



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SASSARI
FACOLTÀ DI AGRARIA



Scuola di dottorato
SCIENZE DEI SISTEMI AGRARI E FORESTALI E DELLE
PRODUZIONI ALIMENTARI

Indirizzo
Produttività delle Piante Coltivate

XXIII Ciclo

**Introduzione di colza (*Brassica napus* var. *oleifera*) e
carinata (*Brassica carinata*) in sistemi colturali
mediterranei**

Dott.ssa Roberta Farci

Direttore della Scuola: Prof. Giuseppe Pulina

Referente di Indirizzo: Prof. Antonino Spanu

Docente Guida: Prof. Pier Paolo Roggero

Correlatore: Dott. Luigi Ledda

Anno Accademico 2009-2010

INDICE

Capitolo

1. Energie rinnovabili in Europa: Stato dell'arte e prospettive future	4
Introduzione	4
<i>Fonti energetiche rinnovabili</i>	5
<i>Attuali politiche energetiche</i>	22
<i>Prospettive future</i>	24
Bibliografia	26
2. Valutazione agronomica di colza e carinata in sistemi colturali Mediterranei	30
Introduzione	30
Materiali e metodi	34
<i>Descrizione del sito sperimentale e trattamenti</i>	35
Esperimento 1	35
Esperimento 2	38
<i>Rilievi fisiologici</i>	40
Risultati e discussioni	40
<i>Meteo e fenologia</i>	40
Esperimento 1	40
Esperimento 2	44
<i>Resa e componenti della resa</i>	45
Esperimento 1	45
Esperimento 2	48
Conclusioni	49
Bibliografia	51
3. Accrescimento e resa di Brassicacee da bioenergia coltivate in ambiente mediterraneo	54
Introduzione	54
Materiali e metodi	57
<i>Siti sperimentali</i>	57
<i>Caratterizzazione pedo-climatica dei siti sperimentali</i>	58
<i>Disegno sperimentale</i>	59
<i>Rilievi fisiologici</i>	60
<i>Analisi statistiche</i>	60
Risultati e discussioni	61
<i>Produzione di sostanza secca</i>	62
<i>Traslocazione</i>	64
Conclusioni	67
Bibliografia	69

4. Gestione delle infestanti del colza in ambiente mediterraneo	71
Introduzione	71
Materiali e metodi	73
<i>Descrizione del sito</i>	73
<i>Disegno sperimentale e trattamenti</i>	73
<i>Rilievi</i>	75
<i>Analisi statistiche</i>	76
Risultati e discussioni	77
Conclusioni	82
Bibliografia	83

ABSTRACT

Interest in the production of biomass by means of energy crops has increased over the last 40 years in Europe. In particular, the growing of rapeseed (*Brassica napus* var. *oleifera* D.C.) and Ethiopian mustard (*Brassica carinata* A. Braun) as oilseed crop for bioenergy production in Southern Europe has gained new concern, following the implementation of policies aimed at increasing the production of locally produced bio-fuels.

Experiments presented in this thesis were undertaken to study adaption of rapeseed and *Brassica carinata* in the Mediterranean type environments in Sardinia.

Firstly, to identify the effects of genotype on the phenology, growth, dry matter production, seed yield and yield components of rapeseed and *Brassica carinata*.

Secondly, six genotype of *Brassica* spp. (four genotype of rapeseed and two of *Brassica carinata*) were used to study biomass production, contribution of the pre-anthesis assimilates to the seed yield, and their relationship to seed yield.

Thirdly, to study dose-response curves development for the control of garland, lamb's-quarter, common field poppy, sow-thistle and wild mustard in rapeseed for a range of metazachlor doses and to determine from the dose-response curves the dose of metazachlor required for greater than 90% control of these selected weed species that offers the best crop safety in rapeseed.

According to our results, both rapeseed and *Brassica carinata* are adapted to the environments tested being able to produce acceptable seed yields. Higher rainfall during the post-anthesis phase resulted in improved yields as consequence of pods photosynthetic activity.

CAPITOLO 1

ENERGIE RINNOVABILI IN EUROPA: STATO DELL'ARTE E PROSPETTIVE FUTURE

Introduzione

Le relazioni che intercorrono tra approvvigionamento e utilizzo energetico, attività economiche, sviluppo umano e ambiente sono estremamente complesse. Il maggiore utilizzo di energia è sia causa sia effetto della crescita e dello sviluppo economico: l'energia è essenziale per la maggior parte delle attività economiche; la prosperità, generata dallo sviluppo economico, genera a sua volta una maggiore domanda di servizi energetici di qualità, soprattutto nelle prime fasi del suo sviluppo (Kaygusuz, 2010).

Allo stato attuale la più importante fonte energetica, l'energia fossile, si sta riducendo come conseguenza dell'aumento costante della domanda mondiale. A causa dell'incremento demografico e del tenore di vita occidentale più elevato, così come nelle economie emergenti, il consumo energetico mondiale è aumentato di circa il 60% negli ultimi 30 anni (Lenk *et al.*, 2007). Il *World Energy Forum* ha previsto che le riserve di fonti fossili quali petrolio, carbone e gas saranno esaurite in meno di dieci anni. I combustibili fossili rappresentano oltre il 79% dell'energia primaria consumata nel mondo, e il 57.7% di questa viene utilizzata nel settore dei trasporti (Kumar *et al.*, 2010). La nostra società è largamente dipendente dal petrolio per le sue attività. Circa il 90% del petrolio consumato ogni anno (circa 4000 milioni di tonnellate nel 2007) viene utilizzato come fonte di energia per il trasporto e per la produzione di calore ed elettricità il restante 10% viene utilizzato dal settore chimico e petrolchimico. Poiché è una risorsa limitata, il prezzo del petrolio è destinato ad aumentare (Carlsson, 2009). Nel luglio 2008 ha raggiunto il valore di 147 dollari per barile superando il picco raggiunto nell'aprile 1980 (pari a circa 102 dollari per barile in valuta attuale). Il prezzo è successivamente calato sotto i 40 dollari per barile nel dicembre 2008, con l'acuirsi della crisi finanziaria, per poi attestarsi su livelli compresi tra 60 e 70 dollari per barile nei mesi di maggio e giugno 2009 (ENEA, 2009).

Si prevede che in Europa la domanda di energia primaria legata al settore dei trasporti, aumenterà da 11.7 a 16.1 EJ anno⁻¹ tra il 2000 e il 2030. Quindi il settore dei trasporti in Europa contribuisce per circa un terzo alla domanda di energia primaria (De Wit *et al.*, 2010).

La produzione, il trasporto e l'utilizzo di energia, possono avere effetti negativi gravi sull'ambiente, sulla salute e sul benessere delle generazioni presenti e future. Oggi il consumo di energia è la più grande fonte di inquinamento atmosferico e dei gas a effetto serra che minacciano il cambiamento climatico globale. Questi problemi ambientali derivano principalmente dalla combustione dei combustibili fossili, che soddisfano la maggior parte del fabbisogno energetico mondiale (Kaygusuz, 2010). I cambiamenti climatici e i loro impatti sono diventati nell'ultimo decennio, uno dei problemi più dibattuti dal mondo scientifico. Il gruppo mondiale di esperti dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) che si occupa di tali problematiche, ha chiaramente indicato l'utilizzo dei carburanti fossili come una delle maggiori cause del continuo incremento delle emissioni di gas serra (Dalla Marta *et al.*, 2010). Nell'Unione Europea il settore dei trasporti e dell'energia sono le principali fonti antropiche responsabili per più del 20% e del 60%, rispettivamente, delle emissioni dei gas serra. L'attività agricola si trova al terzo posto e contribuisce con circa il 9% alle emissioni di gas serra, nel quale i gas più importanti sono il protossido di azoto (N₂O) e il metano (CH₄) (Mata *et al.*, 2010). Nei consumi energetici europei il combustibile fossile rappresenta la fonte energetica più sfruttata, metà della quale viene importata (Dalla Marta *et al.*, 2010).

I gas serra non contribuiscono solo al riscaldamento globale ma hanno altri impatti negativi sull'ambiente e sulla vita umana. Gli oceani assorbono circa un terzo della CO₂ emessa ogni anno dall'attività umana e come i suoi livelli aumentano nell'atmosfera, aumenterà la quota dissolta negli oceani con conseguente riduzione del pH con effetti negativi sulla biodiversità dell'ecosistema marino (Mata *et al.*, 2010).

La ricerca scientifica e la politica energetica spinge verso una riduzione significativa delle emissioni di gas serra sia attraverso una diminuzione del consumo di energia a livello mondiale, ad esempio, per mezzo di tecnologie energetiche più efficienti, sia mediante l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili (Lenk *et al.*, 2007).

Fonti energetiche rinnovabili

Nel corso degli ultimi anni si è assistito allo sviluppo e al recupero delle cosiddette energie alternative, vale a dire quelle forme energetiche primarie che non implicano l'uso di sorgenti fossili. Le fonti comprese in questa categoria sono numerose e differenti tra loro

per natura, distribuzione geografica, fruibilità, efficienza delle tecnologie di utilizzo ed entità delle ricadute ambientali.

Si definiscono fonti rinnovabili di energia quelle fonti che, a differenza dei combustibili fossili e nucleari, possono essere considerate virtualmente inesauribili. Questo perché il loro ciclo di produzione, o riproduzione, ha tempi caratteristici al minimo comparabili con quelli del loro consumo.

Le fonti rinnovabili comprendono la fonte primaria dell'energia solare che investe il nostro pianeta e quelle energie che da essa derivano: idraulica, eolica, delle biomasse, delle onde e delle correnti marine.

Altra fonte primaria considerata rinnovabile è l'energia geotermica, che trae origine da fenomeni che avvengono nei sistemi profondi della crosta terrestre.

Le energie rinnovabili si distinguono dalle fonti di energia non rinnovabili (petrolio, carbone, gas naturale) per la possibilità di consentire uno sfruttamento continuo senza determinare una riduzione delle riserve. Quindi la differenza tra le energie rinnovabili e non rinnovabili è nella scala del tempo di rigenerazione della risorsa energetica. Il loro utilizzo contribuisce alla riduzione delle emissioni di carbonio nell'atmosfera e dell'inquinamento e mettono la nostra civiltà su una base più sostenibile offrendo ai paesi di tutto il mondo l'opportunità di migliorare la loro sicurezza energetica e di stimolare lo sviluppo economico (Kumar *et al.*, 2010). L'aumento del prezzo dei combustibili fossili e le crescenti preoccupazioni riguardanti la sicurezza energetica e i cambiamenti climatici incoraggiano lo sviluppo delle energie rinnovabili per la produzione di energia elettrica in molte parti del mondo.

L'utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili si sta espandendo rapidamente negli ultimi anni e questa tendenza è destinata a continuare nel lungo periodo. Le fonti rinnovabili soddisfano circa il 19% del consumo finale di energia a livello mondiale, considerando la biomassa tradizionale, le centrali idroelettriche di grandi dimensioni e le "nuove" energie rinnovabili (piccole centrali idroelettriche, biomassa dedicata, eolica, solare, geotermica e biocarburanti). La biomassa tradizionale utilizzata soprattutto per uso domestico e per il riscaldamento rappresenta circa il 13% mentre gli impianti idroelettrici di grandi dimensioni rappresentano il 3% e sono in crescita soprattutto nei paesi in via di

sviluppo. Le nuove energie rinnovabili rappresentano il 2.6% e stanno crescendo molto rapidamente nei paesi sviluppati e in alcuni paesi in via di sviluppo (REN21, 2010).

Tra il 2000 e il 2008, la capacità elettrica installata nell'UE è aumentata di 225 GW raggiungendo gli 800 GW alla fine del 2008. È bene sottolineare, nel mix energetico, l'aumento del 75% della capacità del gas (177 GW) e del 500% dell'energia eolica (da 13 GW a 65 GW) (EWEA, 2009).

La quantità di energia rinnovabile consumata nei Paesi dell'Unione Europea ha raggiunto nel 2008 quota 147.7 Mtep, aumentando di 9.2 Mtep rispetto all'anno precedente. La quota dei consumi di energia primaria da fonti rinnovabili è salita a 8.2% nel 2008 da 7.7% nel 2007. Il Paese che ha contribuito maggiormente a questo incremento è stata l'Italia con 2.6 Mtep in più rispetto al 2007, grazie al forte aumento della produzione dei settori biomassa solida e biocarburanti, oltre al considerevole contributo dell'idroelettrico. Segue la Francia, con un aumento di 2.1 Mtep attribuibile al settore idroelettrico e ai biocarburanti, mentre al terzo posto si colloca il Regno Unito con 0.7 Mtep aggiuntivi, derivanti principalmente dai biocarburanti.

Osservando il contributo dei singoli settori all'aumento di produzione di energia rinnovabile nell'Unione Europea, quello della biomassa solida è il principale responsabile con una crescita di 2.9 Mtep, di cui gran parte attribuibile alla produzione italiana (+ 1.3 Mtep). Seguono i settori dei biocarburanti con 2.6 Mtep in più, l'idroelettrico (+ 1.4 Mtep) e l'eolico (+ 1.2 Mtep). Osservando l'incidenza, in termini percentuali, che le singole fonti hanno avuto sul totale dell'energia primaria rinnovabile consumata nel 2008 (Figura 1), si nota chiaramente la netta prevalenza della biomassa con una quota del 66.1%, che non evidenzia variazioni rispetto all'anno precedente. Nonostante l'aumento dei consumi totali di energia primaria da fonti rinnovabili, il target europeo di incrementare al 12% la loro quota rispetto ai consumi totali di energia entro il 2010 non sarà probabilmente raggiunto.

Con riferimento alla quantità di energia elettrica prodotta dai Paesi dell'Unione Europea durante il 2008 attraverso l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, si evidenzia un aumento del 7.9% rispetto al 2007 che è riconducibile essenzialmente a Paesi quali Italia (+ 10.2 TWh) e Francia (+9 TWh). L'incremento complessivo nel 2008 corrisponde a circa 40.9 TWh in più e ad un totale di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili pari a 558.4 TWh rispetto ai 517.5 TWh dell'anno prima. I pesi in termini percentuali che le singole

fonti rinnovabili hanno avuto nel 2008, relativamente alla produzione totale di energia elettrica dei Paesi UE, variano notevolmente tra loro (Figura 2) (ENEA, 2010).

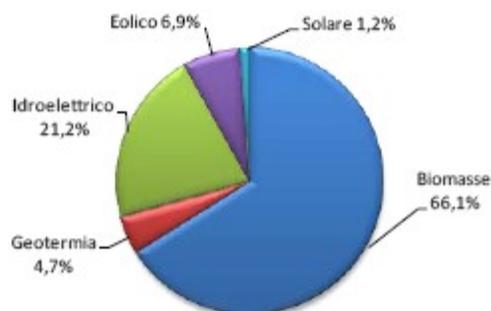


Figura 1 Consumi di energia primaria da fonti rinnovabili in UE nel 2008 (quote per fonte) (ENEA, 2010)

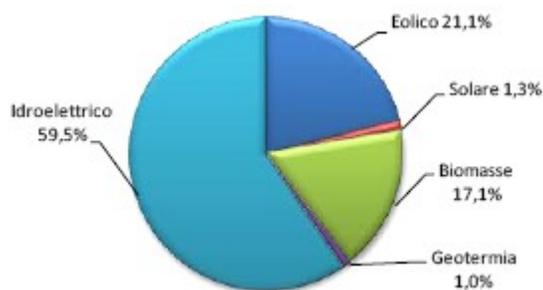


Figura 2 Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili in UE nel 2008 (quote per fonte) (ENEA, 2010)

Bioenergia

Viene definita bioenergia qualsiasi forma di energia ottenuta da biomasse, cioè dai composti organici derivanti da attività biologiche. L'estrema eterogeneità che caratterizza le biomasse trova nel processo fotosintetico l'elemento che le accomuna (Perniola *et al.*, 2006). L'energia solare quando viene intercettata dalle piante e convertita in energia chimica mediante il processo fotosintetico, viene fissata o immagazzinata nei vegetali terrestri ed acquatici (Abbasi *et al.*, 2010). Secondo la Direttiva Ce/2009/28 la biomassa viene definita come la frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l'acquacoltura, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani.

Il legno è la più antica forma di biomassa che è stata utilizzata fin dall'antichità, per scopi domestici e industriali. Nel diciottesimo e diciannovesimo secolo il legno è stato gradualmente sostituito dai combustibili fossili (carbone, petrolio e gas). Oggi c'è un crescente interesse per le bioenergie che possono essere utilizzate in modo efficiente, con l'applicazione di tecnologie moderne per la produzione di calore, elettricità e combustibili per l'autotrazione (AEBIOM, 2009).

Il settore delle bioenergie offre diversi vantaggi: primo, la biomassa è una risorsa abbondante e diffusa; comprende colture arboree e erbacee, residui agricoli e forestali. È stato stimato che l'energia solare assorbita dalle piante equivale a 60-80 miliardi di tonnellate di petrolio, che corrisponde approssimativamente a dieci volte il consumo del principale carburante a livello mondiale. Secondo, la materia prima è riproducibile, per esempio diverse tipologie di alghe si riproducono molto velocemente. Terzo, la quantità di CO₂ prodotta dalla combustione è pari alla quantità assimilata dalla pianta. Quindi non si ha un incremento del contenuto di CO₂ nell'atmosfera e ciò contribuirebbe a mantenere l'equilibrio dell'ecosistema (Zeng-Hui *et al.*, 2010). La valorizzazione dell'utilizzo delle biomasse può inoltre innescare processi di miglioramento ambientale e socio-economico come la diversificazione delle colture, il ripristino di suoli abbandonati, la manutenzione dei boschi, la creazione di posti di lavoro (Fiorese *et al.*, 2005). È stato stimato che il 40% del consumo totale di energia dovrebbe provenire nel 2015 dall'utilizzo energetico delle biomasse (Zeng-Hui *et al.*, 2010).

La produzione di energia elettrica da biomasse è cresciuta in modo significativo in diversi paesi in via di sviluppo tra cui Brasile, Costa Rica, India, Messico, Tanzania, Thailandia e Uruguay. In Cina la capacità installata è aumentata del 14% nel 2009, e il paese prevede di installare fino a 30 GW entro il 2020. In India sono state prodotte 1.9 TWh di energia elettrica con biomassa solida nel 2008, entro la fine del 2009 sono stati installati 835 MW di capacità da biomassa solida derivante da residui agricoli (circa 130 MW nel 2009) e più di 1.5 GW di impianti di cogenerazione alimentati con i residui della filiera produttiva della canna da zucchero (fino quasi 300 MW nel 2009). In Brasile sono stati installati oltre 4.8 GW di impianti di cogenerazione da biomassa proveniente dagli scarti degli zuccherifici, che ha determinato la produzione di oltre 14 TWh di elettricità nel 2009. A partire dal 2007, tra i paesi OCSE, gli Stati Uniti hanno prodotto più del 34% di

energia elettrica da biomassa solida, con un totale di 42 TWh, seguiti da Giappone (16 TWh) e Germania (10 TWh).

Nel 2006 nell'UE-27 sono stati consumati 88 Mtep di biomassa per la produzione di energia (consumo di energia primaria), che rappresenta un aumento dell'8% rispetto al 2005. Si è ancora lontani dal conseguimento del potenziale di biomassa dell'UE individuato dal piano di azione UE per la biomassa, secondo il quale la biomassa potrebbe contribuire con circa 150 Mtep a coprire il nostro fabbisogno di energia nel 2010 (Commissione della Comunità Europea, 2009).

La biomassa e i rifiuti rappresentano con il 68% le principali fonti rinnovabili per la produzione di energia nell'Unione Europea. In particolare il legno e i residui della lavorazione del legno costituiscono i tre quarti, vale a dire il 52% della produzione totale di energia da fonti rinnovabili. I rifiuti solidi urbani (RSU) rappresentano l'8% dell'importo totale, mentre i biocarburanti e il biogas rappresentano rispettivamente il 5% e il 4%. Nel Regno Unito il biogas ha contribuito per il 46% nella produzione di energia da biomasse e rifiuti nel 2006, mentre in Germania il 24% dell'energia prodotta dalle biomasse era rappresentato dai biocarburanti. Nel 1990 la Francia era leader a livello europeo nella produzione di energia da biomasse e rifiuti e la produzione si è mantenuta relativamente stabile fino al 2006. Nello stesso periodo la produzione tedesca di energia da biomasse e rifiuti è aumentata da 4.3 a 16.2 milioni di tep. La Germania rappresenta nell'UE il 18.5% della produzione totale di energia da biomassa e rifiuti seguita dalla Francia e dalla Svezia rispettivamente con il 14% e 11% (EUROSTAT, 2009).

Dal punto di vista tecnologico ed industriale, le alternative per la valorizzazione energetica delle biomasse già oggetto di realizzazioni industriali e con prodotti finali disponibili sul mercato sono sostanzialmente tre:

- La combustione diretta, con conseguente produzione di calore da utilizzare per il riscaldamento domestico, civile e industriale o per la generazione di vapore (forza motrice o produzione di energia elettrica);
- La trasformazione in combustibili liquidi di particolari categorie di biomasse coltivate come le specie oleaginose e le specie zuccherine. Tali combustibili possono essere utilizzati come carburanti per autotrazione

(biocarburanti) o, nel caso degli oli vegetali, direttamente in motori endotermici abbinati ad un generatore per la produzione di elettricità;

- La produzione di biogas mediante fermentazione anaerobica di reflui zootecnici, civili o agroindustriali e/o biomasse vegetali di varia natura ad elevato tenore di umidità, e la successiva utilizzazione del biogas prodotto per la generazione di calore e/o elettricità.

Le tecnologie invece più vicine alla fase di pre-industrializzazione sono la gassificazione e la pirolisi. Nel primo caso, è possibile convertire materie prime quali legno, biomasse lignocellulosiche coltivate, residui agricoli o rifiuti solidi urbani, in un gas combustibile molto più versatile da utilizzare. Tale gas può infatti essere impiegato in motori a combustione interna (MCI), per l'alimentazione di turbine a gas o cicli combinati o anche, in prospettiva, per applicazioni più avveniristiche come l'alimentazione di *fuel cells*.

La pirolisi è invece un processo termochimico che mira ad ottenere, sempre a partire da biomasse lignocellulosiche, combustibili liquidi più facilmente trasportabili (bio-oli), utilizzabili in primo luogo per la generazione di energia elettrica in co-combustione con combustibili fossili (olio combustibile, lignite etc.) e, in prospettiva, come biocarburante per l'alimentazione di motori a combustione interna.

Culture energetiche

La produzione di energia da biomassa può essere diversificata in relazione al materiale impiegato e al processo di trasformazione attivato:

- **Culture lignocellulosiche:** in questo caso la generazione di energia può avvenire seguendo due principali forme; impiego tal quale della biomassa (al di sotto di una certa percentuale di umidità) per generare calore da combustione; l'energia prodotta pertanto può essere sia termica che elettrica (Ragazzoni e Regazzi, 2006). In questa categoria rientrano le coltivazioni ligno-cellulosiche annuali o poliennali (sorgo da fibra, kenaf, cardo, canna, cannuccia, miscanto) i residui agricoli e forestali (paglie, stocchi, residui di potatura etc.) le coltivazioni arboree a ciclo breve (robinia, pioppo, eucalipto etc.). Le colture lignocellulosiche oltre alla combustione diretta si prestano anche a processi di conversione mediante gassificazione, per alimentare in genere turbine a gas, o di pirolisi per la produzione di combustibili solidi e liquidi

(Perniola *et al.*, 2006). Le colture poliennali rappresentano un'importante fonte per la produzione di biomassa lignocellulosica. Negli Stati Uniti il panico (*Panicum virgatum*) costituisce una delle più importanti colture poliennali in quanto è ben adattato, è caratterizzato da un'elevata produzione di biomassa, è una pianta C4 ad alta efficienza fotosintetica e nell'utilizzo dell'acqua e dell'azoto. Gli ibridi di miscanto, tra cui *Miscanthus giganteus*, rappresentano principalmente in Europa un'altra fonte di biomassa. Come il panico, il miscanto è una pianta C4 perenne che presenta alcuni vantaggi come una maggiore resistenza al freddo e quindi migliori rese a latitudini più alte. Le rese del miscanto si aggirano tra i 7 e 38 Mg ha⁻¹ anno⁻¹ mentre quelle del panico variano da 10 a 25 Mg ha⁻¹ anno⁻¹ a seconda della latitudine. Altro gruppo di colture dedicate è costituito da piante legnose quali pioppo, salice e pino. Gli ibridi di pioppo sono considerati i più interessanti per quanto riguarda le biomasse legnose per l'elevata capacità di adattamento, materiale genetico disponibile, tecniche di trasformazione mature e accrescimento veloce. La produzione degli ibridi di pioppo varia tra i 7 e i 20 Mg ha⁻¹ anno⁻¹ a seconda delle condizioni nutrizionali e ambientali. Dal punto di vista produttivo il miscanto e il panico hanno un potenziale maggiore rispetto al pioppo considerando anche il fatto che nel caso delle colture legnose una rotazione breve è di cinque anni, quindi deve passare del tempo prima che la biomassa venga raccolta e di questa viene utilizzato solo il legno (Yuan *et al.*, 2008).

