

**“VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ PRODUTTIVA DI BIOMASSE
AGRIENERGETICHE IN UN’AZIENDA TOSCANA DI MEDIE DIMENSIONI”
(BANDO OIGA D.M. 2064 DEL 13.02.2008)**



DiPSA - UNIFI



**MINISTERO POLITICHE AGRICOLE
ALIMENTARI E FORESTALI**



SCHEDA DI PROGETTO	
Ente Finanziatore:	Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Partner scientifico:	Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze delle produzioni vegetali, del suolo e dell'ambiente agroforestale (DIPSA)
Impresa agricola:	Azienda Agricola Lucagnano di Torrigiani Malaspina Tommaso
Obiettivi e sintesi:	
L'obiettivo del progetto è stato quello di analizzare la filiera dei biocarburanti (bioetanolo, biodiesel e olio vegetale puro), prodotti a partire da colture energetiche dedicate, stimandone il potenziale produttivo, rispetto all'agro-ecosistema fisico e all'impatto della variabilità meteo-climatica e dei cambiamenti climatici. Sono state condotte per un triennio prove sperimentali per testare l'idoneità delle specie al pedoclima dell'area di studio e verificare le criticità di ordine agronomico e tecnico nella gestione delle colture. E' stata valutata la risposta produttiva di specie tradizionali e di nuova introduzione considerando sia colture a ciclo primaverile-estivo (<i>Helianthus annuus</i> L, <i>Sorghum saccharatum</i> L., <i>Zea mays</i> L.) che specie autunno-vernino (<i>Brassica carinata</i> L. , <i>Brassica napus</i> L.). I risultati hanno permesso di individuare le colture energetiche più idonee ad essere inserite nei piani di rotazione, sulla base della sostenibilità della filiera, da un punto di vista produttivo ed energetico, orientando le scelte d'indirizzo produttivo dell'azienda agricola.	

RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ SVOLTE ED I RISULTATI DEL PROGETTO

1. Biocarburanti dal settore agricolo: ruolo della vocazionalità delle aree di produzione e dell'efficienza dei sistemi colturali nel raggiungimento dei requisiti di sostenibilità economica, energetica ed ambientale.

I biocarburanti si distinguono in base al tipo di biomassa di origine e processo di produzione. Le principali categorie di biomasse agricole prese in considerazione nell'ambito del progetto fanno riferimento alle filiere dei seguenti biocarburanti:

- Il Bioetanolo, o bioetanolo convenzionale, derivante dall'idrolisi e fermentazione di substrati amilacei (es. granella dei cereali) e zuccherini (es. sorgo zuccherino, barbabietola da zucchero),
- L'Olio Vegetale Puro (PVO), derivante dalla pressatura a freddo o dall'estrazione di semi di colture oleaginose (es. *Brassicaceae*, girasole),
- Il Biodisel derivante dalla pressatura a freddo, estrazione e transesterificazione degli oli vegetali,

Questi sopra riportati rientrano tra i 'biocarburanti di prima generazione' in quanto vengono ottenuti mediante processi ben noti.

I biocarburanti possono essere facilmente ricavati da importanti specie agrarie coltivate tradizionalmente sui nostri territori, come: frumento, orzo, mais, colza, soia, girasole, sorgo da granella, barbabietola da zucchero etc. Trattandosi di specie con solida ed antica tradizione, a livello tecnico, sociale ed economico, la vocazionalità delle aree alla produzione e all'avvio delle rispettive filiere è favorevole, ma l'utilizzazione di tali biomasse a fini energetici lascia aperte problematiche legate alla competizione con il settore alimentare che possono condurre squilibri di mercato con il rincaro dei prezzi del prodotto.

In tale contesto si prospetta particolarmente interessante lo sviluppo delle filiere legate ai 'biocarburanti di seconda generazione' in grado di sfruttare la componente ligno-cellulosica della biomassa, esente quindi dalla competizione con l'uso alimentare. Di interesse nell'ambito delle attività progettuali troviamo i seguenti biocarburanti di II generazione, ottenuti tutti a partire da substrati ligno-cellulosici:

- Il Bioetanolo cellulosico, derivante dall'idrolisi avanzata e fermentazione della biomassa,
- Il Diesel Fischer-Tropsch (FT), il Biodiesel sintetico, il Biometanolo, gli Alcoli più pesanti e il Biodimetiltere (Bio-DME), Biogas SNC, tutti prodotti a partire dal substrato di origine per gassificazione e sintesi,

- Il Bioidrogeno e il Biogas potenziati, provenienti sempre dalle materie prime per gassificazione e sintesi o per processo biologico.

Anche se i biocarburanti di II generazione ovviano alle criticità, dal punto di vista etico ed economico, legate alla doppia destinazione d'uso delle biomasse (alimentare ed energetica), la loro produzione è comunque tenuta a rispondere a determinati requisiti di natura agronomica, energetica ed ambientale, dal momento che i risvolti positivi sulla riduzione delle emissioni di gas effetto serra (GHG), dovuti all'uso di biocarburanti, richiedono un contestuale rispetto da parte dei sistemi produttivi dei principi di sostenibilità.

In quest'ambito, assume un certo peso nella determinazione di bilanci energetici e ambientali positivi, e quindi nel rispetto dei requisiti di sostenibilità, l'efficienza produttiva dei sistemi di coltivazione ovvero le rese ottenibili in rapporto agli input impiegati. Pertanto le colture energetiche dedicate devono essere inserite in un modello virtuoso che prevede un basso impiego di input produttivi dal potere inquinante (es. fertilizzanti azotati) e la tutela delle risorse naturali (es. acqua e suolo).

Sul fronte degli input produttivi, gli studi condotti hanno pertanto preso in considerazione la coltivazione di specie da biomassa in sistemi non irrigui e low-input, vagliando nel corso del primo anno anche la possibilità di utilizzare il compost in sostituzione dei convenzionali concimi azotati di sintesi. Infatti obiettivo del progetto è stato valutare le performance produttive di queste colture inserite in modelli virtuosi in grado di promuovere la tutela dell'acqua, annoverata tra le risorse rinnovabili, attraverso il risparmio idrico così come la minimizzazione dei processi di eutrofizzazione e inquinamento da nitrati. Tenere presente infatti l'aspetto ambientale oltre a quello economico rappresenta il prerequisito fondamentale per inserire la coltivazione di biomasse energetiche tra le misure di mitigazione dei cambiamenti climatici.

Inoltre, facendo riferimento agli output del sistema produttivo, le sperimentazioni svolte hanno avuto lo scopo di valutare la coltivazione di specie energetiche tradizionali e di nuova introduzione in relazione alle criticità di carattere tecnico-agronomico, alle potenzialità produttive nel pedo-clima oggetto di studio e alle opportunità che il territorio può offrire rispetto allo sviluppo delle rispettive filiere.

In generale, per tutte le specie energetiche, uno degli elementi di indispensabile valutazione è la verifica, a scala locale e nazionale, dei limiti e delle effettive consistenze dei comprensori rurali di interesse per la coltivazione e prima trasformazione delle biomasse, al fine di individuare gli areali più adatti alla realizzazione di nuove iniziative produttive. Allo stesso tempo è importante considerare anche l'esigenza di tutelare il complesso dei modelli agricoli in essere nei nostri territori rurali, al fine di evitare che il sistema produttivo nel suo complesso finisca con il cedere nel modo

sbagliato a una pressione complessiva che, se non guidata, può correre il rischio di risultare eccessiva e controproducente, sia sul piano agronomico-logistico ed economico, che dal punto di vista ecologico-ambientale e sociale. Pertanto è indispensabile programmare un'eventuale introduzione di colture energetiche dedicate nei piani di rotazione aziendali attraverso l'impiego di sistemi di analisi multicriteriale e un complesso percorso di valutazioni pluridisciplinari, in grado di stimare le effettive potenzialità produttive degli areali pedo-climatici, con il supporto di strumenti di modellistica agrometeorologica. In quest'ambito l'uso delle risorse del territorio per la coltivazione di specie alternative alle convenzionali deve essere oggetto di attenta valutazione poiché introdurre attività produttive innovative senza tenere conto di tutti i fattori che concorrono alla determinazione della sostenibilità dei rispettivi sistemi produttivi comporterebbe stime forvianti e previsioni irreali. E' nel quadro sino ad ora descritto che sono state inserite le sperimentazioni presso l'Azienda Agricola Lucagnano e lo studio del territorio a vasta scala, consentendo di confrontare colture tradizionali e di nuova introduzione, specie a ciclo primaverile-estivo con specie autunno-vernine, così come la produzione di biomasse agricole dedicate alla filiera del biodiesel o del PVO con produzioni destinate alla filiera del bioetanolo. I risultati dello studio tengono conto sia dei bilanci energetici che dei vincoli di carattere agronomico e tecnico, connessi alla produzione di biomasse agro-energetiche secondo modelli virtuosi caratterizzati da sistemi low-input da parte di un'azienda toscana di medie dimensioni.

