. Miceli

---

Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, Centro di Sperimentazione e  
Certificazione delle Sementi - Sede di Palermo

L'approvvigionamento energetico risulta oggi una delle voci di spesa che maggiormente incide sui costi e, di conseguenza, sul reddito delle imprese agricole. La ricerca di alternative economicamente più convenienti e la maggiore attenzione alla salvaguardia dell'ambiente, ha determinato un interesse sempre maggiore verso altre fonti energetiche "pulite": le energie rinnovabili, in grado di subentrare alle tradizionali fonti fossili, più utilizzate perché in grado di produrre maggiori quantità di energia con costi relativamente bassi.

A livello europeo, infatti, il fabbisogno energetico è coperto per il 76% da combustibili fossili, per il 14% da energia nucleare e per il 10% da fonti di energia rinnovabile (UE 2011). L'Europa è, pertanto, chiamata ad affrontare alcune sfide e, in questo contesto, gli Stati Membri si sono posti tre principali obiettivi da raggiungere entro il 2020: il miglioramento delle competitività della propria economia, attraverso l'aumento del 20% dell'efficienza energetica, la garanzia della sostenibilità, attraverso la riduzione del 20% delle emissioni di CO<sub>2</sub> e la maggiore sicurezza degli approvvigionamenti, portando proprio la quota delle fonti di energia rinnovabile al 20%.

Per energie rinnovabili si intendono quelle forme di energia che si rigenerano almeno alla stessa velocità con cui vengono consumate o che non si esauriscono nella scala dei tempi "umani", non pregiudicando le risorse naturali, salvaguardando, pertanto, la loro disponibilità per le future generazioni e non immettendo nell'atmosfera sostanze nocive.

Il progressivo affermarsi di nuove tecnologie consente oggi di produrre energia rinnovabile anche dal comparto agricolo e forestale: le agroenergie. Queste pur rivestendo un ruolo ancora contenuto nel settore delle energie rinnovabili, tra le quali predomina l'idroelettrico, sono quelle che evidenziano il maggior incremento dopo il solare. Esse possono avere: un effetto leva sull'occupazione in quanto, integrandosi con l'agricoltura e il territorio, favoriscono anche l'indotto (impianti, ecc.); sono fonti programmabili e rivestono, pertanto, un ruolo strategico tra le energie rinnovabili, perché offrono un potenziale di stabilizzazione della rete; sono oggi in forte sviluppo anche in Italia, dove il Piano di Azione Nazionale (PAN) per le rinnovabili, prevede il raddoppio del loro contributo al mix energetico entro il 2020.

Le agroenergie permettono, inoltre, un'importante integrazione tra il mondo agricolo e l'innovazione del comparto energetico, permettendo di sfruttare anche terreni marginali e scarti della lavorazione agricola a fini energetici e di valorizzare sottoprodotti che andrebbero, altrimenti, gestiti come rifiuti. La costituzione di piccoli e medi impianti diffusi sul territorio può contribuire allo sviluppo locale, rendendo gli agricoltori interpreti di una "trasformazione verde", il cui ruolo non si limita a semplici produttori di materie prime da trasformare, ma è quello di protagonisti virtuosi e consapevoli.

Gli imprenditori agricoli siciliani, già in difficoltà per gli alti costi di produzione ed i bassi prezzi dei prodotti agricoli, si trovano oggi ad affrontare una crisi ancora più spinta che colpisce tutti i settori. Si impone, pertanto, un cambiamento di mentalità ed un'apertura verso nuove prospettive (diversificazione produttiva, autosufficienza energetica, colture energetiche rinnovabili) da collaudare a livello aziendale, con uno sguardo più attento verso la ristrutturazione e l'ammodernamento del sistema produttivo siciliano.

È proprio in questo contesto che nasce il progetto E.Ri.C.A. "Energie rinnovabili da colture agricole: progetto di cooperazione per l'innovazione e lo sviluppo tecnologico del settore agroenergetico in Sicilia", in cui enti di ricerca, associazioni di agricoltori, imprenditori agricoli e imprese hanno messo insieme le proprie conoscenze e le proprie risorse per contribuire allo sviluppo del comparto agroenergetico. Il Progetto è stato finanziato dall'Assessorato delle Risorse Agricole e Alimentari della Regione Sicilia, nell'ambito del Programma di Sviluppo Rurale Regione Sicilia 2007-2013, Misura 124 "Cooperazione per lo sviluppo di nuovi prodotti, processi e tecnologie nei settori agricolo e alimentare e in quello forestale".

Nell'ottica di multifunzionalità che deve guidare le scelte dell'imprenditore agricolo per riuscire a consolidare il proprio livello di reddito, il progetto si è posto l'obiettivo di ristrutturare ed ammodernare il sistema agricolo ed agro-industriale siciliano, attraverso il trasferimento e la diffusione sul territorio regionale, di innovazioni di prodotto e di processo, acquisite nel settore delle energie da fonti rinnovabili, per accrescere la competitività delle aziende agricole.

Per il perseguimento di quanto detto, sono state realizzate le seguenti azioni:

- Azione 1 – Introduzione e collaudo di *Brassica* spp.
- Azione 2 – Introduzione e collaudo di *Cynara* spp.
- Azione 3 – Effetti di *Brassica* spp. sul "Mal del piede" dei cereali
- Azione 4 – Introduzione, collaudo e ottimizzazione di un sistema di pellettizzatrice mobile
- Azione 5 – Collaudo ed ottimizzazione di un impianto aziendale per l'estrazione dell'olio da semi di *Brassica* spp. e *Cynara* spp. e per la produzione di biodiesel.



---

## Capitolo 2

### **Introduzione e collaudo di *Brassica carinata***

B. Messina\*, D. Campisi\*, R. Catalano\*, D. Costantino\*,  
A. Fonti\*, G. Ippolito\*, G. Rizzo\*, G. Russo\*  
V. Campanella\*\*, V. Angileri\*\*, A. Aronadio\*\*,  
C. Mandalà\*\*, C. Miceli\*\*

---

\* Consorzio di Ricerca “Gian Pietro Ballatore” – Assoro (EN)

\*\* Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura - Centro di Sperimentazione e Certificazione delle Sementi - Sede di Palermo

## 2.1 Introduzione

Le attuali e ben note problematiche legate all'approvvigionamento e all'utilizzo delle risorse energetiche di origine fossile, hanno determinato la necessità di ricercare e sviluppare energia da fonti rinnovabili. Negli anni si è assistito ad un progressivo sfruttamento dell'energia solare, eolica e da biomassa.

Su quest'ultima risorsa, con riferimento all'uso degli oli vegetali per scopi energetici, risulta tra i maggiori paesi produttori destinando alcuni di essi, come ad esempio l'olio di colza, per oltre il 30 % ad usi energetici (Fig. 1, 2, 3, 4).

Secondo i dati dell'USDA, la produzione mondiale di olio vegetale è cresciuta costantemente negli ultimi anni, soprattutto per quanto concerne gli oli di palma, di colza e di semi di girasole, che nel loro insieme, nel 2013/2014, hanno rappresentato quasi il 60% della produzione mondiale di olio vegetale (169 milioni di t), con valori rispettivamente pari a circa 58, 26 e 16 milioni di tonnellate (Fig. 1).

Con riferimento all'Unione Europea nel 2013/2014 è risultata al quarto posto

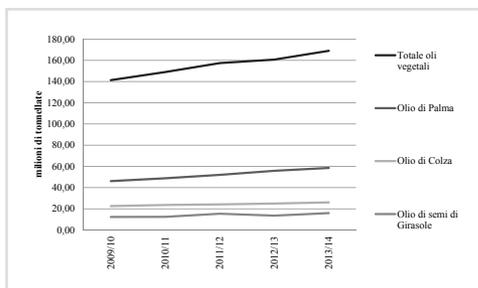


Fig. 1 - Produzione mondiale dei più importanti oli vegetali (Fonte: USDA)

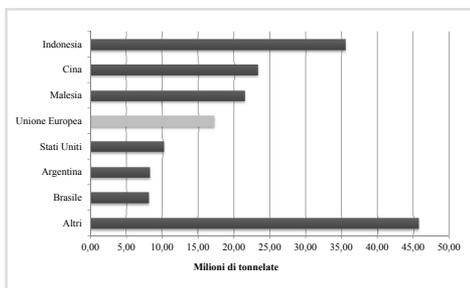


Fig. 2 - Paesi produttori di oli vegetali nel 2013-2014 (Fonte: USDA)

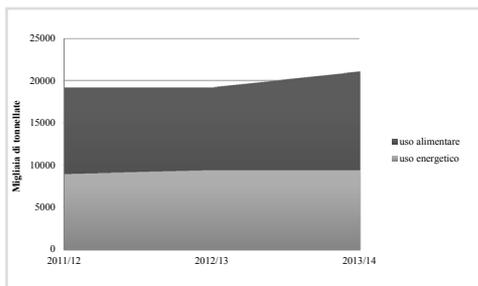


Fig. 3 - Produzione e modalità di impiego dell'olio di colza nell'Unione Europea (Fonte: USDA).

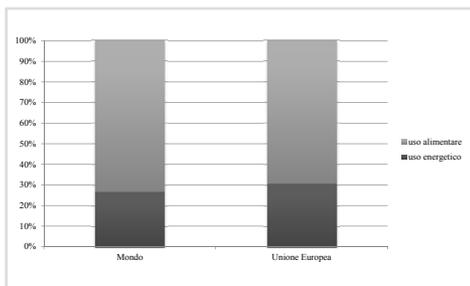


Fig. 4 - Modalità di impiego dell'olio di colza nel 2013-2014 nell'Unione Europea e nel Mondo (Fonte: USDA)

tra i paesi produttori di oli vegetali, superata unicamente da Indonesia, Cina e Malesia, con una produzione pari a circa il 10% di quella mondiale: 16,5 milioni di tonnellate a fronte di 169 milioni di tonnellate (Fig. 2).

In questo contesto il Consorzio di Ricerca “Gian Pietro Ballatore” già nel 2006, con il progetto “Filiera Siciliana per l’Agroenergia - Fi.Sic.A.”, si è adoperato per definire le condizioni di fattibilità per l’introduzione di una filiera agroenergetica in Sicilia basata sulla coltivazione di una specie oleaginosa, la *Brassica carinata*, in un’ottica di integrazione con la consolidata filiera del grano duro.

Le conoscenze acquisite nell’ambito delle suddetto progetto, le indicazioni e le criticità emerse, sono risultate di fondamentale importanza per la definizione delle attività da svolgere nel progetto E.Ri.C.A.. In particolare l’esperienza maturata sugli aspetti tecnico-agronomici della coltivazione della *Brassica carinata*, è risultata utile alla realizzazione dell’azione 1 del progetto “Introduzione e collaudo di *Brassica carinata*”.

## 2.2 Obiettivi

L’azione 1 (Introduzione e collaudo di *Brassica carinata*) del progetto E.Ri.C.A., oggetto del presente lavoro, ha avuto l’obiettivo di introdurre due genotipi di *Brassica carinata* negli ordinamenti colturali di aziende agricole siciliane e la diffusione delle conoscenze relative alle tecniche colturali da adottare. Tutto ciò al fine di fornire agli agricoltori indicazioni su nuove specie da poter introdurre in rotazione, in particolare, con le colture cerealicole, e creare nuove opportunità per favorire l’ammodernamento del sistema produttivo agricolo regionale attraverso la diversificazione delle produzioni, e l’utilizzazione di biomasse a scopo energetico (residui colturali, semi oleaginosi, pannello di estrazione, pellet, ecc.).

Tale azione è stata supportata, inoltre, da attività analitiche di caratterizzazione chimica ed energetica della granella prodotta, oltre che dalla valutazione economica dei costi da sostenere per la coltivazione.

## 2.3 Piano di lavoro

Il progetto ha previsto la realizzazione di sette campi dimostrativi di *Brassica carinata* e di grano duro, dislocati nelle principali aree a vocazione cerealicola della Sicilia. La coltivazione del grano duro è stata prevista al fine di evidenziare gli effetti benefici, in termini fitosanitari, che la *Brassica carinata* esplica quando è coltivata in precessione alla suddetta coltura cerealicola.

Coerentemente con gli obiettivi progettuali, che prevedevano il trasferimento

dell'innovazione al settore agricolo siciliano, le prove di campo sono state condotte presso le aziende agricole partner del progetto di seguito indicate (Fig. 5):

- Soc. Coop. C.A.P.O.G., Marineo (PA);
- Azienda Catalano Vincenzo, Ciminna (PA);
- Azienda De Gregorio Gregorio, Monreale (PA);
- Azienda Genco Gian Vincenzo, Mussomeli (CL);
- Azienda Riggio Francesco, Ciminna (PA);
- Azienda Rizzo Benedetto Antonio, Assoro (EN);
- Azienda Virzì Fabrizio, Caltanissetta (CL).

I campi sono stati realizzati per due anni consecutivi, nelle annate agrarie 2011-12 e 2012-13 estesi singolarmente 2,5 ettari, per una superficie complessiva investita pari a 17,5 ettari per singola annata.

Al secondo anno, tra l'ultima decade di maggio e la prima decade di giugno, sono state realizzate giornate di campo di tipo dimostrativo e divulgativo, coinvolgendo, oltre ai singoli partner del progetto, imprenditori agricoli e tecnici operanti nel territorio.

Il protocollo colturale, come già anticipato, è stato definito in funzione dei risultati ottenuti nei campi sperimentali realizzati nell'ambito del progetto di ricerca Fi.Sic.A..

Le varietà di *Brassica carinata* utilizzate sono state la Defen e la CT 180, che nei precedenti anni di sperimentazione si sono distinte sia per la produzione di granella sia per la produzione di residui colturali (biomassa lignocellulosica); per il grano duro è stata utilizzata la varietà Simeto.

Ciascun campo è stato ripartito annualmente in due appezzamenti, di cui uno destinato alla coltivazione della *Brassica carinata* (1 ha) e uno destinato al grano duro (1,2 ha). L'appezzamento destinato alla *Brassica carinata* è stato ulteriormente suddiviso tra i due genotipi in coltivazione.

Sui campioni della granella raccolta sono stati determinati alcuni parametri qualitativi tramite prove di laboratorio eseguite dal Centro di Ricerca per le Colture Industriali del Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (CRA -CIN) di Bologna, ed in particolare:

- umidità (%): metodo termogravimetrico in stufa a 105 °C per 12 ore;
- olio (% sulla s.s. e sul t.q.): analisi NMR (Nuclear Magnetic Resonance) validata su analisi Soxhlet - Metodo ufficiale;
- proteine (% sulla s.s. e sul t.q.): analisi Kjeldahl - Metodo ufficiale;
- azoto (% sulla s.s. sul t.q.): analisi Kjeldahl - Metodo ufficiale;
- glucosinolati (% sulla s.s. e sul t.q.): analisi ufficiale in High Performance Liquid Chromatography (Metodo ISO 9167-1, 1992).

I glucosinolati, composti glucosidici tipici della famiglia delle Brassicaceae, svolgono durante la coltivazione della pianta, un ruolo di difesa particolarmente efficace per la capacità di rilasciare molecole bioattive nel contenimento di alcuni patogeni. La loro presenza nel pannello, ottenuto dal processo di estrazione dell'olio dai semi, conferisce allo stesso, la possibilità di utilizzo nella cosiddetta tecnica della biofumigazione.

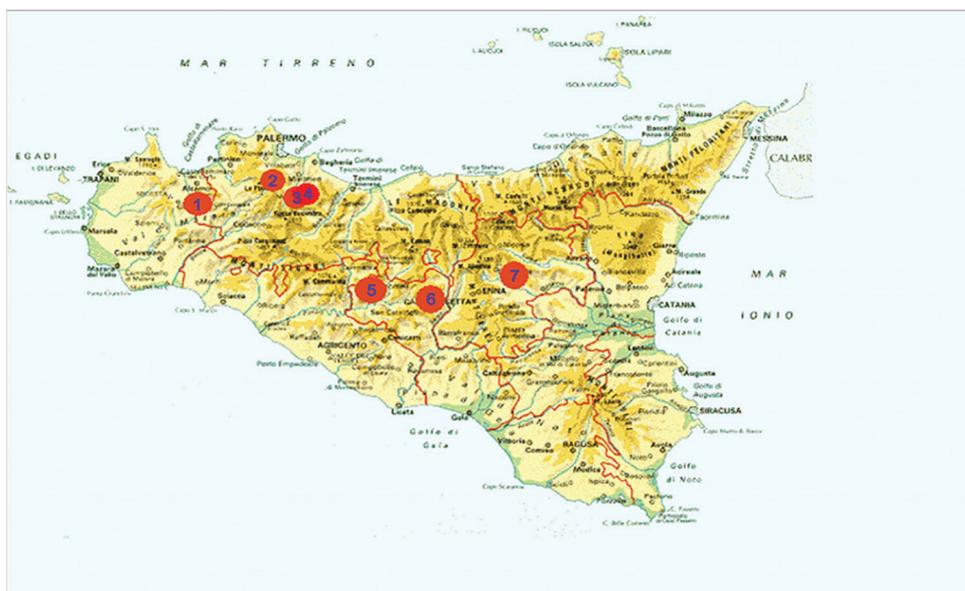


Fig. 5 - Ubicazione dei campi: 1- Monreale (PA); 2 - Marineo (PA); 3,4 - Ciminna (PA); 5 - Caltanissetta; 6 - Mussomeli (CL); 7 - Assoro (EN).

## Scheda 1

### Operazioni colturali adottate per la Brassica

#### Lavorazioni del terreno

È stata eseguita una lavorazione principale con aratura a circa 25-30 cm, seguita da una/due erpicature per la preparazione del letto di semina.

#### Semina

Le semine sono state effettuate tra la seconda decade di novembre e la seconda decade di dicembre.

La dose di semina nei due anni è variata da 8 a 13 kg/ha in funzione della germinabilità delle sementi utilizzate.

Per la semina sono state utilizzate sia seminatrici a righe appositamente adattate al tipo di seme, sia seminatrici comunemente utilizzate per la semina del grano duro. I semi sono stati distribuiti alla profondità di circa 2-3 cm e dove le condizioni pedo-climatiche ed aziendali lo hanno permesso, è stata eseguita la rullatura. La semina a file ha previsto un interfila variabile tra 16 e 20 cm.

#### Concimazione

Sono stati eseguiti due interventi di concimazione per mezzo di spandiconcime: in presemina con 1,5 q/ha di perfosfato semplice ( $P_2O_5$  19% -  $SO_3$  28-29%) ed in copertura con 2 q/ha di nitrato ammonico (N 27%).

#### Controllo delle infestanti

Il controllo è stato di tipo chimico. Al primo anno (2011/2012) è stato effettuato un intervento in copertura per il contenimento delle infestanti monocotiledoni con 1 l/ha di Fluazifop-p-butile. Al secondo anno (2012/2013) si è intervenuti sia in pre-semina con 1,5 l/ha di Metazachlor, sia in copertura con 1 l/ha di Fluazifop-p-butile.

#### Raccolta

È stata realizzata tra la fine della seconda decade di giugno e l'inizio della terza decade di luglio utilizzando mietitrebbie adoperate per il grano duro, opportunamente regolate.

## 2.4 Risultati e discussioni

Nel biennio la resa unitaria media registrata per le due varietà di *Brassica carinata* è stata pari a 7,6 q/ha, con valori medi pari a 8,7 q/ha per la varietà Defen e 6,5 q/ha per la varietà CT 180 (Tab. 1).

Al primo anno 7 dei 14 appezzamenti destinati alle due varietà sono stati sovesciati in fase di fioritura, per valutare l'effetto della suddetta pratica colturale sull'incidenza dei patogeni del "Mal del piede" sulla coltura cerealicola in successione, mentre al secondo anno due dei 14 campi non sono andati in produzione a causa di problemi che hanno compromesso l'emergenza delle plantule.

A tal proposito di fondamentale importanza, per una buona riuscita della coltura, risultano essere sia la preparazione del letto di semina, considerate le piccole dimensioni del seme (peso di 1.000 semi: 3,5-4,0 g) il terreno deve essere ben amminutato, sia le operazioni di semina che devono evitare di deporre il seme a profondità superiori a 2-3 cm, che potrebbero compromettere l'emergenza delle piantine. Per facilitare il contatto tra il seme ed il terreno, se le condizioni di umidità lo consentono, è consigliabile rullare dopo la semina.

Particolare attenzione deve essere dedicata anche all'epoca di semina che dovrebbe essere effettuata tra la fine di ottobre e la prima metà di novembre, soprattutto negli ambienti più freddi, al fine di consentire alla coltura il raggiungimento della fase di rosetta (circa 8 foglie vere, foto n. 1), che le permette di esprimere una buona resistenza alle basse temperature.

Così come già evidenziato nell'ambito del progetto "Fi.Sic.A.", tutte le operazioni colturali sono state effettuate utilizzando macchine ed attrezzature normalmente adoperate per la coltivazione del grano duro opportunamente regolate.

Tab. 1 - Produzioni unitarie medie delle due varietà nei due anni di coltivazione.

CT 180: resa (q/ha)		Defen: resa (q/ha)	
I anno	II anno	I anno	II anno
7,5	5,4	10	7,4
6,5		8,7	

Tab. 2 - Risultati analitici medi della granella di *Brassica carinata* (Annata agraria 2012-2013).