- Colture amidacee (frumento, sorgo da granella mais etc.) e zuccherine (topinambur, sorgo zuccherino, barbabietola, canna da zucchero etc.) possono essere utilizzate per la produzione di zuccheri direttamente fermentescibili o amido da idrolizzare in zuccheri semplici per produrre etanolo attraverso processi di fermentazione (Perniola *et al.*, 2006). I cereali sono una fonte importante per la produzione di etanolo a base di amido. Il mais (*Zea mays*) è un'importante coltura per l'alimentazione umana e animale, utilizzato in seguito a processi dell'industria di trasformazione principalmente per la produzione di olio e foraggio. Il mais può essere utilizzato come coltura bioenergetica in due modi: l'amido contenuto nei semi può essere impiegato per la produzione di etanolo, ed i residui colturali potrebbero potenzialmente essere utilizzati per produrre etanolo lignocellulosico. Il

sorgo (*Sorghum bicolor*) è il quinto cereale più coltivato al mondo ed è destinato alla produzione di granella, foraggio, zuccheri e fibre. Anche il sorgo potrebbe essere utilizzato come coltura energetica in differenti modi. L'amido contenuto nella granella e lo zucchero potrebbero rappresentare una materia prima per la produzione di etanolo e i residui colturali potrebbero essere impiegati per la produzione di etanolo lignocellulosico. Due caratteristiche rendono il sorgo interessante per un suo utilizzo come coltura energetica. In primo luogo, non ci sarebbe una forte competizione per la destinazione d'uso del suolo tra colture alimentari e energetiche, in quanto la granella può essere destinata all'alimentazione umana e del bestiame mentre gli steli possono essere utilizzati per la produzione di etanolo. Altro fattore di fondamentale importanza è il fatto che il sorgo è una coltura resistente a condizioni siccitose che consentirebbe l'utilizzo di terreni marginali non adatti alla coltivazione di altre colture. Inoltre il sorgo e il mais e i residui colturali di altre colture come ad esempio il frumento e il riso possono rivestire un ruolo importante per la produzione di etanolo lignocellulosico. Per quanto riguarda le colture zuccherine, lo zucchero può essere utilizzato per la fermentazione diretta di etanolo. La canna da zucchero (*Saccharum officinarum*) e la barbabietola da zucchero (*Beta vulgaris*) sono le più importanti colture utilizzate per la produzione di zucchero. Le due colture zuccherine occupano diverse nicchie geografiche in quanto la canna da zucchero viene coltivata nelle zone tropicali mentre la barbabietola da zucchero in zone temperate. Il Brasile rappresenta l'esempio di un paese che ha ridotto l'utilizzo dei combustibili fossili grazie alla produzione di bioenergia (Yuan *et al.*, 2008).

- Colture oleaginose (colza, *Brassica carinata*, crambe, cartamo, girasole, soia) possono essere impiegate per la produzione di oli esterificati (FAME, metil-estere di acidi grassi o biodiesel) da utilizzare tal quali per alimentare impianti termici o in miscela variabile tra il 5 e il 20% direttamente nei motori diesel o nei bruciatori degli impianti di riscaldamento (Perniola *et al.*, 2006). Le principali colture oleaginose annuali utilizzate nelle regioni temperate per la produzione di biodiesel sono la soia (*Glycine max*), il colza (*Brassica napus*), e il girasole (*Helianthus*

annuus), mentre nei tropici la palma da olio costituisce la principale pianta per la produzione di biodiesel (Yuan *et al.*, 2008).

Negli ultimi anni in seguito al rinnovato interesse per le bioenergie, sono stati condotti diversi studi sulle colture energetiche al fine di aumentare l'efficienza delle bioenergie. Le colture energetiche ideali dovrebbero soddisfare alcuni requisiti: in primo luogo ci deve essere convenienza economica e quindi bassi costi di coltivazione. Le colture energetiche devono poter essere coltivate facilmente in modo da poter essere destinate a terre marginali. In terzo luogo, le componenti di interesse energetico devono essere disponibili in elevata quantità nelle colture energetiche e la cosa migliore sarebbe che il composto sia il più simile possibile a quello del petrolio. In tal modo la tecnologia di conversione sarebbe molto semplice e ciò potrebbe ampliare gli ambiti di applicazione.

Nuove specie di recente interesse come colture energetiche sono:

Jatropha curcas: specie arbustiva appartenente alla famiglia delle *Euphorbiaceae* e al genere *Jatropha* originaria dell'America diffusa principalmente nell'area tropicale. La capsula contiene circa il 40% di olio di buona qualità. L'olio è stato testato nei motori diesel e i risultati ottenuti indicano che l'olio può costituire una valida alternativa ai combustibili fossili.

Cladrastis lutea: specie rustica appartenente alla famiglia delle *Leguminosae* e al genere *Cladrastis* cresce in aree desertiche aride e semi – aride diffusa principalmente in America. Attraverso semplici tecnologie potrebbe produrre olio combustibile di buona qualità come il petrolio. È stata stimata una produzione di circa 1600 litri per ettaro.

Copaifera sp.: è una specie arborea appartenente alla famiglia delle *Leguminosae* e al genere *Copaifera* originaria dell'America meridionale che accumula un'elevata quantità di olio nel fusto. Da una piantagione di un ettaro è possibile ottenere 12000 litri di olio in grado di soddisfare il fabbisogno in carburante di una piccola azienda.

Pistacia chinensis: specie arborea appartenente alla famiglia delle *Anacardiaceae* e al genere *Pistacia* diffusa principalmente in Cina. Il contenuto in olio dei semi e delle valve è pari a circa il 42.5% e 56.5% rispettivamente. L'olio impiegato anche nell'alimentazione umana viene utilizzato principalmente per fini industriali e recentemente ha suscitato notevole interesse come materia prima per la produzione di biodiesel.

Pennisetum purpureum: specie foraggera appartenente alla famiglia delle *Poaceae* e al genere *Pistacia* diffusa principalmente nelle aree tropicali e semi – tropicali caratterizzata da un accrescimento molto veloce. L'elevata quantità di biomassa, la resistenza ai parassiti, la buona adattabilità e il suo habitus perenne sono caratteristiche che ne rendono facile la coltivazione e diffusione. Oltre all'utilizzo come foraggio, questa specie ha un potenziale utilizzo industriale per la produzione di alcool e metano (Zeng-Hui e Hong-Bo, 2010).

Altre recenti linee di ricerca, la cui maturità tecnologica è però ipotizzabile solamente in una prospettiva temporale di medio-lungo periodo, hanno attirato l'attenzione del mondo accademico ed industriale: la produzione di biodiesel a partire da colture di microalghe, la produzione di biobenzine da materiali cellulosici, la produzione di idrogeno per via biologica.

Le microalghe sono organismi unicellulari fotosintetici che possono vivere in acque dolci, salmastre o salate, comprendono una grande varietà di specie adattate a condizioni molto diverse ed hanno una capacità di moltiplicarsi velocemente e di raggiungere densità di biomassa superiori alle piante terrestri; inoltre non interferiscono con le produzioni agricole dedicate all'alimentazione. Esse offrono la possibilità di produrre:

- Biodiesel, da microalghe ricche di olio, attraverso il processo di transesterificazione;
- Bioetanolo, da microalghe ricche di carboidrati, attraverso il processo di fermentazione;
- Idrogeno, attraverso fermentazione anaerobica dei carboidrati accumulati tramite la fotosintesi;
- Biogas, attraverso la generazione di metano a partire da biomasse microalgali eventualmente miscelate con altri materiali di origine vegetale.

Il processo di sintesi chimica denominato *Eco-Reforming* consente la conversione di un'ampia varietà di biomasse di scarto, ricche di cellulosa ed altri polisaccaridi, in carburanti e prodotti chimici attualmente ottenuti da combustibili fossili, come per esempio il dimetilfurano (DMF), prodotto dallo zucchero fruttosio, compatibile con gli attuali motori e con la rete di distribuzione di carburante esistente, con il pregio di una maggiore resa energetica rispetto all'etanolo.

Le biobenzine ottenute in questo modo permetterebbero di ridurre dal 20% al 30% i costi rispetto all'etanolo, con una produzione annua stimabile in 4 m³ di biocarburanti per ettaro di terreno.

La digestione anaerobica delle sostanze organiche è attualmente il più promettente processo biologico per la produzione di idrogeno. Tale processo ha una resa teorica di 10-20 m³ al giorno di idrogeno per ogni m³ di reattore ed un consumo giornaliero di substrato elettivo (rifiuti vegetali) di circa 20 kg m⁻³.

In natura la produzione d'idrogeno è un passaggio intermedio nella produzione di metano rispetto alla quale possiede una resa metabolica ed energetica di circa 10-20 volte superiore. Tuttavia è con la metanogenesi che il processo si completa e si stabilizza, per cui in futuro si cercherà di mantenere stabile e controllabile la fermentazione, inibendo la generazione di metano.

Attualmente gran parte della sperimentazione mondiale è svolta su piccola scala e su fermentatori di laboratorio e non ci sono testimonianze di successi su scala maggiore. Inoltre, anche se ci sono dati che evidenziano produzioni molto elevate e lunghi periodi di funzionamento (circa 3 anni), risultano ancora carenti alcuni studi specifici dei processi e delle caratteristiche dei consorzi microbici coinvolti (ENEA, 2010).

Biocombustibili

Con il termine di biocombustibili si intendono i combustibili liquidi o gassosi ottenuti da processi di trasformazione chimica o biologica di biomasse di varia natura (prodotti agricoli, residui e reflui agroindustriali e zootecnici etc.). Rispetto ai carburanti derivati dal petrolio, i biocarburanti contengono una maggiore percentuale di ossigeno, ed hanno di conseguenza un minor contenuto energetico (potere calorifico inferiore) (ENEA, 2006).

In termini di bioenergie moderne i principali prodotti sono: biodiesel, etanolo e biogas (Yuan *et al.*, 2008).

Il biodiesel è un carburante ottenuto da oli vegetali attraverso una reazione chimica con alcool, chiamata transesterificazione. Il biodiesel può essere utilizzato nei comuni motori diesel, in miscela con il diesel fossile fino al 20%, oppure puro, in tal caso però l'impiego dei biocarburanti rende necessario apportare delle leggere modifiche al motore

per preservarne l'integrità. Il ciclo di produzione del biodiesel parte dagli oli vegetali ottenuti da piante annuali quali soia girasole e colza o poliennali quali jatropha e palma. I semi subiscono una fase di essiccazione in modo da evitare fenomeni d'autoaccensione e ammuffimento, e di sgusciatura per eliminare l'involucro del seme, queste prime fasi aumentano l'efficienza di estrazione dell'olio grezzo che può essere effettuata per via meccanica o chimica. Il prodotto ottenuto, depurato degli acidi grassi, delle cere e di altre sostanze non desiderate mediante il processo di chiarificazione, degommaggio e neutralizzazione, può essere utilizzato tal quale in motori opportunamente adattati. Nel caso si voglia utilizzarlo in miscela con il gasolio in veicoli commerciali è necessario renderlo compatibile mediante la transesterificazione. Questo processo chimico trasforma l'olio nel suo estere metilico o etilico, a seconda che si usi metanolo o etanolo, ottenendo un prodotto con viscosità e numero di cetano uguale a quello del gasolio. Per quanto riguarda il bilancio ponderale, per esempio, da 3 t di colza si ottiene circa 1 t di olio che trattato con circa 110 kg di metanolo produce circa 1 t di biodiesel e 110 kg di glicerina. Il processo è ben consolidato a livello industriale: la reazione avviene tipicamente a 50 – 60°C in presenza di idrossido di potassio all'1%. Dal punto di vista energetico, assumendo ancora come riferimento i semi di colza, per ogni tonnellata di biodiesel ($PCI = 37.7 \text{ GJ t}^{-1}$), occorrono 18 – 22 GJ per il ciclo colturale, 8 – 11 GJ per la raffinazione e 3 – 3.3 GJ per la conversione chimica. Per quanto detto è evidente che nella produzione di biodiesel non si può prescindere, sia per quanto riguarda la valenza energetica che ambientale, dall'utilizzare la biomassa residuale (lignocellulosa) e quella industriale (glicerina) (Braccio *et al.*, 2009).

Nella filiera di produzione si hanno diversi sottoprodotti, i più importanti derivano dal residuo della spremitura (detto pannello) e dalla glicerina prodotta durante il processo di esterificazione. Il pannello è un alimento ricco di proteine e viene usato come foraggio; la glicerina potrebbe in principio essere bruciata per fornire energia al processo, ma viene impiegata come prodotto chimico per il maggior valore. Nel futuro la glicerina potrebbe essere anche utilizzata come sostituto dell'alcool e dei glicoli nella fabbricazione per esempio di vernici, resine e anticongelanti (ENEA 2010).

Il bioetanolo è un alcool (etilico) ottenuto mediante processo di fermentazione di diversi prodotti agricoli ricchi di carboidrati e zuccheri quali i cereali, le colture zuccherine,

frutta, patata e vinacce o in alternativa ottenuto da biomasse di tipo cellulosico, cioè dalla gran parte dei prodotti o sottoprodotti delle coltivazioni (in questo caso viene definito bioetanolo di seconda generazione) (De Bari *et al.*, 2006).

Indipendentemente dal tipo di biomassa di partenza, la produzione di etanolo comprende tre stadi principali: trattamento della biomassa per ottenere la soluzione zuccherina; conversione dello zucchero in etanolo e CO₂, ad opera di lieviti o batteri (fermentazione); distillazione dell'etanolo dal brodo di fermentazione. Da alcune piante come la barbabietola e la canna da zucchero, lo sciroppo zuccherino che viene poi fermentato viene estratto direttamente; da altre come la patata, il glucosio da fermentare è contenuto all'interno di un polimero (amido) ed è necessaria un'operazione di idrolisi (ad opera di enzimi, le amilasi) per la frammentazione del polimero in unità monomeriche fermentabili.

Le caratteristiche strutturali dei materiali a composizione cellulosica, fanno aumentare il costo dei processi di idrolisi rispetto all'equivalente processo per l'amido. In particolare, la presenza di legami ad idrogeno nella struttura della cellulosa genera domini cristallini che la rendono più difficilmente idrolizzabile. Attualmente l'idrolisi della cellulosa viene effettuata per via enzimatica; per rendere la cellulosa più accessibile agli enzimi è necessario un trattamento preliminare della biomassa (pretrattamento). Gli effetti desiderati sono la destrutturazione macroscopica del materiale e la parziale idrolisi dei polisaccaridi.

La fermentazione alcolica è a carico del lievito *Saccharomyces cerevisiae* in condizioni microaerofile e si arresta quando il tenore di alcool nella miscela raggiunge il 7 – 10%. Il limite è dovuto alla tossicità dell'alcool per il lievito e comporta una grossa incidenza negativa nel bilancio energetico, in quanto il recupero dell'alcol per distillazione parte da soluzioni relativamente diluite (Braccio *et al.*, 2009).

Il processo di produzione del bioetanolo genera, a seconda della materia prima agricola utilizzata, diversi sottoprodotti con valenza economica, destinabili a seconda dei casi alla mangimistica, alla cogenerazione, o riutilizzati all'interno del processo stesso (ENEA 2010).

In campo energetico il bioetanolo trova impiego direttamente come sostituto della benzina, miscelato ad essa in forma "idratata" in veicoli dedicati, o come miscela "anidra"

bioetanolo – benzina con contenuto variabile di etanolo (5 – 85%); serve inoltre per la preparazione di ETBE (Etil – TerButil Etere), un derivato ottanico, dotato di caratteristiche antidetonanti, in sostituzione del MTBE presente nella benzina verde e di origine fossile (Redaelli *et al.*, 2009).

Il biogas è una miscela costituita principalmente da metano e anidride carbonica e viene ottenuto mediante un processo biologico condotto in assenza di ossigeno (digestione anaerobica). I substrati utilizzabili per la trasformazione in biogas sono vari e non necessariamente di produzione zootecnica e/o agricola: reflui zootecnici, deiezioni avicole, residui colturali e agroindustriali, fanghi di depurazione e frazioni organiche di rifiuti urbani. L'azione di decomposizione avviene in due fasi, la prima ad opera di diversi gruppi di microrganismi in grado di trasformare la sostanza organica essenzialmente in acido acetico, anidride carbonica ed idrogeno; successivamente i composti organici intermedi vengono trasformati ulteriormente in metano ed anidride carbonica dai microrganismi metanigeni. Il vantaggio del processo è che partendo da materia organica si ottiene energia rinnovabile sotto forma di un gas combustibile ad elevato potere calorifico. Il limite è dato invece dal fatto che i microrganismi anaerobi presentano basse velocità di crescita e di reazione, ciò significa che per ottenere la massima resa energetica l'ambiente di reazione deve essere mantenuto il più possibile in condizioni ottimali. La presenza di gruppi di microrganismi differenti porta a cercare un compromesso tra le diverse esigenze di crescita e sviluppo, pertanto l'ambiente di reazione definito solitamente reattore anaerobico, deve avere un pH intorno a 7 – 7.5, mentre la temperatura ottimale di processo è di circa 35°C se si opera con batteri mesofili, o di circa 55°C se si utilizzano i batteri termofili. Durante il processo, la quantità di azoto contenuta nella biomassa sottoposta a digestione anaerobica sostanzialmente non varia, si avrà però una considerevole mineralizzazione dell'azoto organico ad azoto ammoniacale (Piccinini *et al.*, 2009). Il rendimento in biogas e quindi il bilancio energetico del processo di digestione è molto variabile e dipende dalla biodegradabilità del substrato trattato. Quanto alle tecniche di digestione anaerobica adottate, è possibile suddividerle in due gruppi principali: per digestione a secco, quando la sostanza secca del substrato è superiore al 20%, e per digestione a umido, quando la sostanza secca è inferiore al 10% (caso dei liquami zootecnici). La percentuale di metano

nel biogas varia, a secondo del tipo di sostanza organica digerita e delle condizioni di processo, da un minimo del 50% fino all'80% circa (www.crpa.it).

La trasformazione del biogas in energia può avvenire per combustione diretta in caldaia (con produzione di sola energia termica) o per combustione in cogeneratori per la produzione combinata di energia elettrica e di energia termica. Con 1 Nm³ di biogas è possibile produrre mediamente 1.5 – 2 kWh di energia elettrica e 2 – 3 kWh di energia termica. Inoltre il biogas dopo essere stato purificato a metano può essere utilizzato per autotrazione e/o immesso nella rete di distribuzione del gas naturale (Di Candilo *et al.*, 2009).

Biocombustibili di prima e seconda generazione

I combustibili per il trasporto ottenuti a partire da materie prime di origine vegetale vengono distinti in biocombustibili di prima e di seconda generazione. I biocarburanti di prima generazione si riferiscono ai biocarburanti prodotti da materie prime che sono in concorrenza con l'industria alimentare e mangimistica. A causa di questa competizione la loro produzione solleva preoccupazioni di ordine etico, politico e ambientale. La produzione di biocarburanti di seconda generazione (cioè ottenuti da materie prime a base di rifiuti, biomassa ottenuta da residui colturali di colture non alimentari) ha riscosso in pochi anni un crescente interesse in tutto il mondo come una possibile alternativa ai combustibili fossili e ai biocarburanti convenzionali. L'utilizzo della biomassa in complessi bioraffineria, così come la produzione di biocarburanti di seconda generazione, dovrebbe garantire ulteriori benefici per l'ambiente e favorire il raggiungimento della sicurezza energetica nazionale grazie alla coproduzione sia di bioenergie che di prodotti chimici ad alto valore.

I principali vantaggi dei biocarburanti di prima generazione sono dovuti all'elevato contenuto di zucchero o di olio della biomassa utilizzata e dalla facile conversione in biocarburante. Molte catene di produzione dei biocarburanti sono state analizzate per mezzo del *Life Cycle Assessment (LCA)*, al fine di mettere in evidenza le prestazioni ambientali. Dalla maggior parte degli studi condotti è emersa una netta riduzione delle emissioni del riscaldamento globale e del consumo di energia fossile con l'utilizzo dei più comuni biocarburanti per autotrazione (bioetanolo e biodiesel) in sostituzione del diesel e del gasolio. Diversi studi LCA hanno anche valutato l'impatto del ciclo di vita sotto altri

aspetti ambientali, compreso l'inquinamento atmosferico locale, l'acidificazione, l'eutrofizzazione, la deplezione di ozono e la destinazione d'uso del suolo, concludendo che la maggior parte, ma non tutti, i biocarburanti che sostituiscono i carburanti fossili possono portare a un aumento degli impatti negativi. Inoltre i biocarburanti di prima generazione sono in concorrenza con le industrie alimentari e mangimistiche per l'utilizzo di biomasse agricole e delle terre fertili, dando luogo a implicazioni etiche considerando che una maggiore percentuale di colture alimentari come ad esempio i cereali o dei terreni sarà destinato alla produzione di biomasse energetiche. Quindi la produzione di biocarburanti di prima generazione attualmente prodotti a partire da zuccheri, amido e oli vegetali differenti può determinare una competizione tra colture alimentari e bioenergetiche e la disponibilità è limitata dalla fertilità del suolo e dalla resa ad ettaro, inoltre l'effettiva riduzione nelle emissioni di CO₂ e nel consumo di energia fossile dipende dagli input energetici richiesti nel ciclo di coltivazione. Queste limitazioni dovrebbero essere in parte superate attraverso lo sviluppo dei biocarburanti di seconda generazione che derivano da colture non alimentari che includono l'utilizzo di biomassa lignocellulosica, quale residui provenienti dall'agricoltura, dalla silvicoltura e dall'industria e da colture dedicate ligno-cellulosiche.

Contrariamente ai biocarburanti di prima generazione dove la frazione utilizzata rappresenta solo una piccola frazione della biomassa aerea, nella produzione dei biocarburanti di seconda generazione l'intera pianta viene utilizzata per la produzione di energia. In condizioni ottimali la resa in colza è di 3.4 t ha⁻¹ la resa effettiva si riduce a 1.35 t ha⁻¹ considerando che i semi hanno un contenuto in olio del 40%. L'impiego delle materie prime potrebbe consentire la coproduzione di biocarburanti, composti chimici e di energia elettrica e termica con una valorizzazione delle performance ambientali ed economiche attraverso lo sviluppo del concetto di bioraffineria. (Cherubini 2010; Fisher *et al.*, 2010).

Concetto di bioraffineria

Tra le varie definizioni di bioraffineria, la più esauriente è stata recentemente proposta dall'IEA Bioenergy Task 42 "Biorefineries" (IEA 2008): "*Biorefining*" è la trasformazione sostenibile di biomassa in un ampio spettro di prodotti commerciabili e di energia.

Il concetto di bioraffineria, che si è andato affermando in questi ultimi anni, tende a superare il limite di una destinazione puramente energetica delle colture non alimentari,

proponendo un impiego potenzialmente integrale della biomassa vegetale come base per la produzione di molecole chimiche a ridotto impatto ambientale. Questo approccio è in grado di consentire un deciso incremento del valore aggiunto dell'intera filiera agro-industriale sia in termini economici che ambientali. Le bioraffinerie sono sistemi che integrano processi di conversione della biomassa di natura chimica, fisica o microbiologica al fine di ottenere prodotti energetici, materiali e sostanze chimiche ad alto valore aggiunto.

Tale concetto presenta numerose analogie con il tradizionale concetto di raffineria petrolchimica, confermando una certa convergenza di base tra le potenzialità della chimica del petrolio e di quella rinnovabile da biomasse. Le bioraffinerie, quindi, sono state identificate come la via più completa e promettente per la creazione di un'industria basata su prodotti derivati da materiali di origine biologica in grado di valorizzare, attraverso la produzione di molteplici composti, le diverse componenti chimiche della biomassa.

L'obiettivo è infatti di utilizzare la parte più "nobile" della biomassa (amido, olio, cellulosa, proteine e i componenti minori) per la produzione di composti chimici a elevato valore aggiunto per l'industria (plastiche, lubrificanti, solventi, fibre, coloranti, fitofarmaci etc.) o di molecole chimiche (glicerina, acido lattico, acido propionico, acido levulinico, acido gallico etc.) per successive trasformazioni chimico fisiche ed enzimatiche e/o successiva sintesi organica. La biomassa residua da questi processi, oscillante orientativamente tra il 10% e il 40% della biomassa iniziale, può essere utilizzata per la produzione energetica necessaria per il funzionamento dell'impianto stesso e se in eccedenza può essere immessa sul mercato sotto forma di energia elettrica o calore (Cherubini 2010).

Attuali politiche energetiche

Le fonti energetiche rinnovabili rappresentano uno dei capisaldi per orientare il nostro sistema energetico verso la sostenibilità e la sicurezza dell'approvvigionamento. La produzione di energia elettrica, calore e biocombustibili da fonti rinnovabili è diventata una priorità nelle strategie di politica energetica a livello nazionale nonché a scala globale (Resch *et al.*, 2008).

La politica energetica dell'Unione Europea è fortemente guidata dal duplice obiettivo della sostenibilità (compresi gli aspetti ambientali) e della sicurezza dell'approvvigionamento (Doukas *et al.*, 2007).

Per questi motivi, negli ultimi anni, è andato crescendo l'interesse dell'Unione Europea per lo sviluppo di nuove filiere a partire da materie prime rinnovabili agricole e silvicole locali (Piano d'azione per la biomassa, COM 628/2005; Piano d'azione per le foreste, COM 302/2006) dal momento che un ulteriore beneficio è quello di creare innovazione, nuovi settori di attività e occupazione nelle zone rurali.

Sono trascorsi oltre dieci anni dalla pubblicazione da parte della Commissione Europea del libro bianco "Energia per il futuro: le fonti energetiche rinnovabili – Libro bianco per una strategia e un piano di azione della Comunità", COM(97) 599 def, che ha segnato la strada dello sviluppo delle fonti rinnovabili nel mercato interno dell'Unione Europea nel contesto di un contemporaneo processo di integrazione e liberalizzazione dei mercati energetici. Un decennio durante il quale l'Europa ha assunto la difficile leadership delle politiche per la lotta al cambiamento climatico; il Protocollo di Kyoto è anch'esso del 1997, ed ha portato a compimento l'ambizioso percorso di allargamento dell'Unione Europea.

Le politiche per il clima e quelle per l'energia si sono sempre più avvicinate sino a comprendersi vicendevolmente. Il terzo pacchetto europeo "*Energising Europe: A real market with secure supply*" adottato dalla Commissione il 19 settembre 2007 ed il pacchetto per il clima presentato dalla Commissione il 23 gennaio 2008, approvato dal Parlamento Europeo nel dicembre 2008, rappresentano delle tappe inequivocabili del percorso dell'Unione Europea per costruire un mercato energetico unico nell'ottica della sostenibilità (ENEA, 2010).

L'*ONU-Energy* ha evidenziato la necessità di definire i seguenti indicatori internazionali di sostenibilità riguardo alle bioenergie: povertà, sviluppo agro-industriale, salute, agricoltura, sicurezza alimentare, finanziamenti, commercio, biodiversità e cambiamenti climatici (UN-Energy, 2007).

