



Dipartimento 3A

EXTRAVALORE

Progetto MiPAAF Bando Settore Bioenergetico DM 246/07

Convegno

I SOTTOPRODOTTI AGROFORESTALI E INDUSTRIALI A BASE RINNOVABILE

Normativa, recupero, conservazione, impiego, trasformazione e aspetti economici

3.

IL PROGETTO EXTRAVALORE

Ancona - Università Politecnica delle Marche
26 e 27 Settembre 2013

Convegno

**I SOTTOPRODOTTI AGROFORESTALI E
INDUSTRIALI A BASE RINNOVABILE**

Normativa, recupero, conservazione, impiego, trasformazione e aspetti economici

Volume 3

IL PROGETTO EXTRAVALORE

Ancona – Università Politecnica delle Marche

26 e 27 Settembre 2013

Convegno “I Sottoprodotti Agroforestali e Industriali a Base Rinnovabile”

Ancona, 26-27 Settembre 2013

Iniziativa sviluppata nell’ambito Progetto Extravalore del MiPAAF

DM 246/2007, GU n. 94 del 27/11/2007

www.extravalore.it

Volume 3 - Il Progetto Extravalore

Coordinamento:

Prof. Giovanni Riva, Università Politecnica delle Marche

Segreteria:

Chiara Mengarelli, Università Politecnica delle Marche

Comitato scientifico:

Fabrizio Cavani, Università di Bologna

Andrea Del Gatto, CRA - Centro di Ricerca per le Colture Industriali

Ester Foppa Pedretti, Università Politecnica delle Marche

Giacomo Pirlo, CRA - Centro di Ricerca per le produzioni Foraggere e Lattiero-Casearie

Giovanni Riva, Università Politecnica delle Marche

Giuseppe Toscano, Università Politecnica delle Marche

Massimo Zaccardelli, CRA - Centro di Ricerca per l'Orticoltura

Annalisa Zezza, INEA - Istituto Nazionale di Economia Agraria

Comitato organizzatore (Università Politecnica delle Marche):

Carla De Carolis, Daniele Duca, Ester Foppa Pedretti, Marco Giustozzi, Chiara Mengarelli, Angela Palumbo, Andrea Pizzi, Giovanni Riva, Giorgio Rossini, Giuseppe Toscano

ISBN: 978 - 88 - 906186 - 6-6

© 2013 CTI, Milano

Riproduzione vietata.

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta o diffusa con un mezzo qualsiasi, fotocopie, microfilm o altro, senza consenso.

Per informazioni: segreteria@extravalore.it

PREMESSA

La filiera del biodiesel (intesa come serie di operazioni produttive che vanno dal campo alla ruota dell'automobile) e comunque più in generale dei biocarburanti non esiste ancora a livello nazionale se non a livello di piccole iniziative. Di fatto, il biodiesel viene oggi importato o prodotto quasi totalmente da oli vegetali reperiti, per motivazioni strettamente economiche, sui mercati internazionali. La stessa situazione caratterizza anche gli altri biocarburanti di prima generazione.

Una possibile soluzione per lo sviluppo di filiere completamente nazionali potrebbe essere quella di incrementare la produzione lorda vendibile del settore rurale attraverso un'adeguata valorizzazione dei sottoprodotti di filiera.

In questa ottica, per esempio, la pianta oleaginosa va vista non come semplice produttrice di olio ma come generatrice di più prodotti. Conseguentemente, non va ottimizzato un solo aspetto produttivo (tradizionalmente l'olio), ma trovato un compromesso ottimale d'impiego del prodotto principale e dei sottoprodotti.

Il progetto Extravalore è quindi partito da questa ipotesi di lavoro e si è posto come obiettivo principale quello di dimostrare la fattibilità tecnica delle diverse applicazioni dei sottoprodotti di filiera nel campo agronomico, zootecnico, industriale ed energetico, dando nel contempo indicazioni pratiche agli operatori, sia agricoli che industriali.

Il presente volume raccoglie le esperienze sviluppate dal progetto, oltre che presentare le basi razionali sulle quali sono state organizzate le diverse attività.