Varietà	Umidità (%)	Olio		Proteine		Azoto		GLS tot $\mu\text{moli/g}$	
		(% t.q.)	(% s.s.)	(% t.q.)	(% s.s.)	(% t.q.)	(% s.s.)	(t.q.)	(s.s.)
CT 180	6,8	39,6	42,4	25,8	27,5	4,1	4,4	88,3	94,7
Dev.st.	0,8	5	5	2,2	2,5	0,3	0,4	10,3	10,9
Defen	6,7	41	43,9	25,8	27,6	4,1	4,4	98,1	105,1
Dev.st.	0,6	3,6	3,6	2,7	3	0,4	0,5	11,1	12,2

Le analisi della granella hanno fatto registrare un buon contenuto in olio<sup>1</sup> (% s.s.), pari mediamente al 42,4% per quanto riguarda la varietà CT 180 e al 43,9% per la varietà Defen (Tab. 2), superiori ai contenuti medi registrati in altre sperimentazioni condotte a livello nazionale su varietà di *Brassica carinata* e di poco inferiori a quelli delle varietà di colza (Del Gatto 2011, 2012 e 2013).

Il contenuto in glucosinolati<sup>1</sup> riscontrato risulta buono ed in linea con quanto atteso in funzione delle condizioni climatiche di coltivazione. Andamenti climatici con temperature elevate favoriscono, infatti, la formazione di tali composti. Il contenuto di glucosinolati nella Defen è stato mediamente superiore rispetto alla CT 180, mentre non si sono registrate differenze per quanto riguarda il contenuto in proteine e azoto.

## 2.5 Conclusioni

Il biennio di attività ha confermato quanto già evidenziato nell'ambito del progetto "Fi.Sic.A." e cioè una buona adattabilità della *Brassica carinata* agli areali cerealicoli della Sicilia. La produttività, invece, è risultata essere modesta a dimostrazione del fatto che, oltre alle dovute attenzioni da riservare all'epoca e alle modalità di semina, sarebbe necessario intensificare l'attività di miglioramento genetico, finalizzata alla creazione di varietà che esprimano al meglio il potenziale produttivo della specie nei diversi ambienti pedoclimatici siciliani.

Importante è l'adattabilità del parco macchine utilizzato dalle aziende cerealicole alle esigenze colturali della brassica; tutte le operazioni colturali sono state realizzate utilizzando le macchine e gli attrezzi presenti presso le aziende cerealicole partner del progetto, limitandosi esclusivamente all'apporto di qualche regolazione, come nel caso delle seminatrici e delle mietitrebbie, per adattarle alle piccole dimensioni del seme rispetto al frumento. Aspetto di fondamentale importanza perché permette agli agricoltori di non dovere realizzare investimenti onerosi per l'introduzione della brassica all'interno dei propri ordinamenti colturali.

Per quanto riguarda le caratteristiche chimiche della granella è stato evidenziato l'elevato contenuto in olio, a conferma di quanto emerso nell'ambito del progetto Fi.Sic.A. per la varietà Sincron, mentre il buon contenuto in glucosinolati suggerisce la possibilità di uso del pannello di estrazione dell'olio per la produzione di ammen-

---

<sup>1</sup> I dati discussi non comprendono i risultati analitici di un'azienda, perché i campioni di granella non sono risultati idonei all'analisi.

danti con azione biofumigante e, considerato il contenuto in azoto, di fertilizzanti organici.

Inoltre, come evidenziato nei capitoli 5 e 7, riguardanti le azioni 4 e 5 del progetto, il pannello e la paglia, quest'ultima prodotta in considerevole quantità, possono essere utilizzati a scopi energetici per la produzione di agripellet.

### Riferimenti bibliografici

AA.VV., 2008 - *Progetto Fi.Sic.A. Filiera Siciliana per l'Agroenergia – Studio di fattibilità per l'introduzione di filiere agro-energetiche*. Regione Siciliana, Assessorato Agricoltura e Foreste, Dipartimento Interventi Infrastrutturali e Consorzio di Ricerca “Gian Pietro Ballatore”.

Del Gatto A., Mangoni L., Pieri S., Di Candilo M., Diozzi M., De Mastro G., Verdini L., Signor M., Barbiani G., Carboni G., Cauli F., 2011- *Concluso il triennio di sperimentazione del progetto suscace. Semina del colza 2011: le varietà per tutti gli areali. Approfondimento*. Informatore Agrario n. 32/2011: 53-56.

Del Gatto A., Pieri S., Mangoni L., Signor M., Barbiani G., 2012 - *Risultati della sperimentazione nelle Marche e in Friuli. Colza e Brassica carinata: le varietà per le semine 2012*. Informatore Agrario n. 32/2012: 52-55.

Del Gatto A., Mangoni L., Pieri S., Signor M., Barbiani G., Raccuia S., Melilli M. G., 2013 - *Risultati della sperimentazione 2012-2013 nelle Marche, in Friuli e in Sicilia. Varietà di colza per le semine 2013*. Informatore Agrario n. 37/2013: 48-51.

Del Gatto A., Mangoni L., Pieri S., 2014 - *Valutazione di 17 varietà di colza e 3 di B.*

*carinata* in centro Italia. Colza e Brassica carinata: risultati produttivi 2014. Informatore Agrario n. 34/2014: 47-50.



**Foto 1** - Piante di Brassica carinata in fase di rosetta.



**Foto 2** - Piante di Brassica carinata in fase di maturazione cerosa.



**Foto 3** - Fase di mietitrebbiatura di un campo dimostrativo



**Foto 4** - Silique e semi di Brassica carinata

---

# *Capitolo 3*

## **Introduzione e collaudo di *Cynara* spp.**

S. A. Raccuia, S. Scandurra, M. G. Melilli

### 3.1 Introduzione

La necessità di disporre di biomassa e granella oleaginosa da destinare a scopo energetico al fine di ridurre l'impiego di combustibili fossili, ha portato negli ultimi anni al rapido sviluppo di filiere agroenergetiche dedicate, basate su alcune colture tradizionali destinate all'uso alimentare o zootecnico. Il rapido affermarsi dell'uso a fini energetici di queste colture, anche grazie ai forti sussidi pubblici, ha determinato squilibri per l'impiego a fini alimentari delle produzioni e per l'uso delle risorse. Lo sviluppo di queste filiere e ha posto problematiche oltre che di sostenibilità ambientale ed economica, anche di competizione con le colture destinate all'alimentazione umana o alla zootecnia.

Quanto sopra ha indotto l'UOS di Catania dell'ISAFOM CNR a studiare la possibilità di introdurre in coltura ad uso energetico, specie alternative attualmente non destinate ad uso alimentare ed in grado di produrre biomassa e granella oleaginosa in aree marginali con bassi input energetici. Queste ricerche hanno portato all'identificazione del cardo quale specie potenzialmente idonea all'impiego come pianta da biomassa e granella coltivabile in ambiente Mediterraneo, da destinare a scopi energetici o alla Bio-raffinazione, (Raccuia e Melilli, 2007).

Il cardo è una specie originaria del bacino del Mediterraneo, che comprende diverse taxa tra cui il più conosciuto carciofo (*Cynara cardunculus* subsp. *scolymus*) (Raccuia *et al.*, 2004).

Di seguito vengono esposte alcune brevi notizie sul cardo e, successivamente, i risultati ottenuti dalle prove condotte nell'ambito del progetto E.Ri.C.A..

### 3.2 Il cardo

Il cardo, nome scientifico *Cynara cardunculus* L., è una specie erbacea nitrofila perennante in natura, spesso annuale quando coltivata come ortaggio. L'altezza può variare da un minimo di 40 cm, in alcuni biotipi di *C. cardunculus* var. *sylvestris*, a oltre 300 cm in alcune varietà di cardo domestico.

La pianta è costituita da un grosso fusto rizomatoso (ceppaia) da cui si dipartono le radici laterali, che, seppur non numerose, sono notevolmente robuste (fino ad oltre 2 centimetri di diametro). L'apparato radicale può raggiungere una profondità ben oltre il metro.

Le foglie sono pennatosette, dal colore verde cenerino nella parte superiore e biancastre nella parte inferiore.

L'infiorescenza è un capolino con fiori ermafroditi, il frutto è un achenio.

Il cardo predilige terreni fertili, freschi e profondi, di medio impasto e senza ristagni idrici, tendenzialmente neutri; si adatta anche a terreni più o meno marcatamente sabbiosi e sopporta anche una certa salinità. Le esigenze termiche

sono analoghe a quelle del carciofo (anche se il cardo è un po' meno sensibile alle basse temperature), per cui è possibile la sua coltivazione in tutti gli ambienti in cui è presente il carciofo. L'esposizione è preferibilmente soleggiata.

Negli ultimi anni si è assistito alla diffusione di questa specie come coltura da biomassa per la chimica verde da destinare al settore energetico, cosmetico, farmaceutico e per la produzione di bio-plastiche e bio-lubrificanti.

### 3.2.1 *Tecnica colturale*

Il carattere perennante di questa specie permette la sua messa in coltura o con ciclo poliennale breve (2-3 anni) o con ciclo poliennale lungo (10-12 anni o più). Nel primo caso si può usare la coltura in rotazione a cereali, foraggere e leguminose, integrandola con colture destinate all'alimentazione umana e/o zootecnica. Nel secondo caso il cardo può essere coltivato in ambienti marginali da destinare esclusivamente alla produzione di biomassa per l'industria. In questi ambienti la coltura può assumere un ruolo agronomico di rilevante importanza, in quanto permette la reintroduzione in coltura di aree abbandonate, con tutti i benefici ambientali che ne conseguono per il governo complessivo del territorio, nonché il contenimento dei fenomeni di erosione del suolo presenti in molte aree collinari centro-meridionali ed insulari.

Per l'impianto di primo anno, il terreno deve essere preparato con una buona aratura e concimazione minerale, in funzione delle dotazioni in fosforo e potassio di cui lo stesso è già dotato e successivamente ben preparato e spianato. L'impianto autunnale si può realizzare con semina diretta ponendo il seme ad una profondità di 1,5-2,5 cm nel periodo ottobre-dicembre, a file distanti 50 cm l'una dall'altra e 20 cm nella fila, oppure con trapianto di piantine ottenute in semenzaio o in appositi contenitori e successivo trapianto con la stessa densità di 8-10 piante mq (80.000-100.000 piante ad ettaro). Vengono poi eseguite 1 o 2 sarchiature (per il controllo delle infestanti), concimazioni in copertura in funzione della dotazione già presente nel terreno (almeno 50 unità di azoto per ettaro). Dal secondo anno in poi si effettua solo una concimazione azotata dopo il ricaccio, che avviene alle prime piogge autunnali prima che la coltura copra tutto il suolo, in funzione della dotazione del terreno e delle asportazioni operate dalla coltura. Dal secondo anno, se ben insediata, la coltura controlla senza problemi le infestanti.

### 3.2.2 *Raccolta*

La raccolta si esegue in estate quando la biomassa epigea è secca, con un contenuto di umidità tra il 10 ed il 15% e prima della disseminazione degli acheni. Si possono seguire due procedure:

- 1) raccolta dell'intera biomassa, inclusi gli acheni, con taglio della biomassa al colletto e successiva formazione di rotoballe;
- 2) raccolta del seme con mietitrebbia e contemporaneo taglio della biomassa mediante apposita testata da cardo applicabile e successiva imballatura della biomassa mediante roto imballatrice (Foto 3 e 4).

### 3.2.3 Resa in biomassa e sue componenti

In ambiente mediterraneo, in colture con ciclo breve, le produzioni in biomassa epigea secca possono superare le 20 t ha<sup>-1</sup>. Le rese più basse si registrano al primo anno dall'impianto, quando la coltura si insedia. Al secondo e terzo anno le rese aumentano notevolmente. Le rese in acheni in media possono oscillare tra 1,5 e 2,0 t ha<sup>-1</sup>. La ripartizione della biomassa dipende dal genotipo, dall'età dell'impianto e dalla resa in biomassa. A fine ciclo sul totale della biomassa prodotta le radici costituiscono il 40-50%, percentuale che si riduce progressivamente con l'età dell'impianto; la rimanente parte di biomassa è costituita in media dal 30% di foglie, 25% di fusti e 45% di capolini, il cui 15% è rappresentato dalla granella.

### 3.2.4 Impieghi delle diverse componenti della biomassa

L'interesse che questa coltura riveste è legato non solo alla sua spiccata adattabilità all'ambiente mediterraneo, che permette di ottenere buone rese in biomassa e granella utilizzando bassi input energetici, ma anche alle diverse modalità di utilizzo della biomassa.

- Biomassa per energia

Dal cardo, sia domestico che selvatico, si può ottenere biomassa utilizzabile come combustibile solido (eccetto gli acheni), dalla cui combustione è possibile ricavare tra 16.500 KJ/Kg e 17.800 KJ/Kg. La biomassa di cardo costituisce, dunque, una buona materia prima per ricavare energia su larga scala, per la produzione di elettricità o di calore da impiegare negli impianti di riscaldamento (González *et al.* 2004). Dalla biomassa di cardo, così come per gran parte delle altre biomasse lignocellulosiche, mediante opportuni trattamenti fisici, chimici ed enzimatici, è possibile ottenere dei combustibili utilizzabili per la generazione di energia (biocombustibili di seconda generazione).

- Fibra per la produzione di pasta di cellulosa

La biomassa di cardo può essere impiegata per la produzione di pasta di cellulosa, grazie al buon contenuto in cellulosa ed emicellulosa e alla bassa presenza

di lignina. La carta prodotta possiede buone caratteristiche meccaniche e una bassa porosità.

Per la produzione di pasta di cellulosa possono essere impiegati sia gli scapi fiorali che i pappi, quali prodotto di scarto ottenuto dalla trebbiatura dei capolini che, essendo costituiti quasi esclusivamente da cellulosa, forniscono una carta di migliore qualità (Gominho *et al.*, 2001).

- Radici per la produzione di inulina

Le radici di cardo presentano un elevato contenuto di zuccheri, costituiti prevalentemente da inulina con un elevato grado di polimerizzazione. Questo polisaccaride di riserva, noto per le sue proprietà nutraceutiche, assume grande rilevanza per l'impiego in diversi settori industriali, come ad esempio per la sintesi di vari composti chimici di base di notevole interesse economico (Raccuia e Melilli, 2010).

- Granella per la produzione di olio

Il cardo, oltre alle rese in biomassa, risulta di notevole interesse anche per le buone rese in granella. La produzione di granella di cardo, impiegata per l'estrazione di olio, pur non essendo concorrenziale in termini di rese rispetto ad altre colture oleaginose coltivabili nei medesimi ambienti, presenta il vantaggio di essere complementare ed aggiuntiva alla produzione di biomassa utilizzabile ai fini energetici.

La specie può, dunque, essere considerata una coltura a duplice attitudine: produzione di biomassa lignocellulosica per energia e pasta di cellulosa e granella per la produzione di olio da destinare all'uso alimentare o alla sintesi di biodiesel (Raccuia e Melilli, 2011).

- Uso zootecnico

*Impiego delle foglie come foraggio:* il cardo, grazie al suo particolare ciclo biologico, negli ambienti meridionali può essere posto in coltura per la produzione di foraggio nel periodo autunnale quando in assenza di irrigazioni le altre colture erbacee foraggere non sono ancora in grado di fornire il prodotto.

*Granella e farine di estrazione:* la granella di cardo può essere utilizzata, oltre che per l'estrazione di olio, anche per l'alimentazione zootecnica, essendo costituita per il 45% dal tegumento ricco in fibra e proteine, caratteristica che lo rende idoneo anche per l'alimentazione zootecnica.

L'impiego nel settore zootecnico può essere esteso anche alle farine di estrazione, il cui contenuto proteico può superare il 30%.

- Estrazione di principi farmacologicamente attivi

Le foglie di cardo rappresentano un serbatoio naturale di composti con spiccata azione disintossicante, tra cui acidi mono- e di-caffeilchinici e flavonoidi, che rappresentano la frazione più abbondante. Inoltre, sono presenti saponine, sesquiterpeni e flavolignani (silimarina). Agli estratti fogliari di cardo sono stati riconosciuti effetti antimicrobici, antiossidanti, anti-HIV (acido 1-3 dicaffeilchinico), epatoprotettivi e coleretici, così come l'abilità di inibire LDL-colesterolo.

### 3.3 Obiettivi

L'azione 2 (Introduzione e collaudo di *Cynara* spp.) del progetto E.Ri.C.A., oggetto del presente lavoro, ha avuto come obiettivo l'introduzione di 2 genotipi di cardo negli ordinamenti colturali di aziende agricole siciliane e la diffusione delle conoscenze relative alle tecniche colturali da adottare per questa specie di recente introduzione in coltura.

L'inserimento del cardo può comportare un aumento della biodiversità colturale in areali agricoli marginali ed una diversificazione delle produzioni agricole siciliane, mediante l'utilizzo delle biomasse agricole e dei semi oleaginosi a fini energetici.

Nell'ambito di questa azione, sono state condotte sia prove in campo che attività di laboratorio volte a determinare le caratteristiche chimiche ed energetiche della biomassa e della granella prodotta nelle differenti condizioni pedoclimatiche.

### 3.4 Piano di lavoro

Il progetto ha previsto la realizzazione di sette campi dimostrativi, di circa 2,5 ha ciascuno, presso le aziende agricole partner di progetto, già indicate nel piano di lavoro dell'azione 1 (Introduzione e collaudo di *Brassica carinata*). In ciascuna azienda la superficie destinata a *Cynara* spp. è stata 0,1 ha.

Per quel che concerne il cardo, tutti gli impianti sono stati realizzati contemporaneamente durante la seconda decade di dicembre 2011. Per la prova sono stati utilizzati lotti di seme di due popolazioni di cardo già selezionate in attività pregresse dall'ISAFOM di Catania e rivolte alla costituzione della Banca del Germoplasma attraverso l'individuazione, la raccolta, la catalogazione e la conservazione di materiali genetici presenti in natura sull'Isola.

Per ciascuna popolazione la semina è stata effettuata distribuendo il seme ogni 25 cm lungo file preventivamente tracciate e distanti circa 50 cm, interessando complessivamente una superficie di 500 m<sup>2</sup>, con una densità di 8 piante m<sup>2</sup>.

All'interno della superficie interessata da ciascuna accessione sono state individuate tre repliche rappresentative di 9 m<sup>2</sup> dove a fine ciclo di entrambi gli anni di coltivazione (fine luglio 2012 e prima decade di agosto 2013), sono stati registrati

i dati relativi al numero di piante presenti sulla parcella, alla statura media raggiunta dalle stesse ed all'eventuale formazione delle infiorescenze, oltre al loro numero.

### 3.5 Risultati e discussioni

Il primo anno, a causa del ritardo con cui sono state effettuate le semine e non avendo fatto ricorso a diserbo, si è avuta una notevole presenza di piante infestanti che, soprattutto nelle prime fasi di sviluppo della coltura, ne hanno limitato lo sviluppo. Tuttavia, in cinque dei sette campi in cui sono state effettuate le prove, la coltura si è insediata in modo soddisfacente e, durante il secondo anno, senza aver effettuato alcuna operazione di diserbo si è avuto un buon controllo delle infestanti.

Dopo circa 50 giorni dalla semina è stata monitorata l'emergenza delle plantule riscontrando, rispettivamente, valori percentuali di piante presenti oscillanti tra il valore massimo del 90% (Azienda Rizzo, Assoro) e il valore minimo del 60% (Azienda Genco, Mussomeli).

A fine ciclo di entrambi gli anni di prova è stata effettuata la raccolta manuale della biomassa e dei capolini. Anche se nella prova, in considerazione della limitatezza delle superfici, non si è ricorso alla raccolta meccanica di granella e biomassa, questa è già stata messa a punto come si riporta nelle foto 3 e 4 che riguardano un campo dimostrativo di 25 ha sito in Agro di Porto Torres in Sardegna.

È stata determinata la resa in biomassa e la sua ripartizione; sono state effettuate analisi di laboratorio sui campioni di biomassa prelevati nei campi sperimentali nonché la trebbiatura dei capolini, mediante trebbia a postazione fissa, per l'ottenimento degli acheni (Foto 5), su cui successivamente sono state condotte le analisi di laboratorio.

In tabella 1 vengono riportati i dati relativi alla resa in biomassa e granella, ottenuti al secondo anno nei due genotipi, nella media dei 5 campi in cui sono stati effettuati i rilievi. Tutti i dati di resa sono stati calcolati partendo da quanto rilevato nelle tre aree di saggio di 9 m<sup>2</sup>.

*Tab. 1 - Resa in biomassa e granella (ton ha<sup>-1</sup> di s.s.) al 2° anno (media dei 5 campi)*

Componenti	Genotipo 1	Genotipo 2	Media
Biomassa	17,6	12,74	15,17
Granella	1,32	0,96	1,14
Totale	18,92	13,7	16,31

Su campioni rappresentativi delle diverse componenti della biomassa (fusti, foglie, capolini e semi) prelevati in campo, dopo opportuna macinatura con mulino refrigerato, sono state condotte le analisi per la determinazione del contenuto di umidità (Metodo UNI 22601-1992) e ceneri (Metodo UNI 22602-1992).

I dati rilevati sono di fondamentale importanza ai fini dell'utilizzo della biomassa per uso industriale. Infatti il primo, relativo al contenuto di umidità, costituisce il principale parametro per determinare le condizioni di stoccaggio (biomasse troppo umide sono difficilmente conservabili e possono dar luogo a fermentazioni) e l'idoneità alla combustione.

Il contenuto in ceneri costituisce un altro parametro di grande importanza sia per l'uso energetico mediante combustione, sia nel caso di fermentazioni per ottenere carburanti di seconda generazione o composti chimici di base (cellulosa ed emicellulosa). Le ceneri, infatti, oltre a costituire un elemento inerte inutilizzabile, destinato a formare scarti da smaltire, possono influenzare negativamente i processi di combustione.