I temi di sicurezza degli approvvigionamenti, apertura dei mercati, promozione dell'efficienza energetica, sviluppo delle rinnovabili, lotta ai cambiamenti climatici fanno parte oggi di un approccio integrato al problema energetico ed ambientale.

Il sistema energetico adottato nell'Unione Europea è sufficientemente chiaro: progressione della liberalizzazione dei mercati energetici e sempre maggiore integrazione tra i Paesi membri dell'Unione nell'ottica di un mercato energetico comunitario sempre più

regolato da obiettivi ambientali. La regolazione del settore delle energie rinnovabili è uno dei principali pilastri della politica energetica europea. La Direttiva 77/2001, ancora oggi il più forte strumento legislativo a favore dello sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili nel contesto globale, è stata sostituita da un nuovo testo ancora più significativo (ENEA, 2010).

La Direttiva 2009/28/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 aprile 2009, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE, mira ad istituire un quadro comune per la produzione e la promozione di energia a partire da fonti rinnovabili. Per ciascuno Stato membro è stato fissato un obiettivo per la quota di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo di energia entro il 2020. Tale obiettivo è coerente con l'obiettivo globale «20-20-20» della Comunità.

L'Unione Europea si impegna a ridurre in modo indipendente del 20% le proprie emissioni di gas serra entro il 2020, a realizzare almeno il 20% di consumo di energia con fonti rinnovabili e quello di biocarburanti al 10% del totale sempre entro il 2020, ad aumentare del 20% l'efficienza energetica, sempre entro tale data (Consiglio della Comunità Europea, 2007).

Prospettive future

L'accelerato mutamento che negli ultimi anni ha caratterizzato la domanda mondiale di fonti energetiche, con una sempre maggiore preminenza di quelle rinnovabili, si pone alla base di un'importante fase di riconversione tecnologica dei sistemi industriali. La capacità dei diversi Paesi di dare vita ad un nuovo modello di consumo energetico appare in particolare collegata allo sviluppo competitivo delle nuove tecnologie in gioco così da soddisfare non solo i “vincoli” imposti dalla sicurezza energetica e dalla salvaguardia ambientale, ma anche quelli di natura economica e sociale che condizionano i processi di crescita.

L'Europa, che vanta nel complesso una solida leadership tecnologica nell'ambito delle fonti energetiche rinnovabili, giocando sulla forza e sulla dinamicità del proprio mercato interno punta a recuperare almeno parzialmente anche la despecializzazione che la contraddistingue nel fotovoltaico. Tuttavia, questo processo non appare coinvolgere omogeneamente tutti i Paesi dell'Unione, concentrandosi per lo più nel nucleo

fondamentale dei primi quindici Paesi componenti e, fra questi, spesso in quei Paesi che hanno già saputo maturare una propria leadership tecnologica negli altri settori delle fonti energetiche rinnovabili (ENEA, 2010).

Nonostante gli effetti positivi sull'ambiente e lo sviluppo di nuove tecnologie, le fonti rinnovabili trovano alcuni ostacoli alla loro diffusione che potrebbero rallentare la crescita nel lungo periodo come ad esempio i costi relativamente elevati per alcune tecnologie, in assenza di finanziamenti, la ricerca relativamente limitata fino a poco tempo fa, la mancanza di manodopera qualificata, lo scetticismo nel settore energetico circa la redditività delle energie rinnovabili e la crescente preoccupazione per la competizione delle colture energetiche con le colture a scopo alimentare. L'elevato livello della domanda di bioenergie indotto dalla politica determinerà in futuro un aumento della competizione tra produzioni alimentari e energetiche per l'utilizzo di materie prime agricole. Uno studio condotto dalla Commissione Europea prevede che la domanda di biocarburanti nell'Unione Europea in seguito alla direttiva sui biocarburanti (lotta per il 5.75 di biocarburanti nel 2010) non può essere soddisfatta interamente dall'approvvigionamento interno. Di conseguenza, sarà necessario rivolgersi al mercato esterno con conseguente incremento della superficie destinata alla produzione di biomassa nei paesi esportatori, in seguito alla conversione delle foreste pluviali e tropicali in terre arabili. Nel mondo in via di sviluppo dove le terre arabili sono scarse, abbiamo già testimonianza degli effetti negativi a livello sociale ed economico che derivano dalla competizione tra produzioni alimentari ed energetiche da biomasse che si traduce in prezzi proibitivi per gli alimenti. Un esempio può essere quello della cosiddetta "crisi della tortilla": nel gennaio 2007 a Città del Messico, più di 120000 persone hanno protestato contro gli aumenti massicci del prezzo del mais bianco e sui derivati, che sono aumentati del 700% a partire dal 1994. Altro esempio può essere osservato negli Stati Uniti, dove la decisione di ridurre del 20% il consumo di benzina nei prossimi dieci anni, ha determinato un incremento del 15% della superficie destinata a mais per la produzione di etanolo. A causa della scarsità di terre arabili, ciò ha determinato una riduzione di circa l'11% delle superfici destinate alla soia. Dato che il boom dei biocarburanti determina una riduzione delle produzioni di mais e di soia ad uso alimentare, la conseguenza è un incremento dei prezzi di soia, mais e loro derivati pari al 5-10%. In base a uno studio condotto dall'*European Environment Agency* (EEA) probabilmente il

30% dei terreni agricoli dell'Unione Europea saranno destinati alla coltivazione di colture energetiche nel 2030 (Lenk *et al.*, 2007).

Resch *et al.* (2008) hanno condotto uno studio sulle potenzialità delle fonti energetiche rinnovabili e sulle prospettive a lungo termine a livello globale mediante valutazioni specifiche sulla disponibilità delle risorse, sui limiti del sistema energetico globale e sul relativo quadro di politica energetica prendendo in considerazione i principali paesi industrializzati e le economie emergenti, vale a dire Stati Uniti, Giappone, UE-27, Brasile, Russia, Cina e India. Da un punto di vista teorico le fonti energetiche rinnovabili potrebbero contribuire a rispondere a più di 300.000 volte l'attuale domanda globale di energia primaria su scala globale considerando vincoli tecnici il potenziale rimane 16 volte superiore alle esigenze attuali.

Il potenziale delle colture energetiche da biomassa dipende dalla superficie disponibile, dalla resa alla raccolta, dal contenuto energetico e dall'efficienza di conversione. Teoricamente il potenziale della biomassa è di circa 2900 EJ che corrisponde a circa sei volte l'attuale consumo lordo di energia. In particolare il potenziale tecnico delle colture energetiche è difficile da stimare in quanto i modelli di uso del suolo hanno un carattere molto dinamico e per la competizione tra le colture per usi diversi, alimentare o energetico. In base a studi condotti sulla capacità di uso del suolo è stato stimato che i terreni disponibili per piantagioni tropicali varia tra 580 e 620 milioni di ha. Le stime del potenziale tecnico delle bioenergie è probabilmente superiore a 250 EJ che corrisponde a poco più del 50% dell'attuale domanda lorda (Resch *et al.*, 2008).

Secondo *International Energy Agency* (IEA) il 28.7% dell'elettricità totale sarà prodotta utilizzando fonti rinnovabili entro il 2030 a livello mondiale, che corrisponde a un aumento del 10% rispetto ai livelli del 2005 (IEA, 2007).

Bibliografia

- Abbasi, T., Abbasi, S.A. 2010. Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14:919–937.
- AEBIOM – European Biomass Association, 2009. Biomass to bioenergy. <http://www.aebiom.org/?cat=20>.

- Braccio, G., Barisano, D., De Bari, I., Fanelli, E., Zimbardi, F. 2009. Biocarburanti di seconda generazione: tecnologie utilizzabili e prospettive. In: Ranalli, P. Le piante industriali per un'agricoltura multifunzionale. pp 267 – 292.
- Carlsson, A.S. 2009. Plant oils as feedstock alternatives to petroleum: A short survey of potential oil crop platforms. *Biochimie* 91:665–670.
- Cherubini, F. 2010. The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management* 51:1412–1421.
- Commissione della Comunità Europea, 2009. COM(2009) 192 final COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE COUNCIL AND THE EUROPEAN PARLIAMENT The Renewable Energy Progress Report: Commission Report in accordance with Article 3 of Directive 2001/77/EC, Article 4(2) of Directive 2003/30/EC and on the implementation of the EU Biomass Action Plan, COM(2005)628.
- Consiglio della Comunità Europea, 2007. Atti del Consiglio Europeo di Bruxelles 8-9 marzo 2007.
- Dalla Marta, A., Mancini, M., Ferrise, R., Bindi, M., Orlandini, S. 2010. Energy crops for biofuel production: Analysis of the potential in Tuscany. *Biomass and Bioenergy* 34:1041–1052.
- De Bari, I., Cuna, D., Braccio, G. 2006. Produzione di bio – etanolo da biomasse residuali di tipo lignocellulosico: stato dell'arte di tecnologie e processi. In Atti del Workshop: L'agricoltura per l'energia rinnovabile: I futuri scenari. 23-24 novembre Potenza. pag 47 - 54
- De Wit, M., Faaij, A. 2010. European biomass resource potential and costs. *Biomass and Bioenergy* 34:188–202.
- Di Candilo, M., Ceotto, E., Barbanti, L., Fazio, S., Monti, A., Venturi, G. 2009. le colture ligno – cellulosiche per la produzione di biomassa da energia. In: Ranalli, P. Le piante industriali per un'agricoltura multifunzionale. pp 199 – 241.
- Doukas, H., Mannsbarta, W., Patlitzianas, K.D., Psarras, J., Ragwitz, M., Schlomann, B. 2007. A methodology for validating the renewable energy data in EU. *Renewable Energy* 32:1981–1998.

- ENEA, 2006. Dossier ENEA: Le tecnologie per i biocombustibili e i biocarburanti: opportunità e prospettive per l'Italia a cura di Vito Pignatelli. Workshop Enea per l'agroindustria e i biocombustibili 25 maggio 2006.
- ENEA, 2009. Rapporto Energia e Ambiente 2008: Analisi e scenari.
- ENEA, 2010. Le fonti rinnovabili 2010: Ricerca e innovazione per un futuro *low-carbon*.
- EUROSTAT, 2009. Panorama of energy: Energy statistics to support EU policies and solutions.
- EWEA – European Wind Energy Association, 2009. Pure Power Wind energy targets for 2020 and 2030.
- Fiorese, G., Gatto, M., Guariso, G. 2005. Utilizzo delle biomasse a scopo energetico: un'applicazione alla Provincia di Cremona. *L'Energia Elettrica* 82:1–8.
- Fischer, G., Prieler, S., Harrij van Velthuisen, H., Berndes, G., Faaij, A., Londo, M., de Wit, M. 2010. Biofuel production potentials in Europe: Sustainable use of cultivated land and pastures, Part II: Land use scenarios. *Biomass and Bioenergy* 34:173–187.
- IEA bioenergy Task 42 on biorefineries: co-production of fuels, chemicals, power and materials from biomass. In: Minutes of the third Task meeting, Copenhagen, Denmark, 25–26 March 2007 <<http://www.biorefinery.nl/ieabioenergy-task42/>>; 2008.)
- IEA - International Energy Agency. 2007b. Renewables in Global Energy Supply. An IEA Factsheet. International Energy Agency, Paris (FR).
- Kaygusuz, K. 2010. Sustainable energy, environmental and agricultural policies in Turkey. *Energy Conversion and Management* 51:1075–1084.
- Kumar, A., Kumar, K., Kaushik, N., Sharma S., Misra, S. 2010. Renewable energy in India: Current status and future potentials. *Renew. Sustain. Energy Rev.* doi:10.1016/j.rser.2010.04.003.
- Lenk, F., Bröring, S., Herzog P., Leker, J. 2007. On the usage of agricultural raw materials–energy or food? An assessment from an economics perspective. *Biotechnology Journal* 2:1497–1504.
- Mata, T.M., Martins, A.A., Caetano, N.S. 2010. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14: 217–232.

- Perniola, M., De Franchi, A.S., Lovelli, S., Todaro, L. 2006. Conversione energetica delle biomasse e filiere bioenergetiche: prospettive di sviluppo. In Atti del Workshop L'agricoltura per l'energia rinnovabile: I futuri scenari. 23–24 novembre Potenza. pp 7-14.
- Piccinini, S., Fabbri, C., Bonazzi, G., Sequi, P., Trinchera, A., Rea, E. 2009. Recupero di residui agroindustriali e urbani per la produzione di biogas. . In Ranalli. P. Le piante industriali per un'agricoltura multifunzionale. pp 293 – 324.
- Ragazzoni, A., Regazzi, D. 2006. Gli effetti della riforma della PAC del 2003 per le colture a scopo energetico: prospettive e limiti. . In: Atti del Workshop L'agricoltura per l'energia rinnovabile: I futuri scenari. 23-24 novembre Potenza. pp 23-30.
- Redaelli, R., Lorenzoni, C., Motto, M. 2009 Miglioramento delle colture da amido e derivati per la produzione di biocarburanti. In: Ranalli. P. Le piante industriali per un'agricoltura multifunzionale. pp 157-182
- REN21, 2010. *Renewables 2010 Global Status Report* (Paris: REN21 Secretariat). Copyright © 2010 Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.
- Resch, G., Held, A., Faber, T., Panzer, C., Toro, F., Haas, R. 2008. Potentials and prospects for renewable energies at global scale. *Energy Policy* 36:4048–4056.
- UN-Energy. 2007. Sustainable Bioenergy: a framework for decision makers.
- Yuan, J. S., Tiller, K. H., Al-Ahmad, H., Stewart, N. R., Stewart Jr, C. N. 2008. Plants to power: bioenergy to fuel the Future Trends. *Plant Science*. 13:421-429
- Zeng-Hui, L., Hong-Bo, S. 2010. Comments: Main developments and trends of international energy plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14:530–534.

CAPITOLO 2

VALUTAZIONE AGRONOMICA DI COLZA E CARINATA IN SISTEMI COLTURALI MEDITERRANEI

Introduzione

L'incremento della domanda mondiale di energia, le esigenze di tutela ambientale e la forte dipendenza energetica dei paesi industrializzati nei confronti delle nazioni produttrici di petrolio, hanno portato a mettere in atto politiche tendenti ad uno sviluppo più sostenibile e quindi meno dipendente dai combustibili fossili (AIE, 2005). Una possibile alternativa ai carburanti liquidi è rappresentata dalla produzione di biodiesel da colture oleaginose. Queste, oltre a rappresentare una nuova opzione energetica, possono anche essere un modo per valorizzare le aree marginali (Cosentino *et al.*, 2007).

Nonostante le difficoltà legate agli elevati costi di produzione del biodiesel, nell'UE e negli Stati Uniti sono in corso numerose attività di ricerca e progetti dimostrativi per sostenere e dimostrare l'utilizzo degli oli vegetali e loro derivati come combustibili diesel (Cardone *et al.*, 2003).

In particolare negli ultimi decenni, i maggiori sforzi nella ricerca e nell'utilizzo delle colture energetiche per la produzione di elettricità e calore sono stati fatti nei paesi dell'Europa occidentale e centrale mentre nell'Europa meridionale l'introduzione delle colture energetiche nei sistemi colturali è più lenta (Gasol *et al.*, 2007).

Nelle aree mediterranee dell'Europa le principali specie coltivate in condizioni di regime asciutto sono i cereali autunno – vernini come il frumento duro, il frumento tenero e l'orzo. Il basso prezzo dei cereali, la necessità di aumentare la biodiversità e il mantenimento della sostenibilità dei sistemi agricoli sono tutti fattori che hanno aumentato l'interesse per la rotazione delle colture e l'impiego di colture oleaginose a ciclo autunno - vernino (Koutroubas *et al.*, 2004).

Il colza (*Brassica napus* var. *oleifera*) appartiene alla famiglia delle *Brassicaceae* è la specie oleaginosa più importante in Europa e rappresenta una delle più importanti fonti di olio vegetale nel mondo collocandosi al terzo posto dopo la soia e la palma da olio (Istanbulluoglu *et al.*, 2010; Tesfamariam *et al.*, 2010; Unal *et al.*, 2009).

A livello mondiale la superficie coltivata a colza è aumentata da poco più di 7 milioni di ettari nel 1965 a quasi 27 milioni di ettari nel 2005. Questo incremento

rappresenta un raddoppio della superficie coltivata ogni 20 anni. Nel 2005, il maggior incremento percentuale della superficie mondiale coltivata a colza è stato registrato in Cina (27%), seguita da India (25%), Canada (19%), Europa (16%) e Australia (4%). Dal 1995, i maggiori incrementi proporzionali si sono avuti in Australia e in Europa. (Berry e Spink, 2006).

Nell'Europa occidentale vengono coltivate principalmente le forme invernali, con semina a fine estate, che richiedono il soddisfacimento di un periodo a basse temperature affinché avvenga l'induzione a fiore, mentre le cultivar primaverili che non necessitano di vernalizzazione vengono seminate a fine inverno e predominano nelle latitudini settentrionali (Europa orientale, Canada, Asia) e in Australia (Nesi *et al.*, 2008).

Rappresenta un'eccellente coltura da inserire in rotazione costituendo una valida alternativa all'omosuccessione del frumento in quanto determina un miglioramento della struttura del terreno, interrompe il ciclo di varie malattie come la fusariosi e i marciumi vari e facilita la lotta contro le infestanti. Cresce bene nelle zone che ricevono più di 300 mm di pioggia, su terreni ben drenati, con un buon potenziale per la coltivazione del frumento (Tefamariam *et al.*, 2010).

I componenti principali sono olio, acqua, proteine e fibre. Tra le componenti minori si ricordano acidi grassi liberi, fosfatidi, enzimi (in particolare le mirosinasi) e i glucosinolati. Il contenuto di acido erucico è importante per la qualità dell'olio e per l'utilizzo industriale, mentre il contenuto di glucosinolati è un parametro importante per valutare le farine di estrazione da destinare all'alimentazione del bestiame.

“Colza” viene spesso utilizzato come termine generico per descrivere diverse specie che sono molto vicine in apparenza, ma spesso molto differenti nell'origine botanica o nella loro composizione chimica. I nomi comunemente utilizzati per le diverse specie dipendono dal paese (Unal *et al.*, 2009).

Con il termine canola ci si riferisce alle varietà di colza che sono caratterizzate da un basso contenuto di acido erucico e glucosinolati. L'acido erucico è composto da una lunga catena di acidi grassi monoinsaturi, che provoca un accumulo di trigliceridi nel cuore con conseguenti malformazioni cardiache. L'olio di colza tradizionale contiene 20-55% di acido erucico e pertanto non è considerato idoneo per il consumo umano mentre l'olio ottenuto dalle nuove varietà ha un contenuto di acido erucico inferiore al 2%.

I glucosinolati sono responsabili dell'odore e del sapore pungente e non sono direttamente responsabili della tossicità, ma quando vengono idrolizzati dalla pianta o dalla mirosinasi batterica si ha la produzione di composti potenzialmente tossici come gli isotiocianati e i nitrili. Negli animali i principali effetti dei glucosinolati sono stati osservati a carico della tiroide, delle ghiandole surrenali, del fegato e dei reni (Iqbal *et al.*, 2008).

I semi hanno un contenuto in olio pari al 40-42%. Dopo la disoleazione rimane la farina di estrazione che ha un contenuto proteico del 43.6% (pari al 95% del valore biologico della farina di soia), ricca in lisina e con aminoacidi ben equilibrati, prodotto adatto all'alimentazione zootecnica (Iqbal *et al.*, 2008; Toniolo 1992). Questo impiego è limitato alle farine ottenute dalle varietà a doppio basso o doppio zero (assenza di acido erucico e basso tenore in glucosinolati).

Recentemente altre specie oleaginose appartenenti al genere *Brassica* e *Crambe* come *Brassica juncea*, *Brassica carinata* (in particolare) e *Crambe abyssinica* sono oggetto di crescente interesse per la migliore adattabilità a condizioni sub – ottimali rispetto al colza e per la qualità dell'olio (Cardone *et al.*, 2003).

Brassica carinata è una specie erbacea annuale derivata dall'ibridazione interspecifica e successivo sviluppo allelotetraploide di *Brassica nigra* e *Brassica oleracea*. Originaria dell'Africa orientale (altipiani etiopici) veniva utilizzata dalle popolazioni indigene per uso alimentare. L'interesse suscitato da questa specie è dovuto al miglior adattamento e performance produttive rispetto a *Brassica napus* in condizioni ambientali sfavorevoli, scarse precipitazioni e elevate temperature, durante la fase di riempimento della granella. La migliore adattabilità e produttività di *Brassica carinata* rispetto a *Brassica napus* negli ambienti a clima temperato e semi-arido fa di questa specie una valida alternativa negli ambienti in cui *Brassica napus* non riesce a raggiungere al meglio il suo potenziale produttivo come le aree a clima mediterraneo e le zone costiere del centro e sud Italia (Bouaid *et al.*, 2009; Bouaid *et al.*, 2005; Gasol *et al.*, 2005; Nabloussil *et al.*, 2008).

L'interesse per questa specie è andato crescendo anche in relazione alla particolare composizione acidica del suo olio di estrazione ricco di acido erucico e linoleico che lo renderebbero particolarmente indicato per usi industriali. L'elevato contenuto di glucosinolati nelle farine di estrazione potrebbe inoltre consentirne un'ulteriore utilizzazione industriale per la produzione di “bio-polimeri” (Mazzoncini *et al.*, 1998).

Con lo sviluppo delle bioenergie, negli ultimi anni il colza sembra aver ridestato nuovo interesse negli operatori del mondo agricolo sia per i risvolti ambientali, sia per quelli economici, facendo riscontrare nel nostro Paese un rilevante incremento percentuale della superficie investita, anche se modesto in termini assoluti rispetto ad altri Paesi.

Se nel corso dei primi anni del duemila il riallineamento degli aiuti ai semi oleaginosi e la nuova politica del disaccoppiamento hanno drasticamente ridimensionato, riducendo significativamente gli effetti meramente speculativi a esso associati, gli investimenti a colza nel nostro Paese, portando fino al limite minimo di circa 3000 ha la superficie nazionale dedicata alla coltura, nell'ultimo triennio si è assistito a un'apprezzabile ripresa degli investimenti.

A tal proposito hanno giocato un ruolo determinante il sensibile calo dei prezzi dei cereali e la drastica riduzione della produzione bieticola nazionale a seguito della riforma dell'OCM zucchero, che ha comportato la necessità di riconversione delle superfici destinate alla chenopodiacea, processo già in atto a causa del sopra ricordato effetto della modifica degli aiuti comunitari e delle relative convenienze legate al disaccoppiamento, che hanno collocato gli agricoltori in un contesto di assoluta incertezza (Del Gatto *et al.*, 2009).

Un'attenta valutazione delle diverse specie utilizzabili per la produzione di oli vegetali costituisce, almeno nella fase iniziale, il punto fondamentale per una ricerca che si pone l'obiettivo di verificarne le potenzialità produttive in ambiente mediterraneo. La grande variabilità delle condizioni pedoclimatiche inoltre, rende necessario individuare le varietà più adatte ai principali areali suscettibili di coltivazione. Gli studi già effettuati in passato (inizio anni '90) hanno riguardato fondamentalmente il colza con risultati mutevoli in funzione delle varietà coltivate. Durante tali esperienze è emersa la necessità di selezionare fra i diversi materiali disponibili. Occorre sottolineare come il panorama varietale disponibile in Europa sia piuttosto ampio: nel Catalogo comune delle varietà delle specie agricole sono presenti ben 540 varietà fra linee pure (la maggioranza) e forme ibride, di cui registrate in Italia sono circa 150.

La sostenibilità della coltura del colza in ambiente meridionale, alla luce della riduzione del sostegno comunitario, si può fondare su livelli produttivi elevati ottenibili solo attraverso una più aggiornata scelta varietale e una revisione degli areali più idonei alla coltivazione (De Mastro *et al.*, 2000).

L'obiettivo di questo studio è stato quello di valutare l'adattamento ambientale e le potenzialità produttive di diverse varietà di colza e carinata nei sistemi colturali mediterranei.

La sperimentazione si inserisce nell'ambito di un progetto di ricerca triennale che nasce dalla convenzione tra la società Biopower Sardegna ed il Dipartimento di Scienze Agronomiche e Genetica Vegetale Agraria dell'Università degli Studi di Sassari, e si sviluppa in sinergia con il progetto nazionale "Bioenergie".

Biopower Sardegna è una società controllata da Ottana Energia che ha provveduto alla riconversione della centrale elettrica di Ottana (Nu) a olio vegetale con l'installazione di due generatori da 17 MW ciascuno, con l'intenzione di sviluppare una filiera locale di produzione di olio vegetale che copra anche solo parzialmente i fabbisogni del nuovo impianto (60.000 t anno⁻¹ di olio vegetale).

Per una efficiente utilizzazione delle colture da biomassa è necessario valorizzare le produzioni localmente e quindi integrare le filiere produttive nello specifico ambiente e contesto territoriale, in termini di risorse bio-fisiche, agronomiche e socio-economiche (Faaij, 2006).

Il coinvolgimento ufficiale di partner industriali in un progetto di ricerca del settore agricolo potrebbe finalmente costituire un elemento di concreta valutazione delle effettive possibilità di collocazione delle materie prime vegetali nei diversi settori industriali, consentendo l'avvio di processi produttivi agricoli garantiti da un sicuro sbocco mercantile (De Mastro e Maniolo, 2001).