2. La sperimentazione in azienda

Nell'Azienda Agricola Lucagnano di Torrigiani Malaspina Tommaso (Lucagnano – 56035 Lari PI) (**Figura 1**) è stata installata una stazione agrometeorologica completa alimentata con pannello solare (Fig.2a-b), atta al monitoraggio dei parametri meteorologici nel corso dei cicli colturali: temperatura dell'aria, umidità relativa, velocità del vento, pioggia, radiazione solare. I dati giornalieri, registrati nel corso dei tre anni di attività, sono stati organizzati in un database ed hanno consentito di caratterizzare l'andamento climatico delle stagioni produttive oltre ad essere impiegati per la calibrazione di modelli di simulazione di crescita e sviluppo delle colture atti alla stima delle potenzialità produttive del territorio

Il protocollo sperimentale ha previsto la coltivazione per tre anni consecutivi di cinque specie in tre diversi appezzamenti:

- Cavolo abissino (*Brassica carinata*)
- Sorgo zuccherino (*Sorghum bicolor* var. *saccharatum*)
- Mais (*Zea mais* L.)

- Girasole (*Helianthus annuus* L.)
- Colza (*Brassica napus* var. *oleifera*)

Le specie sono state coltivate in asciutta e inserite in un sistema low-input per quanto riguarda la distribuzione di fertilizzanti, fitofarmaci ed erbici.

Fig. 1: Azienda Agricola Lucagnano



Fig. 2a-b: a) Stazione meteorologica; b) manutenzione.



3. Le valutazioni di sostenibilità energetica

La sostenibilità dei sistemi di produzione di biomasse è stata valutata mediante l'implementazione di bilanci, tenendo conto del costo energetico legato agli input produttivi e del valore energetico degli output nella filiera dell'olio vegetale puro (PVO), a partire da girasole altoleico e colza, e nella filiera del bioetanolo, da sorgo zuccherino e mais.

A questo studio è stata dedicata la tesi di laurea dal titolo "Mitigazione dei cambiamenti climatici: analisi della sostenibilità di colture energetiche dedicate", di Capretti L. (Facoltà di Agraria, corso di Laurea in Scienze e Tecnologie Agrarie).

La valutazione di sostenibilità energetica ha previsto le seguenti fasi:

- Identificazione dei confini del sistema in fase agronomica e industriale, con catalogazione degli input,
- Ricerca bibliografica sui costi energetici legati alla produzione ed impiego di ciascun input in fase agronomica; stima del costo energetico da associare agli input produttivi del sistema oggetto di studio, ovvero del valore unitario più adatto in base al contesto di applicazione e alla conformità dei risultati mostrati in letteratura,
- Ricerca bibliografica sui costi energetici per unità di biomassa, legati alla fase industriale per la trasformazione in biocarburante (bioetanolo e PVO), e sul valore energetico legato all'utilizzo degli output; stima dei valori unitari più adatti da impiegare nella valutazione in conformità con le tecnologie di conversione energetica reperibili sul territorio,
- Quantificazione degli input impiegati nel sistema produttivo oggetto di studio e delle rese in biomassa, con successiva attribuzione del costo/valore energetico stimato per gli input/output,
- Implementazione del bilancio energetico per ciascuna coltura con stima del rendimento energetico al netto dei costi associato alle rispettive filiere.

Gli input presi in considerazione sono stati sia quelli *diretti* (es. carburante per alimentare i mezzi agricoli impiegati in fase agronomica per la lavorazione del terreno e la distribuzione di concimi, diserbanti, fitofarmaci e sementi, carburante necessario al trasporto della biomassa al centro di trasformazione e conversione, etc.) sia quelli *indiretti* (i consumi di energia associati alla sintesi di fertilizzanti, diserbanti, fitofarmaci, alla produzione di sementi, etc.); dal conteggio dei costi indiretti sono stati inclusi in quota parte i costi energetici legati alla produzione dei mezzi meccanici aziendali (es. trattori, seminatrici, etc.).

Per ciò che riguarda gli *output* è stata considerata la biomassa atta alla produzione di biocarburante, escludendo valutazioni sui sottoprodotti, ed è stato tenuto conto delle rese medie stimate in base ai raccolti ottenuti presso l'azienda Lucagnano e presso altre aziende della Toscana aventi sistemi di coltivazione analoghi.

Il bilancio energetico di ciascuna coltura è stato calcolato in base:

- alla somma degli input data da tutti i costi energetici da sostenere per la produzione del biocarburante sulla base del sistema colturale adottato e del tipo di trasformazione industriale necessaria;
- alla somma degli output energetici del sistema produttivo;
- alla differenza tra output e input per ciascuna coltura.

Il bilancio energetico è stato espresso da un numero adimensionale ottenuto in base alla seguente formula: $\text{EFFICIENZA ENERGETICA} = \text{OUTPUT/INPUT}$. Il risultato dell'indice così definito può essere maggiore di 1 se il bilancio è positivo oppure inferiore a 1 se il bilancio è negativo.

I risultati del bilancio hanno consentito di descrivere la sostenibilità delle produzioni. In caso di bilancio negativo l'energia impiegata per la produzione è stata ritenuta superiore a quella contenuta nel biocombustibile prodotto, mettendo in evidenza gli elementi critici della filiera in relazione al loro peso sul rendimento energetico complessivo.

Nei seguenti grafici (Fig. 3 e Fig. 4) sono riassunti sinteticamente i risultati della valutazione di sostenibilità energetica condotta nell'ambito del progetto.

Fig. 3

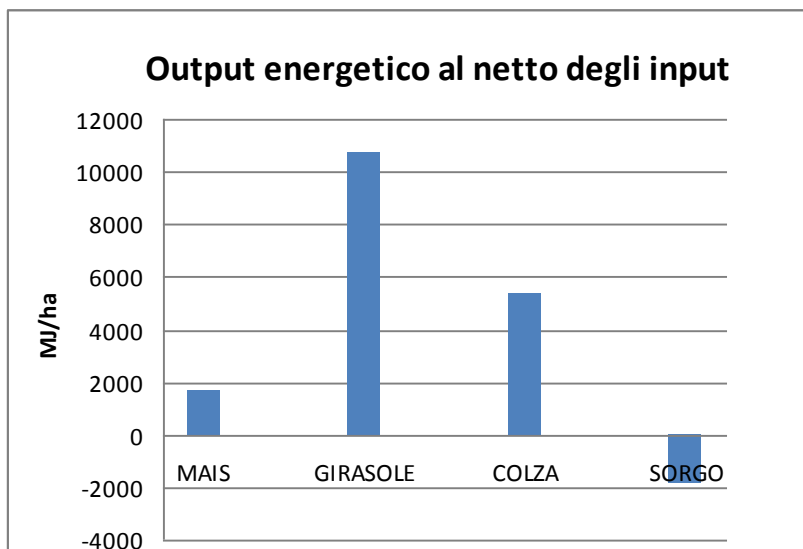
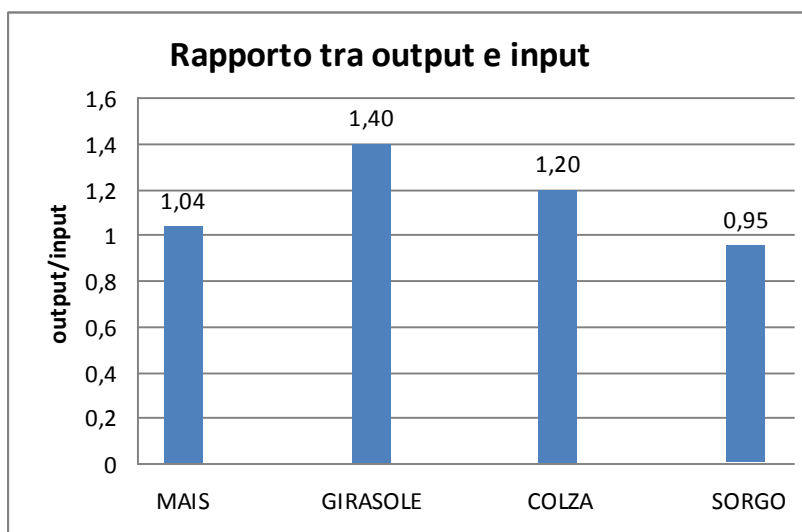