Nell'ambito delle indagini analitiche è stato inoltre quantificato il contenuto di olio (Foto 6) presente nei semi (Metodo UNI 22605-1992). Questo, nella media dei due anni, è risultato pari al 25%, con una resa teorica che per il genotipo uno ha raggiunto al secondo anno, nella media dei cinque campi  $0,33 \text{ t ha}^{-1}$  di olio.

Campioni rappresentativi della biomassa lignocellulosica sono stati opportunamente macinati e utilizzati per la produzione di pellet con l'apposito impianto pilota noleggiato nell'ambito del progetto. Nello specifico sono stati realizzati due tipi di pellet: il primo con 100% di biomassa di cardo, il secondo con 50% di biomassa di cardo e 50% di biomassa di ulivo (Foto 7 e 8). I predetti tipi di pellet sono stati inviati alle altre unità operative coinvolte nel progetto per effettuare le prove di combustione previste.

### 3.6 Conclusioni

Le indagini effettuate nell'ambito del progetto hanno mostrato al secondo anno punte di circa  $18 \text{ t ha}^{-1}$  di s.s. e  $1,3 \text{ t ha}^{-1}$  di seme, in linea con quanto già riportato in letteratura (e confermato su campi dimostrativi di alcune centinaia di ettari nel nord della Sardegna), dimostrando che il cardo può rappresentare, in ambiente Mediterraneo, un'ottima fonte di biomassa lignocellulosica da destinare anche mediante la trasformazione in pellet, ad usi energetici e di granello utilizzabile per l'estrazione di olio per la produzione di biodiesel.

Va ricordato che la biomassa di cardo, come già accennato in premessa, risulta idonea a molteplici impieghi nell'ambito di impianti di bio-raffinazione.

L'interesse per questa coltura è legato anche al fatto che le suddette rese sono ottenute senza alcun apporto irriguo, in aree marginali in cui oggi non risulta più

conveniente effettuare colture destinate all'alimentazione umana.

Riguardo agli aspetti economici della coltura va evidenziato che, trattandosi di una specie poliennale, i costi di impianto si hanno solo al primo anno, mentre negli anni successivi si hanno esclusivamente quelli relativi alla concimazione e alla raccolta della biomassa e della granella.

Sulla base di quanto sopra possiamo affermare che il cardo può rappresentare una valida alternativa per la diversificazione colturale in ambienti marginali dell'entroterra siciliano.

### Riferimenti bibliografici

Gominho J., Fernandez J., Pereira H., 2001 - *Cynara cardunculus* L. – a new fibre crop for pulp and paper production. *Industrial Crop and Products* 13: 1-10.

González J.F., González-García C.M., Ramiro A., Gonzalez J., Sabio E., Gañan J., Rodriguez A., 2004 - *Combustion optimization of biomass residues pellets for domestic heating with a mural boiler*. *Biomass and Bioenergy* n. 27:145-154.

Raccuia S.A., Mainolfi A., Mandolino G., Melilli M.G., 2004 - *Genetic diversity in Cynara cardunculus revealed by AFLP markers: comparison between cultivars and wild types from Sicily*. *Plant Breeding* 123: 280-284.

Raccuia S.A. e Melilli M.G., 2007 - *Biomass and grain oil yields in Cynara cardunculus L. genotypes grown in a Mediterranean environment*. *Field Crops Res*, vol. 101:187-197.

Raccuia S.A. e Melilli, M.G., 2010 - *Seasonal dynamics of biomass, inulin, and water-soluble sugars in root of Cynara cardunculus L.* *Field Crop Res*, vol. 116: 147-153.

Raccuia S.A., Piscioneri I., Sharma N. e Melilli M.G., 2011 - *Genetic variability in Cynara cardunculus L. domestic and wild types for grain oil production and fatty acids composition*. *Biomass Bioenergy*, vol. 35: 3167-3173.

## Foto



**Foto 1** - Cardo da biomassa in fase vegetativa (Assoro - Sicilia, Marzo 2014)



**Foto 2** - Cardo in Fioritura (Assoro- Sicilia, Maggio 2014)



**Foto 3** - Trebbiatura campo di cardo (Porto Torres-Sardegna)



**Foto 4** - Rotoballe di biomassa di cardo (Porto Torres - Sardegna)



**Foto 5** - Granella di cardo



**Foto 6** - Olio di cardo



*Foto 7 - Pellet 100% di biomassa di cardo*



*Foto 8 - Pellet 50% cardo e 50% ulivo*



---

# Capitolo 4

## Effetti di *Brassica carinata* sul “Mal del piede” dei cereali

V. Campanella, V. Angileri, A. Aronadio, C. Mandalà, C. Miceli

## 4.1 Introduzione

Il “Mal del piede” dei cereali rappresenta, per la cerealicoltura siciliana, una delle affezioni parassitarie più temibili. La malattia può essere causata da diverse specie fitopatogene come *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem, *Fusarium acuminatum* (Ellis & Everhart), *F. avenaceum* (Fries) Saccardo, *F. compactum* (Wollenweber) Gordon, *F. crookwellense* (Burgess, Nelson & Toussoun), *F. culmorum* (W.G. Smith) Saccardo, *F. graminearum* (Schwabe), *F. sambucinum* (Fuckel), *Microdochium nivale* (Samuel & Hallet) e *Rhizoctonia cerealis* (E. P. van der Hoeven). Si tratta di una malattia ad eziologia complessa, che interessa le radici e la parte basale delle piante, che possono essere attaccate contemporaneamente o in successione dalle diverse specie fungine (Wiese, 1977). La recrudescenza di affezioni parassitarie, riconducibili a tale patologia, osservata in questi ultimi anni in tutti i comprensori cerealicoli della Sicilia (Campanella e Miceli, 2009), è indubbiamente collegata a non adeguate pratiche agronomiche, quali la monosuccessione o le brevi rotazioni colturali, sovente in uso nei nostri areali. La principale sorgente di inoculo è infatti costituita dai residui colturali infetti e dalle clamidospore e sclerozi, strutture di quiescenza dei diversi agenti patogeni, in grado di sopravvivere per anni nel terreno anche in assenza dell'ospite (Wiese, 1977). I danni causati dalla malattia possono essere ingenti: dalla sporadica presenza di plantule nel campo, fino all'assoluta mancata emergenza (Fig. 1).

Il controllo di questa malattia si basa su razionali pratiche agronomiche, sull'utilizzo di seme sano e/o conciato e sull'impiego di specifici prodotti antiparassitari (Pasquini e Delogu, 2003).



Fig. 1 - Evidenti danni causati dal “Mal del piede” su frumento duro.

Nell'ottica della salvaguardia dell'ambiente e della sostenibilità della coltura, l'impiego di piante ad azione biocida ha trovato, in questi ultimi anni, pratica applicazione in diversi settori agricoli. In merito, il genere *Brassica* annovera specie caratterizzate da una interessante attività biofumigante (Russo e Basile, 2009; Infantino *et al.*, 2010), che si esplica attraverso l'idrolisi enzimatica dei glucosinolati, sostanze normalmente presenti nei tessuti di queste piante, a seguito della quale, vengono rilasciate sostanze volatili, gli isotiocianati, responsabili dell'azione antimicrobica.

## 4.2 Obiettivi

Nell'ambito del progetto: "Energie Rinnovabili da Colture Agricole", l'azione 3: Effetti di *Brassica* spp. sul "Mal del piede" dei cereali, ha avuto come obiettivo la dimostrazione dell'azione di sanificazione del suolo dai patogeni afferenti alla malattia, attraverso la coltivazione di *Brassica carinata* e/o l'impiego dei suoi co-prodotti (residui colturali). Nel presente contributo sono riportati i risultati medi, ottenuti nel biennio 2011-2013, nelle aziende partner del progetto.

## 4.3 Piano di lavoro

Nelle sette aziende cerealicole partner del progetto, rappresentative di tutto il territorio regionale, era conclamata la presenza del "Mal del piede". In ciascuna di queste, sono state allestite le prove dimostrative, seminando al primo anno 1,2 ha a *Brassica carinata*, e 1,2 ha a grano duro e sovesciando in fase di fioritura una parte della superficie investita a *B. carinata* (0,2 ha). Nel secondo anno, il frumento duro è entrato in successione a *B. carinata* (1,2 ha), una superficie di 0,2 ha è stata destinata alla omosuccessione del cereale ed 1 ha è stato coltivato a brassica (Fig. 2).

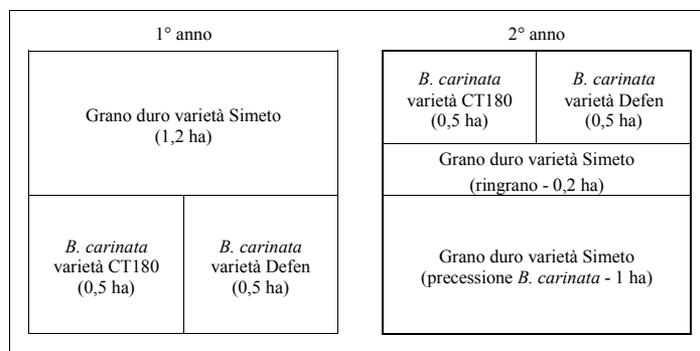


Fig. 2 - Suddivisione della superficie dei campi dimostrativi nelle due annate.

Per la realizzazione dei campi sono state impiegate le varietà di *B. carinata* CT 180 e Defen, e la varietà di frumento duro Simeto. L'effetto della brassica nei confronti del "Mal del piede" è stato determinato analiticamente attraverso la valutazione della dinamica della popolazione fitopatogena presente nel suolo nelle fasi di pre-semina, emergenza, fioritura e post-sovescio. Nel secondo anno, la valutazione della dinamica di popolazione ha interessato non solo il suolo coltivato a brassica, ma anche quello a coltivato a frumento duro, sia in successione a brassica che in omosuccessione. Inoltre, sulle piante di frumento coltivate nelle due combinazioni di successione è stata determinata l'incidenza e la gravità della malattia e la resa in granella.

La determinazione della dinamica di popolazione, espressa come numero di propaguli per grammo di terreno, è stata ottenuta attraverso l'analisi di campioni di suolo prelevati lungo le diagonali del campo, nelle fasi precedentemente menzionate (Mathur e Kongsdal, 2003). I campioni prima di essere analizzati, sono stati posti ad asciugare a temperatura ambiente e poi setacciati con un vaglio con maglie da 2 mm di diametro. Il terreno così preparato è stato processato mediante la tecnica della diluizione in piastra (Mathur e Kongsdal, 2003), impiegando i seguenti substrati selettivi: PPA (Nash e Snyder, 1962) e D-R (Dodman e Reike, 1982). Da ciascun campione di suolo setacciato e rimescolato sono stati prelevati 10 g che sono stati sospesi in acqua distillata sterile nel rapporto 1/100 (peso/volume). La sospensione ottenuta mantenuta in movimento mediante un agitatore magnetico è stata pipettata in 30 piastre Petri, contenenti 13 ml di substrato selettivo, nella misura di 1 ml/piastra. Tale sospensione è stata quindi uniformemente distribuita sulla superficie del substrato. Le piastre sono state poste ad incubare al buio a  $20\pm 1^\circ\text{C}$ . Dopo 24 ore, sono state accuratamente lavate sotto un sottile getto d'acqua corrente e poste nuovamente ad incubare per altre 24 ore al buio. Al termine di questo periodo, tutte le colonie sviluppate su ciascuna piastra sono state contate, quelle sviluppate su PPA (Fig. 3), trasferite su Potato Dextrose Agar (PDA, 37g/l Oxoid) e su Spezieller Nährstoffarmer Agar (Nirenberg, 1976), mentre quelle cresciute su D-R sono state trasferite su PDA.

Tutte le subcolture sono state poste ad incubare a  $20\pm 1^\circ\text{C}$ , sotto luce NUV, con fotoperiodo di 8 ore. Il riconoscimento delle colonie è stato eseguito dopo 15 giorni sulla base delle caratteristiche morfo-fisiologiche delle colonie e dei conidi ottenuti da isolati monoconidici, usando le chiavi di Chidambaram *et al.*, (1973) e Domsch *et al.*, (2007), per *B. sorokiniana* e Leslie e Summerell (2006), per le specie di *Fusarium*. Per ciascun campione di terreno ed epoca di campionamento sono state allestite 3 repliche. Il peso secco del terreno è stato determinato su un campione di 20 g di terreno setacciato, replicato 5 volte, fatto essiccare in stufa a  $104\pm 1^\circ\text{C}$  sino a peso costante (Mathur e Kongsdal, 2003). L'incidenza e la gravità della malattia sono stati determinati a fine accestimento, sia sul frumento coltivato in successione a brassica



Fig. 3 - Colonie fungine sviluppate su PPA dopo incubazione (a sinistra) e sviluppo delle colonie dopo trasferimento su PDA (a destra) per il loro specifico riconoscimento.

sia su quello coltivato su se stesso. L'incidenza è stata espressa, in percentuale, come numero di piante che presentavano evidenti sintomi della malattia, mentre la gravità come intensità dei sintomi a carico della parte basale delle piante, utilizzando una scala con classi di intensità della malattia da 0 a 4 (0 = Nessun sintomo; 1= Leggeri imbrunimenti alla base del culmo; 2 = Imbrunimenti per circa la metà del culmo; 3 = Culmo completamente imbrunito; 4 = Pianta morta) (Pasquini e Delogu, 2003). La gravità della malattia è stata quindi calcolata secondo l'indice di Mc Kinney:  $\Sigma [(v \times n) / (N \times V)] \times 100$ , dove  $v$  = valore numerico della classe (0,1,2,3,4),  $n$  = numero di casi osservati per ogni classe,  $N$  = numero totale dei casi osservati,  $V$  = valore numerico della classe più elevata. Per quanto concerne i parametri vegetativi sono stati rilevati: altezza, peso fresco e peso secco, quest'ultimo ottenuto ponendo i campioni in stufa a 104°C sino a peso costante (Mathur e Kongsdal, 2003). Per la determinazione sia dei parametri della malattia sia di quelli biometrici sono state analizzate le piante di frumento presenti su di una superficie di 1 m.l., replicate 5 volte, in entrambe le tipologie di successione. A maturazione fisiologica della granella si è provveduto alla trebbiatura ed alla determinazione della produzione per unità di superficie. I dati ottenuti sono stati analizzati statisticamente mediante analisi della varianza e successivo confronto delle medie, come riportato di volta in volta nelle tabelle e figure.

#### 4.4 Risultati e discussioni

Gli effetti della coltivazione di *B. carinata* sulla popolazione tellurica, rilevati nel biennio 2011-2013, hanno messo in evidenza una generale tendenza alla riduzione quantitativa e qualitativa delle specie afferenti al complesso del "Mal del piede" e più in particolare di quelle del genere *Fusarium*. Al primo anno (Fig. 4), è stata rilevata una significativa ( $P \leq 0,05$ ) riduzione della densità di inoculo rispetto al rilievo iniziale (presemina), in fase di fioritura, per entrambe le varietà, mentre al secondo anno (Fig. 5), tale riduzione si è avuta nella fase di post sovescio. La cv CT 180, in fase di fioritura, al primo anno, ha fatto registrare una diminuzione della densità di inoculo del 42,7%, mentre al secondo anno, dopo interrimento dei residui colturali, è stata rilevata una diminuzione del 58,3% e del 32,% rispettivamente per CT 180 e Defen. Le differenze riscontrate nel corso del biennio di indagine trovano spiegazione in due ordini di fattori: una più uniforme densità di piante per unità di superficie e un affinamento della tecnica di interrimento dei residui colturali, fattori questi che hanno consentito di esplicitare meglio l'azione biofumigante nei confronti degli agenti patogeni presenti nel suolo. È interessante sottolineare che i dati relativi alla riduzione della densità di inoculo, osservati nel suolo coltivato a brassica, sono ancora più rimarchevoli se confrontati con quelli provenienti dal suolo coltivato a frumento duro (Fig. 6).

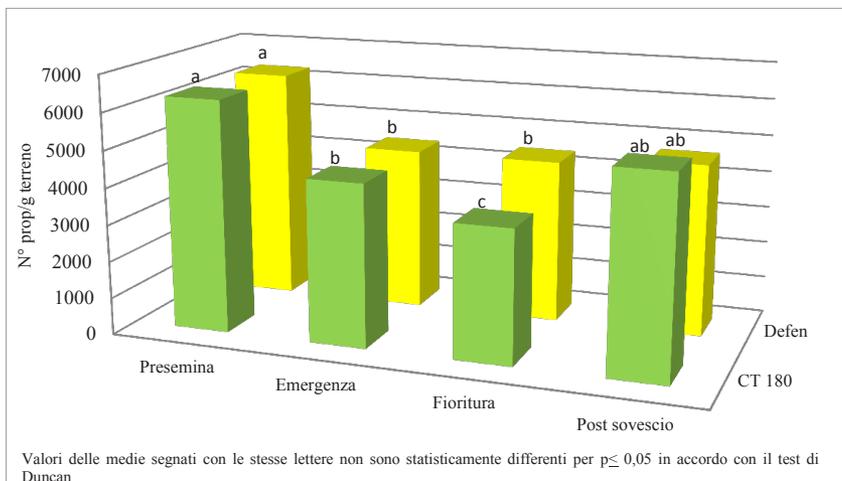


Fig. 4 - Popolazione dei funghi afferenti al genere *Fusarium*, isolati dal suolo coltivato a *B. carinata* nel corso del primo anno.

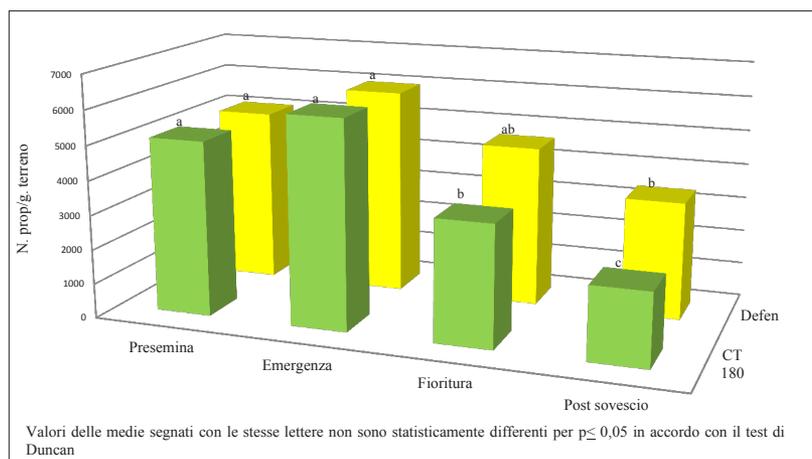


Fig. 5 - Popolazione dei funghi afferenti al genere *Fusarium*, isolati dal suolo coltivato a *B. carinata* nel corso del secondo anno.

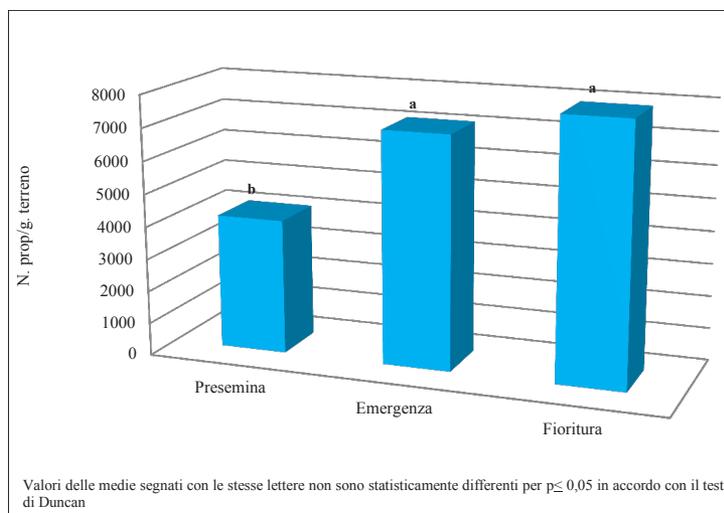


Fig. 6 - Popolazione dei funghi afferenti al genere *Fusarium* su suolo coltivato a frumento.

In quest'ultimo, infatti, è stato evidenziato un progressivo incremento della densità della popolazione dalla fase di presemina a quella di fioritura. Anche il numero delle specie di *Fusarium* isolate ha evidenziato un comportamento analogo a quello osservato per la densità di inoculo, con la maggiore riduzione osservata nel corso

del primo anno, in fioritura per CT 180 (4) e in post sovescio per Defen (6), mentre nel secondo anno tale riduzione si è avuta in post sovescio per entrambe le varietà (Tab. 1).

Tab. 1 - Variazione del numero di specie afferenti al genere *Fusarium* nelle diverse fasi della coltivazione di *B. carinata*.

Fasi vegetative	Numero specie <i>Fusarium</i>	
	2011-2012	2012-2013
Presemina	10	9
Emergenza CT 180	10	9
Emergenza Defen	10	10
Fioritura CT 180	4	10
Fioritura Defen	6	9
Post-sovescio CT 180	6	7
Post-sovescio Defen	8	8

Tab. 2 - Effetto della coltivazione di *B. carinata* sulla densità di inoculo di alcune specie fitopatogene responsabili del "Mal del piede".