Materiali e metodi

Nel triennio 2007-2009 è stata condotta una prova di confronto varietale di *Brassica napus* var. *oleifera* e *Brassica carinata* impostata a scala parcellare (esperimento 1) e in pieno campo (esperimento 2) al fine di valutare anche in questa condizione l'entità delle risposte produttive del materiale vegetale posto a confronto. Le due prove devono essere considerate complementari, in quanto alla scala parcellare è stato possibile confrontare un elevato numero di varietà, mentre alla scala di campo sono state confrontate solo le varietà più promettenti in accordo con le informazioni già disponibili alla fase di impostazione della prova

Descrizione del sito sperimentale e trattamenti

Esperimento 1

La prova a scala parcellare è stata condotta a Ottava (81 m s.l.m., latitudine 40° 46' N e longitudine di 8° 29' E) presso il campo sperimentale “Mauro Deidda” dell’Università di Sassari. I terreni più comuni della zona sono classificati come Lithic Xerorthents (USDA Soil Taxonomy); il sito è caratterizzato da un clima tipicamente mediterraneo con precipitazioni medie annue di oltre 50 anni (1958-2008) di 538 mm (Figura 1) concentrate principalmente nei mesi di ottobre, novembre e dicembre. L’uso del suolo più comune sono cereali, colture foraggere e macchia mediterranea.

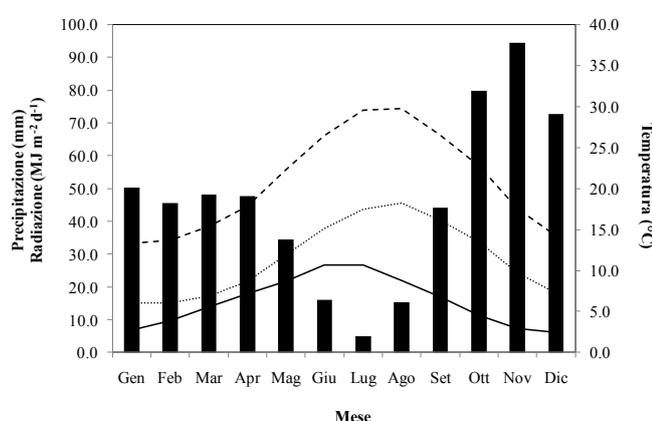


Figura 1 Radiazione solare mensile (—), temperatura massima (-----) e minima (.....) e precipitazione (barre) relative al sito di Ottava secondo la serie storica a partire dal 1958

Per la determinazione delle caratteristiche chimico-fisiche del suolo del sito sperimentale sono stati prelevati, prima della semina, dei campioni di terreno a due differenti profondità (0-15 cm e 15-30 cm). In tabella 1 sono riportati i range delle principali proprietà fisico-chimiche dei suoli.

Tabella 1
Proprietà fisico-chimiche del suolo nel sito sperimentale di Ottava

Profondità (cm)	Argilla (%)	Limo (%)	pH	Densità apparente (g m ⁻³)	Capacità di campo (cm ³ cm ⁻³)	Punto di appassimento (cm ³ cm ⁻³)	Capacità idrica massima (cm ³ cm ⁻³)	Carbonio organico (%)
Ottava								
0-15	23.0	7.1	8.32	1.44	0.27	0.17	0.42	1.28
15-30	12.8	18.6	8.35	1.45	0.25	0.15	0.42	1.16

I principali dati meteorologici, temperatura massima e minima giornaliera, piovosità e radiazione solare (Tabella 2), sono stati registrati in loco da una stazione agrometeorologica dell’Agenzia della Regione Sardegna per la Protezione Ambientale (ARPAS).

Nel 2007 – 2008 e nel 2009 – 2010 la semina è stata eseguita nella prima settimana di novembre mentre nel 2008 – 2009 è stata effettuata nell'ultima settimana di febbraio a causa delle insistenti precipitazioni che hanno caratterizzato i mesi autunnali e gran parte di quelli invernali. In tabella 3 sono riportate le caratteristiche agronomiche della prova.

Tabella 2

Temperature (°C), radiazione solare (MJ m⁻²) e precipitazione totale (mm) relative al ciclo di crescita della coltura nel sito di Ottava

	Mese								
	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio
2007 – 2008									
Temperatura max	15.0	12.6	13.5	13.1	13.7	17.7	21.6	24.4	31.1
Temperatura min	8.5	6.1	6.2	4.4	6.7	8.4	12.1	15.1	15.1
Radiazione solare	2.2	2.5	4.0	8.2	11.7	18.0	17.5	21.0	24.7
Precipitazione	42.6	78.0	86.6	29.0	87.0	20.6	120.4	17.2	0.4
2009									
Temperatura max	—	—	—	14.6	14.6	17.8	24.7	26.8	27.9
Temperatura min	—	—	—	3.7	6.2	9.5	11.7	16.0	17.4
Radiazione solare	—	—	—	10.2	9.6	11.8	21.5	19.4	19.0
Precipitazione	—	—	—	0.4	60.6	63.8	15.8	45.6	0.0
2009 – 2010									
Temperatura max	18.8	14.6	12.2	13.8	14.8	17.8	19.5	24.1	28.7
Temperatura min	9.1	9.1	6.2	6.7	7.3	9.3	12.2	15.3	18.2
Radiazione solare	8.0	6.3	2.7	3.4	4.9	8.5	12.0	11.4	15.5
Precipitazione	19.0	123.8	96.0	43.0	48.6	40.8	103.2	72.2	0.0

Tabella 3

Principali informazioni relative alla conduzione della prova nel sito di Ottava

Località	Ottava (SS)
Coltura precedente	Cereali autunno – vernini
Lavori preparatori	Aratura (25 cm); 2 erpicature (15 cm)
Interfila	17 cm
Dose di seme	120 semi m ⁻² (colza); 150 semi m ⁻² (carinata)
Concimazione alla semina	36 U N ha ⁻¹ , 92 U P ha ⁻¹
Concimazione copertura	92 U N ha ⁻¹
Area parcellare	12 m ²
Disegno sperimentale	Blocchi randomizzati con quattro repliche

Nel corso dei tre anni di prova il materiale vegetale posto a confronto ha subito alcune modifiche in base ai risultati ottenuti negli anni precedenti e alla costituzione di nuove varietà promettenti in ambiente mediterraneo (Tabella 4).

Tabella 4
Materiali vegetali a confronto nei tre anni di prova nel sito di Ottava

Ditta distributrice	Specie	Tipologia	Varietà	Anno		
				2007 – 2008	2008 – 2009	2009 – 2010
D.S.P.V. Univ. Bari	Carinata	Accessione	Brk35	X	X	X
D.S.P.V. Univ. Bari	Carinata	Accessione	Linea194252	X	X	X
ISCI-Cerealtoscana	Carinata	Accessione	CT180	—	X	X
ISCI-Cerealtoscana	Carinata	Accessione	CT204	X	X	X
ISCI-Cerealtoscana	Carinata	Accessione	CT207	X	X	X
ISCI-Cerealtoscana	Carinata	Accessione	Isci7	X	X	X
ISCI-Osimo (An)	Carinata	Accessione	Brk29xPrSara	X	X	X
ISCI-Osimo (An)	Carinata	Accessione	P58xPrLorella	X	—	—
Syngenta	Carinata	Accessione	Carina	X	X	—
Agris Sardegna	Carinata	Accessione	Brk147	X	X	X
Pro.Se.Me.	Carinata	Accessione	Sincron	X	X	X
Pro.Se.Me	Carinata	Accessione	Serena	—	—	X
Pioneer	Colza	Ibrido	PR46W31	X	X	X
Pioneer	Colza	Ibrido	PR46W14	X	X	X
Pioneer	Colza	Ibrido	PR46W10	X	X	X
Società Italiana Sementi	Colza	Ibrido	Avenir	X	—	—
Società Italiana Sementi	Colza	Ibrido	Licolly	—	X	X
Società Italiana Sementi	Colza	Ibrido	Pulsar	—	X	X
Società Italiana Sementi	Colza	Ibrido	Tissot	—	—	X
Carla Import Sementi	Colza	Ibrido	Astrada	X	—	—
Carla Import Sementi	Colza	Ibrido	Vectra	X	X	X
Carla Import Sementi	Colza	Ibrido	Hercules	—	X	X
Serasem	Colza	Linea	Lewis	X	X	X
Serasem	Colza	Linea	Sun	X	X	X
Koipesol	Colza	Linea	Kabel	X	X	X
NK Syngenta	Colza	Linea	Grace	X	X	—
Koipesol	Colza	Linea	Recital	X	X	—
Padana Sementi Elette	Colza	Linea	Shakira	X	—	—
Padana Sementi Elette	Colza	Linea	Verona	X	—	—
Moretti Cereali	Colza	Ibrido	Hybristar	—	X	X
Moretti Cereali	Colza	Ibrido	Hybrigold	—	X	—
Dekalb – Monsanto	Colza	Linea	Catalina	X	—	—
Dekalb – Monsanto	Colza	Ibrido	Excalibur	—	—	X
Dekalb – Agroqualità	Colza	Ibrido	Exagone	—	—	X

Esperimento 2

La prova in pieno campo è stata condotta presso aziende private ad Ottana (187 m s.l.m., latitudine 39° 25' N e longitudine di 9° 31' E).

I terreni dell'area di studio sono poco permeabili e classificati come Typic Aquic e Ultic Palexeralf (USDA Soil Taxonomy) e la destinazione di uso suolo più frequente è a pascolo naturale. L'intensificazione colturale della piana di Ottana è limitata dai vincoli ambientali (clima mediterraneo con precipitazioni autunno-primaverili pari a 350-450 mm, estati calde e secche e forti escursioni termiche; figura 2).

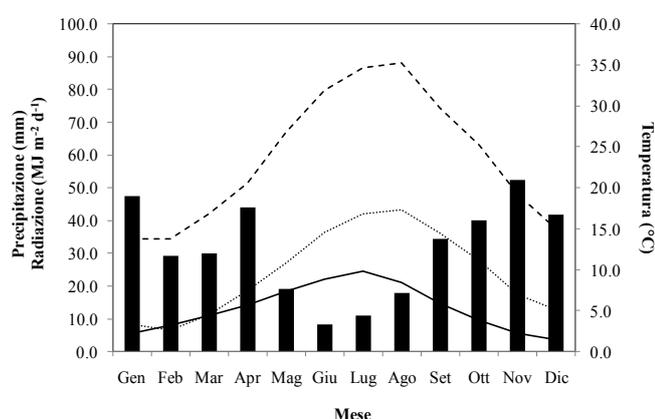


Figura 2 Radiazione solare mensile (—), temperatura massima (-----) e minima (.....) e precipitazione (barre) relative al sito di Ottana, medie relative al periodo 1978 – 2008.

Per la determinazione delle caratteristiche chimico-fisiche del suolo del sito sperimentale sono stati prelevati, prima della semina, dei campioni di terreno a due differenti profondità (0-15 cm e 15-30 cm). In tabella 5 sono riportati i range delle principali proprietà fisico-chimiche dei suoli.

Tabella 5
Proprietà fisico-chimiche del suolo nel sito di Ottana

Profondità (cm)	Argilla (%)	Limo (%)	pH	Densità apparente (g m ⁻³)	Capacità di campo (cm ³ cm ⁻³)	Punto di appassimento (cm ³ cm ⁻³)	Capacità idrica massima (cm ³ cm ⁻³)	Carbonio organico (%)
Ottana								
0-15	18.4	11.0	6.29	1.47	0.26	0.17	0.41	1.16
15-30	21.1	10.7	6.48	1.49	0.25	0.17	0.40	0.98

I principali dati meteorologici, temperatura massima e minima giornaliera, piovosità e radiazione solare (Tabella 6), sono stati registrati da una stazione meteorologica (ARPAS) distante pochi chilometri dal sito sperimentale.

Tabella 6

Temperature (°C), radiazione solare (MJ m⁻²) e precipitazione totale (mm) relative al ciclo di crescita della coltura nel sito di Ottana

	Mese								
	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio
2007 – 2008									
Temperatura max	17.1	14.5	15.4	16.2	17.3	21.1	26.0	31.8	39.5
Temperatura min	7.0	3.9	3.1	1.2	5.5	6.6	11.2	14.2	17.0
Radiazione solare	5.1	3.5	6.3	9.2	11.6	16.5	16.5	21.0	24.1
Precipitazione	54.8	48.6	46.0	17.6	83.6	51.6	79.8	32.0	1.8

Nel 2007 – 2008 e nel 2009 – 2010 la semina è stata effettuata nella prima settimana di novembre, nel 2008 – 2009 non è stato possibile effettuare la semina a causa delle insistenti precipitazioni che hanno reso i campi impraticabili impedendo l'ingresso delle macchine operatrici per le lavorazioni preparatorie del terreno per la semina. Nell'annata 2009 – 2010 il perdurare di condizioni meteo avverse, che hanno preceduto e seguito la semina non ha consentito una sufficiente emergenza delle plantule, tale da assicurare una densità adeguata della coltura, pertanto la prova non è stata presa in considerazione.

La sperimentazione condotta in pieno campo ha previsto il confronto tra quattro varietà di colza (Kabel, PR46W10, PR46W14, PR46W31) e due di carinata (Isci7 e Brk147) comuni alla prova di confronto varietale condotta nel sito di Ottava e, in accordo con preliminari informazioni già disponibili, considerate promettenti in ambiente mediterraneo.

In tabella 7 sono riportate le principali informazioni relative alla conduzione della prova.

Tabella 7

Principali informazioni relative alla conduzione della prova nel sito di Ottana

Località	Ottana (Nu)
Coltura precedente	Frumento
Lavori preparatori	Aratura (25 cm); 2 erpicature (15 cm)
Interfila	17 cm
Dose di seme	120 semi m ⁻² (colza); 150 semi m ⁻² (carinata)
Concimazione alla semina	36 U N ha ⁻¹ , 92 U P ha ⁻¹
Concimazione copertura	92 U N ha ⁻¹
Area parcellare	600 m ²
Disegno sperimentale	Blocchi randomizzati con quattro repliche

Rilievi fisiologici

I rilievi effettuati durante il ciclo colturale sono stati i medesimi nei due esperimenti.

Sono state monitorate le principali fasi fenologiche utilizzando come riferimento la scala fenologica BBCH (Lancashire *et al.*, 1991): emergenza (09), accrescimento dello stelo (30-39), fioritura (60-69) e maturazione (80-89).

In corrispondenza della piena fioritura (65) è stata misurata l'altezza delle piante.

Quando le piante si trovavano vicine allo stadio di maturazione fisiologica sono stati effettuati due rilievi. Il primo ha previsto il prelievo di dieci piante per unità sperimentale al fine della determinazione dei principali componenti della resa: numero di silique pianta⁻¹, numero di semi siliqua⁻¹, e peso di 1000 semi; nel secondo rilievo sono state individuate delle aree di saggio da 0.5 m² (due per unità sperimentale) allo scopo di determinare la densità della coltura alla raccolta e l'Harvest Index.

Le analisi statistiche sono state condotte utilizzando la procedura GLM del software statistico SAS. La discriminazione tra medie è stata condotta mediante utilizzo del test LSD ($P < 0.05$) (SAS Software, 1999).

Risultati e discussioni

Meteo e fenologia

Esperimento 1

L'andamento termo – pluviometrico relativo alla stagione di crescita della coltura è stato differente nei tre anni di prova.

Le precipitazioni nel periodo considerato sono state di 485 mm nel 2007 – 2008, 232 mm nel 2009 e di 555 mm nel 2009 – 2010.

Nel 2007 – 2008 le precipitazioni sono state concentrate per circa il 43% nel periodo novembre-gennaio. I mesi di febbraio e aprile sono stati caratterizzati da un andamento siccitoso che ha influito negativamente sulla produzione finale, solo tra maggio e giugno è stata registrata una piovosità superiore alla media. Nel 2009 i mesi più piovosi sono stati marzo e aprile, favorevoli per il passaggio dallo stadio vegetativo a quello riproduttivo vista l'epoca di semina ritardata. Le precipitazioni registrate nel 2009 – 2010 sono state superiori rispetto agli altri due anni di prova con piovosità superiore alla media nei mesi maggio e giugno.

L'andamento termico è stato in linea con i valori tipici dell'ambiente di prova; la temperatura non è mai scesa al di sotto di 0 °C. La fase di ripresa dell'attività vegetativa nel 2007 – 2008 e nel 2009 – 2010 è stata caratterizzata da un andamento termico tendenzialmente mite, considerando che le temperature da gennaio a marzo sono risultate in linea con le medie pluriennali, mentre l'attività riproduttiva è stata accompagnata da valori termici inferiori a quelli medi, in particolare nel periodo fine aprile – maggio.

Tabella 8
Caratteristiche fenologiche in *Brassica napus* e *Brassica carinata* (2007 – 2008)

	Intervallo semina-inizio fioritura (gg)	Intervallo semina-fine fioritura (gg)	Intervallo semina-maturazione (gg)
<i>Brassica napus</i>			
Astrada	147	167	228
Avenir	160	186	233
Catalina	146	167	228
Grace	150	171	230
Kabel	113	128	206
Lewis	143	163	220
PR46W10	147	168	228
PR46W14	145	165	228
PR46W31	147	168	228
Recital	147	168	228
Shakira	147	168	228
Sun	148	169	230
Vectra	146	166	226
Verona	149	170	228
<i>Brassica carinata</i>			
Brk147	154	178	235
Brk35	145	170	235
Brk29xPrSara	125	149	214
Carina	147	172	230
CT204	142	167	220
CT207	161	186	234
Isci7	147	172	231
Linea 194252	144	169	220
P58xPrLorella	139	164	220

Nella tabella 8 sono riportate le fasi fenologiche (inizio fioritura, fine fioritura e maturazione fisiologica) espresse in giorni dalla semina, relative all'annata 2007 – 2008, rispettivamente per le varietà di colza e carinata.

Il ciclo colturale in colza ha avuto una durata media di 226 giorni; la varietà più precoce è risultata Kabel (206 giorni), mentre la varietà Avenir, relativamente la più tardiva, è giunta a maturazione dopo 233 giorni. La fioritura è iniziata nella seconda decade di marzo e si è protratta in media per circa ventuno giorni. In particolare la linea Kabel si è rivelata la più precoce (17 marzo) con un anticipo di inizio fioritura di 47 giorni rispetto all'ibrido Avenir che è risultato il più tardivo e con una maggiore durata della fioritura.

Delle dieci accessioni di *Brassica carinata* in prova solo nove hanno portato a termine il ciclo colturale in quanto la cultivar Sincron è stata caratterizzata da severe difficoltà in fase di emergenza. Anche in carinata la durata media del ciclo biologico è stata di 227 giorni; la cultivar più precoce è stata Brk29xPrSara (214 giorni), mentre le cultivar Brk147 e Brk35 sono giunte a maturazione dopo 235 giorni. Relativamente all'intervallo semina – inizio fioritura, colza e carinata sono pervenute alla fioritura quasi in contemporanea a circa 145 giorni dalla semina. Nelle carinata a differenza di quanto osservato in colza, è stata registrata una durata media della fioritura più elevata (25 vs 21).

Tabella 9
Caratteristiche fenologiche in *Brassica napus* e *Brassica carinata* (2009)

	Intervallo semina-inizio fioritura (gg)	Intervallo semina-fine fioritura (gg)	Intervallo semina-maturazione (gg)
<i>Brassica napus</i>			
Kabel	77	83	113
Licolly	77	83	113
<i>Brassica carinata</i>			
Brk147	83	99	146
Brk29xPrSara	83	93	145
Brk35	83	99	146
CT180	83	104	150
CT204	83	104	150
CT207	83	104	146
Isci7	83	99	146
Linea 194252	83	93	140

Nel 2009, a causa della semina ritardata, la durata del ciclo colturale in colza e carinata si è ridotta notevolmente (Tabella 9). Le varietà non alternative di colza non avendo soddisfatto il fabbisogno in freddo, non hanno raggiunto lo stadio di fioritura e sono rimaste allo stadio di rosetta. Delle 14 varietà in prova, solo due (Kabel e Licolly) hanno concluso il ciclo colturale (113 giorni). In carinata non è stata riscontrata tale

problematica tutte le varietà hanno concluso il ciclo colturale, con una durata media di 146 giorni, eccetto la cultivar Sincron che anche nel secondo anno ha manifestato severe difficoltà in fase di emergenza.

Tabella 10
Caratteristiche fenologiche in *Brassica napus* e *Brassica carinata* (2009 – 2010)

	Intervallo semina–inizio fioritura (gg)	Intervallo semina–fine fioritura (gg)	Intervallo semina–maturazione (gg)
<i>Brassica napus</i>			
Exagone	157	191	228
Excalibur	157	189	230
Hercules	157	189	230
Hybristar	157	177	222
Kabel	136	157	215
Lewis	154	191	228
Licolly	142	177	222
PR46W10	157	189	233
PR46W14	164	201	233
PR46W31	157	189	233
Pulsar	157	189	230
Sun	164	184	233
Tissot	157	177	230
Vectra	157	177	222
<i>Brassica carinata</i>			
BRK147	164	191	237
Brk29xPrSara	154	177	209
BRK35	161	189	237
CT180	157	189	215
CT207	161	189	237
ISCI7	157	189	237
Linea194252	157	189	237
Serena	161	189	237
Sincron	147	177	209

In tabella 10 sono riportate le fasi fenologiche relative all'annata 2009-2010. In colza il ciclo colturale ha avuto una durata media di 228 giorni; Kabel si è confermata la cultivar più precoce (215 giorni) mentre le varietà PR46W10, PR46W14, PR46W31 e Sun, relativamente le più tardive, sono giunte a maturazione dopo 233 giorni. La fioritura è iniziata nella terza decade di marzo e si è protratta in media per circa ventinove giorni. La precocità intesa come numero di giorni dall'emergenza alla fioritura è stata osservata oltre che su Kabel (23 marzo), anche sull'ibrido Licolly (29 marzo). L'intervallo medio tra la più precoce (Kabel) e le più tardive (PR46W14 e Sun)

è stato di 28 giorni. Tali differenziazioni si sono attenuate considerando l'intervallo dell'intero ciclo semina – maturazione fisiologica dove le cultivar in prova hanno mostrato uno scarto di 18 giorni.

Delle dieci accessioni di carinata in prova solo nove hanno portato a termine il ciclo colturale; la cultivar CT204 è stata caratterizzata da severe difficoltà in fase di emergenza. La durata media del ciclo biologico è stata di 228 giorni; le cultivar più precoci sono state Brk29xPrSara e Sincron (209 giorni) mentre Brk147, Brk35, CT207, Isci7, Linea194252 e Serena sono giunte a maturazione dopo 237 giorni.

Esperimento 2

Le precipitazioni nel periodo considerato sono state di 414 mm, leggermente inferiori rispetto alla media storica. Precipitazioni superiori alla media sono state registrate nei mesi di marzo e maggio, favorevoli per la fase di allegagione e riempimento del seme delle varietà più tardive. L'andamento termico è stato piuttosto rigido nei mesi invernali con minime che sono scese talvolta al di sotto di 0 °C soprattutto nei mesi di gennaio e febbraio. A partire dalla metà di giugno le temperature sono aumentate considerevolmente fino a valori addirittura superiori ai 40 °C.

Tabella 11
Caratteristiche fenologiche in *Brassica napus* e *Brassica carinata*

	Intervallo semina–inizio fioritura (gg)	Intervallo semina–fine fioritura (gg)	Intervallo semina–maturazione (gg)
<i>Brassica napus</i>			
Kabel	97	143	204
PR46W10	130	168	230
PR46W14	128	166	230
PR46W31	130	168	230
<i>Brassica carinata</i>			
Brk147	140	170	239
Isci7	135	165	237

In tabella 11 sono riportate le fasi fenologiche di colza e carinata relative all'annata 2007-2008 nel sito di Ottana. In colza il ciclo colturale ha avuto una durata media di 224 giorni; la varietà più precoce è risultata Kabel (204 giorni) che ha mostrato tale caratteristica anche nell'intervallo semina-inizio fioritura. La carinata ha mostrato una maggiore tardività in relazione al colza con mediamente 16 giorni di ritardo per la fioritura e 15 per l'intero ciclo.

Il colza ha mostrato una maggiore durata della fioritura rispetto alla carinata, in particolare nella cultivar Kabel, caratterizzata da precocità di inizio fioritura, è stata osservata una durata media di fioritura di 46 giorni a causa delle basse temperature che hanno determinato un rallentamento di questa fase fenologica.

Resa e componenti della resa

Esperimento 1

Mediamente le cultivar di colza in prova nell'annata 2007-2008 hanno evidenziato una certa variabilità nel numero di silique per pianta, mostrando valori compresi tra 158 e 99 (Tabella 12). In particolare il maggior numero di silique per pianta è stato registrato sulla linea Kabel. L'investimento in colza è risultato alquanto variabile per le varie cultivar con valori che hanno variato tra le 69 piante m⁻² osservate su Avenir e le 29 su PR46W31. Il numero di semi per siliqua ha variato tra 20 e 36. In media il peso di 1000 semi è stato di 2.7 g e valori più elevati sono stati osservati sugli ibridi PR46W10, Astrada e PR46W14 (3.33 g, 3.26 g, 3.22 g rispettivamente).

La resa media è stata di 1.6 t ha⁻¹ circa con uno scarto tra le cultivar più produttive (Grace e PR46W10: 2.4 e 2.3 t ha⁻¹ rispettivamente) di 1.2 t ha⁻¹.

La fittezza osservata in *Brassica carinata* alla raccolta ha variato tra le 44 piante m⁻² in Brk147 e le 21 in CT204. I valori contenuti di investimento hanno limitato significativamente la produttività. Ad esempio in Isci7 il più alto valore di silique osservato non è stato in grado di compensare in termini produttivi i bassi valori di densità. Il numero di silique per pianta è variato tra 253 (Isci7) e 119 (Carina). Il numero di silique per pianta è stato mediamente superiore in carinata (176) rispetto al colza.

In media il numero di semi per siliqua è stato di 11 ed in generale si è rivelato un carattere più stabile rispetto a quanto osservato nell'ambito delle varietà di colza poste a confronto con media 26 e con un range tra 20 e 36. Il peso dei 1000 semi è variato sensibilmente tra i 4.93 g di Brk147 e i 2.13 g di P58xLorella. In media la produzione in granella ha variato tra le 1.7 t ha⁻¹ di Brk147 e le 0.7 t ha⁻¹ di Carina e P58xLorella. Nell'ambito delle nove varietà di carinata raccolte solo quattro hanno fatto registrare produzioni inferiori a 1.0 t ha⁻¹, tra cui Brk29xPrSara, Carina, Isci7 e P58xPrLorella.