Fig. 4



In conclusione, considerati i cambiamenti climatici in atto, le colture da energia rappresentano un valido strumento per la mitigazione del fenomeno per la loro capacità di fissare la CO₂, ma proprio in virtù della loro destinazione d'uso risulta importante avere itinerari agronomici a bassi input energetici in modo da ottenere rapporti output/input elevati. I risultati ottenuti non hanno indicato risposte sempre positive delle colture in condizioni low-input.

4. Risultati per il Cavolo abissino (*Brassica carinata*)

4.1. Il background

La *B. carinata* è una specie erbacea annuale originaria dell'Africa orientale e come la colza appartenente alla famiglia delle Brassicaceae. È considerata rustica e la sua coltivazione è indicata per gli ambienti mediterranei dell'Italia centro-meridionale. Rispetto alla colza presenta minore resistenza al freddo ma anche una maggiore rusticità ed un maggiore sviluppo vegetativo. Le piante tendono ad essere più ramificate e la fase di fioritura tende ad essere più lunga. Le silique alla maturazione sono caratterizzate da una deiscenza molto inferiore di quella della colza e contengono semi più piccoli (2-3 g per 1000 semi).

Il seme ha un contenuto in olio leggermente inferiore a tutte le altre oleaginose e con una particolare composizione che non lo rende adatto per l'uso alimentare ma che gli conferisce maggior potere lubrificante. È infatti ricco di acido erucico, un acido grasso a catena lunga. Questo olio è direttamente utilizzabile sia come olio vegetale puro nell'alimentazione di caldaie e generatori elettrici sia come materia prima per la trasformazione e la produzione di biodisel.

Il ciclo colturale inizia in ottobre e finisce nel mese di giugno. E' una coltura che si adatta bene alle tecniche di minima lavorazione, ma bisogna sempre tenere in conto le condizioni del terreno e la coltura precedente. Le tecniche colturali includono la ripuntatura a 25-30 cm circa di profondità o lavorazione minima, l'erpatura possibilmente anticipata rispetto alla semina, la semina con seminatrici da frumento (distanza tra le file di 18-20 cm) o di precisione (distanza tra le file di 45cm) con densità di semina da 50-70 piante/m² alla raccolta, nei climi più siccitosi, fino a 80-90 piante/m², in quelli più umidi, il diserbo chimico pre-emergenza e la concimazione NPK alla semina. Poiché il seme è di piccole dimensioni, è necessaria una buona preparazione del letto di semina che garantisca la corretta deposizione ed un'emergenza uniforme. La pianta predilige terreni profondi e tendenzialmente leggeri, ma ha capacità di adattarsi anche a quelli pesanti, purché ben drenati. È importante inserire la coltura in un avvicendamento colturale che non prevede colza, soia o girasole, in processione o in successione. Ottima la rotazione con i cereali vernini e le leguminose da granella. La raccolta viene eseguita con un'umidità della granella prossima al 10% utilizzando una mietitrebbia con testata da frumento opportunamente tarata.

4.2. Sperimentazione e valutazioni

Nell'azienda Lucagnano, così come in tutto il distretto rurale di riferimento, la *Brassica carinata* è una specie di nuova introduzione. Tale coltura è stata scelta nella sperimentazione in virtù della maggiore rusticità e produttività rispetto alla colza, riscontrata nella bibliografia scientifica e tecnico-divulgativa. Per un triennio è stato impiegato l'ibrido ISCI 7 fornito dalla Triumph Italia. La

semina è avvenuta per mezzo di seminatrice a cascata regolata per una distanza tra le file di 25 cm distribuendo una quantità di semente pari a 8 kg/ha. Le pratiche agronomiche impiegate hanno seguito un protocollo analogo a quello della colza e i suggerimenti trovati in letteratura, in congruenza con un sistema di produzione low-input.

Contrariamente a quanto atteso da letteratura, tutte le stagioni produttive hanno confermato una scarsa vocazionalità dell'area per il cavolo abissino. La semina infatti non ha prodotto un numero di piante sufficiente per compiere campionamenti e osservazioni statisticamente significativi e portare a termine il ciclo produttivo: tenuto conto delle significative perdite di granella alla raccolta, dovute all'uso delle consuete mietitrebbie da frumento, e della bassa densità di piante, non è stato ritenuto funzionale compiere le operazioni di raccolta.

Le cause delle semine fallimentari, nel corso del primo anno, sono state ricondotte in primis ad un'errata profondità di semina, connessa all'insufficiente affinamento del terreno e alle esigue dimensioni della semente. Negli anni successivi, pertanto, molta attenzione è stata posta ad un'adeguata preparazione del letto di semina, sufficientemente affinato e livellato (Fig. 5), ma nonostante questo gli esiti della produzione non sono migliorati e la densità di piante è rimasta scarsa.

Fig.5: Semina.



Le attività sperimentali hanno evidenziato limiti e criticità esistenti per la coltivazione del Cavolo abissino nell'area di studio, rispetto al colza. La coltura ha mostrato scarsa adattabilità al pedoclima e non ha raggiunto rese equiparabili a la colza. Probabilmente le fasi di emergenza e primo

sviluppo delle plantule hanno subito gli effetti negativi di condizioni meteorologiche che non si sono succedute in sincronia con le esigenze termiche e pluviometriche della coltura. Inoltre da osservazioni di campo, si può ipotizzare che nel tempo intercorso tra l'emergenza e lo sviluppo delle plantule, grossa parte della semente sia stata sottratta per opera di uccelli.

Le difficoltà sono state riscontrate già nell'individuazione dell'adeguato periodo di semina. La *B. carinata* ha evidenziato una particolare vulnerabilità nel corso delle prime fasi di germinazione e ingrossamento delle silique e di richiedere pertanto un'attenta preparazione del letto di semina. Inoltre, l'accrescimento e sviluppo delle giovani plantule è stato notevolmente rallentato dall'assenza di precipitazioni imminenti e successive all'epoca di semina, rendendo semi e germogli soggetti all'attacco dei volatili provenienti dalle zone boscate immediatamente limitrofe, con ingenti danni che hanno compromesso l'intera produzione. D'altro canto, quando la semina è stata seguita da buoni regimi piovosi le plantule hanno mostrato scarsa capacità di penetrazione radicale e danni da ristagno idrico, sottolineando l'inadeguatezza dei terreni argillosi e pianeggianti. Inoltre la *B. carinata* ha risposto agli andamenti meteorologici caratterizzanti la stagione invernale con anticipi significativi nell'epoca di fioritura rispetto alla colza. Tale precocità ha esposto la coltura, durante la delicata fase di antesi, sin dal mese di dicembre alle basse temperature autunno-vernine, con conseguenti danni alla piante che hanno comportato scarsa allegagione e quindi minori rese.

Fig.6: Cavolo abissino.