INDICE

| | |
|--|-----|
| IL PROGETTO EXTRAVALORE | 1 |
| Introduzione..... | 3 |
| Aspetti alla base del Progetto e considerazioni legate all'attualità | 3 |
| Organizzazione del progetto..... | 9 |
| Sintesi dei principali risultati ottenuti dal progetto e conclusioni | 16 |
| RISULTATI OTTENUTI | 19 |
| Produttività e qualità delle oleaginose per un'integrale valorizzazione agronomica, zootecnica, industriale ed energetica dei sottoprodotti..... | 21 |
| Analisi economica dei co-prodotti della filiera del biodiesel | 55 |
| Impiego di farine di Brassica carinata, in combinazione con gli oli vegetali e altri mezzi di lotta ecocompatibili, per la difesa delle piante e impiego di panelli grassi di oleaginose come ammendanti, per il miglioramento delle produzioni orticole e della fertilità chimica e microbiologica del suolo..... | 63 |
| Valorizzazione dei sottoprodotti della filiera del biodiesel nell'alimentazione dei bovini da latte | 73 |
| Valorizzazione della glicerina e del pannello di girasole nell'alimentazione del suino pesante | 83 |
| Valorizzazione del pannello di girasole nell'alimentazione del vitellone..... | 93 |
| Valutazione delle caratteristiche qualitative di sottoprodotti della filiera energetica per l'alimentazione zootecnica | 99 |
| Valorizzazione dei sottoprodotti della filiera del biodiesel: la trasformazione di glicerolo ad acroleina e acido acrilico | 107 |
| Valorizzazione delle glicerina mediante trasformazione industriale in 1,3-propandiolo | 117 |
| Valorizzazione dei residui colturali e del pannello di Brassicaceae mediante trasformazione industriale in molecole bioattive | 127 |
| Valorizzazione energetica dei sottoprodotti della filiera del biodiesel..... | 139 |

IL PROGETTO EXTRAVALORE

INTRODUZIONE

Il Progetto “*Valorizzazione dei sottoprodotti della filiera del biodiesel – Extravalore*” è stato presentato al MiPAAF nel 2008 ai sensi del D.M. 246/07 del 23/10/2007, G.U. n. 94 del 27/11/2007. La graduatoria risultante dalla procedura di valutazione, approvata con D.M. 18176 del 10/12/2008, pose la proposta al secondo posto nell’ambito della tematica 3 “*Sviluppo nella filiera del biodiesel di programmi specifici per il recupero dei sottoprodotti*”. Successivamente, con D.M. 7508/7303/09 del 23/03/2009, è stato quindi concesso un contributo di € 1.250.000,00 sui 2.500.000 richiesti a favore del *Dipartimento di Scienze Alimentari, Agro-Ingegneristiche, Fisiche, Economico-Agrarie e del Territorio (SAIFET¹)*, registrato presso l’Ufficio Centrale di Bilancio il 03/02/2009.

A un anno circa dalla presentazione della proposta, quindi, sono iniziate le attività. Tuttavia, a seguito del ricorso presentato da uno dei soggetti esclusi dal finanziamento, il Progetto è stato sospeso con provvedimento di autotutela del MiPAAF il 17/07/2009 e avviata una nuova procedura di valutazione. La relativa graduatoria, con il D.M. 7059 del 26/03/2010, vedeva nuovamente Extravalore al secondo posto nell’ambito della tematica 3 (comunicazione al SAIFET n. 5676 del 16/03/2010) ma con importo massimo finanziabile ridotto a € 749.250,00. Le attività sono state pertanto rimodulate (comunicazione del SAIFET al MiPAAF del 13/04/2010) e con D.M. 16914/7303/10 del 23/07/2010 formalmente riavviate dopo più di due anni dalla presentazione della proposta.

Il Progetto ha quindi sofferto dei problemi tipici delle attività “*stop-and-go*” oltre che di una forte riduzione dei fondi disponibili. Questa situazione, peraltro non infrequente nella realtà nazionale, ha portato a qualche inconveniente, comunque alleviato dall’impegno profuso dalle Unità Operative coinvolte che hanno fatto del loro meglio per sviluppare dei risultati utili per il mondo operativo e quello della ricerca.