In tabella 13 sono riportate le medie e l'analisi della varianza dei principali componenti della resa e della produzione in colza e carinata relative all'anno 2009.

Le due cultivar di colza che sono giunte a maturazione hanno mostrato valori dei parametri produttivi abbastanza omogenei. Kabel è risultata più produttiva della cultivar Licolly. Anche in carinata nessuna differenza statisticamente significativa è stata osservata sulle principali componenti della resa, eccetto il peso dei 1000 semi che è variato sensibilmente tra i 4.36 g di Brk29xPrSara e i 2.60 di CT207. In media la produzione in granella ha variato tra le 1.90 t ha⁻¹ di CT180 e le 0.56 t ha⁻¹ di Isci7. Le maggiori produzioni osservate su carinata rispetto al colza potrebbero essere attribuite, in condizioni di ciclo corto, nel ritardo della fioritura di carinata che ha consentito l'emissione di un maggior numero di ramificazioni che si traducono poi in un maggior numero medio di silique per pianta.

Tabella 12
Medie e analisi della varianza dei principali componenti della resa e della produzione in colza e carinata (2007-2008)

	Densità (Pianta m ⁻²)	Silique pianta ⁻¹ (n)	Semi siliqua ⁻¹ (n)	Peso 1000 semi (g)	Produzione (t ha ⁻¹)
<i>Brassica napus</i>					
Astrada	35 de	99 f	33 b	3.26 ab	1.4 cd
Avenir	69 a	99 f	23 efg	2.83 bcde	1.5 cd
Catalina	44 cd	103 f	20 g	2.30 f	1.2 d
Grace	39 cde	125 cde	26 de	2.77 cde	2.4 a
Kabel	62 ab	158 a	22 fg	2.96 abcd	1.4 cd
Lewis	59 ab	136 abcd	20 g	2.57 def	1.8 bc
PR46W10	65 ab	148 ab	24 ef	3.33 a	2.3 ab
PR46W14	64 ab	129 bcde	32 b	3.22 abc	2.2 ab
PR46W31	29 e	117 def	30 bc	1.53 g	1.2 d
Recital	58 ab	140 abc	36 a	3.13 abc	1.4 cd
Shakira	44 cd	109 ef	24 ef	2.93 abcd	1.3 cd
Sun	42 cde	133 bcd	28 abc	2.40 ef	1.4 cd
Vectra	42 cde	133 bcd	28 cd	2.53 def	2.2 ab
Verona	52 bc	98 f	28 abc	2.20 f	1.3 cd
Media	50	123	27	2.70	1.6
<i>Brassica carinata</i>					
Brk147	44 a	217 b	11 a	4.93 a	1.7 a
Brk35	31 bcd	137 d	11 a	3.33 cd	1.1 bc
Brk29xPrSara	29 bcd	126 d	10 a	3.40 c	0.8 bc
Carina	33 abc	119 d	11 a	3.51 c	0.7 c
CT204	21 d	213 b	11 a	3.53 c	1.1 bc
CT207	23 cd	143 d	11 a	4.00 b	1.1 bc
Isci 7	35 ab	253 a	11 a	2.98 d	0.9 bc
Linea 194252	36 ab	180 c	11 a	3.23 cd	1.3 ab
P58xPrLorella	37 ab	197 bc	10 a	2.13 e	0.7 c
Media	32	176	11	3.40	1.0

Le medie seguite dalle stesse lettere, in ogni riga, non sono significativamente diverse tra loro per $P < 0.05$ (test LSD)

Tabella 13
Medie e analisi della varianza dei principali componenti della resa e della produzione in colza e carinata (2009)

	Densità (Piante m ⁻²)	Silique pianta ⁻¹ (n)	Semi siliqua ⁻¹ (n)	Peso 1000 semi (g)	Produzione (t ha ⁻¹)
<i>Brassica napus</i>					
Kabel	31 a	294 a	25 a	4.35 a	2.1 a
Licolly	33 a	342 a	25 a	3.61 a	0.5 b
Media	32	318	25	4.00	1.3
<i>Brassica carinata</i>					
Brk147	32 a	485 a	16 a	3.30 b	1.2 bc
Brk29xPrSara	29 a	337 a	15 a	4.36 a	0.9 bc
Brk35	31 a	351 a	16 a	3.14 b	1.9 a
CT180	35 a	382 a	17 a	3.05 b	1.9 a
CT204	26 a	441 a	15 a	3.56 ab	1.5 ab
CT207	23 a	411 a	16 a	2.60 b	1.2 abc
Isci 7	35 a	462 a	16 a	2.77 b	0.6 c
Linea 194252	37 a	364 a	16 a	2.57 b	1.1 bc
Media	31	404	16	3.20	1.4

Le medie seguite dalle stesse lettere, in ogni riga, non sono significativamente diverse tra loro per $P < 0.05$ (test LSD)

L'annata 2009 – 2010, alquanto favorevole, ha consentito il conseguimento di risposte produttive di estremo interesse per l'ambiente di prova. In generale la produzione media in colza si è attestata intorno a 1.80 t ha⁻¹ con una variabilità compresa tra 2.83 t ha⁻¹ di Tissot e 0.98 di PR46W31 (Tabella 14). Particolarmente produttive sono risultate anche le varietà Hybristar con 2.45 t ha⁻¹, PR46W10 con 2.30 t ha⁻¹, Kabel e Pulsar con 2.10 t ha⁻¹. Mediamente il numero di silique per pianta è stato di 216 con valori compresi tra 130 e 309, mentre per quanto riguarda il peso di 1000 semi, in media di 3.7 g si sono registrati valori compresi tra 4.58 e 3.28 g. Il maggior numero di silique per pianta si è registrato nelle varietà Excalibur, Hybristar, Pulsar e Hercules con valori superiori a 250. Il peso dei semi più elevato si è osservato sulle varietà Exagone, Licolly e PR46W14. La densità di piante alla raccolta è risultato alquanto variabile per le cultivar con valori che hanno variato tra le 50 piante m⁻² osservate su Lewis e le 25 su Pulsar. In carinata la produzione media è stata di 1.9 t ha⁻¹, leggermente superiore a quanto registrato in colza, con una variabilità compresa tra 3.61 t ha⁻¹ di CT207 e 0.91 t ha⁻¹ di Isci7. Mediamente il numero di silique per pianta è stato di 519 con valori compresi tra 1173 (CT207) e 197 (Sara); il peso dei 1000 semi ha variato tra 4.62 (Brk147) e 2.80 (Brk29xPrSara). Ovviamente le migliori produzioni si sono registrate nelle varietà dove a un elevato numero di silique è corrisposto un buon peso dei 1000 semi.

Tabella 14

Medie e analisi della varianza dei principali componenti della resa e della produzione in colza e carinata (2009-2010)

	Densità (Piante m ⁻²)	Silique pianta ⁻¹ (n)	Semi siliqua ⁻¹ (n)	Peso 1000 semi (g)	Produzione (t ha ⁻¹)
<i>Brassica napus</i>					
Exagone	43 abcd	241 abc	22 ab	4.58 a	1.7 bcde
Excalibur	30 cd	309 a	24 ab	3.52 cd	1.7 bcde
Hercules	29 cd	254 abc	28 a	3.63 bcd	1.7 bcde
Hybristar	42 abcd	267 ab	21 ab	3.41 cd	2.5 ab
Kabel	45 abc	219 abc	25 ab	3.65 bcd	2.1 abed
Lewis	50 a	220 abc	23 ab	3.45 cd	1.1 de
Licolly	46 abc	159 bc	26 ab	4.21 ab	1.9 abcde
PR46W10	43 ab	182 bc	20 b	3.38 cd	2.3 abc
PR46W14	49 abc	196 abc	21 ab	4.00 abc	1.2 de
PR46W31	45 abcd	162 bc	20 b	3.59 bcd	0.9 e
Pulsar	25 d	258 ab	27 a	3.41 cd	2.1 abcd
Sun	43 abcd	130 c	20 b	3.60 bcd	1.4 cde
Tissot	32 bcd	247 abc	26 ab	3.28 d	2.8 a
Vectra	41 abcd	179 bc	23 ab	3.59 bcd	1.5 bcde
Media	40	216	23	3.70	1.8
<i>Brassica carinata</i>					
Brk147	41 b	515 c	17 a	4.62 a	1.8 cd
Brk35	41 b	494 c	16 ab	3.45 d	3.1 b
CT180	33 d	381 cd	17 a	3.98 bc	1.9 c
CT207	17 f	1173 a	15 ab	3.88 bc	3.6 a
Isci 7	27 e	896 b	15 ab	3.95 bc	0.9 f
Linea 194252	34 cd	500 c	16 ab	3.70 cd	1.7 cd
Brk29xPrSara	35 cd	197 d	16 ab	2.80 e	1.2 e
Serena	36 c	309 cd	14 ab	4.25 ab	1.6 d
Sincron	51 a	203 d	13 b	3.48 d	1.3 e
Media	35	519	15	3.80	1.9

Le medie seguite dalle stesse lettere, in ogni riga, non sono significativamente diverse tra loro per $P < 0.05$ (test LSD)

Esperimento 2

I principali risultati ottenuti in pieno campo nel corso dell'annata 2007 – 2008 vengono riportati nella tabella 15.

In carinata mediamente è stato osservato un maggiore numero di silique per pianta e peso di 1000 semi rispetto al colza, rispettivamente 72 vs 50 e 3.7 vs 3.4 g. Al contrario in colza è stato osservato un numero medio di semi per siliqua doppio rispetto al valore medio riscontrato in carinata.

In generale la produzione media in colza si è attestata intorno alle 1.60 t ha⁻¹ con una variabilità compresa tra 1.90 t ha⁻¹ dell'ibrido PR46W14 e 1.11 t ha⁻¹ della cultivar Kabel, mentre in carinata la produzione media è stata di 1.1 t ha⁻¹.

Le rese hanno risentito dell'andamento termo – pluviometrico sfavorevole. Le abbondanti precipitazioni che si sono verificate nel periodo autunnale hanno sicuramente influito negativamente sulla capacità di approfondimento dell'apparato radicale e determinato frequenti ristagni idrici in alcune aree dei terreni utilizzati per la sperimentazione. Colza e carinata sono particolarmente sensibili al ristagno idrico e nella zona di Ottana le sistemazioni idrauliche dei terreni sono praticamente assenti nella maggior parte delle aziende, per cui tale fenomeno è da considerarsi molto ricorrente, vista anche la peculiare natura del suolo. Il periodo primaverile è stato caratterizzato da scarse precipitazioni e, in prossimità della raccolta della varietà Kabel, la più precoce, da alte temperature e venti di scirocco, che hanno determinato una rapida maturazione e una certa deiscenza delle silique. Successivamente alla raccolta della cv Kabel, si sono verificate abbondanti precipitazioni di cui hanno potuto almeno in parte beneficiare le varietà tardive, che sono state raccolte circa un mese più tardi. Nel caso della carinata i bassi valori di resa sono da attribuirsi principalmente alle elevate perdite di seme riconducibili unicamente alle operazioni di raccolta.

Tabella 15
Medie e analisi della varianza dei principali componenti della resa e della produzione in colza e carinata nel sito di Ottana (2007-2008)

	Densità (Piante m ⁻²)	Silique pianta ⁻¹ (n)	Semi siliqua ⁻¹ (n)	Peso 1000 semi (g)	Produzione (t ha ⁻¹)
<i>Brassica napus</i>					
Kabel	100 b	58 a	17 b	2.82 c	1.1 b
PR46W10	83 b	58 a	21 a	3.80 a	1.7 a
PR46W14	145 a	43 ab	21 a	3.40 b	1.9 a
PR46W31	137 a	41 b	21 a	3.60 ab	1.7 a
Media	116	50	20	3.40	1.6
<i>Brassica carinata</i>					
Brk147	107 a	73 a	11 a	3.91 a	1.2 a
Isci7	128 a	70 a	10 a	3.43 b	0.9 b
Media	118	72	11	3.70	1.1

Le medie seguite dalle stesse lettere, in ogni riga, non sono significativamente diverse tra loro per $P < 0.05$ (test LSD)

Conclusioni

I risultati ottenuti nelle due sperimentazioni condotte nel triennio 2007 – 2009, seppur variabili a causa dell'andamento termo – pluviometrico, hanno permesso di ottenere utili indicazioni, mettendo in evidenza i limiti ma anche le possibilità di successo di queste colture in ambiente mediterraneo. La scelta varietale rimane un aspetto fondamentale visto che le differenze tra genotipi sono state piuttosto marcate. In particolare, gli ibridi di colza mostrano una maggiore omogeneità dal punto di vista

fenologico, consentendo una più precisa individuazione del momento ottimale per la raccolta che riduce l'incidenza del fenomeno della deiscenza sulla efficienza della raccolta.

Altro aspetto fondamentale è la precocità di fioritura riscontrata sulle cultivar di colza Kabel e Licolly. Questa caratteristica potrebbe rappresentare un vantaggio negli ambienti mediterranei in quanto la conclusione della fase riproduttiva avverrebbe prima dell'eccessivo rialzo termico della tarda primavera. Infatti una delle cause più frequenti della scarsa produttività del colza negli ambienti meridionali è l'andamento siccitoso nella fase di maturazione del seme.

I risultati produttivi, oltre che ritenersi di estremo interesse per l'ambiente oggetto di studio, supportano egregiamente gli sforzi realizzati dalle ditte sementiere nel costituire varietà più adatte agli areali meridionali. Tuttavia, dalla sperimentazione condotta emerge in modo chiaro la necessità di ampliare il panorama varietale con cultivar alternative in relazione all'epoca di semina. Le piante ottenute da semine precoci sono più robuste di quelle derivanti da semine tardive e c'è la possibilità che producano più silique e di conseguenza che diano produzioni più elevate (Toniolo e Mosca., 1986; Gan *et al.*, 2004). Negli ambienti continentali la semina avviene preferenzialmente nel mese di settembre, in relazione all'andamento pluviometrico favorevole che consente la preparazione del terreno e la successiva esecuzione della semina. Nei nostri ambienti i mesi di settembre e ottobre sono spesso caratterizzati da scarse precipitazioni che sopraggiungono sempre più frequentemente in modo repentino e continuativo con conseguente ritardo nella preparazione del terreno e nell'esecuzione della semina.

Nell'annata 2009 la semina ritardata ha messo in evidenza, nel panorama varietale, la maggiore numerosità dei tipi varietali non alternativi, selezionati per ambienti continentali. Infatti delle quattordici varietà di colza in prova solo due hanno concluso il ciclo colturale mostrandosi indifferenti alla vernalizzazione e quindi più idonee ai nostri areali di coltivazione e a quegli ambienti a semina obbligata o primaverile. La carinata non ha subito conseguenze legate alla semina tardiva, non mostrando esigenze di vernalizzazione. Questa specie ha fatto registrare delle buone produzioni, spesso anche superiori alle attese.

La problematica legata all'epoca di semina può essere attenuata o aggravata a seconda della natura del terreno; chiaramente maggiore flessibilità si ha nei terreni di medio impasto rispetto a terreni poco permeabili e mal strutturati. Anche questo aspetto

è stato messo in evidenza dalla sperimentazione condotta nel sito di Ottana, caratterizzato da terreni poco permeabili che a causa delle insistenti precipitazioni hanno impedito la prosecuzione della prova nei due anni successivi.

In generale è possibile affermare che l'introduzione di nuove specie da energia negli ordinamenti produttivi aziendali o nei comprensori agricoli in genere può determinare un incremento della biodiversità, soprattutto contrastando la tendenza alla eccessiva semplificazione dei sistemi colturali. Per garantire alle aziende agricole tradizionali un'alternativa ai classici ordinamenti colturali, le colture energetiche potrebbero assumere un ruolo strategico inserendosi nell'avvicendamento con un cereale e una leguminosa proteica che potrebbe essere impiegata come componente della dieta alimentare degli animali arricchendo il terreno di azoto. I benefici sopra evidenziati potrebbero anche riguardare le aziende estensive senza la componente zootecnica, orientate quindi verso la destinazione commerciale delle produzioni vegetali.

Bibliografia

- Agenzia Internazionale dell'Energia (AIE), 2005. World Energy Outlook 2005.
- Berry, P.M., Spink, J.H., 2006. A physiological analysis of oilseed rape yields : Past and future. *Journal of Agricultural Science* 144:381–392.
- Bouaid, A., Diaz, Y., Martinez, M., Aracil, J., 2005. Pilot plant studies of biodiesel production using Brassica carinata as raw material. *Catalysis Today* 106:193–196.
- Bouaid, A., Martinez, M., Aracil, J., 2009. Production of biodiesel from bioethanol and Brassica carinata oil: Oxidation stability study. *Bioresource Technology* 100:2234–2239.
- Cardone, M., Mazzoncini, M., Menini, S., Rocco, V., Senatore, A., Seggiani, M., Vitolo, S., 2003. Brassica carinata as an alternative oil crop for the production of biodiesel in Italy: agronomic evaluation, fuel production by transesterification and characterization. *Biomass and Bioenergy* 25:623–636.
- Cosentino, S.L., D'Agosta, G.M., Copani, V., Cosentino, A., 2007. Energetic yield in perennial crops in the semi-arid environment of Sicily (South Italy). *Atti 14th European Biomass Conference and Exhibition, Berlino, 799–802.*

- Del Gatto, A., Pieri, S., Mangoni, L., Di Candilo, M., De Mastro, G., Grassano, N., Signor, M., Barbiani, G., Carboni, M., Cauli, F., 2009. Le varietà per uso energetico di colza e *Brassica carinata*. *Informatore Agrario* 35:37–42.
- De Mastro, G., Tedone, L., Manolio, G., 2000. Colza e crucifere ad alto erucico nell'area metapontina. *Informatore Agrario* 34:33–35.
- De Mastro, G., Maniolo, G., 2001. Varietà di colza nel metapontino. *Informatore Agrario* 42:126–126.
- Faaij, A., 2006. Modern biomass conversion technologies. Mitigation and adaptation strategies for global change 11:335–367.
- Gan, Y., Angadi, S.V., Cutforth, H., Potts, D., Angadi, V.V., McDonald, C.L., 2004. Canola and mustard response to short periods of temperature and water stress at different developmental stages. *Canadian Journal of Plant Science* 84:697–704.
- Gasol, C.M., Gabarrell, X., Anton, A., Rigola, M., Carrasco, J., Ciria, P., Solano, M.L., Rieradevall, J., 2007. Life cycle assessment of a *Brassica carinata* bioenergy cropping system in southern Europe. *Biomass and Bioenergy* 31:543–555.
- Iqbal, M., Akhtar, M., Zafar, S., Ali, I., 2008. Genotypic responses for yield and seed oil quality of two *Brassica* species under semi-arid environmental conditions. *South African Journal of Botany* 74:567–571.
- Istanbulluoglu, A., Arslan, B., Gocmen, E., Gezer, E., Pasa, C., 2010. Effects of deficit irrigation regimes on the yield and growth of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Biosystems Engineering* 105:388–394 .
- Lancashire, P.D., 1991. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Ann. Appl. Biol.* 119:561–601.
- Koutroubas, S.D., Papakosta, D.K., Doitsinis, A., 2004. Cultivar and seasonal effects on the contribution of pre-anthesis assimilates to safflower yield. *Field Crops Research* 90:263–274.
- Mazzoncini, M., Rosso, E., Crocè, L., 1998. *Brassica carinata*. A cura di Mosca G. Oleaginose non alimentari. Edagricole, Bologna.
- Nabloussi, A., Márquez-Lema, A., Fernández-Martínez, J.M., Velasco, L., 2008. Novel seed oil types of Ethiopian mustard with high levels of polyunsaturated fatty acids. *Industrial Crops and Products* 27:359–363.
- Nesi, N., Delourme, R., Brégeon, M., Falentin, C., Renard, M., 2008. Genetic and molecular approaches to improve nutritional value of *Brassica napus* L. seed. *C. R. Biologies* 331:763–771.

- SAS Software, 1999. Version 9.02. Cary: SAS Institute, Inc.
- Tesfamariam, E.H., Annandale, J.G., Steyn, J.M., 2010. Water Stress Effects on Winter Canola Growth and Yield. *Agronomy Journal* 102:658–666.
- Toniolo, L., 1992. Situazione agricola attuale ed introduzione di nuove colture. *Agricoltura Ricerca* 134:3–8.
- Toniolo, L., Mosca, G., 1986. *Il colza*. Reda, Roma, pp. 106.
- Unal, H., Sincik, M., Izli, N., 2009. Comparison of some engineering properties of rapeseed cultivars. *Industrial Crops and Products* 30:131–136.

CAPITOLO 3

ACCRESIMENTO E RESA DI BRASSICACEE DA BIOENERGIA COLTIVATE IN AMBIENTE MEDITERRANEO

Introduzione

Negli ultimi anni nell'ambito della fisiologia vegetale sono stati conseguiti importanti progressi, in particolare per quanto riguarda la risposta della pianta in termini di resa a seguito di alterazioni nella disponibilità degli assimilati durante le diverse fasi fenologiche. In sperimentazioni condotte durante il ciclo colturale è stato dimostrato che la resa è principalmente limitata dalla potenzialità della *source*, dalla capacità del *sink* o da entrambi. Diversi fattori possono influenzare la relazione *source-sink* durante le diverse fasi di crescita di una coltura come il genotipo, le pratiche agronomiche e le condizioni ambientali (Dordas, 2009; Elhani *et al.*, 2007). Tra le variabili ambientali, lo stress idrico è sicuramente uno dei principali fattori limitanti la resa in ambiente Mediterraneo, in particolare in condizioni di regime idrico asciutto (Elhani *et al.*, 2007). La resa in granella può essere espressa come il risultato di tre processi fisiologici: intercettazione della radiazione solare da parte degli organi fotosintetici, conversione della radiazione intercettata in sostanza secca e ripartizione della sostanza secca prodotta, espressa tramite l'Harvest Index (HI).

Il primo processo dipende dalla superficie fotosintetizzante e, quindi dal *Leaf Area Index* (LAI); il secondo è legato all'efficienza fotosintetica. La biomassa totale espressa in termini di sostanza secca, *crop dry weight* (CDW), è il risultato di questi due processi. L'HI è il rapporto tra la resa in granella e la biomassa totale, cioè una misura dell'efficienza della pianta quando gli assimilati vengono accumulati negli organi di interesse economico (Moragues *et al.*, 2006). La fase di riempimento della granella, dipende fortemente ma non esclusivamente, dall'intercettazione della luce da parte della superficie fotosintetizzante (*source*) dopo l'antesi. Tale *source* tende a diminuire durante il riempimento della granella a causa della senescenza delle foglie, processo che risulta accelerato in condizioni di stress. Per contro l'esigenza di carbonio è elevata durante tutta la fase di riempimento della granella. Gli assimilati immagazzinati nello stelo, oltre a rappresentare un importante substrato per il mantenimento della respirazione delle piante, potrebbero costituire un importante fonte di carboidrati durante la fase di riempimento della granella. Il grado di mobilitazione

delle riserve contenute nello stelo durante lo stadio di riempimento della granella e la percentuale di queste riserve che contribuiscono alla resa finale in granella dipende dalla specie (per esempio, frumento, riso, girasole), ed è influenzato anche dalle caratteristiche della cultivar come ad esempio, il rapporto *source-sink* (un indicatore approssimativo di questo rapporto è la relazione tra la durata della superficie fogliare durante la fase di riempimento della granella e la resa in granella) ed è fortemente dipendente dalle condizioni ambientali (Pereira *et al.*, 2008).

Nelle colture coltivate in ambiente mediterraneo, la traslocazione degli assimilati pre-antesi ai semi è di fondamentale importanza per la formazione della granella, in quanto le alte temperature e lo stress idrico che si verificano durante la fase di riempimento della granella determinano una riduzione della fotosintesi e dell'assorbimento di azoto da parte della coltura. L'importanza dello stoccaggio dei carboidrati nelle parti vegetative della pianta e la loro traslocazione ai semi per ottenere alte rese in condizioni di stress è stata ampiamente dimostrata in molte specie (Koutroubas *et al.*, 2004). Nei cereali è stato osservato che la sostanza secca accumulata prima dell'antesi è di fondamentale importanza in condizioni in cui le alte temperature e lo stress idrico limitano la fotosintesi. La resa in granella è supportata dalla fotosintesi, determinata principalmente dalla foglia a bandiera e dalle infiorescenze, e dalla traslocazione delle riserve immagazzinate. Pertanto, la resa dipende principalmente dalla traslocazione degli assimilati pre-antesi alla granella quando condizioni di stress si verificano verso la fine del ciclo biologico. È stato stimato che nel frumento, i carboidrati immagazzinati nello stelo contribuiscono per circa il 10-12% alla resa finale in granella in condizioni ottimali e più del 40% in condizioni di stress. Nel triticale i valori riportati variano dal 46% nelle cultivar primaverili al 65% in quelle invernali (Santiveri *et al.*, 2004). Nell'orzo, la sostanza secca presente nei tessuti vegetativi all'antesi contribuisce alla resa in granella dal 4% al 24.4% o 205 e 1005 kg ha⁻¹ rispettivamente (Przulj *et al.*, 2001). Austin *et al.* (1980) hanno riportato che nell'orzo il contributo dei fotosintetati pre-antesi alla resa finale in granella è stato dell'11% in condizioni irrigue e del 44% in condizioni di regime asciutto. Ntanos *et al.* (2002) hanno rilevato che nel riso il contributo della traslocazione degli assimilati alla granella è influenzata anche dalle caratteristiche agronomiche delle cultivar e varia tra il 21% (Japonica cultivar) e il 36% (Indica cultivar). I valori corrispondenti riportati per cereali autunno-vernini coltivati in ambiente mediterraneo sono maggiori in quanto la fase di riempimento della granella

avviene in condizioni di stress che limitano la fotosintesi. Il contributo inferiore riportato per il riso rispetto ai cereali autunno-vernini può essere attribuito alla presenza di uno strato permanente d'acqua nel campo, che probabilmente ha garantito un alto tasso di fotosintesi che ha a sua volta determinato un rifornimento adeguato di assimilati per il riempimento della granella, riducendo così la necessità della traslocazione degli assimilati sintetizzati in pre-antesi.