4.3. Conclusioni

Complessivamente il Cavolo abissino, quale specie di nuova introduzione, non è stato ritenuto idoneo al pedo-clima dell'area di studio e adatto ai terreni aziendali, attestando performance produttive insufficienti e minori della colza. La Brassica Carinata necessita ancora sforzi nel miglioramento genetico per potersi considerare a pieno titolo una coltura competitiva.

Tali risultati contrastano con la bibliografia vigente che invece descrive la *B. carinata* come una specie rustica e in grado di produzioni superiori rispetto a *B. napus*, a parità di condizioni. Ciò nonostante i risultati ottenuti sono confermati con la tendenza riscontrata da altre sperimentazioni condotte in sei località distribuite tra nord, centro e sud Italia. Infatti, in Toscana, a Cesa (Arezzo), Del Gatto et. al (Informatore Agrario 38/2010) hanno registrato rese in granella dimezzate rispetto agli altri siti dove invece è stata osservata una buona risposta produttiva.

Fig.7: Cavolo abissino.



5. Risultati sul Sorgho zuccherino (*Sorghum bicolor* var. *saccharatum*)

5.1. Il background

Il sorgho zuccherino è una graminacea annuale appartiene alla specie *Sorghum bicolor*, di origine tropicale, adattabile alle zone temperate. È una coltura capace di svilupparsi rapidamente e adattabile a regimi idrici ridotti. La parte aerea della pianta consiste di un culmo principale che può superare i 4 m di altezza. Presenta un numero variabile di accestimenti. Al suo interno è midolloso, succoso e ricco di zuccheri solubili la cui percentuale sul fresco può variare dall'8 al 14%. L'infiorescenza è costituita da un panicolo di dimensioni molto più ridotte rispetto ai tipi da granella per evitare un eccessivo accumulo di carboidrati nel seme. La capacità di entrare in dormienza nei periodi più caldi è associata ad alcuni caratteri anatomici. Infatti, presenta un apparato radicale che può estendersi nel terreno ad una profondità di oltre 1.5 m con uno strato siliceo presente nell'endoderma radicale e una cuticola cerosa sulla parte aerea, caratteristiche che conferiscono a questa pianta un'elevata resistenza agli stress idrici. Viene considerata una specie miglioratrice delle caratteristiche fisiche del terreno grazie all'effetto positivo della struttura del suolo esercitata dall'apparato radicale. Infine il sorgho possiede un sistema di fotosintesi C4 che garantisce un'efficienza di fissazione della CO₂ tra le più elevate. Tutte queste caratteristiche contribuiscono a fare del sorgho zuccherino una coltura interessante per la produzione di biomassa ad alto tenore zuccherino. L'estratto zuccherino ottenuto dalla spremitura dei culmi è convertito in bioetanolo, mentre la bagassa residua dall'estrazione e le borlande di distillazione possono essere processate ad altre tipologie di biocombustibile. Per quanto riguarda gli aspetti agronomici, nella preparazione del letto di semina le operazioni di aratura ed erpicatura sono il presupposto essenziale per consentire una buona emergenza delle plantule, per favorire la protezione della coltura dalle infestanti e per prevenire il compattamento del terreno. Il controllo delle infestanti può essere eventualmente completato con l'applicazione di erbicidi. La quantità di fertilizzanti da applicare alla coltura varia in funzione della fertilità del suolo e dei livelli produttivi pianificati. Nelle regioni mediterranee, in cui la fertilità del suolo oscilla tra bassa e moderata, gli apporti richiesti dalla coltura, espressi per ettaro, sono: 100-150 kg N, 60-100 kg P₂O₅ e 60-100 kg K₂O. L'applicazione dell'azoto è consigliata in due fasi: prima della semina e indicativamente 20-30 giorni dopo l'emergenza. La semina deve essere programmata in modo che la temperatura sia compatibile con la germinazione del sorgho (i.e. almeno 10-12 °C) e non vi sia rischio di gelate tardive. Inoltre, l'umidità del suolo dovrebbe essere prossima alla capacità di campo. In considerazione della lunghezza del ciclo vegetativo e dell'effetto inibitorio delle basse temperature sull'accumulo degli zuccheri, nelle regioni mediterranee la semina dovrebbe collocarsi da fine aprile ai primi di giugno.

La semina è generalmente condotta con una distanza tra le file di 45 cm, mentre sulla fila le distanze sono tra 5 e 15 cm, con una densità consigliata tra 20 e 30 semi/m². Il seme dovrebbe essere deposto ad una profondità superiore o uguale ai 3-5 cm. Il sorgo è molto sensibile alla competizione con le infestanti, soprattutto nelle prime fasi del ciclo biologico, dalla semina alla completa copertura del suolo, quando la pianta raggiunge l'altezza di 1 m. Dunque è essenziale il diserbo nel corso della preparazione del letto di semina. Per quanto riguarda i danni da agenti abiotici, il sorgo è sensibile soprattutto al freddo ed è soggetto all'allettamento. La raccolta è specificatamente finalizzata a massimizzare il recupero degli zuccheri, che sono accumulati quasi esclusivamente nei culmi ed avviene nel mese di ottobre. In virtù del ciclo annuale il sorgo zuccherino può essere inserito nei normali avvicendamenti colturali spesso in processione ai cereali autunno-vernini, come il frumento e l'orzo.

5.2. *Sperimentazione e valutazioni*

Nell'azienda Lucagnano, così come in tutto il distretto rurale di riferimento, il sorgo zuccherino è una specie di nuova introduzione. È una coltura che si presta per lo sviluppo in Italia della filiera del bioetanolo, in virtù delle sue caratteristiche intrinseche poiché risulta da letteratura una coltivazione adatta a terreni marginali, dove altre specie alimentari non sono in grado di fornire livelli produttivi remunerativi. Pertanto l'impiego di sorgo zuccherino, rispetto al mais, potrebbe ridurre la competizione con le destinazioni alimentari dei prodotti agricoli, per quanto riguarda la filiera del bioetanolo di 1° generazione. In quest'ottica tale specie è stata scelta per la sperimentazione e testata nel corso di tre stagioni produttive, valutandone le performance in confronto con il mais, tradizionalmente presente nell'area di studio ma soggetto alla concorrenza con le altre destinazioni d'uso.

Nel corso del triennio è stato impiegato l'ibrido "Brise" fornito dalla Caussade Semences seminato per mezzo di seminatrice a cascata regolata per una distanza tra le file di 26 cm. La quantità di semente, pari a 30 kg/ha, è stata calcolata al fine di ottenere una densità finale pari a circa 27 piante/m².

Contrariamente a quanto trovato in letteratura, la coltura ha risposto bene ad un sistema low-input per ciò che riguarda il diserbo e nel giro di poco tempo è riuscita a raggiungere una copertura del suolo tale da essere competitiva e limitare l'invasione di infestanti. Inoltre le piante, caratterizzate da altezze intorno al metro, non hanno mostrato nei diversi versanti sui quali sono stati allestiti i campi sperimentali, sensibilità all'allettamento.

Fig.8 a-b: Sorgo zuccherino.



A causa di disomogeneità nello sviluppo delle piante di un medesimo appezzamento, invece, elemento critico è stato rappresentato dall'individuazione l'esatta epoca di raccolta, rispondente alla massima concentrazione di zuccheri nel fusto e che si verifica a cavallo tra lo stadio di maturazione lattea e quello di maturazione cerosa.

Il primo anno sono state registrate basse performance produttive, in parte imputabili ad un'inadeguata preparazione del suolo e regolazione della profondità di semina, tenuto conto delle piccole dimensioni della semente: disomogeneità nel terreno potrebbero aver determinato diversi tempi di emergenza delle plantule e concorso a determinare la non uniformità nello sviluppo e accrescimento successivi e nei tempi di maturazione.

Pertanto nel corso del biennio successivo, mantenendo costante l'ibrido impiegato, l'aratura è stata esclusa e sostituita con più passaggi di erpice ponendo cura alla preparazione del terreno e regolando una profondità di semina più superficiale. Con tali accorgimenti le performance produttive del sorgo zuccherino sono migliorate, portando ad una densità di piante superiore.