	<i>B. sorokiniana</i>	<i>F. crookwellense</i>	<i>F. culmorum</i>	<i>F. sambucinum</i>	<i>M. nivale</i>
	N° propaguli g/terreno				
Presemina	2	539	208	332	0
Emergenza CT 180	1	743	41	702	41
Emergenza Defen	1	743	41	702	41
Fioritura CT 180	0	0	0	0	0
Fioritura Defen	0	0	0	0	0
Post-sovescio CT 180	0	0	0	0	0
Post-sovescio Defen	0	0	0	0	0

Interessante è sottolineare l'assenza di isolamento di alcune specie patogene come *B. sorokiniana*, *F. culmorum*, *F. crookwellense* e *Microdochium nivale* e la riduzione quantitativa di *F. sambucinum*, in entrambi gli anni di indagine (Tab. 2). I parametri vegetativi (Tab. 3) delle piante di frumento coltivate in successione a brassica, sono risultati significativamente ( $P \leq 0,05$ ) più elevati, rispetto a quelli delle piante di frumento coltivate su se stesse, con un incremento dello sviluppo vegetativo del 35,8 % (Fig. 7). Anche la produzione per unità di superficie del frumento coltivato in successione a brassica (Tab. 4) è stata significativamente ( $P \leq 0,05$ ) superiore a quella ottenuta dal frumento coltivato in omosuccessione con un incremento della resa in granella del 34,8%. In merito ai parametri vegeto-produttivi le figure 7, 8 e 9 mostrano le macroscopiche differenze nello sviluppo delle piante di frumento coltivate in successione a brassica rispetto a quelle in omosuccessione.

Estremamente interessanti sono risultati i dati relativi alla valutazione della malattia, che mostrano una riduzione significativa ( $P \leq 0,05$ ) sia dell'incidenza (Tab. 5), sia della gravità della stessa (Tab. 6). Come si evince dai dati riportati nelle tabelle, l'incidenza di piante sintomatiche si è ridotta del 39,6% nelle piante di frumento coltivate in successione a brassica rispetto a quelle coltivate su frumento

Inoltre, le piante di frumento coltivate in successione a brassica, non hanno palesato sintomi della malattia nella fase fenologica di accostamento rispetto a quelle in omosuccessione.

**Tab. 3** - Dati biometrici relativi alla fase di fine accostamento del frumento duro in successione a *B. carinata* e in omosuccessione.

Frumento in successione a:	Altezza cm	Peso fresco g	Peso secco g
<i>B. carinata</i>	45,5 a	6,04 a	1,4 a
Frumento	29,2 b	1,9 b	0,45 b

Valori delle medie seguiti da lettere diverse sono statisticamente significativi per  $p \leq 0,05$  in accordo con il test di Student

**Tab. 4** - Produzione della granella di frumento coltivato in successione a *B. carinata* e in omosuccessione.

Frumento in successione a:	Piante sintomatiche (m.l.)
<i>B. carinata</i>	36 b
Frumento	59,6 a

Valori delle medie seguiti da lettere diverse sono statisticamente significativi per  $p \leq 0,05$  in accordo con il test di Student

**Tab. 5** - Gravità della malattia

Frumento in successione a:	Base culmo (%)
<i>B. carinata</i>	0 b
Frumento	13,5 a

Valori delle medie seguiti da lettere diverse sono statisticamente significativi per  $p \leq 0,05$  in accordo con il test di Student

Tab. 6 - Produzione granella

Frumento in successione a:	t/ha
<i>B. carinata</i>	2,61 a
Frumento	1,7 b

Valori delle medie seguiti da lettere diverse sono statisticamente significativi per  $p \leq 0,05$  in accordo con il test di Student



Fig. 7 - Sviluppo vegetativo di piante di frumento duro della cv Simeto coltivate in successione a *B. carinata* (destra) rispetto a quelle coltivate su ringrano (sinistra).



Fig. 8 - Sviluppo vegetativo di piante di frumento duro della cv Simeto, in fase di spigatura, coltivate in successione a *B. carinata* (in alto) rispetto a quelle coltivate su ringrano (in basso).



Fig. 9 - Sviluppo vegetativo di piante di frumento duro della cv Simeto, in fase di maturazione, coltivate in successione a *B. carinata* (in alto) rispetto a quelle coltivate in omosuccessione (in basso).

## 4.5 Conclusioni

I dati ottenuti nel corso del biennio mostrano come l'inserimento di *B. carinata* nella rotazione cerealicola negli areali siciliani, abbia consentito di ottenere molteplici e positivi effetti, sia a carico dei patogeni, che sono stati ridotti quantitativamente, sia a carico della malattia, con una sensibile diminuzione della sua incidenza e gravità. Inoltre, il nuovo ordinamento colturale proposto, ossia la coltivazione del frumento duro in successione a brassica, ha contribuito a favorire lo sviluppo vegetativo e a migliorare la produttività del cereale, consentendo un incremento della resa in granella del 34,8% pari a circa 0,9 t/ha, raggiungendo pienamente gli obiettivi che ci si era prefissati.

I migliori risultati nel risanamento del suolo dalla presenza di agenti patogeni sono stati ottenuti con il sovescio della brassica durante la fase di fioritura. Tale pratica potrebbe trovare applicazione non solo nella coltivazione del cereale in convenzionale ma anche e, soprattutto, in biologico. Il sovescio in fioritura, infatti, oltre agli effetti sopra descritti consentirebbe anche di sfruttare l'azione rinettante nei confronti delle erbe infestanti e di arricchire il terreno sia di sostanza organica sia di azoto, preservando il suolo dall'immane depauperamento della fertilità chimico-fisica legata all'attività antropica.

Infine, l'introduzione della brassica soprattutto come coltura da sovescio, determina un miglioramento del bilancio energetico aziendale, legato alla riduzione degli input energetici per il ridotto impiego di diserbanti e anticrittogamici per il controllo delle infestanti e delle malattie. Ciò oltre a rappresentare un vantaggio economico per l'azienda agricola rappresenta uno strumento in grado di contribuire alla salvaguardia dell'ambiente e della salute degli operatori.

## Riferimenti bibliografici

Campanella V., Miceli C., 2009. *Durum wheat root and foot rot complex in Sicily*. Atti del XV Congresso Nazionale della Società Italiana di Patologia Vegetale. 84.

Chidambaram P., Mathur S. B., Neergaard P., 1973. *Identification of seed-borne Drechslera species*. Friesia. 10:165-207.

Dodman R. L., Reinke J. R., 1982. *A selective medium for determining the population of viable conidia of Cochliobolus sativus in soil*. Aust. J. Agric. Res. 33:287-291.

Domsch K.H., Gams W., Anderson T. H., 2007. *Compendium of soil fungi*. IHW-Verlag Eching.

Infantino A., Santori A., Felici B., Mocali S., Benedetti A., Barba M., 2010. *Use of Brassica juncea green manure for the control of crown and root rot of wheat in Italy*. Proceedings of the 13th Congress of the Mediterranean Phytopathological Union. 518-519.

Leslie J.F., Summerell B.A., 2006. *The Fusarium laboratory manual*. Blackwell Publishing Ltd.1-388.

Mathur, S.B., Kongsdal, O., 2003. *Common laboratory seed health testing methods for detecting fungi*. International Seed Testing Association (ISTA). 1-425.

Nash S. M., Snyder W.C., 1962. *Quantitative estimations by plate counts of propagules of the bean root rot Fusarium in field soils*. Phytopathology 52:567-572.

Nirenberg H., 1976. *Untersuchungen über die morphologische und biologische differenzierung in der Fusarium - sektion Liseola*. Heft 169. Mitt. Biol. bundesanst. Landforstwirtschaft. Berlin-Dahlem 169:1-117.

Pasquini, M., Delogu G., 2003. *Malattie dei cereali a paglia*. A cura di Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura, Roma e Fiorenzuola d'Arda. 1-92.

Russo G., Basile T., 2009. *Sostanze di origine naturale alternative al bromuro di metile per un'agricoltura a basso impatto ambientale*. Convegno Nazionale "Orticoltura di qualità per un mercato di qualità". p.13

Wiese, M.V., 1977. *Compendium of wheat disease*. APS Press. 1-112.

---

# *Capitolo 5*

## **Introduzione, collaudo e ottimizzazione di un sistema di pellettizzazione mobile**

G. Toscano\*,  
D. Campisi\*\*, D. Costantino\*\*, A. Fonti\*\*, B. Messina\*\*

---

\* Laboratorio Biomasse del Dipartimento D3A dell'Università Politecnica delle Marche

\*\* Consorzio di Ricerca "Gian Pietro Ballatore" – Assoro (EN)

## 5.1 Introduzione

Molte produzioni agricole sono normalmente accompagnate dalla presenza di residui colturali, generalmente di natura lignocellulosica, gran parte delle quali con interessanti potenzialità per l'uso energetico. Si tratta di biomassa residuale vergine riconosciuta, secondo il decreto legislativo del 3 aprile 2006, n.152 "Norme in materia ambientale" e successive modifiche, come "biomassa combustibile" utilizzabile in impianti di combustione anche previa pirolisi o gassificazione. La *Brassica carinata*, coltura oggetto delle attività del progetto E.Ri.C.A. produce una quantità rilevante di biomassa sotto forma di paglia, con potenzialità energetiche interessanti. Questa materia prima appartiene al gruppo delle lignocellulosiche, stessa natura chimica del legno (formate da olocellulose e lignine) e quindi compatibili con l'uso come biocombustibile.

È importante evidenziare che l'utilizzo energetico dei residui colturali non pone tali produzioni in competizione con le produzioni principali, mentre rappresenta una opportunità per consolidare i bilanci economici delle aziende agricole, oltre a comportare benefici in termini energetici e ambientali. A ciò si aggiunge che i residui colturali in molti casi rappresentano un problema di tipo gestionale per le aziende agricole, restie all'interramento degli stessi nei casi in cui non si riesca a trovare una adeguata collocazione sul mercato. In alternativa non è raro ricorrere alla loro combustione in campo, operazione consentita dalla recente normativa solamente in alcuni periodi dell'anno e a certe condizioni, che determina problematiche di carattere ambientale.

L'impiego energetico delle biomasse, specie quelle residuali, umide e di limitata qualità, tuttavia, incontra una serie di limiti legati alla loro bassa densità energetica (quantità di energia su volume disponibile), che incide negativamente nell'ambito del trasporto e, in generale, in tutti quegli aspetti di interesse logistico della filiera energetica (es. fase di stoccaggio, movimentazione della materia prima, ecc.).

Una via per superare tali barriere è quella di ricorrere a tecniche di "densificazione" della biomassa mediante produzione di pellet, un prodotto naturale ad alto potere calorifico ricavato da biomassa di origine vegetale, per lo più legno, adeguatamente macinata e compressa in forma di piccoli cilindri del diametro di alcuni millimetri (6-8 mm).

Con il termine di pellet comunemente si fa riferimento ad un prodotto ottenuto dal legno, prevalentemente di origine forestale. Quando, invece, la materia prima utilizzata è costituita da biomasse provenienti dal settore agricolo e agroalimentare (paglie e stocchi da colture erbacee, residui di potatura delle colture arboree, sansa di olive, ecc.) si può parlare di "Agripellet".

Il processo di pelletizzazione consente di ottenere variazioni di massa volumica importanti e che vanno da circa 40-200 kg/m<sup>3</sup> della biomassa di partenza, a seconda

della tipologia, granulometria e contenuto di umidità della stessa, fino a 650-800 kg/m<sup>3</sup> di pellet ottenuto, a seconda del suo grado di compattazione, della sua lunghezza e del suo diametro. Tali variazioni determinano incrementi di densità energetica della biomassa superiori anche di 10-15 volte rispetto al prodotto grezzo di partenza.

Le migliori caratteristiche del pellet rispetto al prodotto di partenza (quali l'elevata standardizzazione, la forma e le dimensioni regolari e contenute, il basso contenuto di umidità e la migliore compattezza meccanica), lo rendono idoneo al trasporto e alla sua movimentazione, sia con sistemi meccanici che pneumatici, allo stoccaggio in diverse tipologie di impianto e facilmente modulabile nei sistemi di alimentazione degli impianti di combustione. Tutto ciò determina nel complesso impatti positivi sul prodotto ottenuto, sui costi della logistica delle filiere di produzione, sulla gestione ed utilizzo del prodotto nei sistemi di combustione.

La pellettizzazione comporta una serie di trattamenti ed operazioni meccaniche sulla materia prima, che incidono sui costi di produzione e che richiedono dunque un'analisi attenta ed un certo livello organizzativo (Scheda 1).

Dato il più basso valore di mercato dell'agripellet rispetto al pellet di legno, risulta necessario individuare soluzioni produttive quanto più semplificate possibile ed in grado di contenere i costi economici ed energetici del processo, con particolare attenzione ai costi legati al trasporto delle materie prime.

La possibile alternativa alla tradizionale produzione di pellet in impianto industriale può essere rappresentata dalla produzione direttamente presso le aziende agricole, con sistemi dotati di potenzialità produttive ridotte rispetto a quelli industriali, che contemplino anche l'utilizzo di cantieri mobili di pellettizzazione. Tali sistemi semplificati devono disporre delle componenti meccaniche essenziali, quali il mulino macinatore e la pellettizzatrice.

In qualità di combustibile il pellet deve rispondere a precise prestazioni tecniche, energetiche ed ambientali che determinano il livello qualitativo del prodotto; per questo sono stati individuati specifici parametri che permettono di caratterizzarne le prestazioni energetiche e fisico meccaniche (Scheda 2) e altresì analisi chimiche che hanno un risvolto di interesse soprattutto ambientale. Da qui la necessità di controllare la presenza e la concentrazione di elementi quali l'azoto (entra in gioco nella produzione di ossidi di azoto), il cloro e lo zolfo (entrambi sono legati alle problematiche ambientali e giocano un ruolo attivo nei processi di corrosione degli impianti termici) e dei metalli pesanti (piombo, mercurio, cadmio e cromo).

Con riferimento alla produzione e ai consumi del pellet, i dati disponibili fanno riferimento soltanto a quello ottenuto da legno, lo sviluppo è in continua crescita: soltanto dal 2005 al 2010 la produzione europea di pellet è passata da 2.628.000 t a 9.241.000 t, mentre quella italiana da 240.000 t a 600.000 t (Fig. 1).

La produzione nazionale copre meno del 30% della domanda interna e, quindi,

la maggior parte del pellet utilizzato nel nostro paese proviene dall'estero.

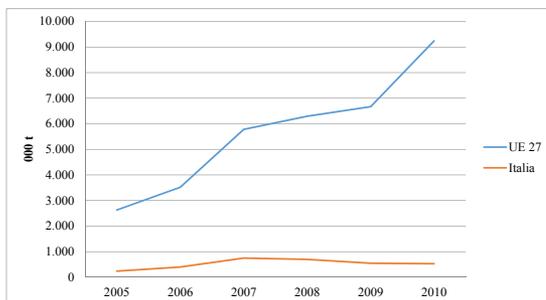


Fig. 1 - Produzione di pellet legnosi in Europa ed in Italia

Considerato che la disponibilità della materia prima legno nel tempo sta diminuendo, in conseguenza degli impieghi tradizionali e degli usi energetici, l'attenzione oggi si va orientando verso l'utilizzo di biomasse del settore agricolo e di quello agroalimentare, entrambi potenzialmente capaci di disporre di grandi quantità di materia prima, soprattutto in termini di prodotti residuali.

## 5.2 Obiettivi

Alla luce di quanto detto, l'azione 4 (Introduzione, collaudo e ottimizzazione di un prototipo di pellettizzatrice mobile) del progetto E.Ri.C.A., oggetto del presente lavoro, ha previsto il collaudo e l'ottimizzazione di un cantiere mobile per la produzione di pellet, con l'obiettivo di sviluppare le premesse per valorizzare i residui colturali presenti nelle aziende agricole e consolidarne il reddito. Il suddetto collaudo è stato realizzato presso alcune aziende partner del progetto, utilizzando i residui colturali, di colture sia erbacee che arboree, disponibili presso le stesse, attraverso la messa a punto di diversi diagrammi di lavorazione in funzione della materia prima utilizzata.

## 5.3 Piano di lavoro

Il programma operativo di questa azione ha previsto l'implementazione di una serie di prove di pellettizzazione con un sistema meccanico di tipo aziendale, costituito da raffinatrice e pellettizzatrice di dimensioni e caratteristiche tali da consentire il facile trasferimento da un'azienda all'altra. Le biomasse oggetto dello studio sono state la paglia di *Brassica carinata* e di grano duro, il pannello di estrazione dell'olio dalla brassica (prodotto nell'ambito dell'azione 5 del progetto E.Ri.C.A.), i residui

colturali del cardo (prodotti nell'ambito dell'azione 2 del medesimo progetto). In aggiunta a tali prodotti sono state utilizzate le potature di olivo, scelta dettata dalla ampia disponibilità di tale materia prima sul territorio regionale.

Le prove di pellettizzazione sono state realizzate al fine di: a) dimostrare l'attitudine alla pellettizzazione delle biomasse residuali, in purezza o in miscela tra loro, presenti presso le aziende agricole; b) valutare la qualità del pellet ottenuto attraverso la misura di parametri chimico-fisici che forniscono indicazioni sulle caratteristiche da considerare nell'uso per fini energetici, con riferimento alle norme tecniche UNI EN 14961-2 e UNI EN 14961-6.

Va precisato che il mancato rispetto dei limiti previsti dalle suddette norme tecniche non esclude l'uso energetico di questi pellet, ma impedisce solo di classificare il prodotto secondo una classe di qualità della norma.

Le prove di pellettizzazione, coerentemente con gli obiettivi progettuali, che prevedevano un efficace trasferimento dell'innovazione nel tessuto produttivo della Sicilia, sono state condotte presso aziende partner del progetto, e nello specifico sono state coinvolte: l'azienda agricola Rizzo ubicata nel territorio di Assoro (EN), la Società Cooperativa C.A.P.O.G. ubicata nel territorio di Marineo (PA) e il Consorzio Cipas Società Cooperativa ubicato nel territorio di Mussomeli (CL).

Per le prove è stato utilizzato un sistema di macchine con le seguenti caratteristiche tecniche:

- un cippatore a motore diesel con produzione oraria di 500 kg/h. (Foto 1);
- un raffinatore con produzione oraria di 200 kg/h (Foto 2);
- un igrometro (Foto 3);
- un essiccatore con produzione oraria di 150 kg/h (Foto 4);
- una pellettizatrice con produzione oraria di 30-80 kg/h, comprensiva di silos di carico (Foto 5).

Il processo produttivo ha previsto le seguenti fasi:

- 1) cippatura dei residui di potatura di olivo al fine di ottenere una prima riduzione delle dimensioni della materia prima legnosa (Foto 6, 7);
- 2) raffinazione del cippato e della paglia di *Brassica carinata* e di grano duro, per mezzo del raffinatore, al fine di ottenere un prodotto con dimensioni idonee al processo di pellettizzazione (Foto 8, 9, 10, 11);
- 3) controllo dell'umidità attraverso un igrometro portatile;
- 4) essiccazione del prodotto raffinato nel caso di livelli di umidità superiori ai valori ottimali per la produzione di agripellet (dal 13 al 18%);
- 5) pellettizzazione dei prodotti raffinati, sia in purezza che in miscela tra loro (Foto 12).

Le prove di pellettizzazione hanno previsto sia l'uso delle diverse materie prime in purezza, sia delle miscele di due o tre tipologie diverse di biomassa, secondo le composizioni percentuali riportate nella tabella 2.

**Tab. 1** - Miscelazione delle biomasse nelle diverse prove di pellettizzazione:  
 PB - Paglia di Brassica carinata; PGD - Paglia di grano duro;  
 PO - Potature di olivo; PE - Pannello di estrazione;  
 PC - Paglia di cardo.

N. prova	Miscelazione delle biomasse		
1	100,00 % PB		
2	100,00 % PO		
3	100,00 % PGD		
4	33,33 % PGD	33,33 % PO	33,33 % PE
5	33,33 % PB	33,33 % PGD	33,33 % PE
6	33,33 % PB	33,33 % PGD	33,33 % PO
7	33,33 % PB	33,33 % PO	33,33 % PE
8	50,00 % PB		50,00 % PE
9	50,00 % PB		50,00 % PO
10	50,00 % PB		50,00 % PGD
11	50,00 % PGD		50,00 % PE
12	50,00 % PGD		50,00 % PO
13	50,00 % PO		50,00 % PE
14	100,00 % PC		
15	50,00 % PO		50,00 % PC

Per ciascuno dei prodotti ottenuti dalle prove di pellettizzazione sono state eseguite analisi di laboratorio per la caratterizzazione chimica, fisica, meccanica ed energetica, allo scopo di conoscere la qualità dell'agripellet ottenuto e individuarne le più congeniali utilizzazioni.

Le analisi sono state eseguite presso il Laboratorio Biomasse dell'Università Politecnica delle Marche, attivo da anni nel settore della ricerca sulle biomasse ad uso energetico ed industriale.

Nello specifico le analisi di laboratorio hanno riguardato:

- il potere calorifico (kJ/kg), ottenuto per mezzo di un calorimetro applicando la metodica prevista dalla UNI EN 14918;
- il contenuto in ceneri (% in peso su t.q.) ottenuto mediante un analizzatore termo gravimetrico applicando la metodica prevista dalla UNI EN 14775;
- il contenuto di azoto (UNI EN 15104), cloro e zolfo (UNI EN 15289).

#### 5.4 Risultati e discussioni

Nella tabella 2 vengono riportati i risultati delle analisi dei pellet prodotti a partire dalle biomasse pure e da alcune loro miscele binarie e ternarie (Foto 13, 14, 15).