Nel girasole, in condizioni di regime asciutto durante la fase di riempimento della granella, il contributo nella resa finale da parte dei fotoassimilati sintetizzati in pre-antesi è del 27% contro il 15% registrato in condizioni irrigue (Pereira *et al.*, 2008).

Koutroubas *et al.* (2004) hanno riportato che la traslocazione degli assimilati immagazzinati in pre-antesi è fondamentale per lo sviluppo dei semi in cartamo in ambiente mediterraneo; la sostanza secca dei semi è correlata positivamente con la traslocazione della sostanza secca. Nel loro studio è stato rilevato che il contributo della sostanza secca accumulata nei tessuti vegetativi prima dell'antesi per la resa finale varia da 64.7% a 92.2%, considerando che tutta la sostanza secca dei tessuti vegetativi è stata utilizzata per lo sviluppo dei semi, e quindi, rappresenta il massimo contributo degli assimilati immagazzinati in pre-antesi. Dalla ricerca bibliografica condotta, non sono emerse informazioni relative al ruolo della traslocazione degli assimilati pre-antesi nella resa finale in Brassica ssp. coltivata per la produzione di olio vegetale in ambiente mediterraneo. Il colza è un importante coltura oleaginosa nei sistemi agricoli di molte zone aride e semiaride dove le rese sono spesso limitate dal deficit idrico e dalle alte temperature che si registrano durante lo stadio riproduttivo. La resa in seme può anche essere limitata da una riduzione della durata dello sviluppo riproduttivo (Ahmadi *et al.*, 2009).

La risposta del colza agli stress dipende dalla fase fenologica, e la resa potenziale nelle brassicacee dipende dagli eventi che si verificano prima e durante la fioritura (Diepenbrock, 2000; Faraji *et al.*, 2009).

Obiettivo dello studio è stato quello di stabilire, in assenza di irrigazione, il contributo degli assimilati prodotti in pre-antesi sulla resa in seme di due specie di Brassica (*Brassica napus* var. *oleifera* e *Brassica carinata*).

Materiali e metodi

Siti sperimentali

Due sperimentazioni di campo, con comune protocollo sperimentale, sono state condotte in due siti, Ottava (81 m s.l.m., latitudine 40° 46' N e longitudine di 8° 29' E) presso il campo sperimentale “Mauro Deidda” dell’Università di Sassari e Ottana (187 m s.l.m., latitudine 39° 25' N e longitudine di 9° 31' E) presso aziende private, nel corso delle annate agrarie 2007 – 2008 e 2009 – 2010. Nel 2008 – 2009 le intense precipitazioni che si sono verificate nei mesi autunno-invernali hanno determinato un ritardo nell’esecuzione della semina nel sito di Ottava e impedito l’avvio della prova nel sito di Ottana per l’impraticabilità del campo, problema che si è riproposto nel sito di Ottana anche nel 2009 – 2010. I siti sperimentali differiscono tra loro per caratteristiche geografiche, lito-pedologiche, termo pluviometriche e per la destinazione d’uso del suolo. Nel sito di Ottava, i terreni più comuni della zona sono classificati come Lithic Xerorthents (USDA Soil Taxonomy); il sito è caratterizzato da un clima tipicamente mediterraneo con precipitazioni medie annue di oltre 50 anni (1958-2008) di 538 mm (Figura 1a) concentrate principalmente nei mesi di ottobre, novembre e dicembre. L’uso del suolo più comune sono cereali, colture foraggere e macchia mediterranea.

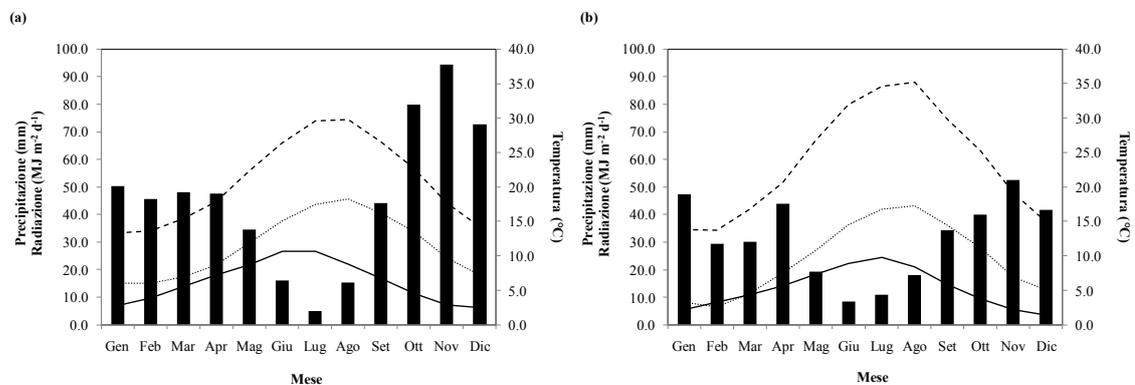


Figura 1 Radiazione solare mensile (—), temperatura massima (-----) e minima (.....) e precipitazione (barre) relative al sito di Ottava (a), secondo la serie storica a partire dal 1958, e al sito di Ottana (b), medie relative al periodo 1978 – 2008.

Nel sito di Ottana il suolo è poco drenato e classificato come Typic Aquic e Ultic Palexeralf (USDA Soil Taxonomy) e la destinazione di uso suolo più frequente è a pascolo naturale. L’intensificazione colturale della piana di Ottana è limitata dai vincoli ambientali (clima mediterraneo con precipitazioni autunno-primaverili pari a 350-450 mm, estati calde e secche e forti escursioni termiche; figura 1b).

Caratterizzazione pedo-climatica dei siti sperimentali

Per la determinazione delle caratteristiche chimico-fisiche del suolo dei siti sperimentali sono stati prelevati, prima della semina, dei campioni di terreno a due differenti profondità (0-15 cm e 15-30 cm). I range delle principali proprietà fisico-chimiche dei suoli sono riportati in tabella 1.

Tabella 1
Proprietà fisico-chimiche del suolo nei due siti sperimentali

Profondità (cm)	Argilla (%)	Limo (%)	pH	Densità apparente (g m ⁻³)	Capacità di campo (cm ³ cm ⁻³)	Punto di appassimento (cm ³ cm ⁻³)	Capacità idrica massima (cm ³ cm ⁻³)	Carbonio organico (%)
Ottava								
0-15	23.0	7.1	8.32	1.44	0.27	0.17	0.42	1.28
15-30	12.8	18.6	8.35	1.45	0.25	0.15	0.42	1.16
Ottana								
0-15	18.4	11.0	6.29	1.47	0.26	0.17	0.41	1.16
15-30	21.1	10.7	6.48	1.49	0.25	0.17	0.40	0.98

Tabella 2
Temperature (°C), radiazione solare (MJ m⁻²) e precipitazione totale (mm) relative al ciclo di crescita della coltura nel sito di Ottava

	Mese									
	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	
2007 – 2008										
Temperatura max	15.0	12.6	13.5	13.1	13.7	17.7	21.6	24.4	31.1	
Temperatura min	8.5	6.1	6.2	4.4	6.7	8.4	12.1	15.1	15.1	
Radiazione solare	2.2	2.5	4.1	8.2	11.7	18.0	17.5	21.0	24.7	
Precipitazione	42.6	78.0	86.6	29.0	87.0	20.6	120.4	17.2	0.4	
2009										
Temperatura max	—	—	—	14.6	14.6	17.8	24.7	26.8	27.9	
Temperatura min	—	—	—	3.7	6.2	9.5	11.7	16.0	17.4	
Radiazione solare	—	—	—	10.2	9.6	11.8	21.5	19.4	19.0	
Precipitazione	—	—	—	0.4	60.6	63.8	15.8	45.6	0.0	
2009 – 2010										
Temperatura max	18.8	14.6	12.2	13.8	14.8	17.8	19.5	24.1	28.7	
Temperatura min	9.1	9.1	6.2	6.7	7.3	9.3	12.2	15.3	18.2	
Radiazione solare	8.0	6.3	2.7	3.4	4.9	8.5	12.0	11.4	15.5	
Precipitazione	19.0	123.8	96.0	43.0	48.6	40.8	103.2	72.2	0.0	

Nel sito di Ottava i dati meteorologici (temperatura massima e minima giornaliera, piovosità e radiazione solare; tabella 2) sono stati registrati in loco da una stazione agrometeorologica dell'Agenzia della Regione Sardegna di Protezione Ambientale (ARPAS). Nel sito di Ottana i dati meteorologici (Tabella 3) sono stati registrati da una stazione meteorologica (ARPAS) distante pochi chilometri dal sito sperimentale.

Tabella 3

Temperature (°C), radiazione solare (MJ m⁻²) e precipitazione totale (mm) relative al ciclo di crescita della coltura nel sito di Ottava

	Mese								
	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio
2007 – 2008									
Temperatura max	17.1	14.5	15.4	16.2	17.3	21.1	26.0	31.8	39.5
Temperatura min	7.0	3.9	3.1	1.2	5.5	6.6	11.2	14.2	17.0
Radiazione solare	5.1	3.5	6.3	9.2	11.6	16.5	16.5	21.0	24.1
Precipitazione	54.8	48.6	46.0	17.6	83.6	51.6	79.8	32.0	1.8

Disegno sperimentale

Al fine di valutare in *Brassica* spp. il contributo degli assimilati in pre-antesi, sono state impiegate una cultivar alternativa (Kabel) e tre ibridi (PR46W10, PR46W14, PR46W31) di *Brassica napus* e due accessioni (Isci7 e Brk 147) di *Brassica carinata*. Le cultivar sono state scelte per le loro caratteristiche agronomiche differenti (Tabella 4).

Tabella 4

Specie, peso mille semi, tempo dalla semina all'emergenza, fioritura, maturità e altezza delle piante in *Brassica* spp. (media dei due siti)

Cultivar	Specie	Habitus	Peso 1000 semi (g)	Durata ciclo (in giorni dalla semina)			Altezza (cm)
				Emergenza	Fioritura	Maturazione	
Kabel	<i>B. napus</i>	Primaverile	3.07	31	130	203	109.0
PR46W10	<i>B. napus</i>	Invernale	3.79	27	160	228	132.4
PR46W14	<i>B. napus</i>	Invernale	3.41	27	159	228	129.3
PR46W31	<i>B. napus</i>	Invernale	3.20	27	161	225	130.5
Brk147	<i>B. carinata</i>	—	4.40	27	163	240	169.5
Isci7	<i>B. carinata</i>	—	3.46	30	157	240	165.5

La sperimentazione è stata impostata secondo un disegno sperimentale a blocchi randomizzati con quattro repliche, a scala parcellare nel sito di Ottava (dimensione parcelle 12 m²) e in pieno campo nel sito di Ottava (dimensione parcelloni 600 m²). Nel 2007 – 2008 (in entrambi i siti) e nel 2009 – 2010 (sito di Ottava) la semina è stata effettuata nella prima settimana di novembre, mentre nel 2008 – 2009 (sito di Ottava) la semina è avvenuta l'ultima settimana di febbraio. È stata adottata un'interfila di 0.17 m e un numero di semi m⁻² pari a 120 per il colza e 150 per la carinata. La concimazione ha previsto l'apporto di 132 U ha⁻¹ di N e 92 U ha⁻¹ di P. L'azoto è stato somministrato in due interventi; alla semina e all'inizio della fase di allungamento dello stelo. Nel sito di Ottava il controllo delle infestanti è stato effettuato in pre-emergenza utilizzando il principio attivo metazachlor, mentre nel sito di Ottava non è stato effettuato alcun controllo delle infestanti e dei patogeni in quanto l'area non è mai stata interessata dalla coltivazione di colture oleaginose.

Rilievi fisiologici

Sono state monitorate le principali fasi fenologiche utilizzando come riferimento la scala fenologica BBCH (Lancashire *et al.*, 1991): emergenza (09), accrescimento dello stelo (30-39), fioritura (60-69) e maturazione (80-89). In corrispondenza della piena fioritura (65) è stata misurata l'altezza delle piante.

Quando ciascun genotipo ha raggiunto lo stadio di antesi e maturazione è stata determinata la produzione di sostanza secca: in ciascuna parcella, in un'area di saggio da 0.5 m², sono state recise a livello del colletto le piante presenti. I campioni di piante sono stati messi in stufa a 60 °C per 72 h e pesati.

Alla maturazione fisiologica è stata individuata un'area di saggio in ciascuna parcella (0.5 m² ciascuna) per la determinazione delle componenti della resa, HI e numero di piante per m².

La traslocazione degli assimilati pre-antesi è stata stimata secondo tre parametri, *Dry Matter Traslocation* (DMT, g m⁻²), *Contribution of Pre-Anthesis Assimilates to the Grain* (CPAAG, %) (Santiveri *et al.*, 2004) e *Dry Matter Traslocation Efficiency* (DMTE, %) (Ntanos *et al.*, 2002):

$$DMT = DM_{anthesis} - (DM_{maturity} - \text{Grain yield})$$

$$CPAAG = \frac{DMT}{\text{Grain yield}} \times 100$$

$$DMTE = \frac{DMT}{DM_{anthesis}} \times 100$$

Analisi statistiche

Le analisi statistiche sono state condotte secondo uno schema a blocchi randomizzati ripetuti nel tempo e nello spazio dove il tempo e lo spazio sono stati genericamente considerati come fattore fisso ambiente (Santiveri *et al.*, 2004; Gomez and Gomez, 1976). È stata testata l'omogeneità della varianza e tutti i dati raccolti e gli indici calcolati sono stati elaborati utilizzando la procedura GLM del software statistico SAS (SAS Software, 1999). La discriminazione fra medie è stata condotta mediante utilizzo del test LSD (P < 0.05). Al fine di valutare l'importanza della sostanza secca all'antesi per ottimizzare le rese in ambiente mediterraneo è stata determinata la relazione tra resa in granella (y) e la sostanza secca all'antesi (x).

Risultati e discussioni

Le condizioni termo – pluviometriche registrate durante il ciclo colturale sono risultate differenti nei tre anni di sperimentazione e nei due siti (Tabelle 2 e 3). Le temperature medie mensili più basse e più elevate sono state registrate nel sito di Ottana rispettivamente nel mese di febbraio e luglio. Nel sito di Ottava le temperature medie mensili sono risultate abbastanza simili nei tre anni.

Le precipitazioni durante il 2007 – 2008 (entrambi i siti) e nel 2009 – 2010 sono state abbondanti e favorevoli allo sviluppo della coltura (maggiori di 400 mm). Nel sito di Ottava nel 2007 – 2008 e nel 2009 – 2010 il mese più piovoso è stato quello di maggio, mentre nel sito di Ottana i mesi più piovosi sono stati marzo e maggio.

Tabella 5

Tempo e gradi giorno (GDD) richiesti dalla semina al 50% di fioritura e maturazione dei 6 genotipi di *Brassica* ssp. in Ottana 2007 – 08 (Ott08), Ottava 2007 – 08 (Otv08), Ottava 2009 (Otv09) e Ottava 2009 – 10 (Otv10)

Genotipo	Tempo dalla semina in giorni		GDD dalla semina	
	Fioritura (50%)	Maturazione	Fioritura (50%)	Maturazione
Ott08				
Kabel	160	230	1785	2959
PR46W10	160	230	1785	2959
PR46W14	160	230	1785	2959
PR46W31	160	237	1785	3152
Isci7	165	239	1920	3208
Brk147	130	204	1482	2405
Media ± σ	156 ±12	228 ±11	1757 ±133	2941 ±260
Otv08				
Kabel	120	206	1317	2387
PR46W10	155	228	1644	2813
PR46W14	158	228	1644	2813
PR46W31	158	228	1644	2813
Isci7	158	231	1603	2883
Brk147	164	235	1686	2981
Media ± σ	152 ±15	226 ±9	1590 ±125	2782±187
Otv09				
Kabel	80	113	1211	1855
Isci7	95	146	1548	2622
Brk147	95	146	1548	2622
Media ±σ	90 ±7	135 ±16	1436 ±159	2366 ±361
Otv10				
Kabel	142	215	1499	2698
PR46W10	170	233	1889	3046
PR46W14	170	233	1889	3046
PR46W31	170	233	1889	3046
Isci7	183	237	2149	3140
Brk147	185	237	2186	3140
Media ±σ	170 ±14	231 ±8	1917 ±225	3020 ±150

La durata dei principali stadi fenologici è stata simile negli anni per tutte le cultivar eccetto nel 2009, in quanto la semina tardiva ha comportato una riduzione del ciclo colturale delle tre varietà che si sono mostrate indifferenti alla vernalizzazione (Kabel, Brk147 e Isci7). Gli ibridi PR46W10, PR46W14 e PR46W31 essendo non alternativi sono rimasti per l'intero ciclo allo stadio di rosetta. La durata dell'intero ciclo ha variato mediamente tra 135 giorni (2366 GDD) in Otv09 (Ottava 2009) e 231 giorni (3020 GDD) in Otv10 (Ottava 2010). Kabel si è mostrata la cultivar più precoce raggiungendo lo stadio di piena fioritura e maturazione con circa un mese di anticipo rispetto alle altre cultivar.

Produzione di sostanza secca

Relativamente alla biomassa prodotta all'antesi, non sono state osservate differenze evidenti tra i diversi ambienti. I valori più elevati sono stati rilevati in Brk147 e Isci7 in Ott08, nell'ibrido PR46W10 in Otv08, nelle due *B. carinata* in Otv09 e in PR46W10 in Otv10. La variazione in sostanza secca prodotta all'antesi tra i genotipi ha riflettuto principalmente il differente tasso di accrescimento vegetativo, perché l'epoca di fioritura è stata simile per tutti i genotipi eccetto la cv Kabel che infatti ha mostrato valori inferiori in quasi tutti gli ambienti. Il tasso di accrescimento vegetativo è funzione della fotosintesi lorda della canopy e della respirazione della coltura, processi fortemente influenzati dalle condizioni ambientali. Il più alto tasso di crescita è probabilmente associato all'elevata capacità di intercettazione della radiazione solare perché la radiazione intercettata è il fattore determinante la produzione di biomassa (Ntanos *et al.*, 2002).

I vari genotipi differiscono anche per l'altezza delle piante che in tutti gli ambienti ha mostrato valori più bassi per la cv Kabel e maggiori per la cv Brk147. Questo risultato è attribuibile ad un fattore intraspecifico che caratterizza la specie *B. carinata* e che è legato alla minore attività di miglioramento genetico effettuata su questa coltura.

Per quanto riguarda la biomassa totale alla maturità, in tutti i genotipi a confronto e per tutti gli ambienti, è stato riscontrato un incremento di biomassa tra la fioritura e la maturità. Le varietà hanno mostrato differenze nella produzione di sostanza secca alla maturità e le differenze dipendono dall'ambiente, dal contributo della biomassa vegetativa e dalla resa in seme. I valori più elevati di biomassa totale sono stati osservati in Otv08 (PR46W10) e in Otv09 (Brk147).

La produzione in seme più alta è stata rilevata in Otv08 (1616 kg ha⁻¹), ma con differenze non consistenti rispetto agli altri ambienti.

Tabella 6
Biomassa accumulata alla fioritura e alla maturità, altezza e Harvest Index dei 6 genotipi a confronto

Genotipo	Biomassa fioritura (kg ha ⁻¹ s.s.)	Biomassa maturità (kg ha ⁻¹ s.s.)	Altezza (cm)	Produzione (kg ha ⁻¹)	Harvest Index (%)
Otv08					
Kabel	5713	6481	107.9	1110	17.2
PR46W10	6476	8063	124.3	1722	22.6
PR46W14	7500	9273	125.0	1895	20.8
PR46W31	8048	9639	123.3	1709	18.0
Brk147	10028	11132	165.7	1170	9.8
Isci7	8810	9712	164.2	960	9.4
Media	7762	9049	135.1	1428	16.3
Otv08					
Kabel	5067	6137	86.7	1395	23.3
PR46W10	12042	1425	115.3	2327	16.7
PR46W14	7266	9371	103.3	2223	23.7
PR46W31	2705	3784	112.4	1191	31.7
Brk147	7558	9147	164.7	1658	15.0
Isci7	6813	7663	152.9	900	10.3
Media	6908	8392	122.6	1616	20.1
Otv09					
Kabel	5711	7428	93.9	2055	28.0
Brk147	12032	13134	163.5	1168	8.3
Isci7	8877	9382	157.2	555	5.8
Media	8873	9982	138.2	1260	14.0
Otv10					
Kabel	6833	8560	138.4	2099	24.3
PR46W10	7523	9713	154.7	2303	23.0
PR46W14	5910	7052	166.0	1244	17.5
PR46W31	5183	6043	169.9	964	16.5
Brk147	7304	9044	189.8	1806	16.5
Isci7	4977	5830	177.1	906	13.5
Media	6288	7707	166.0	1554	18.5
<i>Fonte di variazione</i>					
Varietà	***	***	***	***	***
Ambiente	**	**	***	n.s.	*
Varietà × Ambiente	***	***	*	**	***
CV (%)	21	20	7	28	25

n.s. Non significativo per $P > 0.05$

*** Significativo per $P < 0.001$

** Significativo per $0.001 < P < 0.01$

* Significativo per $0.01 < P < 0.05$

I genotipi hanno mostrato differenti valori di Harvest Index; in particolare le differenze sono state più ampie in Otv08 con range compreso tra 10.3 (Isci7) e 31.7 (PR46W31).

Traslocazione

Fra l'antesi e la maturità è stata osservata in tutti i genotipi una riduzione della biomassa vegetativa suggerendo la presenza di un fenomeno di traslocazione degli assimilati verso i semi durante la fase di riempimento. Mediamente per tutti i genotipi, la DMT (Tabella 7) è stata più bassa in Otv08 rispetto agli altri ambienti. La DMTE (Tabella 7) ha mostrato il medesimo trend per tutti gli ambienti e genotipi essendo maggiore in Kabel e più bassa in Brk147. In generale, il CPAAG (Tabella 7) è risultato più elevato in Otv09 (10.2%) rispetto agli altri ambienti come conseguenza di una maggiore traslocazione.

Tabella 7

Dry matter translocation (DMT), dry matter translocation efficiency (DMTE) e contribution of pre-anthesis assimilates to seed (CPAAG) dei 6 genotipi a confronto

Genotipo	DMT (kg ha ⁻¹)	DMTE (%)	CPAAG (%)
Otv08			
Kabel	343.1	5.8	30.4
PR46W10	112.4	1.8	6.2
PR46W14	121.6	1.8	6.1
PR46W31	117.4	1.4	6.9
Brk147	65.9	0.6	4.7
Isci7	59.0	0.6	6.2
Media	136.6	2.0	10.1
Otv08			
Kabel	324.6	6.3	23.6
PR46W10	119.7	1.3	5.3
PR46W14	118.3	1.3	5.4
PR46W31	110.9	3.6	9.0
Brk147	68.5	1.0	4.5
Isci7	50.4	0.6	5.5
Media	132.1	2.4	8.9
Otv09			
Kabel	337.3	5.7	16.6
Brk147	65.6	0.7	5.2
Isci7	50.6	0.5	8.8
Media	151.1	2.3	10.2
Otv10			
Kabel	372.3	5.7	17.9
PR46W10	113.2	1.2	4.9
PR46W14	101.9	3.5	17.2
PR46W31	103.8	1.7	8.2
Brk147	65.8	1.0	3.7
Isci7	54.1	1.2	6.0
Media	135.1	2.4	9.6
<i>Fonte di variazione</i>			
Varietà	***	***	**
Ambiente	n.s.	n.s.	n.s.
Varietà × Ambiente	n.s.	n.s.	n.s.
CV (%)	117	113	133

n.s. Non significativo per $P > 0.05$

*** Significativo per $P < 0.001$

** Significativo per $0.001 < P < 0.01$

Tuttavia, gli stessi indici calcolati in ambiente mediterraneo per i cereali autunno vernini e per il cartamo, risultano maggiori di quelli riscontrati in *Brassica* ssp. (Santiveri *et al.*, 2004; Austin *et al.*, 1980; Koutroubas *et al.*, 2004).

I valori di traslocazione osservati nelle due Brassicacee risultano quindi trascurabili ai fini della determinazione della resa finale.

Analizzando le relazioni tra la produzione in seme con la biomassa alla fioritura e la DMT si può osservare come la produzione sia indipendente da questi due fattori (Figure 2 e 3).

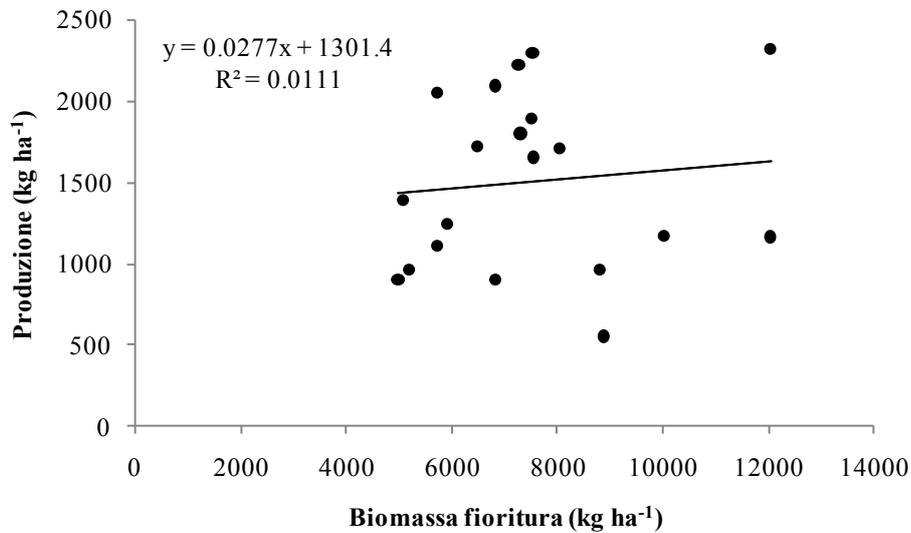


Figura 2 Relazione tra la biomassa alla fioritura e la produzione in seme

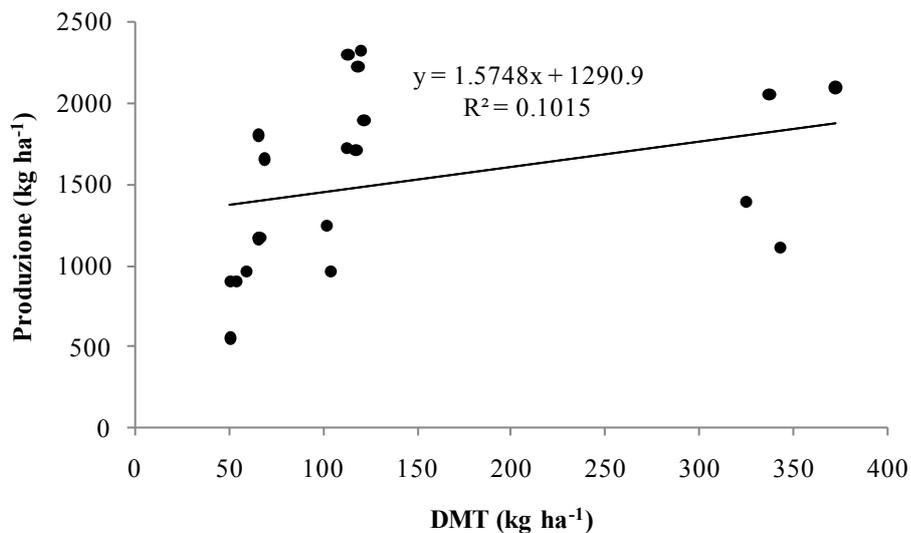


Figura 3 Relazione tra la DMT e la produzione in seme

Al contrario, la resa in seme è risultata significativamente correlata con il peso finale delle silique alla raccolta (Figura 4).