Nonostante questo le problematiche connesse con l'individuazione dell'epoca ottimale di raccolto si sono presentate in tutte le stagioni produttive. Il sorgo zuccherino ha mostrato elevata variabilità nella crescita intra e inter-parcellare. A settembre, mentre alcune piante presentavano un avanzato stadio di maturazione fisiologica, con colore brunastro del panicolo, altre erano a maturazione lattea o cerosa, altre ancora avevano appena spigato ed alcune presentavano una fase di emergenza incompleta con il panicolo parzialmente avvolto dalle foglie apicali.

La presenza contemporanea di più stadi di sviluppo esigeva raccolte scalari e manuali, impraticabili in un modello produttivo a scala aziendale e non sperimentale, pertanto perdite di raccolto sono

state registrate in relazione alla non uniformità di maturazione degli individui all'epoca stabilita per il raccolto. Inoltre una certa variabilità inter-annuale nel contenuto di zuccheri totali e nella loro concentrazione, e quindi delle rese in bioetanolo, è stata riscontrata in relazione al regime pluviometrico.

Le basse rese in biomassa hanno concorso a determinare il basso rendimento energetico al netto dei costi: il bilancio energetico stimato per il sorgo zuccherino è risultato l'unico negativo (Fig. 3). Le performance produttive della coltura nell'areale di studio sono risultate inadeguate per compensare i costi energetici in fase agronomica e, soprattutto, in fase industriale. Infatti, la componente di filiera che maggiormente ha contribuito a creare la disparità di efficienza energetica a confronto con le altre filiere, sono stati i costi superiori per la trasformazione del prodotto raccolto in biocarburante rispetto alle altre biomasse.

Fig.9: Sorgo zuccherino a maturazione.



5.3. Il sorgo e il compost

Considerati i cambiamenti climatici in atto, le colture da energia rappresentano un valido strumento per la mitigazione di questo fenomeno grazie alla loro capacità di fissare la CO₂, ma proprio in virtù della loro destinazione d'uso risulta importante avere itinerari agronomici a bassi input energetici in modo da ottenere rapporti output/input elevati. Per questo abbiamo provato a verificare gli effetti del compost per auspicare la sostituzione con i concimi minerali e migliorare il bilancio energetico ambientale.

A tal riguardo il primo anno di sperimentazione presso l'azienda agricola ha previsto per il sorgo zuccherino la coltivazione di 3 parcelle aggiuntive, rispetto a quelle previste dal protocollo comune, sulle quali è stato distribuito compost in sostituzione dei fertilizzanti convenzionali (Vedi relazione consegnata anno 2009-2010).

Parallelamente alle sperimentazioni in pieno campo, la stessa varietà è stata impiegata in una sperimentazione condotta presso l'Istituto Professionale per l'Agricoltura e l'Ambiente di Firenze in ambiente controllato (Fig. 10), col l'obiettivo di valutare la risposta del sorgo zuccherino a tre livelli di disponibilità idrica e al trattamento con ammendante compostato misto, derivante da raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani (Quadrifoglio spa). Sono state quindi utilizzate 6 tesi ognuna delle quali si è differenziata per presenza o assenza dell'ammendante e per il livello di input idrico.

Fig.10: Coltivazione in vaso di Sorgo zuccherino.



I risultati ottenuti non hanno evidenziato un' influenza significativa dell'introduzione di compost nel substrato di crescita in relazione alle performance produttive e allo sviluppo della coltura, sebbene in generale sia stata rilevata la tendenza ad un maggior accumulo di biomassa secca nelle piante trattate con compost. Ad ogni modo, sebbene il compost non abbia evidenziato effetti rilevanti nel breve periodo, il suo impiego in sostituzione dei concimi di sintesi sarebbe sicuramente in grado di migliorare il bilancio energetico di questa coltura.

I tre differenti livelli irrigui invece sono stati associati a differenze significative condizionando la coltura in termini di incrementi giornalieri di biomassa e di accumulo finale. Al contrario non sono

state osservate significatività in termini di concentrazione zuccherina a seconda della dose irrigua, seppure il succo delle piante trattate con il livello irriguo più basso sia risultato più ricco in zuccheri fermentescibili. E' auspicabile pertanto la selezione di varietà capaci di accumulare più zuccheri nello stelo in modo da minimizzare la variabilità delle rese finali in bioetanolo dovuta ai diversi regimi pluviometrici che si possono verificare in campo.

5.4. Conclusioni

Il sorgo zuccherino ha mostrato una risposta produttiva potenzialmente buona al contesto pedo-climatico oggetto di studio, sebbene limiti significativi all'introduzione aziendale di tale specie siano stati rilevati in merito alla disformità nei tempi di maturazione che ha causato perdite di raccolto, non potendo procedere a raccolte scalari. Avendo escluso cause legate alla lavorazione e allo stato del terreno, la sperimentazione evidenzia l'esigenza di compiere miglioramenti a livello di qualità della semente e composizione degli ibridi, tali da garantire una risposta uniforme degli individui e diminuire la variabilità interna del genotipo.

Allo stesso modo, per quanto concerne la variabilità inter-annuale nelle rese in zucchero registrata in pieno campo, la sperimentazione in ambiente controllato evidenzia la necessità di indirizzare il miglioramento varietale verso ibridi ad alto rendimento capaci di attenuare le differenze nell'accumulo di zuccheri, tamponando l'effetto delle piogge.

In generale il rendimento in biomassa non è stato sufficiente a giustificare i costi energetici imputati in fase agronomica e industriale. Tale risultato lascia spazio a quanto riportato da Ragazoni (Supplemento a L'Informatore Agrario 40/2010), il quale riporta come spesso a fare la differenza a favore della produzione di biomasse energetiche, siano gli incentivi economici.

In tale contesto però, una prospettiva aperta e interessante, che potrebbe concorrere ad aumentare le rese in biocarburante e migliorare la sostenibilità energetica, è quella rappresentata dal bioetanolo di seconda generazione. Le tecnologie che si stanno sviluppando in fretta nel settore delle agro-energie infatti consentirebbero di sfruttare anche la biomassa lignocellulosica per la produzione di bioetanolo con un rapporto energetico risultante output/input più alto rispetto alla semplice fermentazione del succo zuccherino (Hamelinck, 2005).

6. Risultati per il Mais (*Zea mais* L.)

6.1. Il background

La *Zea mais* L. è una graminacea annuale della famiglia delle *Poaceae*. Ha un ciclo fotosintetico C4 ed è originaria del continente americano. È uno dei più importanti cereali dell'alimentazione umana mondiale ed è largamente coltivato sia nelle regioni tropicali sia in quelle temperate, e in quest'ultimo caso ha un ciclo autunno-primaverile. Nelle regioni temperate è principalmente destinato all'alimentazione degli animali domestici, sotto forma di granella, farine o altri mangimi, oppure come insilato, generalmente raccolto alla maturazione cerosa. È inoltre destinato a trasformazioni industriali per l'estrazione di amido e olio oppure alla fermentazione, allo scopo di produrre per distillazione bevande alcoliche o bioetanolo a fini energetici. In Italia la sua coltivazione è molto diffusa, soprattutto nell'areale padano. L'epoca di semina, come quella di raccolta, varia a seconda della classe. Il ciclo colturale va da aprile fino a settembre.

L'infiorescenza femminile, che porta le cariossidi, si chiama correttamente *spiga* ma viene più spesso impropriamente chiamata "pannocchia", mentre la *pannocchia* propriamente detta è l'infiorescenza maschile posta sulla cima del fusto (*stocco*) della pianta, che di contro viene talvolta chiamata impropriamente "spiga" per il suo aspetto.

Ai fini delle produzioni energetiche interessa la varietà botanica più produttiva, ovvero il mais dentato (*Zea mais indentata*), la più comune perché utilizzata per l'alimentazione zootecnica. Si utilizzano varietà ibride divise in classi di maturità secondo lo standard FAO da 100 a 900 a seconda della lunghezza del ciclo (classi 500-700 per le produzioni energetiche).