La qualità è strettamente connessa alle caratteristiche della biomassa di partenza

utilizzata nel processo, in generale si evidenzia che:

- I materiali considerati hanno fatto registrare valori di potere calorifico elevati, configurandosi come prodotti ad elevato contenuto energetico nell'ambito delle biomasse lignocellulosiche. Il minor contenuto energetico dei pellet da biomasse agricole rispetto ai comuni pellet di legno che mediamente presentano un valore di PCN compreso tra 16.800 e 17.400 kJ/kg t.q. è da imputare prevalentemente al contenuto in ceneri.
- Il contenuto in ceneri dei pellet di biomassa agricola, in generale, è ben al di sopra dei comuni pellet di legno. Questo valore è strettamente dipendente dalla natura della biomassa ed è legato alla presenza di elementi inorganici all'interno delle cellule e dei tessuti. Tuttavia, il livello di ceneri può anche in parte essere condizionato dalla presenza di componenti esterni alla biomassa, quali impurità o terra. Pertanto, l'adozione di accorgimenti di buona pratica di raccolta e stoccaggio della biomassa può consentire di migliorare questo aspetto. I risultati delle analisi dei campioni della sperimentazione rispettano, comunque, alcuni dei limiti posti dalle specifiche tecniche definite nell'ambito della UNI EN 14961-6 relativamente ai pellet di biomasse non legnose.
- Relativamente ai dati del contenuto in cloro e zolfo, si osservano livelli particolarmente elevati nei pellet di paglia di *Brassica carinata* e di paglia di grano duro. L'aggiunta di quote di potatura di olivo nella miscela che costituisce il pellet permette in parte di ridurre le concentrazioni di questi elementi; tali parametri in molti casi sono al di sopra dei limiti definiti dalla specifica UNI EN 14961-6. Si ricorda che il superamento dei limiti non si traduce in un impedimento all'utilizzo del prodotto, ma evidenzia la necessità di portare maggiore attenzione a queste caratteristiche nell'ambito dell'utilizzo energetico.
- Per ciò che concerne il contenuto in azoto i valori sono ben al di sopra di un materiale legnoso di derivazione forestale, ma rientrano nell'ambito della specifica tecnica UNI EN 14961-6. Le differenze in contenuto di azoto tra le materie prime di base non consentono di formulare delle miscele per la produzione di pellet tali da ottenere un prodotto significativamente migliore di altri.

Tab. 2 - Risultati delle analisi del pellet ottenuto nelle 15 prove di pellettizzazione.

N. prova	Tipo di pellet	Umidità (% t.q.)	PCN (J/g t.q.)	Ceneri (% s.s.)	PCS (J/g s.s.)	PCI (J/g s.s.)	Azoto (% s.s.)	Cloro (% s.s.)	Zolfo (% s.s.)
1	PB	4,7	15967	6,1	18040	16884	0,48	0,76	0,59
2	PO	9,6	15567	4,3	18640	17479	0,65	0,08	0,09
3	PGD	9,3	14436	10,1	18053	17038	0,48	0,73	0,18
4	PGD+PO+PE	10,8	15419	7,2	18715	17574	1,74	0,52	0,44
5	PGD+PB+PE	10,3	15792	8,2	19018	17876	2,1	0,68	0,5
6	PGD+PB+PO	9,3	15140	6,7	18099	16945	0,59	0,68	0,21
7	PE+PB+PO	12,6	15527	6,1	19238	18112	2,1	0,23	0,55
8	PB+PE	9,7	16691	7,9	19875	18739	2,55	0,5	0,7
9	PB+PO	9,4	15673	5,6	18705	17559	0,76	0,4	0,29
10	PGD+PB	8,1	15112	7,5	17809	16662	0,45	0,79	0,31
11	PGD+PE	10	15940	9,6	19138	17991	2,44	0,59	0,64
12	PGD+PO	9,8	15244	6,6	18328	17173	0,62	0,51	0,13
13	PB+PO	11,2	16822	6,3	20399	19247	2,38	0,12	0,65
14	PC	11,2	16822	6,3	20399	19247	0,55	0,12	0,65
15	PC+PO	14,8	14928	4,1	19070	17939	0,59	0,05	0,05

## 5.5 Conclusioni

I risultati ottenuti dimostrano la fattibilità tecnica della produzione di pellet a partire dalle biomasse oggetto dello studio sia in condizione di purezza che in miscela, attraverso l'impiego di piccoli impianti aziendali. Tutti i materiali ottenuti hanno presentato caratteristiche meccaniche compatibili con l'uso energetico. Comunque risulta utile eseguire un'analisi critica delle problematiche emerse in un'ottica di miglioramento del processo produttivo e delle applicazioni possibili.

L'analisi del pellet prodotto a partire dalla paglia di *Brassica carinata* evidenzia alcune criticità di carattere qualitativo che devono essere prese in considerazione per favorire possibili applicazioni di carattere energetico. L'elevato contenuto in ceneri di questo prodotto, il parametro che meglio ne sintetizza il livello qualitativo, lo pone all'interno di quella gamma di biocombustibili solidi destinati ad utilizzi in impianti di medie e grandi potenza. Ciò in quanto tali impianti sono normalmente progettati per gestire alcune complessità di processo che derivano da caratteristiche non ottimali della biomassa utilizzata per la produzione energetica.

In presenza di elevati contenuti in ceneri si osservano generalmente problematiche dovute a:

- propensione alla produzione di aggregati in camera di combustione, soprattutto in corrispondenza di componenti inorganiche basso fondenti (i prodotti erbacei sono ricchi in elementi chimici che tendono a favorire le fusioni a bassa temperatura);
- produzione di ceneri leggere con conseguente aumento delle polveri sottili nelle emissioni a camino;
- aumento dei fenomeni corrosivi in corrispondenza di elevati contenuti in cloro e zolfo.

La concentrazione di questi ultimi due elementi, come si osserva dai risultati, è molto alta se confrontata con prodotti legnosi dove normalmente si attesta su livelli di concentrazione inferiori a 0,03% s.s.. Il cloro in particolare svolge un ruolo molto importante nei meccanismi di ossidazione delle componenti interne degli impianti termici e delle strutture dove avvengono, come nel caso della canna fumaria, fenomeni di condensazione dei fumi. I danni da corrosione, come quelli da accumulo di aggregati in caldaia, producono effetti negativi sia come conseguenza diretta dei costi di riparazione di alcuni importanti componenti degli impianti (es. scambiatori di calore) che, con effetti indiretti, a seguito della necessità di fermare gli impianti comportando perdite economiche dovute alla mancata produzione energetica.

L'effetto di cloro e zolfo si manifesta anche a livello ambientale nella produzione di inquinanti gassosi quali acido cloridrico e ossidi di zolfo. A questo si aggiunge, osservando anche i dati del contenuto in azoto, la probabile presenza di ossidi di azoto. Sebbene i valori osservati rientrino nelle specifiche previste dalle classi qualitative della UNI EN 14961-6, la produzione di ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ ) sarà comunque un parametro da non trascurare e che riduce ulteriormente le possibilità di utilizzare questi biocombustibili in piccoli impianti.

Nell'ambito del progetto si è verificata la possibilità di migliorare la qualità del prodotto finale, utilizzando miscele di diverse biomasse. In questo senso i risultati, come atteso, mostrano effetti positivi sulle caratteristiche del pellet quando le miscele presentano materiale legnoso derivante dalla potature di olivo. Viceversa, le caratteristiche peggiorano con l'aggiunta di paglia di grano duro a quella di *Brassica carinata*, risentendo sostanzialmente delle proprietà dei materiali puri.

Prendendo in considerazioni le classi della UNI EN 14961-6 (Tab. 3) e considerando solo il contenuto in ceneri come termine di riferimento, i prodotti che ricadono nella classe A sono solo quelli costituiti da potatura di olivo in purezza e in miscela con la paglia di *Brassica carinata* o di cardo. Quest'ultima, utilizzata in purezza, rientra appena nella classe del pellet di paglia o dell'erbaceo di pianta intera, mentre i rimanenti pellet ricadono solamente nella classe B.

Il quadro delineato porta a concludere che:

- I pellet prodotti con i residui della *Brassica carinata* presentano caratteristiche adeguate per il mercato dei biocombustibili per sistemi di combustione di media e grande potenza, da utilizzare come prodotto integrativo o di soccorso al tradizionale cippato di legno o in sostituzione, anche parziale, a quote di biomasse di bassa qualità (vinaccia, sansa, pastazzo di agrumi, ecc.); analogamente anche il pellet di paglia di grano duro offre questa opportunità, sebbene presenti un contenuto in ceneri più elevato. Ciò implica una maggiore attenzione per questi aspetti in caldaia e l'adozione di efficaci sistemi di rimozione delle ceneri; il ricorso a miscele con altre biomasse residuali

evidenza dei benefici solo nel caso in cui la biomassa aggiunta alla miscela è di provenienza legnosa come le potature di olivo; anche l'aggiunta di additivi inorganici (es. ossidi di calcio) può apportare benefici alla combustione per ridurre il problema della fusibilità.

- Con questa tipologia di prodotto è pensabile alimentare anche caldaie di piccola potenza predisposte per diverse biomasse (non solo legno). In tal senso, è basilare individuare modelli di impianti termici predisposti per gestire alcune delle problematiche citate.
- Gli impianti devono prevedere da specifica l'uso di combustibile con potenzialità corrosive e formazioni di aggregati (clinker) e, quindi disporre di sistemi ed essere progettati con materiali adeguati per contrastare questi aspetti.

Indubbiamente l'elevato potere calorifico di questi prodotti, ottenuti da processi con basso consumo energetico attraverso la stagionatura di campo e con sistemi di pellettizzazione semplificati possibilmente dotati di mobilità, suscitano un certo interesse per il forte potenziale di sostituzione del combustibile fossile. Basti considerare che in termini energetici:

- 1 kg di pellet da biomasse agricole o agripellet equivale a circa 2 kg di comune cippato di legno;
- 2,5 kg di agripellet contengono la stessa energia di circa 1 kg di gasolio.

**Tab. 3** - Principali caratteristiche della norma UNI EN 14961-2 "Pellet di legno per usi non industriali" e della norma UNI EN 14961-6 "Pellet non legnoso per usi non industriali".

Parametri	UNI EN 14961-2			UNI EN 14961-6		
	A1	A2	B	Paglia	A	B
Umidità (% in peso su t.q.)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 12	< 15
Contenuto in ceneri (% in peso su t.q.)	< 0,7	< 1,5	< 3,0	< 6,0	< 5,0	< 10
Potere calorifico inferiore (MJ/kg su t.q.)	16,5-19	16,3-19	16-19	Da indicare	> 14,1	> 13,2
Azoto (% in peso su s.s.)	< 0,3	< 0,5	< 1,0	< 0,7	< 1,5	< 2,0
Zolfo (% in peso su s.s.)	< 0,03	< 0,03	< 0,04	< 0,1	< 0,2	< 0,2
Cloro (% in peso sul s.s.)	< 0,02	< 0,02	< 0,03	< 0,1	< 0,2	< 0,3

## Scheda 1

### Fasi della produzione industriale di pellet

- **Stoccaggio:** considerata la bassa massa volumica delle biomasse necessita di ampi spazi.
- **Essiccazione:** la pellettizzazione viene eseguita su materiale con un contenuto di umidità compreso tra il 12 ed il 14% circa; per raggiungere tale livello di umidità è preferibile quando possibile ricorrere alla stagionatura all'aria per ridurre i costi di produzione.
- **Raffinazione:** eseguita con mulini e raffinatori prepara il materiale, che raggiunge un'adeguata granulometria compresa tra 3 e 6 mm, alla pellettizzazione.
- **Vagliatura:** è l'operazione che assicura l'omogeneità della biomassa macinata in ingresso alla pellettizzatrice.
- **Pellettizzazione:** è la fase in cui il materiale macinato viene compattato in piccoli cilindri attraverso la pellettizzatrice. I parametri che entrano in gioco in questa produzione sono numerosi e riguardano il tipo di trafilatura, i rulli, la velocità di alimentazione della macchina, il contenuto di umidità della materia prima, ecc..
- **Raffreddamento:** il pellet in uscita dalla trafilatura presenta una elevata temperatura ( $> 100^{\circ}\text{C}$ ). Nei processi industriali si opera un raffreddamento con aria forzata al fine di migliorare le caratteristiche meccaniche del prodotto.
- **Rimozione delle polveri:** è la parte di prodotto macinato che entra nella trafilatura senza subire la pellettizzazione. Gli impianti industriali dispongono di sistemi di rimozione di questa componente.
- **Insacchettamento e imballaggio:** il pellet può essere distribuito in diverse modalità. Le più diffuse sono rappresentate dai sacchi da 15 kg oppure da big-bag di circa 500 kg.

## Scheda 2

### Parametri energetici e fisico-meccanici del pellet

- **Potere calorifico:** questo parametro misura la capacità energetica della materia prima. Si determina in laboratorio attraverso il calorimetro (potere calorifico superiore, espresso sulla sostanza secca). Il dato utilizzato nel settore dei biocombustibili è rappresentato dal potere calorifico inferiore (espresso sul tal quale) o potere calorifico netto. In questo ultimo caso il contenuto di umidità gioca un ruolo importante.
- **Umidità:** sul pellet di legno si attesta attorno ad un livello di circa 6-8%. Valori di umidità elevati possono condizionare la combustione abbassandone le temperature (basse rese energetiche) e compromettere la stabilità meccanica del prodotto (anomalie nel processo di produzione, problematiche nella fase di stoccaggio o nella distribuzione del prodotto).
- **Ceneri:** rappresenta la frazione inorganica della biomassa. Incide sul livello di qualità del prodotto e condizionando la scelta del sistema di combustione da utilizzare per un più efficace utilizzo energetico. Tale frazione non genera energia e deve essere rimossa dalla stufa o caldaia per evitare intasamenti. Prodotti con elevato contenuto in ceneri rappresentano un problema per lo stato di manutenzione degli impianti (corrosioni e formazione di aggregati solidi compatti) e per l'emissione di polveri di combustione.
- **Massa volumica:** rapporto tra massa di prodotto sfuso e volume occupato. Il valore di questo parametro è condizionato dal diametro (il più diffuso è rappresentato dal 6 mm) e dalla lunghezza del prodotto, dalla sua umidità e dal grado di compressione applicato durante la lavorazione. La misura della massa volumica può avere notevole influenza su molti aspetti della filiera e dell'utilizzo influenzandone direttamente la logistica degli impianti, dei sistemi di trasporto e di stoccaggio.
- **Durabilità:** è la capacità del prodotto di mantenere stabile la struttura a seguito degli urti nel corso della sua movimentazione e trasporto. La movimentazione del pellet può causare, infatti, delle rotture producendo parti di dimensioni più piccole e polvere. La frammentazione del prodotto rappresenta un problema per gli stessi sistemi di movimentazione (coclee), produce ridotta efficienza di combustione e, in alcuni contesti, produce atmosfera esplosiva. La bontà della durabilità è legata principalmente alla qualità del processo di produzione.

### Riferimenti bibliografici

AA.VV., 2008 - *Progetto Fi.Sic.A. Filiera Siciliana per l'Agroenergia – Studio di fattibilità per l'introduzione di filiere agro-energetiche*. Regione Siciliana, Assessorato Agricoltura e Foreste, Dipartimento Interventi Infrastrutturali e Consorzio di Ricerca “Gian Pietro Ballatore”.

Toscano G., Riva G., Foppa Pedretti E., Corinaldesi F., Mengarelli C., Duca D., 2013- *Investigation on wood pellet quality and relationship between ash content and the most important chemical elements*. Biomass and Bioenergy, n. 56: 317-322.

Toscano G., 2013 - *Agripellet quale soluzione per il riutilizzo energetico dei sottoprodotti agricoli*. La valorizzazione dei sottoprodotti nell'ambito agro-zootecnico, industriale ed energetico. Progetto MiPAAF – EXTRAVALORE. Convegno: I sottoprodotti agroforestali e industriali a base rinnovabile, 26 e 27 settembre 2013. Editore CTI, Milano.

Quaak P., 1999 - *Energy from biomass. A review of combustion and gasification technologies*. The World Bank Washington D.C.

Van Loo S., 2008 - *Biomass combustion and co-firing*. Earthscan. London.

## Foto

### Attrezzatura utilizzata per il processo di pellettizzazione



Foto 1 - Cippatore



Foto 2 - Raffinatore



Foto 3 - Igrometro



Foto 4 - Essiccatore



Foto 5 - Pellettatrice

### *Fasi del processo di pellettizzazione*



**Foto 6** - Cippatura dei residui di potatura di olivo



**Foto 7** - Cippato di olivo



**Foto 8** - Raffinazione del cippato di olivo



**Foto 9** - Prodotto raffinato da cippato di olivo



**Foto 10** - Prodotto raffinato da paglia di grano duro



**Foto 11** - Prodotto raffinato da paglia di Brassica carinata



**Foto 12** - Pellettizzazione

### *Prodotti ottenuti*



**Foto 13** - Pellet di paglia di Brassica carinata



**Foto 14** - Pellet di paglia di grano duro



**Foto 15** - Pellet da miscela da paglia di Brassica carinata (33,33%), grano duro (33,33%) e olivo (33,33%).

---

# *Capitolo 6*

## **Prove di combustione in caldaia**

R. Tatano

Al fine di verificare la possibilità di utilizzare le diverse tipologie di pellet, prodotti nell'ambito dell'azione 4 (Introduzione, collaudo e ottimizzazione di un prototipo di pellettizzatrice mobile) del progetto E.Ri.C.A., per alimentare caldaie di piccola dimensione si è voluto realizzare delle prove di combustione dei suddetti pellet tramite l'applicazione su generatori di calore a biomassa presenti attualmente sul mercato. Prove che si sono potute realizzare grazie all'interesse mostrato per il progetto ed alla piena disponibilità a collaborare della ditta Tatano<sup>1</sup>.

I campioni di pellet testati nello specifico sono stati tre:

- a) paglia di *Brassica carinata* in purezza,
- b) paglia di grano duro in purezza,
- c) miscela al 50% di paglia di *Brassica carinata* e potatura di olivo.

I prodotti sono stati utilizzati per alimentare tre diverse tipologie di generatori di calore ed in particolare un modello da 20 kW per applicazioni residenziali con braciere sotto alimentato a coclea, un generatore d'aria calda da 115 kW per usi industriali a griglia fissa sotto alimentato e un innovativo modello di caldaia ad acqua da 29 kW a griglia fissa con doppia alimentazione del braciere sia dall'alto che dal basso.

Durante le prove di combustione sono stati rilevati diversi parametri utili alla verifica dell'idoneità del prodotto ad alimentare la tipologia di caldaia utilizzata, nello specifico: il tempo di accensione, la temperatura dei fumi, la temperatura della camera di combustione e le portate fumi dei combustibili. Sono state fatte, inoltre, attente osservazioni dello stato della fiamma, delle sue sfumature e della formazione di aggregati solidi di ceneri (clinker).

Difatti, uno dei fenomeni riscontrati durante la combustione è la formazione di questo residuo di combustione che è il risultato della fusione o sinterizzazione delle ceneri residue del processo di combustione. Le ceneri se sottoposte ad elevate temperature possono fondersi insieme formando agglomerati spugnosi simili a pietra lavica che obbligano a frequenti fermate del generatore di calore e ripetute pulizie del braciere.

Nei primi due modelli di caldaia (da 20 e 115 kW) sin da subito si sono verificati fenomeni legati alla formazione di clinker (Foto 1), che hanno determinato uno schiacciamento della fiamma molto consistente sino al soffocamento della stessa con un successivo e immediato crollo della potenza del generatore (Foto 2). Questo comportamento è espressione di una non idonea combustione.

Viceversa una combustione ottimale è caratterizzata da una vivace fiamma di color chiaro dai toni tendenti al bianco; pellets troppo compressi e/o con alto

---

<sup>1</sup> La ditta Tatano energie rinnovabili di Cammarata (AG) costruisce generatori di calore policombustibili ed è presente da 30 anni sul mercato europeo.

contenuto di ceneri possono in alcuni casi causare il rapido intasamento del braciere per fenomeni legati al clinker, e sono caratterizzati da fiamma blanda, lunga e di color arancione.

Dopo queste prima serie di osservazioni lo staff tecnico della Tatano, grazie all'esperienza maturata sui mercati esteri della Romania, della Spagna e del Marocco, ha ritenuto opportuno testare i tre campioni di pellets su un generatore di calore innovativo (KALORINA BK 25, Foto 3), progettato e testato dalla ditta Tatano proprio per la combustione di combustibili speciali, che ha le seguenti caratteristiche:

- tecnica di combustione brevettata che consente la tripla combustione percentuale automatica di pellets, cereali/paglie compresse e legna in un'unica camera di combustione;
- gestione a distanza tramite SMS e PC per il monitoraggio della caldaia;
- attacco bruciatore per combustibili liquidi/gassosi (biodiesel, oli vegetali);
- flessibilità di combustione con diversi combustibili quali pellet di legna, pellet di paglia di cereali, legna, nocciolino esausto, gusci triti, cereali in genere.

L'uso della suddetta caldaia ha permesso di ridurre, rispetto alle altre due tipologie di caldaia, di circa l'80% la produzione di clinker e di aumentare considerevolmente la temperatura della camera di combustione raggiungendo i 700 °C.

Infine si è realizzata una prova di combustione alimentando la KALORINA BK 25 con una miscela pari a 60% di pellet di legno e 40% dei tre campioni oggetto della ricerca. Si specifica che le prove sono state condotte singolarmente per ogni campione di combustibile. La suddetta prova ha fatto registrare emissioni ambientali contenute e rientranti nei parametri ammessi dalla vigente normativa, formazione di clinker ridotta, ottimo colore della fiamma, buona miscelazione aria/combustibile, corpo caldaia di colore bianco sinonimo di una corretta combustione.