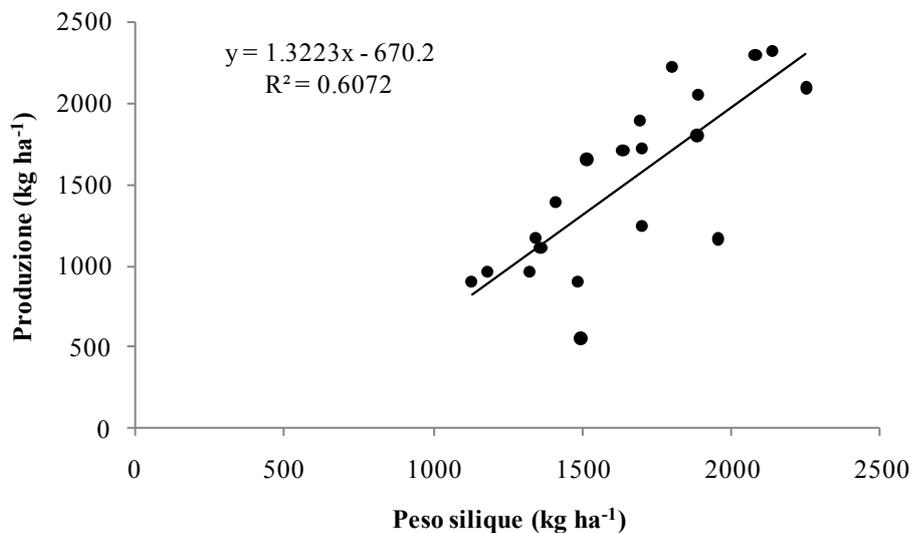


Figura 4 Relazione tra il peso finale delle silique alla raccolta e la produzione in seme

Dal punto di vista fisiologico, questo risultato può essere attribuito al ruolo determinante che ricoprono le silique nell'attività fotosintetica post-antesi. Infatti, come riportato in letteratura, durante il riempimento delle silique dopo la fioritura l'attività fotosintetica delle silique prevale rappresentando la parte preponderante della superficie fotosintetizzante totale della coltura, considerando anche l'azione di ombreggiamento esercitata dagli organi riproduttivi sulle foglie (Mogensen *et al.*, 1997). Diepenbrock (2000) nel suo studio riporta che il *Pod Area Index* (PAI) massimo raggiunge valori pressoché identici al *Leaf Area Index* (LAI). Secondo altri studiosi (Singal *et al.*, 1995) i valori di PAI massimo supererebbero quelli di LAI massimo (4.91 vs 4.10 rispettivamente). Sheoran *et al.* (1991) hanno inoltre dimostrato che l'inibizione dell'attività fotosintetica delle silique a intervalli regolari a partire dalla fioritura ha comportato una drastica riduzione del peso secco dei semi alla raccolta (73%).

Secondo quanto riportato nello studio di Mogensen *et al.* (1997) durante la fase di riempimento del seme una riduzione del potenziale idrico delle silique di circa il 45% non ha influenzato il tasso di riempimento dei semi. Tale fase ha continuato allo stesso tasso, tuttavia la fotosintesi nelle silique si è ridotta di circa il 38%. Questi risultati indicano che quando la fotosintesi è inibita durante la fase di riempimento del seme, le riserve accumulate nei tessuti della pianta possono essere mobilizzate per supportare il fabbisogno di assimilati dei semi, in questo modo lo sviluppo dei semi continua anche in condizioni di deficit idrico.

L'andamento termo-pluviometrico che è stato registrato durante i tre anni di sperimentazione non è stato rappresentativo del clima tipico delle due aree di studio così come desunto dalle serie storiche. Infatti, il periodo di riempimento dei semi negli ibridi tardivi e in *B. carinata* è coinciso con i mesi più piovosi dell'annata. Per esempio sia in Ott08 che in Otv08 e Otv10 le precipitazioni a maggio sono state superiori rispetto alla serie storica (+230% e +300% rispettivamente). La cultivar Kabel caratterizzata da precocità di fioritura (generalmente un vantaggio in ambiente mediterraneo) ha condotto la fase di riempimento della granella in condizioni ambientali di deficit idrico rispetto alle altre varietà. Infatti, tale stadio si è verificato in aprile caratterizzato in tutti gli ambienti (eccetto Otv09) da precipitazioni in linea con la serie storica (47.6 mm in Otv e 44 mm in Ott), ma per il 50% concentrate in un unico evento piovoso. In relazione all'ambiente Otv09, considerando la semina ritardata, le varietà a confronto hanno raggiunto la fase di riempimento della granella con un ritardo di circa 30 giorni. La maturazione di *B. carinata* è avvenuta nel mese di giugno, nel corso del quale le precipitazioni sono state frequenti e uniformemente distribuite al contrario del mese di maggio (maturazione Kabel) alquanto siccitoso (-50% di precipitazione rispetto alla serie storica della zona). Basandosi su questo aspetto può essere spiegato il diverso comportamento della cv Kabel rispetto agli altri genotipi a confronto. Kabel infatti ha mostrato valori lievemente superiori per tutti gli indici calcolati, in quanto essendo caratterizzata da elevata precocità di fioritura la fase di riempimento della granella ha coinciso, per tutti gli ambienti, con un periodo caratterizzato da scarse precipitazioni con conseguente parziale inibizione della fotosintesi delle silique e leggero incremento della mobilizzazione delle riserve accumulate.

Conclusioni

La resa di una coltura è determinata dall'attività fotosintetica di foglie, steli e strutture riproduttive e varia nelle differenti specie ed è influenzata da fattori come umidità, livello nutritivo e genotipo. Dalla letteratura è emerso che il contributo degli assimilati pre – antesi alla resa finale, in frumento, triticale (Santiveri *et al.*, 2004), orzo (Austin *et al.*, 1980), riso (Ntanos *et al.*, 2002) e girasole (Pereira *et al.*, 2008) è strettamente condizionato da eventuali condizioni di stress idrico che si verificano durante la fase di maturazione del seme. Pertanto il fenomeno della DMT può essere considerato un fenomeno di adattamento a condizioni di stress durante la fase di maturazione.

Per le specie a crescita indeterminata come le leguminose e le oleaginose, lo sviluppo vegetativo e quello riproduttivo avvengono contemporaneamente con conseguente competizione per le riserve accumulate nei sink vegetativi e riproduttivi, la fioritura si verifica per un periodo prolungato durante il quale fiori e frutti possono essere soggetti a diversi stress ambientali (Unkovich *et al.*, 2010).

Nelle leguminose il contributo delle strutture riproduttive alla produzione in seme varia da 0 a 20% (Sheoran *et al.*, 1991).

In *Brassica spp.* il contributo delle silique alla resa in seme è molto elevato. La fotosintesi che avviene nei cloroplasti localizzati negli strati più esterni dei carpelli delle silique è la principale fonte di assimilati per l'accrescimento dei semi (70-100%) e la traslocazione del carbonio, fissato nei carpelli, verso i semi è rapida e nel range di 30 s (Mogensen *et al.*, 1997). La resa quindi è determinata principalmente dalla traslocazione degli assimilati prodotti durante il periodo fioritura – maturazione.

In ambiente mediterraneo tale aspetto può rappresentare una criticità in quanto, generalmente, durante la fase di riempimento delle silique le *Brassicaceae* sono spesso esposte a stress idrico. Gan *et al.* nel 2004, nel loro studio condotto in condizioni controllate, hanno dimostrato che severi stress idrici applicati durante lo sviluppo delle silique hanno comportato una riduzione della produzione in seme per pianta pari al 77% e una riduzione dei principali componenti della resa, concludendo quindi che la resa in *Brassica napus* potrebbe essere incrementata migliorando la produzione e la conservazione delle silique. Anche dai nostri risultati, ottenuti in pieno campo, emerge che l'ambiente mediterraneo penalizzi maggiormente le specie come colza che basano la produzione in massima parte sui fotosintetati post-antesi.

L'andamento termo – pluviometrico anomalo che ha caratterizzato i tre anni di sperimentazione ha messo in evidenza che la varietà precoce Kabel, ha fatto registrare una maggiore traslocazione rispetto alle altre cultivar più tardive, in quanto la fase di riempimento della granella è ricaduto in un periodo caratterizzato da scarse precipitazioni.

Pertanto le minori rese registrate per il colza in ambiente mediterraneo non sono attribuibili solo al fenomeno della deiscenza ma anche alla minore attività fotosintetica delle silique in relazione al periodo siccitoso che generalmente caratterizza l'ambiente mediterraneo in corrispondenza della fase di maturazione fisiologica.

Nuovi studi potrebbero essere utili ai fini della selezione di nuove cultivar caratterizzate da alta resa, tuttavia, approfondimenti sono anche necessari per acquisire

maggiori informazioni ai fini di migliorare dal punto di vista genetico *B. carinata* e specialmente migliorare la gestione delle due specie in condizioni non irrigue.

Bibliografia

- Ahmadi, M., Bahrani, M.J., 2009. Yield and Yield Components of Rapeseed as Influenced by Water Stress at Different Growth Stages and Nitrogen Levels. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 5:755–761.
- Austin, R.B., Morgan, C.L., Ford, M.A., Blackwell, R.D., 1980. Contributions to grain yield from pre-anthesis assimilation in tall and dwarf barley phenotypes in two contrasting seasons. *Annals of Botany* 45:309–319.
- Diepenbrock, W., 2000. Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review. *Field Crops Research* 67:35–49.
- Dordas, C., 2009. Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation, partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source–sink relations. *European Journal of Agronomy* 30:129–139.
- Elhani, S., Martos, V., Rharrabti, Y., Royo, C., García del Moral, L.F., 2007. Contribution of main stem and tillers to durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) grain yield and its components grown in Mediterranean environments. *Field Crops Research* 103:25–35.
- Faraji, A., Latifi, N., Soltani, A., Shirani Rad, A.H., 2009. Seed yield and water use efficiency of canola (*Brassica napus* L.) as affected by high temperature stress and supplemental irrigation. *Agricultural Water Management* 96:132–140.
- Gomez, K.A., Gomez, A.A., 1976. *Statistical procedures for agricultural research*. Wiley Interscience Publication, New York, 680 pp.
- Koutroubas, S.D., Papakosta, D.K., Doitsinis, A., 2004. Cultivar and seasonal effects on the contribution of pre-anthesis assimilates to safflower yield. *Field Crops Research* 90:263–274.
- Lancashire, P.D., 1991. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Ann. Appl. Biol.* 119:561–601.
- Mogensen, V.O., Jensen, C.R., Mortensen, G., Andersen, M.N., Schjoerring, J.K., Thage, J.H., Koribidis, J., 1997. Pod photosynthesis and drought adaptation of field grown rape (*Brassica napus* L.). *European Journal of Agronomy* 6:295–307.

- Moragues, M., García del Moral, L.F., Moralejo, M., Royo, C., 2006. Yield formation strategies of durum wheat landraces with distinct pattern of dispersal within the Mediterranean basin II. Biomass production and allocation. *Field Crops Research* 95:182–193.
- Ntanos, D.A., Koutroubas, S.D., 2002. Dry matter and N accumulation and translocation for Indica and Japonica rice under Mediterranean conditions. *Field Crops Research* 74:93–101.
- Pereira, M.L., Berney, A., Hall, A.J., Trápani, N., 2008. Contribution of pre-anthesis photoassimilates to grain yield: Its relationship with yield in Argentine sunflower cultivars released between 1930 and 1995. *Field Crops Research* 105:88–96.
- Przulj, N., Momcilovic, V., 2001. Genetic variation for dry matter and nitrogen accumulation and translocation in two-rowed spring barley. Dry matter translocation. *European Journal of Agronomy* 15:241–254.
- Santiveri, F., Royo, C., Romagosa, I., 2004. Growth and yield responses of spring and winter triticale cultivated under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy* 20:281–292.
- SAS Software, 1999. Version 9.02. Cary: SAS Institute, Inc.
- Sheoran, I.S., Sawhney, V., Babbar, S., Singh, R., 1991. In vivo fixation of CO₂ by attached pods of *Brassica campestris* L. *Annals of Botany* 67:425–428.
- Singal, H.R., Talwar, G., Dua, A., Singh, R., 1995. Pod photosynthesis and seed dark CO₂ fixation support oil synthesis in developing Brassica seeds. *J. Biosci.* 20:49–58.
- Unkovich, M., Baldock, J., Forbes, M., 2010. Variability in harvest index of grain crops and potential significance for carbon accounting: examples from Australian agriculture. *Advances in Agronomy* 105:173–219.

CAPITOLO 4

GESTIONE DELLE INFESTANTI DEL COLZA IN AMBIENTE MEDITERRANEO

Introduzione

Negli ultimi decenni, l'agricoltura intensiva e i cambiamenti nella destinazione d'uso del suolo, hanno indotto profondi cambiamenti nelle pratiche agricole e nelle infrastrutture. L'introduzione di organismi geneticamente modificati o colture transgeniche con nuovi caratteri, possono aver contribuito al cambiamento dell'agricoltura moderna. Per le colture di elevato interesse commerciale le principali modificazioni riguardano il miglioramento delle caratteristiche che incidono sul livello di produzione delle piante come la tolleranza agli erbicidi (71% del totale) e la resistenza ai parassiti (18% del totale). Sono quattro le specie GM tolleranti al glufosinate o al glifosate (GMHT *GM Herbicide Tolerant*) largamente impiegate e diffuse: il mais (*Zea mays*), il cotone (*Gossypium hirsutum*), la soia (*Glycine max*) e il colza, quest'ultima interessa circa il 5% della superficie globale delle biotecnologie (Graef *et al.*, 2007).

Nel colza la tecnologia OGM è stata applicata esclusivamente per la tolleranza agli erbicidi e questo ha comportato per gli agricoltori una più facile ed efficace gestione delle infestanti. Stanton *et al.* (2010) hanno riportato che in Canada nel 2007 si è registrata una riduzione del 40% del costo degli erbicidi e un risparmio di 6000 t di erbicidi in seguito all'utilizzo di OGM. In Europa la coltivazione di piante geneticamente modificate è ancora molto limitata anche se attualmente si registra un numero crescente di OGM sottoposti al processo di regolazione (Reuter *et al.*, 2009). Di conseguenza la gestione delle infestanti in colza rimane una questione aperta in nazioni no-ogm. Allo stato attuale l'obiettivo nella gestione delle infestanti è quello di mantenere un livello di infestazione accettabile piuttosto che eliminare completamente la flora infestante. Diversi studi hanno messo in evidenza che il controllo delle infestanti può essere effettuato utilizzando una dose di erbicida più bassa rispetto a quella consigliata ottenendo comunque rese della coltura soddisfacenti. Una riduzione della dose degli erbicidi spesso risulta sufficiente a mantenere la densità delle infestanti pari o al di sotto del livello soglia, in particolare è emerso che una riduzione della dose, rispetto a quanto riportato in etichetta, in combinazione con il controllo meccanico delle infestanti è un modo efficace per ridurre gli erbicidi in un'ottica di riduzione degli input

nella tecnica colturale. Zhang *et al.* (2000), in base ai dati ottenuti da diversi studi condotti su diverse colture in condizioni ambientali differenti, hanno riscontrato variazioni sostanziali nell'efficienza della gestione delle infestanti al variare della dose di erbicida (Barros *et al.*, 2008).

Tuttavia, nel caso specifico del colza, l'inadeguata gestione delle infestanti è uno dei principali fattori che limita la produzione (Zanetti *et al.*, 2009). Blackshaw *et al.* (1987) hanno riportato che la riduzione della resa in colza dipendeva dalle specie infestanti presenti e dalla densità di infestazione ed era dell'ordine del 20 – 60%. Oltre ad una riduzione della resa è stato riscontrato un minor contenuto di olio nei semi, mentre sono rimasti inalterati la composizione degli acidi grassi e il contenuto in proteine. Le conoscenze sulla gestione delle infestanti nelle nazioni ogm-free dell'Europa meridionale sono alquanto scarse. Nell'Italia centrale e meridionale il colza rappresenta una nuova coltura nei sistemi colturali non irrigui e costituisce una valida alternativa alla omosuccessione del frumento duro. Per quanto riguarda la gestione delle infestanti, considerando il periodo in cui viene effettuata la semina e la sua scarsa competizione con le infestanti, soprattutto nelle fasi iniziali di crescita della pianta (Toniolo e Mosca, 1986), il colza è caratterizzato da una flora infestante complessa e composta da diverse specie sia mono che dicotiledoni (Rapparini, 2007).

Il Metazachlor è un erbicida α -cloroacetammide che è stato registrato per il controllo delle infestanti in pre-emergenza e in post-emergenza in colza (FAO, 1999; BVL, 2004). Il controllo avviene attraverso l'inibizione della sintesi degli acidi grassi e la riduzione di acidi grassi a catena lunga nella membrana plasmatica (Matthes e Böger, 2002) e nella cuticola (Ebert e Ramsteiner, 1984). Queste alterazioni determinano una serie di effetti secondari che portano alla morte della pianta. In Italia il metazachlor è registrato per l'utilizzo in pre- e in post-emergenza (quando il colza si trova nello stadio di 2-6 foglie vere) nella dose di 200-250 g di p.a ha⁻¹. Con l'utilizzo del metazachlor in pre-emergenza è stato osservato un controllo efficace su *Avena fatua* L., *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv., *Polygonum* spp. e *Sinapis arvensis* L. (Tomlin, 2004). Simile spettro di azione si ha con le infestanti a foglia larga con il trattamento in post-emergenza (Tanveer *et al.*, 2005).

Sono necessarie ulteriori informazioni per definire la dose biologicamente efficace di metazachlor al fine di ottenere un controllo soddisfacente delle diverse infestanti in colza.

Pertanto gli obiettivi specifici di questo studio sono stati 1) sviluppare la curva dose-risposta per il controllo in colza di crisantemo, chenopodio, papavero comune, crespigno comune e senape selvatica con dosi differenti del p.a. metazachlor; 2) determinare per la curva dose-risposta la dose di metazachlor richiesta per conseguire più del 90% del controllo delle infestanti individuate in modo da garantire la massima sicurezza in coltura per il colza.

Materiali e metodi

Descrizione del sito

La sperimentazione di campo è stata condotta nel corso delle annate agrarie 2007 – 2008, 2008 – 2009 e 2009 – 2010 presso il campo sperimentale “Mauro Deidda” della Facoltà di Agraria dell’Università di Sassari sito a Ottava (41° N; 8° E; 80 m slm). Il sito è caratterizzato da terreni profondi circa 0.6 m sovrapposti a uno strato di calcare (Xerochrepts), con tessitura sabbio-limo-argillosa, un contenuto medio di N pari a 0.76‰, e un rapporto C/N pari a 12. Il contenuto idrico del suolo è del 22.4% sulla base del peso alla capacità di campo (–0.02MPa), e 11.9% a –1.5MPa. Il clima è tipicamente mediterraneo, con precipitazioni medie annue di 538 mm.

Disegno sperimentale e trattamenti

La sperimentazione, di durata triennale, è stata effettuata in tre campi differenti e adiacenti del sito sperimentale. Le principali pratiche agronomiche sono riportate in Tabella 1.

Tabella 1
Informazioni a carattere agronomico

Anno	2007 – 2008	2008 – 2009	2009 – 2010
Coltura precedente	Fumento duro	Orzo	Triticale
Data di semina	13/11	25/02	9/11
Cultivar	Kabel	Kabel	Kabel
Densità (piante m ⁻²)	120	120	120
Interfila (m)	0.17	0.17	0.17
Concimazione	130 N, 92 P ₂ O ₅	130 N, 92 P ₂ O ₅	130 N, 92 P ₂ O ₅
Data di emergenza	04/12	09/03	30/11
Data trattamento pre-semine	08/11	—	—
Data trattamento pre-emergenza	14/11	26/02	10/11
Data trattamento post-emergenza	07/01	06/04	11/12
Raccolta	05/06	21/06	28/05

Ogni anno, si è proceduto alla preparazione del letto di semina mediante aratura. Le lavorazioni complementari hanno variato di anno in anno a seconda delle condizioni del terreno. Tutte le pratiche agronomiche, eccetto il controllo delle infestanti, sono state le stesse in tutti gli anni. La gestione della fertilizzazione e delle fitopatie è stata condotta secondo criteri di buona pratica agricola (Bonciarelli e Bonciarelli, 2001). La ricerca è stata condotta sulla cultivar Kabel, varietà alternativa, caratterizzata da precocità di maturazione e taglia bassa e compatta. La sperimentazione è stata organizzata, a scala parcellare (dimensione parcelle 4.5 m di larghezza e 20 m di lunghezza), secondo un disegno sperimentale a blocchi completamente randomizzati con quattro repliche. Il protocollo sperimentale è stato leggermente modificato nei tre anni di sperimentazione, per includere ulteriori trattamenti in base ai risultati ottenuti negli anni precedenti (Tabella 2).

Tabella 2
Trattamenti erbicidi sul colza nel 2007 – 2008, 2008 – 2009 e 2009 – 2010

Codice	Trattamento	Dose (g p.a. ha ⁻¹)	Epoca di applicazione	Anno		
				2007 – 2008	2008 – 2009	2009 – 2010
M50	Metazachlor	50	Pre – emergenza	—	x	x
M100	Metazachlor	100	Pre – emergenza	x	x	x
M150	Metazachlor	150	Pre – emergenza	x	x	x
M200	Metazachlor	200	Pre – emergenza	x	x	x
M250	Metazachlor	250	Pre – emergenza	x	—	—
Mpe	Metazachlor	100	Post – emergenza	—	x	x
Tf	Trifluralin	120	Pre – semina	x	—	—
C	Controllo	—	—	x	x	x

In tutte le annate è stato utilizzato il metazachlor (Butisan[®] S, 500 g p.a. L⁻¹, BASF, massima dose raccomandata: 1250 g p.a. ha⁻¹) distribuito con quattro dosaggi nel 2007 (1250, 750, 500 in pre-emergenza e 500 in post-emergenza g p.a. ha⁻¹) e con cinque dosaggi nel 2008 e nel 2009 (1000, 750, 500, 250 in pre-emergenza e 500 in post-emergenza g p.a. ha⁻¹). Nel 2007 – 2008 è stato anche considerato un trattamento con trifluralin (Triflene[®], 480 g p.a. L⁻¹, Sariaf, dose massima raccomandata: 576 g p.a. ha⁻¹), non ripetuto nei successivi due anni di sperimentazione a causa della scarsa efficacia riscontrata nel controllo delle infestanti. In tutte le annate di sperimentazione le parcelle non trattate hanno costituito il controllo. Tutti i trattamenti erbicidi con metazachlor sono stati somministrati mediante botte a spalla calibrata per fornire 600 L

ha⁻¹ di soluzione attraverso TeeJet 11003 ugelli (Spraying Systems Co., Wheaton, IL, USA) a 234 kPa.

Rilievi

Le caratteristiche chimico-fisiche del suolo dei tre campi sperimentali (riportate in tabella 3) hanno presentato valori simili tra loro. I dati meteorologici (temperatura dell'aria e precipitazioni) sono state registrate in sito da una stazione agrometeorologica dell'Agenzia della Regione Sardegna di Protezione Ambientale (ARPAS). La temperatura media mensile e la precipitazione mensile registrate durante il ciclo di crescita del colza in ogni anno di prova, sono riportate rispettivamente in tabella 4 e 5.