L'etanolo ottenuto dal mais vede come principale produttore mondiale gli Stati Uniti e da tempo la sua coltivazione a scopi energetici ha sollevato critiche relative alla competizione con il settore alimentare e alla possibile interferenza con i prezzi di mercato delle derrate alimentari.

6.2. Sperimentazione e valutazioni

Alla luce delle criticità di ordine economico ed etico, un'attenta valutazione circa la sostenibilità produttiva e ambientale della produzione di mais per il settore energetico è stata condotta nell'ambito delle attività progettuali. In particolare sono state valutate le performance della coltura in un sistema low input, ovvero non irrigato e con moderata distribuzione di fertilizzanti azotati.

Per le sperimentazioni presso l'azienda sono stati impiegati gli ibridi da granella "Clarati" e "Viviani" forniti dalla Caussade Semences. La coltura ha richiesto un'aratura profonda 30-35 cm circa, frangizzollatura ed erpicatura. La semina è avvenuta con seminatrice di precisione

mantenendo una distanza tra le file di 75 cm e sulla fila di 15-16 cm al fine di ottenere una densità pari a 8 piante/m².

Il mais ha mostrato sviluppo e crescita soddisfacenti (Fig. 11 e 12), con quasi nulla percentuale di fallanze, sebbene coltivato in asciutta e soggetto a input azotati e a trattamenti diserbanti minori rispetto ai livelli convenzionali, confermando la vocazionalità del contesto pedo-climatico nei confronti di questa coltura. Purtroppo i campi sono stati soggetti nel corso di tutte le annate a ripetute invasioni di cinghiali (Fig. 13) provenienti dalle aree boschive adiacenti che ne hanno compromesso il raccolto nonostante si sia cercato di arginare il fattore di rischio mediante recinzione dei campi con filo elettrico. Pertanto non è stato possibile rilevare le reali rese dei campi. Ciò nonostante i dati provenienti dai rilievi in - itinere e dai campionamenti puntuali sulla crescita e sviluppo delle piante confermano una tendenza al raggiungimento di produzioni soddisfacenti anche in assenza di apporti irrigui. Se vediamo una media dei tre anni, a fine luglio mediamente il mais presentava un'altezza di 115 cm, con una media di 11 nodi. All'epoca di raccolta l'altezza media si aggira sui 170 cm, con una biomassa totale di circa 105 s.s. (gr) per pianta, ed una potenziale resa in granella stimata nelle annate climaticamente più sfavorevoli attorno ai 50q/ha.

Sebbene dal punto di vista agronomico le produzioni stimate si possano giudicare vantaggiose per l'agricoltore, tenuto conto del risparmio economico legato alla riduzione degli input e in relazione ai convenzionali impieghi della biomassa (alimentazione zootecnica), la valutazione di sostenibilità energetica mette in evidenza come le rese in prodotto finale in un sistema low-input non siano invece sufficienti a compensare i costi energetici della fase industriale per la trasformazione in biocarburante, portando a bilanci positivi ma con un modesto margine.

Inoltre, mediante l'implementazione di modelli agrometeorologici di simulazione è stato possibile effettuare stime di vasta scala portando avanti studi volti alla valutazione del *water footprint* della coltura e delle potenzialità produttive in termini di biofuel, in relazione ai trend meteo-climatici registrati per la regione Toscana.

È stato quindi misurato il potenziale di produzione della coltura energetica, con differenti apporti irrigui e di fertilizzanti. Per fare questo sono stati raccolti dati gestionali, meteo-climatici e produttivi in aziende analoghe sul territorio toscano. La serie storica, che si riferisce a 50 anni, è stata presa da 19 stazioni meteorologiche sparse per la Toscana, ovvero Arezzo, Castelnuovo Garfagnana, Castel del Piano, Elba Calamita, Firenzuola, Grosseto, Livorno, Lucca, Massa, Massa Marittima, Montepulciano, Orbetello, Peretola, Pisa, Pistoia, Pontremoli, Siena, San Miniato e Volterra. Per ottenere simulazioni sulle rese in biomassa destinata alla filiera del bioetanolo è stato utilizzato il modello CropSyst. I risultati hanno dimostrato che nonostante una riduzione delle rese e un aumento della loro variabilità dovuta al trend climatico registrato, la coltivazione del mais sulle

superfici set-aside della regione in un sistema irriguo sarebbe in grado di fornire circa il 50% del fabbisogno energetico in termini di biocarburanti per il trasporto.

Nonostante questo, se esaminiamo il **water footprint** sul mais, in relazione agli apporti idrici da precipitazioni tendenzialmente in calo, sarà sempre meno opportuna la sua coltivazione in asciutta.

In uno studio condotto nell'ambito del progetto, è stato infatti valutato il **water footprint (WF)** del bioetanolo potenzialmente producibile dalla coltivazione del mais in Toscana utilizzando i dati climatici giornalieri degli anni 1955-2009 di 10 stazioni meteorologiche distribuite sul territorio della Toscana. Questi dati sono stati usati per calibrare e validare il modello **DSSAT-CERES** (Decision Support System for Agrotechnology Transfert-Cropping Sistem Model). Tale modello è stato usato per stimare la produzione potenziale del mais e le relative dinamiche dell'azoto e dell'acqua nel suolo. I risultati hanno evidenziato come negli ultimi anni sia cambiato il rapporto tra l'utilizzo di acqua di irrigazione, che è aumentata, e l'acqua derivante da precipitazione, che invece è diminuita. Parallelamente la resa di mais e quindi di bioetanolo, mostra un trend decrescente. La tendenza ad un maggiore consumo di acqua irrigua a fronte invece di rese in prodotto minori pone l'accento sulla sostenibilità della coltura per le produzioni energetiche. In quest'ambito, infatti, è da tener presente la tutela e la disponibilità delle risorse idriche in relazione ai fabbisogni del settore agro-alimentare, da ritenersi primari, rispetto a quelli del settore energetico.

Fig.11: Mais nei primi stadi di sviluppo vegetativo.



Fig.12: Mais alla fioritura.



Fig.13: Danni causati dal cinghiale.



6.3. Conclusioni

L'ampia scelta tra gli ibridi di diverse classi di maturità permette di adattare la coltivazione a diversi periodi temporali, ma le necessità irrigue penalizzano questa coltivazione in molti ambienti. Per questo motivo il bilancio energetico connesso alla produzione di bioetanolo non arriva a giustificare l'uso di questa coltura a fini energetici e la sua sottrazione al tradizionale comparto alimentare-zootecnico. Le rese stimate, infatti, non sono state sufficienti a compensare con il dovuto margine i costi energetici aggiuntivi previsti dalla fase industriale di trasformazione della biomassa in biocarburante. Inoltre è da evidenziare a riguardo che lo studio compiuto a livello regionale mostra un trend decrescente per le precipitazioni e un fabbisogno irriguo crescente della coltura che concorrono a confermare l'incapacità dei potenziali produttivi, ottenibili in sistemi non irrigui, di mantenere la sostenibilità delle produzioni a fini energetici.