In conclusione, nonostante la buona riuscita dei test di combustione realizzati con la KALORINA BK 25, i test realizzati con le altre due caldaie evidenziano che il fenomeno della formazione del clinker rimane una problematica da non sottovalutare. Tale fenomenologia risulta essere molto più ricorrente nelle caldaie di piccola potenza che hanno a bordo macchina bracieri di ridotta dimensione, e meno frequenti invece su caldaie di grossa potenza (maggiori di 500 kW) caratterizzati da focolari a griglia mobile. Sono notevoli i vantaggi che si possono ottenere dalla tecnologie a griglie mobili, ad esempio le camere di combustioni sono molto più profonde e questo aumenta il tempo di permanenza del combustibile all'interno del braciere, la temperatura in camera di combustione si mantiene molto più elevata grazie alla maggiore turbolenza della fiamma comportando effetti migliorati alla combustione stessa. Inoltre i tempi di discesa del combustibile sulla griglia

permettono di completare la combustione raccogliendo alla fine del letto solo le ceneri esauste.



**Foto 1** - Clinker (dimensione: 18 cm circa)



**Foto 2** - Soffocamento della fiamma causata dalla formazione di clinker



**Foto 3** - Kalarina BK25-Potenza Nominale 29 kW, modulazione percentuale della potenza da 9 a 20 kW

---

## Capitolo 7

### **Collaudo ed ottimizzazione di un impianto aziendale per l'estrazione dell'olio da semi di *Brassica carinata* e per la produzione di biodiesel**

B. Messina\*, G. Russo\*, D. Campisi\*, D. Costantino\*, A. Fonti\*,  
G. Toscano\*\*

---

\* Consorzio di Ricerca "Gian Pietro Ballatore" – Assoro (EN)

\*\* Laboratorio Biomasse del Dipartimento D3A dell'Università Politecnica delle Marche

## 7.1 Introduzione

Il legame tra energia ed agricoltura sta assumendo sempre più importanza, tanto che diverse aziende agricole sono interessate alla possibilità di introdurre negli ordinamenti colturali nuove colture, in rotazione a quelle esistenti, da destinare alla trasformazione energetica, nell'ottica di diversificare le produzioni e individuare nuove fonti di reddito.

Tra le diverse soluzioni attuabili in ambito agricolo vi è quella della costituzione di una filiera agro-energetica per la produzione di olio vegetale da destinare all'alimentazione di motori endotermici di gruppi elettrogeni per la generazione di energia elettrica e termica o, in alternativa, alla produzione di biodiesel. Naturalmente si tratta di nuovi sistemi produttivi che vanno valutati sotto l'aspetto sia della fattibilità tecnica sia della sostenibilità economica.

Le filiere agro-energetiche possono presentarsi come filiere corte o filiere lunghe, introducendo così aspetti riguardanti la modalità organizzativa delle diverse fasi dalla produzione agricola alla trasformazione energetica finale. La filiera agro-energetica corta presuppone la presenza di aziende in cui le produzioni agricole vengono impiegate nelle stesse per la produzione di energia, integrando, produzione e trasformazione. La filiera agro-energetica lunga riguarda la produzione di biocombustibili su scala industriale e necessita, di conseguenza, di elevate quantità di materia prima, procurata dalla prima fase della filiera. La materia prima, in questo caso, viene generalmente acquistata in paesi diversi da quello in cui avviene la trasformazione in energia potendo essere importata su scala mondiale.

Nell'ambito del concetto di filiera corta si può includere un sistema intermedio caratterizzato dal "distretto agro-energetico", ossia un sistema di aziende ubicate in uno stesso territorio che, a livello comprensoriale, producono e trasformano materia prima di origine agricola in energia. Aziende di trasformazione possono stipulare contratti con aziende agricole di un distretto rurale per il ritiro di materiale destinato alla trasformazione energetica. A questo punto, il concetto di distretto agro-energetico potrebbe ampliarsi con la possibilità di installare delle reti per la distribuzione, nel distretto stesso, di calore ed energia elettrica da fonti rinnovabili. La presenza di aziende agricole ed industrie agro-energetiche nello stesso distretto geografico risulta vantaggiosa dal punto di vista logistico, riducendo i costi di trasporto e stoccaggio delle materie prime.

Con riferimento all'olio vegetale, può essere utilizzato come combustibile in motori statici a ciclo diesel per la contemporanea generazione di energia elettrica e calore (cogenerazione). Una centrale di cogenerazione è dotata di un motore diesel modificato per l'alimentazione con oli vegetali. Essendo, infatti, l'olio vegetale più viscoso del gasolio, è necessario apportare alcune modifiche a livello della regolazione del sistema d'iniezione e del sistema di preriscaldamento. Per ridurne

la viscosità, l'olio talvolta può essere miscelato con una certa percentuale di gasolio. Oltre al motore, la centrale può essere dotata di un sistema di recupero dell'energia termica dal circuito di raffreddamento del motore e dei gas di scarico. Il risultato è la produzione di acqua calda a temperatura variabile tra i 50-80°C. I rendimenti elettrici, per classi di potenza sotto 1 MW, sono relativamente alti, dal 35% al 40%, con rendimenti termici che si aggirano sul 50%.

Alternativa all'uso dell'olio vegetale tal quale è la sua trasformazione in biodiesel. Il biodiesel è utilizzato come carburante in autotrazione e come combustibile nel riscaldamento, con caratteristiche indicate nella norma UNI EN 14214:2012. Negli ultimi anni, studi e ricerche hanno evidenziato la possibilità di alimentare motori con quantitativi sempre maggiori di biodiesel. Dal punto di vista ambientale, il biodiesel è considerato un combustibile rinnovabile, perché il biossido di carbonio emesso come scarico della combustione corrisponde a quello sottratto all'atmosfera nella fase di coltivazione dell'oleaginosa. In realtà le problematiche connesse all'utilizzo di colture dedicate a fini energetici sono molto più complesse ed è attualmente in corso un ampio dibattito sui reali effetti di un loro ampio utilizzo a livello globale.

La produzione del biodiesel nasce da un trattamento chimico effettuato sugli oli vegetali (quelli di palma, di colza e di soia sono i più comunemente usati) con alcool metilico. Successivamente all'estrazione l'olio, a seconda della sua qualità, può subire una serie di processi di raffinazione tra cui la degommazione (si eliminano cere, resine, mucillagini) e la deacidificazione, per rimuovere l'acidità e ottenere olio parzialmente raffinato, idoneo alla trasformazione in biodiesel.

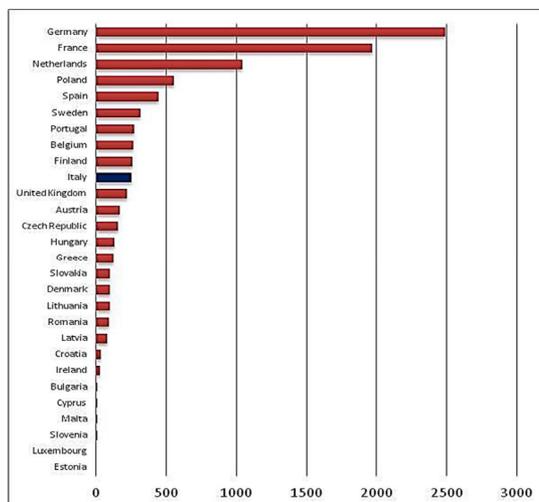
La reazione chimica sulla quale si basa la produzione di biodiesel è definita transesterificazione e consiste, per i protocolli di produzione più diffusi, nel far reagire un trigliceride presente nell'olio raffinato con tre molecole di metanolo. Il risultato della reazione è rappresentato da una molecola di glicerolo e da tre esteri metilici, questi ultimi vanno a costituire il biodiesel destinato alla combustione.

Per quanto riguarda la qualità del biodiesel come carburante, alcuni studi e ricerche hanno dimostrato che, rispetto al gasolio, ha un'intensità energetica simile, determina una combustione migliore per via del suo numero di cetano più alto, è meno infiammabile, quindi meno pericoloso nel corso del trasporto e stoccaggio, mentre la viscosità risulta essere pressoché simile.

In Europa, già dal 2003 è stato introdotto l'obbligo, per i fornitori di benzina e gasolio, di immettere in consumo nei diversi territori nazionali una quota minima di biocarburanti e ogni anno ne viene fissata la percentuale.

Come si evince dalla figura 1, nel 2012 l'Italia con 253.600 t si è piazzata al decimo posto in Europa per la produzione di biodiesel, mentre la Germania con 2.492.000 t detiene il primato (Fonte: EUROSTAT).

Fig. 1 - Produzione di biodiesel in Europa nel 2012 (000 t di olio equivalenti) (Fonte: Eurostat)



In Italia a fronte di una potenziale capacità produttiva annuale di circa 2.400.000 t, la produzione reale si è attestata a circa l'11%, con un trend in calo dal 2010 (Fonte: Assocostieri). Di contro dal 2010 al 2012 l'import ha registrato un trend in crescita passando dalle quasi 800.000 t del 2010 alle oltre 1.100.000 t del 2012, evidenziando che il consumo nazionale di biodiesel è per la maggior parte di provenienza estera.

## 7.2 Obiettivi

Al fine di creare le condizioni per la costituzione a livello regionale di filiere corte per la produzione di olio vegetale per usi energetici e di biodiesel nell'ambito dell'azione 5 del progetto E.Ri.C.A., oggetto del presente lavoro, è stato previsto il collaudo e l'ottimizzazione del processo di spremitura dei semi oleaginosi di diversi genotipi di *Brassica carinata* e la trasformazione dell'olio in biodiesel. A tal fine si è utilizzato un impianto di tipo aziendale, nell'ottica del trasferimento delle conoscenze acquisite agli imprenditori agricoli attraverso attività dimostrative della fattibilità tecnica.

Tale azione è stata supportata anche da attività analitiche di caratterizzazione chimica, fisica ed energetica dei prodotti ottenuti.

### 7.3 Piano di lavoro

L'azione del progetto ha previsto il collaudo e l'ottimizzazione del processo produttivo attraverso la realizzazione di diversi cicli di produzione e nello specifico:

- 1) estrazione meccanica dell'olio dalla granella di due genotipi di *Brassica carinata* in differenti condizioni operative, al fine di rendere efficiente il processo ed ottenere un olio con caratteristiche idonee alla successiva produzione di biodiesel;
- 2) transesterificazione di diverse partite di olio vegetale grezzo al fine di ottenere un biodiesel con caratteristiche idonee alle applicazioni motoristiche;
- 3) caratterizzazione qualitativa (chimica, fisica ed energetica) dei diversi prodotti: la granella di due genotipi di *Brassica carinata*, l'olio ed il pannello ottenuti dal processo di estrazione della suddetta granella, il biodiesel.

L'attività svolta ha permesso di evidenziare oltre alla possibilità di ottenere le suddette produzioni in ambito agricolo, anche le caratteristiche qualitative dei prodotti ottenuti con riferimento ai diversi processi di produzione ed in funzione degli usi possibili.

I cicli produttivi sono stati condotti presso il Consorzio Cipas Società Cooperativa (partner di progetto) di Mussomeli (CL), dotato di un piccolo impianto di tipo aziendale (costruito da Bracco S.r.l.), idoneo all'estrazione dell'olio ed alla successiva esterificazione per la produzione di biodiesel.

L'impianto utilizzato è stato dotato delle seguenti attrezzature:

- silos per lo stoccaggio della granella con coclea per l'alimentazione del sistema di spremitura;
- estrattore con capacità di circa 40 kg/h (Foto 1, 2);
- vasca di decantazione dell'olio con capacità di 100 l e pompa di svuotamento (Foto 3);
- esterificatore con capacità di circa 50 l/h (Foto 4);
- serbatoio per olio con capacità di 1.000 l e serbatoio per biodiesel con capacità di 500 litri, dotato di pompa erogatrice (Foto 5).

Il processo produttivo completo ha previsto le seguenti fasi:

- 1) pulizia dei semi necessaria per allontanare componenti estranee (terra, residui vegetali, ecc.);
- 2) estrazione dell'olio dai semi attraverso un processo di spremitura a caldo, che avviene ad opera di una vite senza fine che spezza il tegumento esterno dei semi e per compressione permette la separazione dell'olio dalla biomassa (Foto 6);
- 3) raffinazione dell'olio attraverso un primo processo di decantazione per la separazione delle impurità più grossolane (un operazione più completa andrebbe eseguita ricorrendo a sistemi di filtrazione);

4) transesterificazione dell'olio in biodiesel utilizzando alcool metilico e soda caustica.

Per la produzione è stato seguito un protocollo, che ha previsto 24 cicli di estrazione dell'olio (12 con granella della varietà Defen e 12 della varietà CT 180), variando di volta in volta i parametri della pressione, influenzata direttamente dallo spazio di compressione determinato dal foro di uscita della bossola (5, 6, 8 o 10 mm), e della temperatura di estrazione (70, 80 o 90 °C) (Tab. 1).

Le prove sono state eseguite con la granella delle due varietà di *Brassica carinata*, proveniente dai campi dimostrativi realizzati nell'ambito dell'azione 1 del progetto E.Ri.C.A. nell'annata agraria 2012-2013.

Tab. 1 - Condizioni operative di estrazione dell'olio adottate nel mini impianto aziendale.

N. prova	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperatura (°C)	70	80	90	70	80	90	70	80	90	70	80	90
Ø bossola (mm)	5	5	5	6	6	6	8	8	8	10	10	10

Presso il Laboratorio Biomasse del Dipartimento D3A dell'Università Politecnica delle Marche e presso il Laboratorio del Centro di ricerca per le colture industriali (CRA-CIN) di Bologna, sono state eseguite le analisi (Tab. 2) per la caratterizzazione fisico-chimica della granella, dell'olio, del biodiesel e del pannello di estrazione (Foto 7). Sull'olio e sul biodiesel le analisi hanno permesso di valutarne anche l'aspetto energetico. In particolare i risultati analitici ottenuti negli oli hanno permesso di individuare due campioni (uno per ciascuna varietà di *Brassica carinata*) risultati i migliori in termini di resa di estrazione della granella e di qualità dell'olio. Questi campioni sono stati utilizzati per la produzione di biodiesel e si è inoltre proceduto alla valutazione qualitativa dei relativi pannelli di estrazione.

#### 7.4 Risultati e discussioni

Le analisi di laboratorio hanno fatto registrare un contenuto medio di olio nella granella pari a circa 39% del peso tal quale (Defen e CT 180), con scostamenti non significativi tra le due varietà. Mentre nelle prove di estrazione eseguite con il mini impianto aziendale la resa sul tal quale è stata mediamente del 28%, evidenziando che il suddetto impianto ha permesso l'estrazione di circa il 71% dell'olio contenuto nella granella. La diversa temperatura di esercizio dell'impianto sembra non influire sulla resa di estrazione, mentre le migliori condizioni sembrano presentarsi con le

Tab. 2 - Analisi eseguite su granella di brassica, olio, biodiesel e pannelli di estrazione.

Matrice	Analisi	Metodologia utilizzata	
Olio	Acqua (mg/kg)	UNI EN ISO 12937, UNI EN ISO 8534	Dipartimento D3/A
	Acidità libera (mg KOH/g)	UNI EN ISO 660	
	Viscosità cinematica (cSt) a 40°C	UNI EN ISO 3104	
	Densità (kg/m <sup>3</sup> ) a 15°C	UNI EN ISO 12185, UNI EN ISO 3675	
	Potere Calorifico Superiore ed Inferiore (PCS e PCI) (kJ/kg)	ASTM D240	
	Altri elementi chimici: Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Si, Na, Ti (mg/kg)	UNI EN 14108 – ISO 10540-3	
Biodiesel	Esteri (%)	Analisi gascromatografica (%)	
	Acidità libera (mg KOH/g)	UNI EN ISO 660	
	Acqua (mg/kg)	UNI EN ISO 12937, UNI EN ISO 8534	
	Densità (kg/m <sup>3</sup> ) a 15°C	UNI EN ISO 12185, UNI EN ISO 3675	
	Viscosità (cSt) a 40°C e a 50°C	UNI EN ISO 3104	
	Potere Calorifico Superiore ed Inferiore (PCS e PCI) (J/g)	ASTM D240	
	Zolfo (% s.s.)	UNI EN ISO 15289:2011	
	Altri elementi chimici: Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Si, Na, Ti (mg/kg)	UNI EN 14108 – ISO 10540-3	
	Numero di iodio (g I <sub>2</sub> /100g)	UNI EN ISO 3961	
Pannelli di estrazione	Umidità (% peso l.q.)	UNI EN 14774-1	CRA-CIN
	Ceneri (% su peso s.s.)	UNI EN 14775	
	Potere Calorifico Superiore ed Inferiore (PCS e PCI) (MJ/kg)	UNI EN 14918	
	Cloro e Zolfo (% s.s.)	UNI EN 15289:2011	
	Frazione minerale: Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Si, Na, Ti, (mg/kg s.s.)	UNI EN 15290	
	Sost. Organica (% peso su s.s. e su l.q.)	Differenza tra s.s. e ceneri dopo riscaldamento in muffola a 550 °C	
	Olio (%)	Analisi NMR (Nuclear Magnetic Resonance) validata su analisi Soxhlet (metodo ufficiale)	
	Azoto totale	Analisi Kjeldahl (metodo ufficiale)	
	Fosforo	Metodo riportato in Cottenie et al., 1982	
	Ossido di potassio totale solubile in acqua	Metodi di analisi per i fertilizzanti Metodo VI.2	

bossole da 8 e 10 mm, che hanno fatto registrare, a parità degli altri fattori, le rese più alte.

Con i risultati ottenuti (Tab. 3), riguardanti l'andamento di alcuni parametri chimico-fisici rilevati nei differenti test di estrazione dell'olio eseguiti per le varietà Defen e CT 180, è possibile fare le seguenti osservazioni:

- In generale il valore dell'acidità libera è relativamente basso, al di sotto della specifica sugli oli vegetali e grassi animali UNI/TS 11163, favorendo la possibilità di conversione in biodiesel dell'olio. Sebbene le differenze tra le due varietà siano contenute, i test evidenziano per la varietà Defen valori di acidità leggermente più bassi nel caso di estrazione con bossolle di maggior diametro. Questo effetto non si osserva con la varietà CT 180 e, pertanto, non si esclude, possa essere condizionato da fattori indipendenti dalla varietà.
- L'olio ottenuto dalla varietà Defen ha un contenuto in acqua maggiore rispetto alla CT 180, mediamente 874 mg/kg della prima contro 757 mg/kg della seconda. L'analisi dei dati non evidenzia effetti delle condizioni di processo su questo parametro; entrambi i valori medi rientrano nei limiti delle classi di qualità della norma tecnica.
- I valori di viscosità sono simili tra le due varietà e non subiscono significative variazioni al variare delle condizioni di estrazione; anche questo parametro è in linea con la norma tecnica.
- I valori delle densità sono praticamente simili tra le due varietà e non variano al variare delle condizioni di estrazione, i dati sono in linea con i valori riportati della norma tecnica (UNI/TS 11163:2009).

Relativamente ai parametri di tipo energetico, riportati in tabella 4, i dati del potere calorifico superiore sono abbastanza stabili nelle diverse prove e si distribuiscono attorno alle medie di 39,89 MJ/kg della varietà Defen e di 40,06 MJ/kg della varietà CT 180; lo stesso comportamento si osserva con il potere calorifico inferiore con dati medi di 37,45 MJ/kg per la varietà Defen e 37,61 MJ/kg per la varietà CT 180.

Nella tabella 5 sono riportati i parametri analizzati per i campioni di olio estratti nei diversi test, che riguardano alcuni elementi chimici quali: fosforo, sodio, potassio, calcio e magnesio.

La concentrazione degli elementi chimici di interesse per esprimere la qualità dell'olio rientra comunque nei limiti delle norme. L'olio ottenuto dalla granella della varietà Defen sembra presentare valori di P e Ca leggermente più bassi in corrispondenza di estrazioni con bossola di diametro maggiore. Tuttavia, questo fenomeno non viene evidenziato con la varietà CT 180 e pertanto si ritiene trascurabile.