Tabella 3
Caratteristiche fisico-chimiche medie del suolo del sito di studio

Profondità (cm)	Argilla (%)	Limo (%)	pH	Densità apparente (g m ⁻³)	Capacità di campo (cm ³ cm ⁻³)	Punto di appassimento (cm ³ cm ⁻³)	Capacità idrica massima (cm ³ cm ⁻³)	Carbonio organico (%)
0-15	23.0	7.1	8.32	1.44	0.27	0.17	0.42	1.28
15-30	12.8	18.6	8.35	1.45	0.25	0.15	0.42	1.16

Tabella 4
Temperature medie (°C) per le annate del 2007 – 2008, 2008 – 2009 e 2009 – 2010

Anni	Mesi											
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
2007	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12.3	9.4
2008	9.8	8.7	10.2	13.1	16.8	19.7	—	—	—	—	—	—
2009	—	8.0	10.1	13.0	17.1	21.2	—	—	—	—	14.1	11.6
2010	9.2	10.3	11.0	13.5	15.9	19.7	—	—	—	—	—	—

Tabella 5
Precipitazioni mensili (mm) per le annate del 2007 – 2008, 2008 – 2009 e 2009 – 2010

Anni	Mesi											
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
2007	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	46.0	78.0
2008	86.6	29.0	87.0	20.6	120.4	17.2	—	—	—	—	—	—
2009	—	32.2	61.4	76.0	15.8	46.4	—	—	—	—	48.6	96.8
2010	96.0	48.6	48.6	40.8	103.2	72.2	—	—	—	—	—	—

Ogni anno sono state determinate la biomassa delle infestanti e quella del colza. La capacità di controllo su ogni tipologia di infestante da parte del metazachlor, è stata valutata visivamente per ogni anno di prova, 4 settimane dopo il trattamento in post-emergenza secondo una scala empirica da 0 (nessun controllo delle infestanti in confronto con il controllo non trattato) a 100 (controllo totale delle infestanti). Il grado di copertura delle infestanti (%) è stato valutato visivamente 60 giorni dopo

l'emergenza (DAE) secondo il metodo Braun – Blanquet (1964). Quattro settimane dopo il trattamento in post-emergenza e quando il colza si trovava nella fase di fioritura, in ogni parcella sono state individuate casualmente quattro aree di saggio (0.1 m²) al fine di monitorare la densità e la composizione delle infestanti per la determinazione della *Relative Weed Density* (RWD) (Hasanuzzaman *et al.*, 2008) calcolata come segue:

$$RWD = \frac{\text{Density of individual weed species in the community}}{\text{Total density of all weed species in the community}} \times 100$$

È stata valutata la sostanza secca delle infestanti individuando in ciascuna parcella un'area di saggio da 1 m² circa quattro settimane dopo il trattamento con metazachlor in post-emergenza e in corrispondenza dello stadio di fioritura della coltura.

Analisi statistiche

Le analisi statistiche sono state condotte secondo uno schema a blocchi randomizzati ripetuti nel tempo, dove il tempo è stato considerato come fattore casuale e la dose di erbicida come fattore fisso. Tutti i dati sono stati sottoposti all'analisi della varianza (ANOVA) usando il software statistico SAS (SAS Software, 1999) e analizzati usando la procedura GLM.

Per ogni combinazione “anno – dose – infestante”, i dati di densità delle singole infestanti sono stati soggetti a un'analisi di regressione non – lineare usando il seguente modello logistico dose – risposta (Streibig *et al.*, 1993):

$$Y = \frac{100}{1 + \exp\{b[\log(x) \log(ED_{50})]\}} \quad (1)$$

Dove Y rappresenta la risposta (densità dell'infestante), x la dose di erbicida, b la pendenza della curva intorno al punto di flesso ed ED_{50} la dose richiesta per ottenere il 50% del controllo dell'infestante. L' ED_{50} può essere sostituito da ogni livello di ED, il modello è stato quindi utilizzato per stimare la dose di metazachlor richiesta per ottenere il 90% di controllo delle diverse infestanti considerate (valore ED_{90}) (Copping *et al.*, 1990). Il modello logistico dose – risposta è stato adattato direttamente con i dati raccolti, usando la macro di EXCEL BIOASSAY97 (Onofri 2005). Le curve dose – risposta generate descrivono la relazione tra la dose di erbicida e la percentuale di

riduzione della densità dell'infestante espressa in percentuale rispetto al controllo non trattato.

Risultati e discussioni

L'andamento termo – pluviometrico relativo alla stagione di crescita della coltura è stato differente nei tre anni di prova. Le precipitazioni nel periodo considerato sono state di 485 mm nel 2007 – 2008, 232 mm nel 2009 e di 555 mm nel 2009 – 2010. Nel 2007 – 2008 le precipitazioni sono state concentrate per circa il 43% nel periodo novembre-gennaio. I mesi di febbraio e aprile sono stati caratterizzati da un andamento siccitoso che ha influito negativamente sulla produzione finale, solo tra maggio e giugno è stata registrata una piovosità superiore alla media. Nel 2009 i mesi più piovosi sono stati marzo e aprile, favorevoli per il passaggio dallo stadio vegetativo a quello riproduttivo vista l'epoca di semina ritardata. Le precipitazioni registrate nel 2009 – 2010 sono state superiori rispetto agli altri due anni di prova con piovosità superiore alla media nei mesi maggio e giugno. L'andamento termico è stato in linea con i valori tipici dell'ambiente di prova; la temperatura non è mai scesa al di sotto di 0 °C. La fase di ripresa dell'attività vegetativa nel 2007 – 2008 e nel 2009 – 2010 è stata caratterizzata da un andamento termico tendenzialmente mite, considerando che le temperature da gennaio a marzo sono risultate in linea con le medie pluriennali, mentre l'attività riproduttiva è stata accompagnata da valori termici inferiori a quelli medi, in particolare nel periodo fine aprile – maggio. Sia al primo che al secondo rilievo (Tabelle 6 e 7), il minor peso secco o l'assenza di infestanti alle dosi più elevate di erbicida, ha portato a un incremento del peso secco delle piante di colza. Questo significa che la minor competizione tra infestanti e colza ha determinato una crescita maggiore da parte della coltura.

In entrambe le date di rilievo sono state osservate differenze statisticamente significative in relazione alle epoche di applicazione (Tf ed Mpe). In particolare, i trattamenti in pre-semina e post-emergenza sono risultati inefficaci ai fini del controllo delle infestanti come emerge dagli elevati valori di biomassa secca delle infestanti riportati nelle Tabelle 6 e 7. L'indice di copertura delle infestanti (Tabelle 6 e 7) ha mostrato valori più bassi in corrispondenza delle più elevate dosi di erbicida applicate. Tra il primo e il secondo rilievo è stato osservato un incremento nell'indice di copertura in M50 e Tf. Come riportato nel caso di altre colture, dosi più basse di erbicida, rispetto a quanto raccomandato in etichetta, sono state sufficienti ad ottenere rese soddisfacenti.

Le applicazioni in pre-semina di trifluralin e in post-emergenza di metazachlor, al contrario, hanno fatto registrare rese molto basse e significativamente diverse rispetto agli altri trattamenti. La resa in seme si è inoltre ridotta del 30.2% nel controllo non trattato rispetto alla massima dose di erbicida applicata (Tabella 8).

Tabella 6

Biomassa e copertura delle infestanti e biomassa del colza per i diversi trattamenti (media di 3 anni) al primo rilievo

Trattamento	Densità (Piante m ⁻²)	Copertura (0-100)	Biomassa colza (kg ha ⁻¹)	Biomassa infestanti (kg ha ⁻¹)
M50	95 c	15 cd	766 e	102 b
M100	62 d	20 c	1238 c	93 b
M150	48 e	12 de	1388 a	0 d
M200	47 e	6 ef	1316 b	0 d
M250	24 f	2 f	1105 d	0 d
Mpe	131 a	70 b	549 f	187 a
Tf	65 d	18 c	570 f	47 c
C	101 b	82 a	476 g	171 a

Fonte di variazione

Trattamento	***	***	***	***
Anno	***	***	***	n.s.
Trattamento × Anno	n.s.	***	***	**

n.s. Non significativo per $P > 0.05$ *** Significativo per $P < 0.001$ ** Significativo per $0.001 < P < 0.01$ * Significativo per $0.01 < P < 0.05$

Tabella 7

Biomassa e copertura delle infestanti e biomassa del colza per i diversi trattamenti (media di 3 anni) al secondo rilievo

Trattamento	Densità (Piante m ⁻²)	Copertura (0-100)	Biomassa colza (kg ha ⁻¹)	Biomassa infestanti (kg ha ⁻¹)
M50	102 a	30 b	3638 bc	499 bc
M100	74 b	19 bc	3613 c	227 cd
M150	65 bc	7 cd	4237 ab	62 d
M200	60 c	4 d	4788 a	36 d
M250	37 d	0 d	4108 bc	0 d
Mpe	95 a	63 a	2394 d	783 b
Tf	39 d	59 a	2511 d	281 cd
C	97 a	70 a	2310 d	1200 a

Fonte di variazione

Trattamento	***	***	*	n.s.
Anno	***	**	***	***
Trattamento × Anno	n.s.	n.s.	***	***

n.s. Non significativo per $P > 0.05$ *** Significativo per $P < 0.001$ ** Significativo per $0.001 < P < 0.01$ * Significativo per $0.01 < P < 0.05$

Simili risultati sono stati riportati da Yadav (2004), che ha concluso che le infestanti in assenza di controllo hanno determinato una perdita di resa pari al 37.5%. Questa riduzione in resa è dovuta a una più bassa disponibilità idrica e di elementi nutritivi e una maggiore competizione per la radiazione solare. I componenti della resa sono risultati significativamente influenzati dai differenti trattamenti messi a confronto (Tabella 8), in particolare il trattamento M150 ha fatto registrare il più elevato peso dei 1000 semi e numero di semi per siliqua. Alla raccolta si è confermato che la densità del colza è stata più bassa nei trattamenti a più alto dosaggio di erbicida che potrebbe essere attribuito a un parziale effetto fitotossico da parte dell'erbicida quando usato a più alte dosi.

Tabella 8
Harvest Index, biomassa alla raccolta e componenti della resa per i diversi trattamenti (media di 3 anni)

Trattamento	Densità (Pianta m ⁻²)	Silique pianta ⁻¹ (n)	Semi siliqua ⁻¹ (n)	Peso 1000 semi (g)	Biomassa raccolta (kg ha ⁻¹)	Resa (kg ha ⁻¹)	HI (%)
M50	72 c	155 bcd	20 ab	3.25 abc	8124 b	1758 cd	21 c
M100	59 d	173 abc	21 a	3.41 ab	9096 ab	2100 bc	23 bc
M150	53 e	212 ab	23 a	3.61 a	11003 a	2992 a	29 ab
M200	48 f	256 a	22 a	3.46 ab	10452 a	2556 ab	25 abc
M250	37 g	98 cde	20 ab	3.29 ab	10321 a	2966 a	29 a
Mpe	78 b	108 cde	17 bc	3.16 b	5902 c	1401 de	26 abc
Tf	39 g	72 de	16 cd	2.58 d	4996 cd	1228 de	24 abc
C	83 a	51 e	12 d	2.85 cd	3694 d	897 e	24 abc

Fonte di variazione

Trattamento	**	*	*	*	n.s.	*	n.s.
Anno	***	*	n.s.	*	*	n.s.	*
Trattamento × Anno	***	n.s.	n.s.	n.s.	***	**	n.s.

n.s. Non significativo per $P > 0.05$

*** Significativo per $P < 0.001$

** Significativo per $0.001 < P < 0.01$

* Significativo per $0.01 < P < 0.05$

La flora infestante presente nel sito sperimentale e la densità media delle specie infestanti espressa come RWD sono riportate in Tabella 9. Sono state individuate ventuno specie infestanti tra mono e dicotiledoni appartenenti a sei famiglie botaniche che a parte qualche eccezione sono state rilevate fin dalla prima osservazione. Il valore più elevato della RWD è stato osservato su una specie non specifica su colza ma tipica della flora spontanea dell'ambiente mediterraneo il *Chrysanthemum coronarium*. La seconda specie prevalente è risultata il *Chenopodium album* seguita da *Fumaria capreolata*; queste due specie al contrario del *Chrysanthemum coronarium* sono tipiche della flora infestante in colza.

Tabella 9
Valori medi (3 anni) della *Relative Weed Density* (RWD)

Specie	Famiglia	RWD (%)	
		1° Rilievo	2° Rilievo
<i>Beta vulgaris</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	3.98	3.84
<i>Chenopodium album</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	10.40	24.44
<i>Calendula officinalis</i>	<i>Compositae</i>	0.00	0.67
<i>Chrysanthemum coronarium</i>	<i>Compositae</i>	27.75	25.45
<i>Sonchus oleraceus</i>	<i>Compositae</i>	1.11	0.93
<i>Convolvulus arvensis</i>	<i>Convolvulaceae</i>	4.51	7.85
<i>Capsella bursa – pastoris</i>	<i>Cruciferae</i>	1.54	0.00
<i>Raphanus raphanistrum</i>	<i>Cruciferae</i>	3.70	3.85
<i>Sinapsis arvensis</i>	<i>Cruciferae</i>	2.56	2.65
<i>Geranium molle</i>	<i>Geraniaceae</i>	0.38	0.00
<i>Hordeum vulgare</i>	<i>Graminaceae</i>	4.20	0.99
<i>Lolium rigidum</i>	<i>Graminaceae</i>	3.59	0.75
<i>Medicago polymorpha</i>	<i>Leguminosae</i>	2.88	1.03
<i>Trifolium spp.</i>	<i>Leguminosae</i>	1.92	1.01
<i>Vicia sativa</i>	<i>Leguminosae</i>	0.00	0.50
<i>Fumaria capreolata</i>	<i>Papaveraceae</i>	17.43	13.24
<i>Papaver rhoeas</i>	<i>Papaveraceae</i>	5.66	8.19
<i>Rumex acetosa</i>	<i>Polygonaceae</i>	7.61	1.01
<i>Anagallis arvensis</i>	<i>Primulaceae</i>	0.77	3.10
<i>Ranunculus repens</i>	<i>Ranunculaceae</i>	0.00	0.17
<i>Veronica persica</i>	<i>Scrophulariaceae</i>	0.00	0.34

Tabella 10
Dose di metazachlor richiesta per ottenere il 90% della riduzione della densità delle infestanti e i parametri di regressione per le specie infestanti (media 3 anni)

Infestante	Dose metazachlor ± ES	Parametri regressione ± ES	
	ED ₉₀	<i>b</i>	ED ₅₀
Chenopodio	70±9.6 **	1.7±0.2 **	19.2±2.0 **
Crisantemo	49±1.9 ***	1.7±0.1 ***	13.4±0.6
Fumaria	87±6.7 **	2.7±0.3 **	38.1±2.2 ***
Papavero	152±82.0 n.s.	1.3±0.5 n.s.	27.4±9.2 n.s.
Rafano	143±25.8 *	1.5±0.2 **	31.5±3.6 **
Senape	60±4.7 **	3.3±0.4 **	30.9±1.8 ***

n.s. Non significativo per $P > 0.05$

*** Significativo per $P < 0.001$

** Significativo per $0.001 < P < 0.01$

* Significativo per $0.01 < P < 0.05$

Le curve dose – risposta per le principali specie infestanti rilevate, hanno mostrato una buona corrispondenza rispetto ai dati osservati. I valori di ED₉₀ per il metazachlor sono riportati in Tabella 10.

In particolare, per crisantemo e senape, una dose inferiore a 60 g p.a. ha⁻¹ sarebbe sufficiente a controllare il 90% della densità di queste infestanti. Al contrario, dosi più elevate, ma comunque inferiori rispetto a quanto raccomandato in etichetta, sono necessarie per il controllo di papavero e rafano (circa 150 g p.a. ha⁻¹).

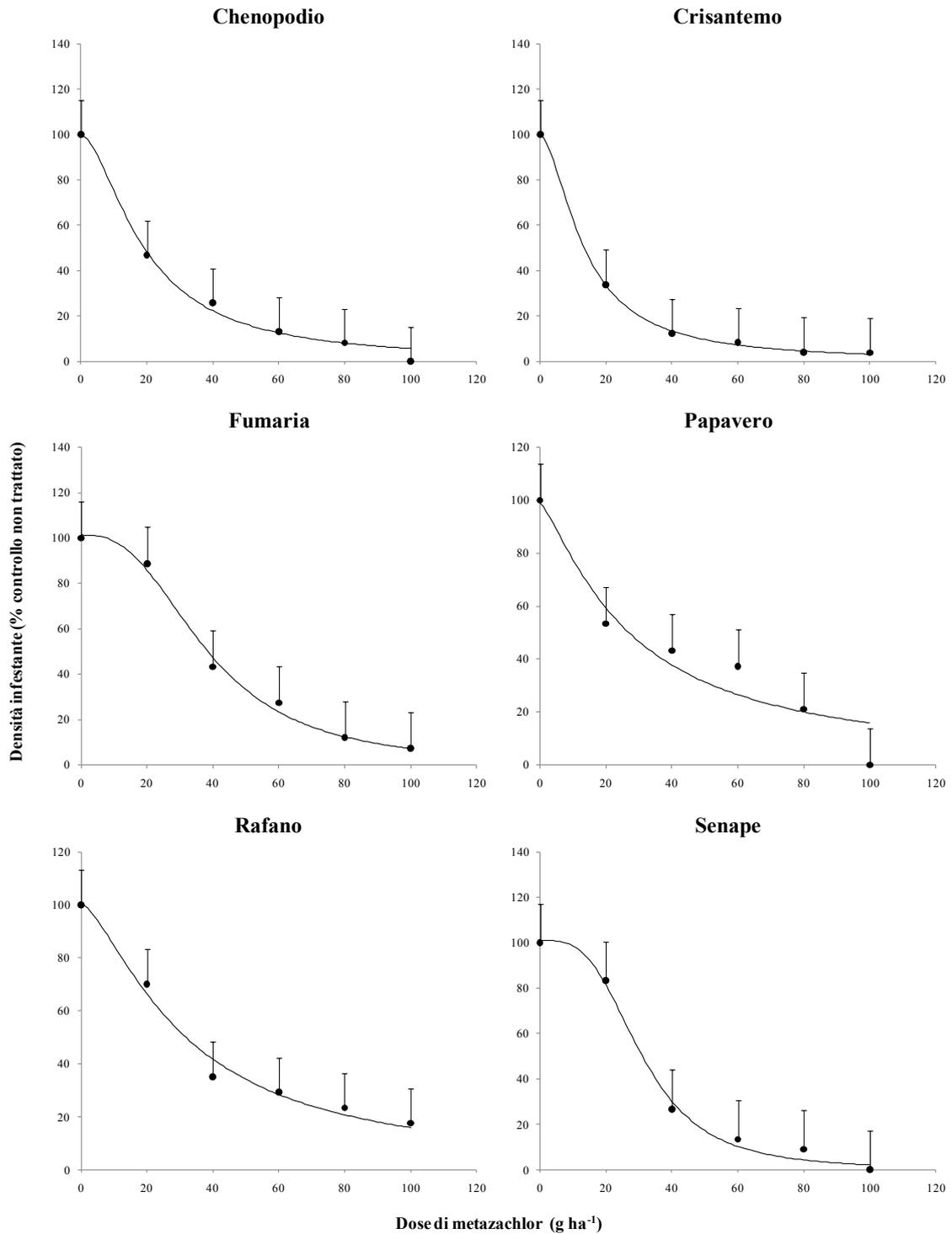


Figura 1 Densità delle principali specie infestanti (espressa come percentuale del controllo non trattato) influenzata dalle varie dosi di metazachlor. I punti rappresentano valori medi (\pm ES) cumulati per anno. La linea di regressione è stata ottenuta usando l'equazione (1) e i valori dei parametri sono riportati in Tabella 10

Conclusioni

Per facilitare la gestione delle infestanti in colza, già da due decenni sono stati messi in commercio nuovi ibridi resistenti a glufosinate e glifosate. In Italia, dove l'uso di questi ibridi non è consentito e considerando il rinnovato interesse verso il colza come coltura energetica, si rende necessario mettere a punto una tecnica di gestione delle infestanti in un'ottica di riduzione degli input e quindi delle dosi di utilizzo del principio attivo. La possibilità di ottimizzare l'impiego del principio attivo del diserbante assume ulteriore rilevanza dal punto di vista della sostenibilità ambientale, aspetto non trascurabile in particolare in relazione ad una politica di gestione *green energy*.

Nella prova condotta, le componenti della resa osservate hanno mostrato che nell'ambiente pedoclimatico mediterraneo il colza potrebbe fornire produzioni competitive in funzione della gestione del controllo delle infestanti. Infatti, le principali componenti della resa (numero silique pianta⁻¹, numero semi siliqua⁻¹, peso 1000 semi) sono risultate in accordo con quanto riportato in letteratura per ambienti a clima mediterraneo (Bouaid *et al.*, 2005). I risultati hanno evidenziato una più efficace risposta della coltura al diserbo con metazachlor alla dose di 1.5 L ha⁻¹. La produzione raccolta è stata fortemente penalizzata dal mancato controllo delle infestanti e dalla conseguente severa competizione esercitata da queste durante le fasi di accrescimento e sviluppo della coltura.

I nostri risultati confermano che l'utilizzo della curva dose – risposta in studi condotti in pieno campo può rappresentare un importante strumento per stimare i parametri necessari a esprimere l'efficacia dell'erbicida in termini di dosi biologiche equivalenti (valori ED) (Kudsk e Streibig, 1993; Kudsk e Mathiassen, 2007).

È possibile ridurre la dose di erbicida rispetto a quanto raccomandato in etichetta, non trascurando il fatto che le specie infestanti meno suscettibili potrebbero sfuggire al controllo dell'erbicida.

I valori di ED₉₀ ottenuti hanno chiaramente mostrato che le dosi di metazachlor applicato in pre – emergenza possono essere sostanzialmente ridotte a seconda delle specie infestanti presenti.

Bibliografia

- Barros, J.F.C., Basch, G., de Carvalho, M., 2008. Effect of reduced doses of a post-emergence graminicide to control *Avena sterilis* L. and *Lolium rigidum* G. in no-till wheat under Mediterranean environment. *Crop Protection* 27, 1031–1037.
- Blackshaw, R.E., Anderson, G.W., Dekker, J., 1987. Interference of *Sinapis arvensis* L. and *Chenopodium album* L. in spring canola (*Brassica napus* L.). *Weed Research* 27, 207–213.
- Bonciarelli, F., Bonciarelli, U., 2001. *Coltivazioni Erbacee. Edagricole – Edizioni Agricole*, Bologna, Italy, p. 492.
- Bouaid, A., Diaz, Y., Martínez, M., Aracil, J., 2005. Pilot plant studies of biodiesel production using *Brassica carinata* as raw material. *Catalysis Today* 106, 193–196.
- Braun-Blanquet, 1964. *Planzesociologie, Grundzüge der Vegetations kunde*, Springer, Wien, p. 865.
- BVL, 2004. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit Verzeichnis zugelassener Pflanzen-schutzmittel. <http://www.bvl.bund.de>.
- Copping, L.G., Hewitt, H.G., Rowe, R.R., 1990. Evaluation of a new herbicide. In: Hance, R.J., Holly, K. (Eds.), *Weed Control Handbook: Principles*, eighth ed. Blackwell Scientific Publication, Oxford, UK, pp. 261–299.
- Ebert, E., Ramsteiner, K., 1984. Influence of metolachlor and the metolachlor protectant CGA 43089 on the biosynthesis of epicuticular waxes on the primary leaves of *Sorghum bicolor* Moench. *Weed Research* 24, 383–389.
- FAO, 1999. Food and Agriculture Organization. *Specifications and Evaluations for Plant Protection Products. Metazachlor*, pp. 17.
- Graef, F., Stachow, U., Werner, A., Schütte, G., 2007. Agricultural practice changes with cultivating genetically modified herbicide-tolerant oilseed rape. *Agricultural Systems* 94, 111–118.
- Hasanuzzaman, M., Islam, M.O, Bapari, M.S., 2008. Efficacy of different herbicides over manual weeding in controlling weeds in transplanted rice. *Australian Journal of Crop Science* 2, 18–24.
- Kudsk, P., Mathiassen, S.K., 2007. Analysis of adjuvant effects and their interactions with variable application parameters. *Crop Prot.* 26, 328–334.
- Kudsk, P., Streibig, J.C., 1993. Adjuvant and formulations. In: Streibig, J.C., Kudsk, P. (Eds.), *Herbicide Bioassay*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 99–116.

- Lutman, P.J.W., 2002. Estimation of seed production by *Stellaria media*, *Sinapis arvensis* and *Tripleurospermum inodorum* in arable crops. *Weed Research* 42, 359–369.
- Matthes, B., Böger, P., 2002. Chloroacetamides affect the plasma membrane. *Zeitschrift für Naturforschung* 57, 843–852.
- Onofri, A., 2005. BIOASSAY97: a new EXCEL VBA macro to perform statistical analyses on herbicide dose–response data. *Riv. Ital. Agrometeorol.* 3, 40–45.
- Rapparini, G., 2007. Il colza si diserba con interventi preventivi. *L'Informatore Agrario* 34, 73–76.
- Reuter, H., Schmidt, G., Schröder, W., Middelhoff, U., Pehlke, H., Breckling, B., 2009. Regional distribution of genetically modified organisms (GMOs)—Up-scaling the dispersal and persistence potential of herbicide resistant oilseed rape (*Brassica napus*). *Ecological Indicators* xxx, xxx–xxx.
- SAS Software, 1999. Version 9.02. Cary: SAS Institute, Inc.
- Stanton, R.A., Pratley, J.E., Hudson, D., Dill, G.M., 2010. Herbicide tolerant canola systems and their impact on winter crop rotations. *Field Crops Research* 117, 161–166.
- Streibig, J.C., Rudemo, M., Jensen, J.E., 1993. Dose–response curves and statistical models. In: Streibig, J.C., Kudsk, P. (Eds.), *Herbicide Bioassay*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 29–55.
- Tanveer, A., Ayub, M., Ali, A., Nadeem, M.A., 2005. Effect of soil incorporated herbicides on weeds and yield of canola (*Brassica napus* L.). *Pak. J. Bot.* 37, 661–665.
- Tomlin, C., 2004. *Pesticide Manual*. BCPC Publications, UK, pp. 1350.
- Toniolo, L., Mosca, G., 1986. *Il colza*. Reda, Roma, pp. 106.
- Yadav, R.P., 2004. Effect of herbicides alone and in combination with cultural methods on weed control in Indian mustard (*Brassica napus*). *Indian J. Agron.* 49, 268–270.
- Zanetti, F., Vamerali, T., Mosca, G., 2009. Yield and oil variability in modern varieties of high-erucic winter oilseed rape (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) and Ethiopian mustard (*Brassica carinata* A. Braun) under reduced agricultural inputs. *Industrial Crops and Products* 30, 265–270.
- Zhang, J., Weaver, S.E., Hamill, A.S., 2000. Risks and reliability of using herbicides at below-labeled doses. *Weed Technol.* 14, 106–115.