7. Risultati per il Girasole (*Helianthus annuus* L.)

7.1. Il background

Il girasole è una composita macroterma a ciclo primaverile estivo. Introdotta in Italia negli anni '70, si è inserita ottimamente nell'agricoltura di pianura e media collina dell'Italia centrale caratterizzata da terreni argillosi e dall'assenza di irrigazione. Pur essendo termofila, infatti, mostra una notevole adattabilità climatica. È coltivato in 23 Stati Europei; 15 tra questi destinano più di 20.000 ha. A livello nazionale il girasole rappresenta la coltura di maggior interesse fra le oleaginose da energia con una superficie coltivata di oltre 115.000 ha nel 2008. Viene coltivato prevalentemente negli ambienti della cosiddetta "*fascia del girasole*" che copre dalla Toscana al versante adriatico e nelle aree con limitate disponibilità idriche del Nord. Gli acheni, semi oleosi, si trovano riuniti nell'inflorescenza apicale detta calatide. Il peso di mille semi varia da 50 a 70 g. Rispetto al peso dell'intero achene, l'olio rappresenta il 42-48% e le proteine circa il 20-22%. Dagli anni '90 sono disponibili ibridi di girasole migliorati per un alto contenuto di acido oleico di estrazione (oltre 85%). Necessita di una buona piovosità primaverile, di una forte luminosità e di un periodo di secco alla fine del ciclo. Si adatta a tutti i tipi di terreno, sia per quanto riguarda la tessitura sia per quanto riguarda il pH purché non estremo. Presenta inoltre una moderata resistenza alla salinità. È una tipica pianta da rinnovo. Per quanto riguarda la fertilizzazione, l'azoto è l'elemento nutritivo che svolge un ruolo predominante. L'assorbimento di questo elemento da parte della pianta avviene precocemente ed è necessario per lo sviluppo fogliare e per la formazione di un numero adeguato di acheni. È consigliabile quindi una distribuzione anticipata. In coltura asciutta l'apporto di azoto deve essere limitato e può essere addirittura non effettuato, senza la penalizzazione delle rese. È molto importante inserire la coltura nell'ambito di un corretto avvicendamento colturale che non prevede altre colture oleaginose, come colza o soia, in processione o in successione. La coltura è da considerarsi pronta per la raccolta 15-20m giorni dopo la maturazione fisiologica. Per gli ambienti dell'Italia centro-settentrionale l'epoca di raccolta va, quindi, dalla seconda metà di agosto alla prima metà di settembre. Gli indici del raggiungimento di questa fase sono: la caduta spontanea degli involucri fiorali dei frutti, il colore bruno delle calatidi e la secchezza delle foglie basali. La raccolta avviene a fine estate per evitare le piogge e le infestazioni fungine. Viene usata la mietitrebbiatrice da grano opportunamente modificata. L'umidità degli acheni deve essere intorno al 9-10% con impurità non superiori al 2%. A tali percentuali di umidità la conservazione del seme risulta facile, mentre se è superiore diventa necessario l'essiccamento. La produzione media in acheni oscilla tra le 2.7 e 3.0 t ha⁻¹ nelle aree più vocate del nord e centro Italia, mentre negli areali del sud le condizioni climatiche condizionano fortemente le risposte produttive al punto da dover

richiedere, per il conseguimento di produzioni soddisfacenti, nella migliore delle condizioni interventi irrigui di soccorso.

La varietà “alto oleico”, in cui oltre l’85% della componente acidica della frazione lipidica è rappresentata da acido oleico, pur non raggiungendo i livelli produttivi delle varietà “classiche”, consente di ottenere oli con caratteristiche tali da renderli particolarmente rispondenti alla produzione di biodiesel.

7.2. Sperimentazione e valutazioni

Il girasole alto-oleico, in quanto specie tradizionalmente coltivata nel distretto rurale di fermento e in grado di fornire biomasse atte alla trasformazione in PVO o biodiesel, è stato inserito nelle sperimentazioni presso l’azienda con l’obiettivo di valutarne le risposte produttive rispetto alle specie di nuova introduzione, alle colture a ciclo autunno-vernino e a quelle destinate alla filiera del bioetanolo.

La coltura ha richiesto un’aratura profonda 25-30 cm circa e un’erpicatura estirpatura. La semina è stata eseguita con seminatrice di precisione (Fig. 14) mantenendo una distanza tra le file di 75 cm e sulla file di 15-16 cm al fine di ottenere una densità finale di 5-8 piante/m².

Nell’ultimo biennio è stato impiegato esclusivamente l’ibrido PRH41 della Pioneer Hi-Bread-Italia a differenza del 2009 in cui sono stati sperimentati invece due ibridi alto oleici rispettivamente forniti dalla Pioneer Hi-Bread Italia (Var. PRH31) e dalla Caussade semences (Var. Paco). Sulla base dell’esperienza maturata nel corso del primo anno infatti l’ibrido Pioneer ha mostrato maggiore uniformità all’emergenza e migliore numero di piante a metro quadro.

Sebbene entro le parcelle la semina abbia dato risultati omogenei, però una certa variabilità nelle rese è stata registrata tra gli appezzamenti, legata prevalentemente alle differenze di densità tra le parcelle.

Le condizioni climatiche e pedologiche hanno consentito il buon sviluppo e crescita della coltura (Fig. 14, 15, 16 a-b) in tutte e tre le stagioni produttive. Il girasole presentava un’altezza media finale di 126 cm. La biomassa totale si aggirava sui 110 s.s. (gr) per pianta. La resa in acheni è stata di circa 23q/ha. Complessivamente è stata confermata la buona vocazionalità dell’areale oggetto di studio con performance produttive soddisfacenti e soprattutto con buone rese energetiche, al netto dei costi.

Mediante l’implementazione di modelli agrometeorologici di simulazione è stato possibile effettuare stime di vasta scala portando avanti studi volti alla valutazione del *water footprint* della coltura e delle potenzialità produttive in termini di biofuel, in relazione ai trend meteo-climatici

registrati per la regione Toscana. È stato quindi misurato il potenziale di produzione della coltura energetica, con differenti apporti irrigui e di fertilizzanti. Per fare questo sono stati raccolti dati gestionali, meteo-climatici e produttivi in aziende analoghe sul territorio toscano. La serie storica, che si riferisce a 50 anni, è stata presa da 19 stazioni meteorologiche sparse per la Toscana, ovvero Arezzo, Castelnuovo Garfagnana, Castel del Piano, Elba Calamita, Firenzuola, Grosseto, Livorno, Lucca, Massa, Massa Marittima, Montepulciano, Orbetello, Peretola, Pisa, Pistoia, Pontremoli, Siena, San Miniato e Volterra. Per ottenere simulazioni sulle rese in biomassa destinata alla filiera del bioetanolo è stato utilizzato il modello CropSyst. I risultati hanno dimostrato che nonostante una riduzione delle rese e un aumento della loro variabilità dovuta al trend climatico registrato, la coltivazione del girasole sulle superfici set-aside della regione in un sistema irriguo sarebbe in grado di fornire circa il 50% del fabbisogno energetico in termini di biocarburanti per il trasporto, anche se alcune cv riescono non superano il 10%.

Fig.14: Girasole in emergenza.



Fig.15: Girasole in fioritura.



Fig. 16 a-b: a) Girasole a maturazione a fine agosto; b) maturazione a metà settembre.



7.3. Conclusioni

Nell'ultimo decennio le superfici destinate a girasole hanno subito un andamento altalenante determinato dalle forti oscillazioni nel prezzo dei semi della composita e dalle mutevoli condizioni innescate dalla riforma della politica comunitaria. Il girasole si conferma comunque essenza strategica negli ordinamenti colturali del centro Italia, soprattutto come coltura da rinnovo.

I risultati dello studio hanno confermato i principali punti di forza della coltura, capace di crescere e produrre in ambienti ove altre specie da rinnovo mostrano scarsa adattabilità e in grado di fornire produzioni economicamente accettabili, come nei terreni argillosi di collina e pianura privi di irrigazione. Inoltre, tra le specie da rinnovo, il girasole è quella che risente meno della riduzione dei

mezzi tecnici impiegati nella fase di produzione agricola. Fra le destinazioni non alimentari, quella energetica rappresenta una concreta opportunità di crescente interesse per gli operatori agricoli. Dalle varietà alto oleico viene prodotto un olio maggiormente viscoso e con numero di iodio minore rispetto alle convenzionali conferendo alti rendimenti di estrazione. Il girasole è risultato competitivo per l'avvio di una filiera locale delle agroenergie, rispetto a mais, sorgo zuccherino e cavolo abissino dimostrandosi sicuramente la specie energetica tra quelle a ciclo primaverile-estivo più idonea. In una visione d'insieme l'unico punto di debolezza è dato dalla forte competizione delle produzioni nazionali con quelle dell'Europa dell'est e dell'America latina dove il costo di produzione della granella risulta spesso sensibilmente inferiore a quello italiano.