Per la trasformazione dell'olio in biodiesel sono stati scelti due campioni di olio, uno per ciascuna varietà, corrispondenti alle migliori condizioni di resa di

**Tab. 3 - Risultati delle caratteristiche chimico-fisiche degli oli nelle 12 prove di estrazione eseguite per le varietà Defen e CT 180**

N. prova	Acidità libera (mg KOH/g)		Acqua (mg/kg)		Viscosità cinematica a 40°C (cSt)		Densità a 15°C (kg/m <sup>3</sup> )	
	Defen	CT 180	Defen	CT 180	Defen	CT 180	Defen	CT 180
1	3	1,6	848	807	41,78	42,08	0,919	0,92
2	3,1	1,3	852	764	41,8	41,94	0,92	0,92
3	3,3	1,4	927	803	41,81	42,02	0,919	0,92
4	3,3	1,3	908	714	41,77	42,12	0,919	0,92
5	3	1,5	862	739	41,85	41,96	0,92	0,92
6	3	1,9	900	790	41,81	41,84	0,919	0,92
7	2,3	1,7	853	729	41,8	42,1	0,92	0,92
8	2,5	1,7	867	743	41,8	42,03	0,919	0,92
9	2,3	1,3	817	706	41,85	41,78	0,92	0,92
10	2,2	1,6	885	750	41,84	41,88	0,919	0,92
11	2,1	2,1	913	794	41,84	42,18	0,919	0,919
12	2,2	1,7	858	745	41,78	41,81	0,92	0,92
Media	2,7	1,6	874	757	41,81	41,98	0,92	0,92

**Tab. 4 - Risultati delle analisi sul potere calorifico superiore ed inferiore degli oli nelle 12 prove di estrazione eseguite per le varietà Defen e CT 180**

Numero prova	PCS (kJ/kg)		PCI (kJ/kg)	
	Defen	CT 180	Defen	CT 180
1	39.925	40.013	37.475	37.563
2	39.902	40.085	37.452	37.635
3	39.818	39.938	37.368	37.488
4	39.787	40.191	37.337	37.741
5	39.944	39.927	37.494	37.477
6	39.945	40.136	37.495	37.686
7	39.872	40.070	37.422	37.620
8	39.961	40.018	37.511	37.568
9	39.875	40.157	37.425	37.707
10	39.946	40.069	37.496	37.619
11	39.966	39.905	37.516	37.455
12	39.844	40.176	37.394	37.726
Media	39.899	40.057	37.449	37.607

**Tab. 5 - Risultati dei diversi parametri chimici analizzati negli oli nelle 12 prove di estrazione eseguite per le varietà Defen e CT 180**

N. prova	P (mg/kg)		Na (mg/kg)		K (mg/kg)		Ca (mg/kg)		Mg (mg/kg)	
	Defen	CT 180	Defen	CT 180	Defen	CT 180	Defen	CT 180	Defen	CT 180
1	8,6	8,6	1,4	1,7	3,4	3,1	15,7	12,9	1,6	1,5
2	10,5	6,9	1,7	1,8	3,4	2,6	16,2	11,8	1,7	1,7
3	10,9	7,2	1,4	1,9	3,6	2,8	16,8	13,2	1,7	1,4
4	11,4	6,5	1,8	1,6	3,5	2,7	17,2	10,9	1,8	1,5
5	8,2	7,8	1,5	1,8	3,3	2,9	14,9	13,9	1,6	1,5
6	7,9	7,9	1,3	1,9	3,2	3,2	14,7	14,8	1,7	1,7
7	6,8	8	1,4	1,7	3,6	3,1	12,1	13,9	1,2	1,6
8	7,3	7,7	1,4	1,8	3,3	2,9	12,7	15	1,4	1,8
9	6,6	6	1,2	1,4	2,6	3,1	10,1	14	1,1	1,5
10	6,7	8,8	1,6	2	3,2	3	12,9	12,5	1,2	1,9
11	6,5	6,6	1,4	2,2	2,9	2,5	11,5	9,9	1,2	1,4
12	6,6	6,8	1,5	1,9	3,1	2,9	12,2	13,2	1,1	1,6
Media	8,2	7,4	1,5	1,8	3,3	2,9	13,9	13	1,4	1,6

estrazione e qualità del prodotto ottenuto. In particolare, sono stati sottoposti a processo di trans-esterificazione e successiva raffinazione il campione di olio della varietà Defen estratto a 70 °C e con bossola da 10 mm ed il campione CT 180 estratto a temperatura di 90 °C e con bossola da 8 mm.

I risultati delle analisi chimico fisiche, mostrati in tabella 6, evidenziano che il biodiesel prodotto è tendenzialmente in linea con la specifica per autotrazione definita dalla norma EN 14214. I parametri più critici risultano:

- Il contenuto di acqua, che per Defen supera il limite di 500 mg/kg, problematica relativamente semplice da affrontare operando una asciugatura più spinta del biodiesel.
- Il numero di iodio, per entrambe le varietà si pone ai limiti delle principali specifiche tecniche dei motori alimentati ad oli vegetali (normalmente pari a 120). Questa caratteristica, che dipende dalla presenza di insaturazioni nelle catene degli acidi grassi e quindi dalla specie coltivata e dalla varietà, non si ritiene rappresentare un problema.
- Il contenuto di Ca e Mg che supera complessivamente, seppur di poco, il limite di 5 mg/kg. Tale aspetto può essere in parte migliorato eseguendo una accurata filtrazione dell'olio estratto.
- La viscosità rispetta la specifica in entrambi i casi, seppur al limite (max 5 cSt). Anche questa è una caratteristica strettamente legata alle specie impiegate.

Il prodotto comunque ottenuto non presenta in ogni caso criticità per un impiego come combustibile per riscaldamento.

Le analisi sul pannello (Tab. 7) hanno mostrato una buona quantità di proteine e quindi di azoto, raggiungendo valori medi del 6% s.s. nella varietà Defen. Il valore dell'azoto insieme a quello del fosforo (sempre nella Defen raggiunge un valore medio di poco più del 1% s.s.), risulta un aspetto da considerare con grande attenzione nella possibile utilizzazione del pannello per la produzione di fertilizzanti organici azotati.

Le analisi sul contenuto d'olio residuo, pari mediamente al 13% (t.q.), confermano da un lato la buona azione disoleante dell'impianto aziendale utilizzato, dall'altro indicano un aspetto interessante per l'utilizzazione energetica (produzione di agripellet, per esempio), considerato che il residuo abbondante di olio conferisce alla biomassa un miglior potere calorifico. In termini di utilizzazione energetica entra in gioco anche il contenuto in ceneri (risultate più basse nella varietà CT 180), il cui aumento peggiora la qualità del combustibile, ceneri che sono risultate più basse nella varietà CT 180.

**Tab. 6 - Risultati delle analisi chimico fisiche sul biodiesel ottenuto dagli oli delle varietà Defen e CT 180.**

Parametri	Defen	CT180
	T 70°C bossola 10 mm	T 90°C bossola 8 mm
Contenuto in esteri (%)	97	97,6
Acidità libera (mg KOH/g)	< 0,05	< 0,05
Acqua (mg/kg)	575	450
Viscosità 40°C (cSt)	4,9	4,6
Densità 15°C (kg/m <sup>3</sup> )	886	884
PCS (kJ/kg)	39693	39942
PCI (kJ/kg)	37031	37280
P (mg/kg)	< 1	< 1
Na (mg/kg)	3,2	3,1
K (mg/kg)	1,1	< 1
Ca (mg/kg)	6,8	7,5
Mg (mg/kg)	0,8	0,7
S (mg/kg)	< 1	< 1
Numero di iodio (g I <sub>2</sub> /100g)	122	119

**Tab. 7 - Risultati delle analisi chimiche sui pannelli ottenuti nei diversi cicli di estrazione effettuati per le varietà Defen e CT 180.**

Varietà	Umidità (%)	Ceneri (%)	Sost. Organica (%)		Azoto (%)		Fosforo (%)		Potassio		Olio (% t.q.)
			l.q.	s.s.	l.q.	s.s.	l.q.	s.s.	mg/Kg	% s.s.	
Defen	9,6	6,7	83,8	92,7	5,4	6	0,97	1,08	23.583	2,61	12,7
CT 180	9,6	5,9	84,6	93,6	4,8	5,3	0,72	0,8	20.800	2,30	14,6

## 7.5 Conclusioni

Le attività di estrazione dell'olio dai semi della *Brassica carinata* hanno evidenziato come il parametro dominante nella scelta delle migliori condizioni di processo sia rappresentato dalla resa di estrazione. A differenza di quanto atteso, le migliori condizioni di estrazione si evidenziano con bossola di diametro maggiore (8 e 10 mm) dove l'azione della pressa in termini di pressione sul seme dovrebbe essere inferiore.

Tutti i campioni di olio ottenuti nei test, in generale, rientrano nei valori limiti stabiliti dalla norma UNI/TS 11163 e, pertanto, la ricerca di minime variazioni di qualità dell'olio nelle diverse condizioni risulta di limitato interesse.

Per ciò che concerne il biodiesel in generale la qualità del prodotto ottenuto risulta buona, si può ipotizzare di raggiungere il rispetto della specifica EN 14214

per impiego in autotrazione, introducendo nel processo produttivo almeno una operazione di filtrazione spinta dell'olio estratto meccanicamente.

### Riferimenti bibliografici

AA.VV., 2008 - *Progetto Fi.Sic.A. Filiera Siciliana per l'Agroenergia – Studio di fattibilità per l'introduzione di filiere agro-energetiche*. Regione Siciliana, Assessorato Agricoltura e Foreste, Dipartimento Interventi Infrastrutturali e Consorzio di Ricerca "Gian Pietro Ballatore".

Riva G., Foppa Pedretti E., Toscano G., Rossini G., Cozzolino E., Bordoni A., 2010 - *La filiera olio-energia – Aspetti salienti dello stato dell'arte e prospettive*, Assam Regione Marche.

Toscano G., Foppa Pedretti E., Maldini E., Duca D., 2007 - *Influence of chemical parameter on technical characteristic of vegetable oil for use as fuel*. *Agroindustria* (2007), 6, 80.

Toscano G., Riva G., Foppa Pedretti E., Duca D., 2012 - *Vegetable oil and fat viscosity forecast models based on iodine number and saponification number*. *Biomass and Bioenergy*, n.46: 511-516.

Foto



Foto 1 - Estrattore



Foto 3 - Vasca di decantazione



Foto 2 - Estrattore



Foto 4 - Esterificatore.



Foto 5 - Serbatoio per biodiesel.



*Foto 6 - Processo di estrazione dell'olio.*



*Foto 7 - Pannello di Brassica carinata, residuo dell'estrazione dell'olio.*

---

## Capitolo 8

**Aspetti economici della coltivazione della *Brassica carinata* in Sicilia  
e della trasformazione aziendale della granella e dei residui colturali**

*B. Messina*

## 8.1 Introduzione

L'accordo raggiunto nel dicembre 2008 dal Consiglio europeo sul cosiddetto "Pacchetto Clima – Energia", entrato in vigore nel giugno del 2009 (Direttiva 2009/28/CE), prevede che i paesi membri dell'Unione Europea debbano, entro il 2020 e rispetto ai livelli del 1990, ridurre del 20% le emissioni di gas serra, aumentare del 20% l'efficienza energetica e, inoltre, raggiungere la quota del 20% di energia da fonti rinnovabili; a questi si aggiunge l'obiettivo di incrementare l'utilizzo di biocarburanti nel settore dei trasporti.

A livello nazionale il decreto legislativo n. 28 del 3 marzo 2011 recepisce la suddetta direttiva prevedendo, di conseguenza, che la quota complessiva di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo di energia nel 2020 risulti pari al 17%, mentre nel settore dei trasporti il contributo delle fonti rinnovabili dovrà essere almeno del 10%.

Nell'ambito del Piano di azione nazionale per le energie rinnovabili (PAN, 2010) è stato stimato che nel 2020 il contributo delle biomasse per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili sarà pari a circa il 19%, mentre per la produzione di calore il contributo arriverà a circa il 54%.

Detti provvedimenti in materia di energie rinnovabili prospettano un ruolo sempre più rilevante dell'agricoltura nella produzione di fonti energetiche, con vantaggi ambientali (riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, risparmio di combustibili fossili, ecc.) che devono essere coniugati con valutazioni di tipo economico legate alla effettiva redditività della produzione di biomasse e, quindi, in funzione della convenienza economica registrabile dalle singole aziende, indipendentemente dagli effetti che tale scelta ha sul contesto sociale e ambientale.

Il presente lavoro, inserito nell'ambito del progetto E.Ri.C.A. che ha previsto l'introduzione negli ordinamenti colturali delle aziende cerealicole siciliane della *Brassica carinata* e l'utilizzazione dei prodotti (granella, residui colturali, ecc.) per fini agroenergetici, ha come obiettivo quello di fornire elementi utili per una valutazione aziendale della convenienza economica della coltivazione della suddetta coltura e della trasformazione dei relativi prodotti e co-prodotti.

## 8.2 Piano di lavoro

Per il perseguimento del suddetto obiettivo si è proceduto in una prima fase alla determinazione dei costi di coltivazione della *Brassica carinata*, dei costi di trasformazione della granella in olio e biodiesel, nonché dei residui colturali e del pannello di estrazione in pellet. Successivamente si sono stimati i ricavi ottenibili dalla vendita della granella, dell'olio e del biodiesel, considerando anche gli eventuali aiuti comunitari e, infine, dal confronto tra i costi ed i ricavi si è determinato il margine

lordo.

#### *Costo di produzione della Brassica carinata*

Si è determinato il costo del processo produttivo facendo riferimento alla tecnica culturale adottata al secondo anno del progetto (vedi capitolo riguardante l'azione 1) e con riguardo ai soli costi espliciti sostenuti per l'acquisizione di beni e servizi (non sono stati infatti considerati i costi generali, il prezzo d'uso del capitale fondiario, gli interessi sul capitale di anticipazione e gli ammortamenti).

Per quanto riguarda la valutazione dei costi relativi alle operazioni colturali si è ipotizzato il ricorso all'impiego di macchine in conto terzi (dati forniti da contoterzisti che operano nelle principali aree cerealicole della Sicilia); per il costo dei mezzi tecnici impiegati si sono considerati i prezzi medi rilevati a seguito di indagini a livello regionale (dati forniti dai rivenditori).

In entrambi i casi l'annata agraria di riferimento è stata quella del 2012/13.

#### *Costo di trasformazione della granella di Brassica carinata in olio e biodiesel*

Al fine di valutare la convenienza alla trasformazione a livello aziendale (azienda agricola, cooperativa di agricoltori, ecc.), si è determinato il costo di trasformazione della granella di *Brassica carinata* in olio (estrazione meccanica) e della granella in biodiesel (estrazione dell'olio e successiva trans-esterificazione), facendo riferimento a tre impianti di tipo aziendale con differenti capacità lavorative.

Per ogni impianto è stata prevista la seguente dotazione: a) silos per lo stoccaggio della granella completo di coclea per l'alimentazione del sistema di spremitura; b) *spremitore* dotato di vasca di decantazione dell'olio e di filtro pressa (capacità oraria di spremitura dei tre impianti pari rispettivamente a 35, 140 e 250 kg di granella); c) *esterificatore* (capacità oraria di esterificazione pari rispettivamente a 25, 50 e 100 litri); d) serbatoio per olio (capacità pari rispettivamente a 1.000, 2.000 e 3.000 litri); e) serbatoio per biodiesel (capacità pari rispettivamente a 500, 1.000 e 1.500 litri) dotato di pompa erogatrice.

Nella tabella 1 sono riportate le caratteristiche tecniche dei tre impianti e nello specifico: la produzione oraria, giornaliera ed annua di olio e biodiesel<sup>1</sup>. Si è, inoltre, stimata la superficie media aziendale da coltivare a *Brassica carinata*, necessaria per supportare e alimentare le tre tipologie di impianti. A tal fine si sono considerate, oltre alle caratteristiche tecniche degli impianti, le rese medie per ettaro, pari a 12,5 quintali, registrate in Sicilia nell'ambito dei progetti Fi.Sic.A.<sup>2</sup> ed E.Ri.C.A.

<sup>1</sup> Detta produzione, oltre a dipendere dalla capacità di lavorazione dei singoli impianti, è legata anche al contenuto medio di olio della granella; in questo lavoro si è fatto riferimento ai dati sperimentali rilevati nell'ambito del progetto (contenuto medio di olio nella granella pari a circa il 39% del peso tal quale e resa di estrazione con mini impianto aziendale mediamente del 28% sul tal quale).

<sup>2</sup> Il progetto "Fi.Sic.A., Filiera Siciliana per l'Agroenergia", realizzato dal Consorzio "G. P. Ballatore" e dall'Assessorato Agricoltura e Foreste nel triennio 2006-2009, ha previsto uno studio di fattibilità per l'introduzione di filiere agroenergetiche in Sicilia, con particolare riferimento alla *Brassica carinata*.

**Tab. 1** - Caratteristiche tecnico-economiche dei tre impianti aziendali di estrazione dell'olio e di produzione del biodiesel.

<i>Voce / Impianto</i>	<i>Impianto 1</i>	<i>Impianto 2</i>	<i>Impianto 3</i>
Prezzo* di acquisto dell'impianto (€)	47.214	70.028	98.088
Capacità di spremitura oraria (kg/h)	35	140	250
Capacità di esterificazione oraria (l/h)	25	50	100
Ipotesi di vita economica dell'impianto (anni)	12	12	12
Produzione oraria di olio (kg/h)	10	39	70
Produzione giornaliera di olio (kg/giorno)	64	255	455
Produzione annua di olio (kg/anno)	19.110	76.440	136.500
Produzione oraria di biodiesel (l/h)	11	43	77
Produzione giornaliera di biodiesel (l/giorno)	70	280	501
Produzione annua di olio/biodiesel (l/anno)	21.021	84.084	150.150
Ettari di <i>Brassica carinata</i>	55	219	390

\* Prezzo dell'impianto escluse le agevolazioni previste dal PSR Sicilia 2007-2013

Per semplificare i calcoli necessari alla determinazione del costo di trasformazione della granella in olio e biodiesel e renderli più facilmente e immediatamente comprensibili, si è fatto riferimento ai soli costi espliciti ed alla quota di reintegrazione dei singoli impianti considerati; pertanto non sono state prese in considerazione le seguenti voci di costo: a) quote di perpetuità (assicurazione, manutenzione e reintegrazione) del locale destinato alla collocazione dell'impianto e del locale/silos per lo stoccaggio della granella; b) gli interessi sul valore dell'impianto e dei suddetti locali; c) le spese per la direzione, sorveglianza ed amministrazione; d) gli interessi sul capitale di anticipazione (la produzione dell'olio e del biodiesel è distribuita in tutto l'arco dell'anno).

Nello specifico le voci considerate sono state:

- Costo dell'energia elettrica: è stato calcolato facendo riferimento al costo del kWh (0,23 €/kWh), ed utilizzando i dati forniti dalla azienda costruttrice degli impianti relativi all'assorbimento delle varie componenti (spremitore, esterificatore, pompe, ecc.).
- Quota di reintegrazione dell'impianto: si è fatto ricorso al metodo lineare considerando il valore a nuovo dell'impianto (acquistato con le agevolazioni previste

dal PSR Sicilia 2007-2013), il valore di recupero pari a zero, la vita economica dell'impianto pari a 12 anni.

- Quota di manutenzione ed assicurazione dell'impianto: si è determinata applicando una percentuale del 3% sul valore a nuovo dell'impianto.
- Manodopera: si è considerato il salario tabellare giornaliero (89,54 €) previsto per gli operai agricoli (Area 2, liv.D), dal Contratto Collettivo della Provincia di Palermo per le aziende agricole ricadenti in zone svantaggiate. È stato previsto un impiego "part-time" di un operaio aziendale (20% della giornata lavorativa), infatti anche se l'impianto di estrazione dell'olio lavora in continuo, è necessaria la presenza di un operatore per le operazioni di movimentazione dei prodotti (granella, olio, ecc.), per l'esterificazione dell'olio e per controllare che il processo avvenga con regolarità.
- Metanolo: per ogni litro di olio sono stati considerati 116 ml di metanolo (prezzo di acquisto del metanolo pari a 1,95 €/l).
- Soda caustica: la quantità considerata per la produzione di un litro di biodiesel è stata pari a 3,6 g (prezzo di acquisto pari a 10,25 €/kg).

#### *Costo di trasformazione dei residui colturali di Brassica carinata in pellet*

Anche per i residui colturali si è valutata la convenienza della trasformazione a livello aziendale (azienda agricola, cooperativa di agricoltori, ecc.), pertanto si è determinato il costo di trasformazione della paglia di *Brassica carinata* in pellet, facendo riferimento a tre impianti di tipo aziendale con differenti capacità lavorative. Per ogni impianto è stata prevista la seguente dotazione: a) *raffinatore* per la "macinazione" della paglia al fine di ottenere un prodotto con dimensioni idonee al processo di pellettizzazione (capacità oraria di raffinazione dei tre impianti pari rispettivamente a 90, 200 e 500 kg di paglia), b) *essiccatore* da utilizzare esclusivamente nel caso di livelli di umidità superiori ai valori ottimali per la pellettizzazione (capacità oraria di essiccazione pari a 150 kg), c) *pellettizzatrice* comprensiva di silos di carico (produzione oraria di pellet pari rispettivamente a 40, 200 e 500 kg), d) insaccatrice manuale (per gli impianti da 200 e 500 kg di produzione di pellet), e) igrometro portatile.

Nella tabella 2 sono riportate le caratteristiche tecniche dei tre impianti, la produzione oraria, giornaliera ed annua di pellet. Per la stima della superficie da coltivare a *Brassica carinata* necessaria ad alimentare le tre tipologie di impianti, si è considerato oltre alle caratteristiche tecniche degli impianti, una produzione media per ettaro di paglia pari a 40 quintali; si è ipotizzato, inoltre, la possibilità di utilizzare il pannello di estrazione dell'olio in miscela con la paglia per la produzione di pellet.

Anche in questo caso, come per la trasformazione della granella in olio e biodiesel, per la determinazione del costo di trasformazione della paglia in pellet si è fatto

Tab. 2 - Caratteristiche tecnico-economiche dei tre impianti aziendali di produzione del pellet

<i>Voce / Impianto</i>	<i>Impianto 1</i>	<i>Impianto 2</i>	<i>Impianto 3</i>
Prezzo* di acquisto dell'impianto (€)	58.880	106.910	149.910
Ipotesi di vita economica dell'impianto (anni)	12	12	12
Produzione oraria di pellet (kg/h)	40	200	500
Produzione giornaliera di pellet (kg/giorno)	260	1.300	3.250
Produzione annua di pellet (kg/anno)	78.000	390.000	975.000
Ettari di <i>Brassica carinata</i>	20	98	244

\* Prezzo dell'impianto escluse le agevolazioni previste dal PSR Sicilia 2007-2013

riferimento ai costi espliciti ed alla quota di reintegrazione degli impianti.

Nello specifico le voci considerate sono state:

- Costo dell'energia elettrica: è stato calcolato facendo riferimento al costo del kwh (0,23 €/kWh), ed utilizzando i dati forniti dalla azienda costruttrice degli impianti relativi all'assorbimento delle varie componenti (raffinatore, essiccatore, pellettizzatrice, ecc.).
- Quota di reintegrazione dell'impianto: si è fatto ricorso al metodo lineare considerando il valore a nuovo dell'impianto (acquistato con le agevolazioni previste dal PSR Sicilia 2007-2013), il valore di recupero pari a zero, la vita economica dell'impianto pari a 12 anni.
- Quota di manutenzione ed assicurazione dell'impianto: si è determinata applicando una percentuale del 3% al valore dell'impianto.
- Manodopera: si è considerato il salario tabellare giornaliero (89,54 €) previsto, per gli operai agricoli (Area 2, liv.D), dal Contratto Collettivo della Provincia di Palermo per le aziende agricole ricadenti in zone svantaggiate.
- Costo per imballare la paglia e la movimentazione: si è ipotizzato il ricorso al conto terzi (dati forniti da contoterzisti che operano nelle principali aree cerealicole della Sicilia).