8. Risultati per la Colza (*Brassica napus var.oleifera*)

8.1. Il background

Appartenente alla famiglia delle crucifere, la colza è sicuramente la coltura più rappresentativa per la produzione europea di biodiesel. La sua coltivazione, conosciuta e diffusasi in Europa sin dal XII secolo, era finalizzata alla produzione di olio per illuminazione ed uso alimentare, soprattutto nelle regioni nordiche dove non erano conosciuti l'olivo ed il papavero. Una forte espansione delle superfici coltivate si è avuta a partire dagli anni '80, concentrandosi prevalentemente nella fascia più continentale.

L'adattabilità di questa specie alle diverse condizioni pedoclimatiche, la modesta richiesta di cure colturali e di investimento di capitali, pongono sicuramente la colza in una favorevole posizione per l'inserimento negli ordinamenti colturali di diverse aree agricole italiane.

E' una coltura miglioratrice del terreno ed in Italia trova la sua collocazione migliore in ciclo autunno primaverile. Tollera bene i freddi invernali soprattutto se al loro sopraggiungere ha già differenziato 6-8 foglie vere. A questo stato di rosetta resiste anche a molti gradi sotto lo zero. Lo zero di vegetazione è a 6-8°C. Si adatta anche a terreni di tessitura non equilibrata, sia di pianura che di collina, e tollera substrati con pH e salinità non ottimali.

Le condizioni climatiche ideali per il buon esito di questa coltura sono i climi di tipo temperato umido, caratterizzati da inverni non molto rigidi e da primavere moderatamente umide. La pianta teme ristagni idrici superficiali e sottosuperficiali nel periodo invernale e la siccità durante il periodo di maturazione. Quest'ultimo fattore induce un anticipo della maturazione con conseguente riduzione della produzione a causa della diminuzione del peso unitario del seme e della percentuale di olio. Nel nostro Paese l'epoca di semina varia in relazione alle zone climatiche, variando dalla terza decade di settembre al Nord, ottobre al Centro e da novembre al Sud. Anche la raccolta varia tra i mesi di maggio e giugno. La raccolta può iniziare quando il seme ha un'umidità intorno al 14% e si osserva una piccola percentuale di silique ancora verdi. Le piante presentano numerose ramificazioni che ospitano le silique contenenti i semi di piccolissime dimensioni, da 2,2 a 4,5 g per 1000 semi, con il 40-46% di olio ed il 20-24% di proteine.

In Italia ha trovato nel tempo situazioni più favorevoli di coltivazione soprattutto negli ambienti del Nord e Centro Italia, mentre al Sud il suo potenziale produttivo è fortemente condizionato dalla disponibilità di varietà precoci in modo da sfuggire con una maturazione anticipata ad un decorso stagionale primaverile estivo caratterizzato da scarsa piovosità ed elevate temperature.

Un cospicuo lavoro di miglioramento genetico ha consentito oggi di poter disporre di ibridi con maggiore potenziale produttivo, anche se ancora non del tutto risolti sono i problemi legati alla deiscenza delle silique con conseguente riduzione di perdite alla raccolta, all'incremento del tenore

in olio della granella, alla tolleranza a nematodi ed alla sclerotinia che consentirebbe una maggiore facilità di inserimento in rotazioni con altre oleaginose e barbabietola qualora dovesse esserci una ripresa di questa coltura. Proprio quest'ultimo aspetto ne ha limitato nel passato la diffusione in ambienti bieticoli settentrionali del nostro Paese.

In realtà in Italia la coltura della colza ha vissuto sempre momenti alterni e spesso determinati da politiche comunitarie indirizzate al sostenere le oleaginose. E' a metà degli anni '90 che ha vissuto nuovi interessi.

L'interesse per questa specie sia come coltura alimentare che come coltura energetica o per la produzione di oli tecnici è sempre stata sostenuta da reti nazionali di ricerca. Sono da citare il Progetto di Ricerca sulle Oleaginose ad uso alimentare, finanziato dal MiPAF negli anni '80 i cui risultati a livello regionale sono stati oggetto di convegni e pubblicazioni, a cui hanno fatto seguito i Progetto Prisca (Progetto di Ricerca sulle Colture Alternative) MiPAF (1992 – 1997), TISEN (Tecniche innovative sostenibili di produzione e trasformazione delle colture energetiche e non-food) – MiPAF (2001-2003) e più recentemente il Progetto Bioenergie, sempre finanziato dal MiPAF, in cui la colza è da annoverare tra quelle colture in continua osservazione. Pertanto, dalla sua introduzione negli ordinamenti culturali più diffusi a livello nazionale, ad oggi, la coltura della colza ha trovato un valido supporto nei risultati della ricerca agronomica.

Oggi pur disponendo di varietà migliorate ed ibridi si riscontra sempre una prevalenza di materiale più adatto agli ambienti nordici dove la coltura ha una maggiore diffusione. Una buona alternativa alla limitata disponibilità di materiale genetico adatto ad ambienti a clima caldo arido è stata quella di adattare genotipi ad habitus primaverile in semina autunnale. Interessante, a tal proposito, è risultato la selezione di materiale di ambienti nord americani a prevalente ciclo primaverile-estivo, oltre ad introdurre ibridi nani o semi nani (semi-dwarf o dwarf). In contemporanea, negli ultimi anni, si è assistito ad un crescente interesse per gli oli biodegradabili ad uso industriale (lubrificanti, surfattanti, emulsionanti, plastiche, resine, etc.) di origine vegetale.

8.2. *Sperimentazione e valutazioni*

Al pari del girasole, in quanto specie tradizionalmente presente sui nostri territori, la colza è stata inserita nella sperimentazione presso l'azienda allo scopo di fornire un confronto con l'analoga coltura autunno-vernina di nuova introduzione e di verificare se la possibilità di usufruire delle piogge caratterizzanti la stagione di crescita fosse in grado di rappresentare elemento di vantaggio rispetto alle altre specie autunno primaverili-estive.

Nel triennio è stato impiegato l'ibrido fornito dalla Cerealtoscana s.p.a. La preparazione del letto di semina ha richiesto un'aratura e l'erpatura. La semina è avvenuta per mezzo di seminatrice a cascata regolata per una distanza tra le file di 25 cm distribuendo una quantità di semente pari a 15 kg/ha.

La colza ha mostrato un buon comportamento in campo con livelli produttivi relativamente soddisfacenti considerando il sistema low-input adottato. La coltura ha mostrato buoni andamenti di crescita nel corso dello sviluppo (Fig. 17, 18 e 19) con buona densità di piante, un'altezza media di 120 cm con un numero medio di 15 nodi e 4 ramificazioni del culmo. La resa in semi, circa 10 q/ha, mostra la colza esente dalle problematiche riscontrate per il cavolo abissino ed il rendimento energetico la rende competitiva rispetto alle colture primaverili-estive, fatta eccezione per il girasole.

Fig.17: Colza in emergenza.



Fig.18: Colza in pre-fioritura.



Fig.19: Colza in fiore.



8.3. Conclusioni

Il ciclo autunno-vernino che la contraddistingue dalle altre oleaginose, consentendole di beneficiare dei regimi piovosi caratterizzanti il clima italiano nel corso del suo sviluppo, l'adattabilità ad ambienti pedo-climatici anche molto diversi e a terreni sia di collina che di pianura, rappresentano i principali punti di forza di questa coltura che produce olio e pannello proteico di ottima qualità utilizzabile a fini alimentari.

Affinché la coltura esprima al meglio le sue potenzialità, viste le ridotte dimensioni del seme, particolare attenzione è richiesta in fase di preparazione del letto di semina e di raccolta. In

quest'ultimo caso occorre tarare opportunamente la mietitrebbia con testata da frumento ed applicarvi dispositivi di taglio verticale della biomassa, al fine di limitare la naturale deiscenza delle silique mature. Seconda solo al girasole dal punto di vista dei rendimenti energetici, è risultata una specie atta all'avvio di una filiera locale del PVO o del biodiesel.

Autori:

Hanno contribuito alla realizzazione del report: Dario Valente, Francesca Orlando, Marco Mancini, Anna Dalla Marta, Francesca Natali e Simone Orlandini del Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali, del Suolo e dell'Ambiente Agroforestale (DIPSA).

Il Coordinatore scientifico
(Prof. Simone Orlandini)