#### *Analisi dei costi/ricavi*

Al fine di fornire indicazioni utili agli agricoltori per poter formulare un giudizio di convenienza sulla coltivazione della *Brassica carinata* e relativa trasformazione dei prodotti ottenuti, si è proceduto ad un confronto tra costi e ricavi, riferiti all'ettaro di superficie coltivata, ipotizzando tre diversi sistemi di organizzazione dell'azienda agricola e considerando gli impianti di trasformazione di maggiore ca-

pacità lavorativa prima descritti:

- a) trasformazione della granella in olio e della paglia e del pannello di estrazione in pellet;
- b) trasformazione della granella in biodiesel e della paglia e del pannello di estrazione in pellet;
- c) vendita della granella e trasformazione della paglia in pellet.

Per la determinazione dei ricavi ottenibili con la vendita della granella di *Brassica carinata*, non essendo disponibili dati sulle quotazioni nelle diverse piazze a livello nazionale, si è fatto riferimento ad una specie con caratteristiche ed impieghi agroenergetici simili, il colza (*Brassica napus*), utilizzando le quotazioni registrate tra maggio 2013 ed aprile 2014 (35,00 €/q), nella principale piazza di riferimento per le contrattazioni che è quella di Parigi (MATIF: Marché à Terme International de France).

Per la determinazione dei ricavi ottenibili dalla vendita dei prodotti trasformati, con riguardo all'olio, si è fatto riferimento al prezzo CIF Rotterdam dell'olio di palma grezzo (CPO) relativo al biennio 2012-2013 (710,73 €/t); per il biodiesel, considerando un utilizzo presso le aziende agricole, si è fatto riferimento al prezzo del gasolio agricolo rilevato dalla Camera di Commercio di Palermo nel periodo maggio 2013 – maggio 2014 (0,94 €/l); mentre per il pellet ottenuto dalla paglia, non essendoci attualmente un mercato, si è fatto riferimento al prezzo del cippato di legno e, in considerazione del potere calorifico dei due prodotti e dei vantaggi che ha il pellet in termini di stoccaggio e trasporto per il volume ridotto rispetto al cippato, si è ipotizzato un prezzo di vendita di 150 €/t.

Tra i ricavi è stato previsto anche il premio unitario ad ettaro previsto per gli agricoltori che praticano un adeguato avvicendamento culturale<sup>3</sup> (importo massimo pari a 100 €/ha).

Infine, con riferimento al “Mal del piede” dei cereali, gli effetti positivi dell’inserimento della brassica nella rotazione cerealicola sono molteplici e riguardano sia la riduzione dell’incidenza e gravità della patologia sia un incremento della resa in granella. Nel presente lavoro, per la valutazione in termini economici dei suddetti effetti positivi, ci si è limitati a considerare il risparmio che l’azienda agricola può ottenere evitando il ricorso all’uso di prodotti anticrittogamici per contenere i patogeni.

<sup>3</sup> Premio previsto nell’ambito del regime di pagamento unico della PAC (Politica Agricola Comunitaria) con l’art. 68 del Regolamento (CE) n. 73/2009 (attuato in Italia dal D.M. 29 luglio 2009).

### 8.3 Risultati e discussioni

Dalla tabella 3 emerge che la valutazione dei principali costi di produzione della *Brassica carinata* per ettaro di terreno coltivato ammonta mediamente, con riferimento al protocollo colturale adottato nell'ambito del progetto, a circa 750 €. La voce di spesa che ha la maggiore incidenza sul totale è rappresentata dalla valutazione del costo relativo alle operazioni meccaniche che mediamente incide per 473 €/ha, pari a circa il 63% del totale; l'acquisto dei mezzi tecnici incide per un valore medio di 278 €/ha, pari al restante 37%. Con riferimento alle operazioni meccaniche le voci che hanno una consistenza maggiore sono le lavorazioni di pre-semina pari a 220 €/ha (46%) e la raccolta della granella pari a 90 €/ha (19%); mentre tra le voci di costo riferiti ai mezzi tecnici incide in maniera maggioritaria l'acquisto dei concimi pari mediamente a 116 €/ha (42%).

Nelle tabelle 4 e 5 vengono riportati i costi di trasformazione della granella di *Brassica carinata* in olio e biodiesel. Considerando la capacità di spremitura dei singoli impianti (35, 140 e 250 kg/h), un contenuto medio di olio sulla granella tal quale pari al 39% (analisi effettuate CRA-CIN di Bologna), una capacità di estrazione degli impianti pari a circa il 72% dell'olio contenuto nella granella, la potenzialità produttiva annua di olio, ipotizzando 300 giornate lavorative per anno, risulta pari rispettivamente a 19.110, 76.400 e 136.500 chilogrammi (Tab. 1). Di conseguenza la potenzialità produttiva annua di biodiesel dei tre impianti risulta rispettivamente pari a 21.021, 84.084 e 150.150 litri (Tab. 1).

Per garantire l'alimentazione dei suddetti impianti, considerate le rese medie registrate in Sicilia, la superficie da destinare alla coltura varia dai 55 ettari dell'impianto con capacità di spremitura di 35 kg/h, ai 390 ettari relativi all'impianto di maggiore capacità (250 kg/h).

Il costo della trasformazione della granella nei tre impianti varia da 0,39 a 0,10 €/kg di olio prodotto e da 0,70 a 0,40 €/l di biodiesel. I costi maggiori si registrano per gli impianti di minore potenzialità produttiva, le differenze sono da imputare fondamentalmente all'incidenza del costo della manodopera che si riduce in maniera significativa man mano che aumenta la produzione oraria degli impianti. Per quanto riguarda il costo di produzione del biodiesel risulta particolarmente oneroso l'acquisto dei reagenti (metanolo e soda caustica), considerato che si tratta di impianti aziendali di limitata capacità lavorativa i quantitativi risultano ridotti e comunque tali da non permettere economie di scala nell'acquisto.

Con riferimento alla trasformazione della paglia in pellet nella tabella 6 vengono riportati i costi di trasformazione. La produzione oraria di pellet dei tre impianti è rispettivamente pari a 40, 200 e 500 kg, mentre quella annua è di 78.000, 390.000 e 975.000 kg; la superficie da destinare a *Brassica carinata* necessaria per alimentare gli impianti varia dai 20 ettari dell'impianto più piccolo ai 244 ettari dell'impianto

più grande (Tab. 2).

Il costo di trasformazione della paglia in pellet nei tre impianti risulta rispettivamente pari a 0,48, 0,17 e 0,11 €/kg di pellet prodotto; anche in questo caso i costi maggiori si registrano per gli impianti di minore potenzialità produttiva a causa della maggiore incidenza del costo della manodopera.

**Tab. 3 - Costi di coltivazione della Brassica carinata in Sicilia (€/ha) - Annata agraria 2012-2013**

Operazioni culturali	Lavorazione principale	120,00	25,37%	62,94%
	Ripassi	100,00	21,14%	
	Concimazioni	42,00	8,88%	
	Semina	60,00	12,68%	
	Rullatura	15,00	3,17%	
	Diserbi	46,00	9,73%	
	Raccolta	90,00	19,03%	
	<i>Totale</i>	<i>473,00</i>	<i>100,00%</i>	
Mezzi tecnici	Concimi	116,50	41,83%	37,06%
	Semeti	72,00	25,85%	
	Diserbanti	90,00	32,32%	
	<i>Totale</i>	<i>278,50</i>	<i>100,00%</i>	
<b>Totale complessivo</b>		<b>751,50</b>		<b>100,00%</b>

**Tab. 4 - Costo di trasformazione della granella di Brassica carinata in olio (€/kg)**

<i>Voce / Impianto</i>	<i>Impianto 1</i>	<i>Impianto 2</i>	<i>Impianto 3</i>
Quota di reintegrazione* per chilogrammo di olio (€/kg)	0,024	0,009	0,008
Quota di manutenzione per chilogrammo di olio (€/kg)	0,034	0,012	0,012
Costo energia per chilogrammo di olio (€/kg)	0,047	0,047	0,046
Costo manodopera per chilogrammo di olio (€/kg)	0,281	0,088	0,039
<b>Costo totale di trasformazione per chilogrammo di olio (€/kg)</b>	<b>0,386</b>	<b>0,156</b>	<b>0,105</b>

\*Calcolata considerando il prezzo di acquisto dell'impianto con le agevolazioni previste dal PSR Sicilia 2007-2013

**Tab. 5 - Costo di trasformazione della granella di Brassica carinata in biodiesel (€/l)**

Voce / Impianto	Impianto 1	Impianto 2	Impianto 3
Quota di reintegrazione* per litro di biodiesel (€/l)	0,047	0,017	0,014
Quota di manutenzione per litro di biodiesel (€/l)	0,067	0,025	0,020
Costo energia per litro di biodiesel (€/l)	0,066	0,066	0,065
Costo manodopera per litro di biodiesel (€/l)	0,256	0,080	0,036
Costo reagenti per litro di biodiesel (€/l)	0,263	0,263	0,263
<b>Costo totale di trasformazione per litro di biodiesel (€/l)</b>	<b>0,699</b>	<b>0,451</b>	<b>0,397</b>

\*Calcolata considerando il prezzo di acquisto dell'impianto con le agevolazioni previste dal PSR Sicilia 2007-2013

**Tab. 6 - Costo di trasformazione dei residui colturali di Brassica carinata in pellet (€/kg)**

Voce / Impianto	Impianto 1	Impianto 2	Impianto 3
Quota di reintegrazione* per chilogrammo di pellet (€/kg)	0,016	0,006	0,003
Quota di manutenzione per chilogrammo di pellet (€/kg)	0,023	0,008	0,005
Costo energia per chilogrammo di pellet (€/kg)	0,045	0,032	0,021
Costo manodopera per chilogrammo di pellet (€/kg)	0,344	0,069	0,028
Costo imballatura e movimentazione paglia per chilogrammo di pellet (€/kg)	0,050	0,050	0,050
<b>Costo totale di trasformazione per chilogrammo di pellet (€/kg)</b>	<b>0,477</b>	<b>0,165</b>	<b>0,107</b>

\*Calcolata considerando il prezzo di acquisto dell'impianto con le agevolazioni previste dal PSR Sicilia 2007-2013

Per quanto riguarda il confronto tra costi e ricavi, riferiti all'ettaro di superficie coltivata, dei tre diversi sistemi di organizzazione aziendale i risultati sono riportati nelle tabelle 7, 8 e 9. Nel caso dell'azienda agricola che coltiva la *Brassica carinata* e trasforma la granella in olio e la paglia miscelata con il pannello di estrazione in pellet, i costi riguardanti la coltivazione di un ettaro di superficie e la trasformazione delle relative produzioni ammontano a 1.311 euro, i ricavi risultano pari a 1.136 euro e di conseguenza il margine lordo risulta negativo e nello specifico pari a -175 euro.

Nell'ipotesi dell'azienda che coltiva la *Brassica carinata* e trasforma la granella in biodiesel e la paglia miscelata con il pannello di estrazione in pellet, i costi am-

montano a 1.427 euro, i ricavi risultano pari a 1.249 euro e, anche in questo caso, il margine lordo risulta negativo e pari a -178 euro. Un margine lordo positivo si riscontra nel caso dell'azienda che vende la granella e si limita a trasformare solamente la paglia in pellet, i costi ammontano a 1.178 euro ed i ricavi a 1.189 euro con un margine lordo di 11 euro.

Tab. 7 - Analisi costi/ricavi nell'ipotesi di un'azienda che trasforma la granella in olio ed i residui colturali in pellet

COSTI (€/ha)	RICAVI (€/ha)
Costo coltivazione <i>Brassica carinata</i> 751,50	Ricavo vendita olio 248,76
Costo trasformazione della granella in olio 36,74	Ricavo vendita pellet 735,00
Costo trasformazione della paglia e del pannello in pellet 522,73	Pagamento supplementare per avvicendamento (art. 68 Reg. CE n. 73/2009) 100,00
	Effetti positivi sul mal del piede dei cereali 52,00
<b>TOTALE COSTI (€/ha)</b> <b>1.310,98</b>	<b>TOTALE RICAVI (€/ha)</b> <b>1.135,76</b>
<b>MARGINE LORDO (€/ha)</b> <b>-175,22</b>	

## 8.4 Conclusioni

I costi di coltivazione della *Brassica carinata* con riferimento all'acquisto di beni e servizi sono paragonabili a quelli da sostenere per la coltivazione del grano duro in Sicilia, con una produttività minima che la coltura dovrebbe garantire per consentire di pareggiare i suddetti costi a pari a circa 21 q/ha di granella.

Considerazioni che cambiano se l'azienda non si limita alla sola produzione primaria e si dedica alla trasformazione della biomassa prodotta in olio, biodiesel e pellet. Nello specifico l'analisi dei costi/ricavi ha evidenziato la possibilità di avere un margine lordo positivo, con una produzione media di granella di soli 12,50 q/ha, se oltre alla vendita della granella l'azienda preveda la trasformazione della paglia in pellet. Attività di trasformazione che anche se realizzata nell'ambito delle aziende agricole, deve tenere nella giusta considerazione il dimensionamento degli impianti al fine di limitare in particolare l'incidenza del costo della manodopera che risulta particolarmente penalizzante nel caso di impianti di limitata capacità produttiva.

Le suddette considerazioni confermano le indicazioni emerse nell'ambito del progetto "Fi.Sic.A.", che evidenziavano la necessità di valorizzare anche i co-prodotti ottenuti per rendere sostenibile l'introduzione della *Brassica carinata* negli ordinamenti colturali delle aziende cerealicole siciliane.

**Tab. 8 - Analisi costi/ricavi nell'ipotesi di un'azienda che trasforma la granella in biodiesel ed i residui colturali in pellet**

<b>COSTI (€/ha)</b>	<b>RICAVI (€/ha)</b>
Costo coltivazione <i>Brassica carinata</i> 751,50	Ricavo vendita biodiesel 361,90
Costo trasformazione della granella in biodiesel 152,96	Ricavo vendita pellet 735,00
Costo trasformazione della paglia e del pannello in pellet 522,73	Pagamento supplementare per avvicendamento (art. 68 Reg. CE n. 73/2009) 100,00
	Effetti positivi sul mal del piede dei cereali 52,00
<b>TOTALE COSTI (€/ha)</b> <b>1.427,19</b>	<b>TOTALE RICAVI (€/ha)</b> <b>1.248,90</b>
<b>MARGINE LORDO (€/ha)</b> <b>-178,29</b>	

**Tab. 9 - Analisi costi/ricavi nell'ipotesi di un'azienda che vende la granella e trasforma i residui colturali in pellet**

<b>COSTI (€/ha)</b>	<b>RICAVI (€/ha)</b>
Costo coltivazione <i>Brassica carinata</i> 751,50	Ricavo vendita granella 437,50
Costo trasformazione della paglia in pellet 426,72	Ricavo vendita pellet 600,00
	Pagamento supplementare per avvicendamento (art. 68 Reg. CE n. 73/2009) 100,00
	Effetti positivi sul mal del piede dei cereali 52,00
<b>TOTALE COSTI (€/ha)</b> <b>1.178,22</b>	<b>TOTALE RICAVI (€/ha)</b> <b>1.189,50</b>
<b>MARGINE LORDO (€/ha)</b> <b>11,28</b>	

### Riferimenti bibliografici

Carlo D., 2011. *Valutazione della convenienza economica del fotovoltaico in azienda agricola*. Agriregionieuropa. Anno 7, Numero 24.

Frascarelli A., 2011. *Le energie rinnovabili in agricoltura*. Agriregionieuropa. Anno 7, Numero 24.

Masiero M., Andrighetto N., Pettenella D., 2013. *Linee guida per la valutazione sistematica della filiera corta delle biomasse legnose a fini energetici*. Agriregionieuropa. Anno 9, Numero 33.

Messina B., Pecorino B., 2008. *Progetto Fi.Sic.A. "Filiera Siciliana per l'Agroenergia": prime valutazioni dei costi di produzione della Brassica carinata e della produzione di biodiesel in un esempio di filiera corta*. In: Consorzio "Gian Pietro Ballatore" per la Ricerca su Specifici Settori della Filiera Cerealicola, Osservatorio della Filiera Cerealicola Siciliana. Quarto Rapporto: La filiera del grano duro in Sicilia. Giugno 2008. Pp. 221-232.

Messina B., 2014. *Aspetti della filiera cerealicola siciliana e abitudini di consumo dei prodotti derivati del grano duro e di altri cereali in età preadolescenziale*. Tesi del dottorato di ricerca in Economia e Politica Agraria (XXIV ciclo). Università degli Studi di Palermo.

Pennacchi F., 2011. *Agricoltura ed energie rinnovabili per un nuovo modello di sviluppo*. Agriregionieuropa. Anno 7, Numero 24.

Piano di azione nazionale per le energie rinnovabili (Pan), 2010.

Programma di Sviluppo Rurale Sicilia 2007-2013.

[www.clal.it](http://www.clal.it)



---

# *Capitolo 9*

## **Considerazioni finali**

*C. Miceli*

Con la realizzazione del progetto si è voluto puntare ad un modello di una filiera corta, di tipo aziendale o per gruppi di aziende, al fine di consentire l'ammmodernamento del sistema produttivo agricolo regionale, nell'ottica di differenziare le produzioni agricole con l'introduzione di colture adatte ad usi energetici. La promozione, la sensibilizzazione e l'incentivazione della produzione e dell'utilizzo di biomassa e di olio vegetale passa attraverso nuovi sistemi capaci di valorizzare anche residui che attualmente sono considerati di scarso valore commerciale e che spesso risultano rifiuti di difficile smaltimento.

Pertanto, con i risultati del progetto sono stati forniti strumenti utili all'imprenditore agricolo per incrementare la diversificazione colturale attraverso l'introduzione nei propri ordinamenti colturali di *Brassica carinata* e cardo, per migliorare lo stato sanitario del terreno e delle colture cerealicole in successione a brassica, per migliorare l'autonomia energetica delle aziende.

La *Brassica carinata*, ha mostrato una buona adattabilità agli areali cerealicoli tipici dell'entroterra siciliano, permettendo l'impiego dello stesso parco macchine delle colture cerealicole. Particolarmente delicata risulta la scelta dell'epoca e delle modalità di impianto della coltura, che può influenzare in modo significativo le rese produttive. La granella presenta un elevato contenuto in olio e una buona presenza di glucosinolati. Anche il cardo ha mostrato una buona adattabilità, essendo in grado di valorizzare gli ambienti marginali delle colline interne della regione, con buone produzioni, anche senza apporti irrigui, di biomassa lignocellulosica da destinare ad usi energetici e di granella per l'estrazione di olio per la produzione di biodiesel.

Interessante è risultata l'azione di risanamento dovuta all'introduzione di *Brassica carinata* nell'ordinamento colturale cerealicolo. Oltre alla riduzione quantitativa dei patogeni afferenti al complesso del "Mal del piede", si è osservata una riduzione dell'incidenza e della gravità della malattia, con un significativo incremento dello sviluppo vegetativo e della produzione del frumento in successione a brassica.

La valorizzazione dei residui colturali attraverso la trasformazione in pellet, l'estrazione di olio dal seme e la sua trasformazione in biodiesel, possono contribuire al miglioramento dell'autonomia energetica delle aziende agricole. Infatti, con l'uso di piccoli impianti aziendali è stato possibile trasformare in pellet le biomasse oggetto di studio, sia in purezza che in miscela con altri prodotti aziendali. Un miglioramento delle caratteristiche del pellet si è ottenuto, soprattutto, con l'aggiunta di materiali legnosi, che incrementano la qualità del prodotto finale, rendendolo adatto, anche, per caldaie di piccola e media potenza. Analogamente, con un impianto di tipo aziendale è stata effettuata l'estrazione di olio dal seme di *Brassica carinata* con una buona resa ed una buona qualità dell'olio, con valori in linea con i parametri di riferimento. Anche la trasformazione in biodiesel ha permesso di ottenere un prodotto tendenzialmente in linea con i valori di riferimento, sia per

l'impiego per l'autotrazione sia, soprattutto, per l'impiego come combustibile per il riscaldamento. Il pannello di estrazione è risultato con un interessante contenuto in azoto che lo rende idoneo per la produzione di fertilizzanti organici azotati e per la trasformazione in agripellet, anche per via del residuo oleoso del pannello.

Con riferimento agli aspetti economici riguardanti la coltivazione di *Brassica carinata*, i costi di coltivazione sono paragonabili a quelli del grano duro e la sostenibilità economica della filiera si può ottenere solo valorizzando tutti i prodotti e co-prodotti ottenibili. La produzione presso le aziende agricole di olio/biodiesel da sola, risulta poco remunerativa, mentre risulta interessante la trasformazione aziendale dei residui colturali in pellet.

Un discorso a parte merita l'azione di biofumigazione esercitata da *Brassica carinata* che, oltre ai vantaggi precedentemente descritti, rappresenta uno strumento di fondamentale importanza per gli imprenditori agricoli in contesti di coltivazione in convenzionale e, soprattutto, in biologico per gli effetti migliorativi sul terreno e sulle colture in successione.





Finito di stampare nel mese di maggio 2014