ASPETTI ALLA BASE DEL PROGETTO E CONSIDERAZIONI LEGATE ALL’ATTUALITÀ

Stato dell’arte nel 2008² (anno di presentazione della proposta)

In Italia risultavano investiti a colture oleaginose circa 270.000 ha (indicativamente 40% a girasole, 60% a soia e superfici marginali a colza) che fornivano meno di 1 Mt di semi. Ciò richiedeva all’epoca di importare oltre 2 Mt di semi (soia per quasi l’80%). L’industria nazionale produceva, in pochi centri (9 i più importanti e concentrati soprattutto al Nord), oltre 0,5 Mt di olio di semi, più di 1,6 Mt di farine di estrazione alle quali si aggiungevano circa 3 Mt di farine di importazione (quasi l’85% di soia). La produzione di pannelli oleosi era, come peraltro oggi, del tutto trascurabile.

L’industria nazionale del *biodiesel*, dal canto suo, presentava una potenzialità di circa 1,4 Mt/anno di prodotto finale. Nel 2006, tuttavia, la produzione si è attestata sulle 450.000 t, ottenuta quasi completamente da oli di importazione. Di queste, circa 250.000 t erano state

¹ Il Dipartimento SAIFET è poi confluito nel Dipartimento di Scienza Agrarie Alimentari e Ambientali dell’Università Politecnica delle Marche (D3A) nel corso del 2012.

² Si rammenta, in particolare, che gli attuali obiettivi di penetrazione dei biocarburanti sono stati definiti dal D.lgs. 28/2011, recepimento nazionale della Direttiva Europea 28 del 2009.

esportate e 200.000 t consumate in Italia (quantitativo coincidente con il contingente defiscalizzato nello stesso anno³). Nel settore del *biodiesel*, conseguentemente, l'agricoltura italiana ricopriva un ruolo marginale (produzione di semi oleosi sufficienti per poche migliaia di t) a causa soprattutto dei suoi elevati costi che, per quanto riguarda le *commodities* tradizionali, soffrono da sempre della frammentazione dei terreni e, per le oleaginose in particolare, di produzioni specifiche inferiori a quelle rilevabili, a esempio, nel centro Europa.

La filiera nazionale del *biodiesel* (intendendo con *filiera* tutta la serie di operazioni comprese tra la produzione agricola e l'immissione al consumo del biocombustibile) era quindi inesistente, anche se alcune aziende italiane operanti nel settore dei biocarburanti risultavano tra quelle *leader* del mercato europeo.

In questo quadro, l'analisi della situazione metteva in luce come, almeno in prospettiva e tra le diverse opzioni, l'aumento dell'utilizzo della materia prima nazionale poteva essere ottenuto puntando a un incremento della PLV agricola attraverso un'adeguata valorizzazione dei sottoprodotti.

Partendo da queste considerazioni è stato quindi impostato il Progetto Extravalore focalizzando l'attenzione sulle potenzialità di impiego dei seguenti sottoprodotti: (i) residui cellulosici di campo e di lavorazione del seme (paglie, calatidi, cuticole, ecc.); (ii) residui delle operazioni di estrazione ed eventuale raffinazione dell'olio (panelli e farine di estrazione, gomme); (iii) residui del processo di trans-esterificazione dell'olio vegetale (glicerina a diversi gradi di purezza)⁴.

³ All'epoca i biocarburanti erano esentati dall'applicazione delle accise (condizione necessaria affinché fossero competitivi) per un quantitativo che veniva fissato di anno in anno e che doveva essere utilizzato fuori rete. Ciò permetteva la loro utilizzazione solo nel caso di flotte di veicoli dotate di distributori propri (tipicamente le società di trasporto cittadine) o per impieghi diversi dalla trazione.

⁴ Più nel dettaglio e sempre con riferimento alle considerazioni alla base della proposta di Progetto, i **residui di campo** delle oleaginose tradizionali (da identificare soprattutto nel girasole, nella soia e marginalmente nel colza) erano e sono di norma inutilizzati se non a livello agronomico. Il loro potenziale in massa non è trascurabile (in via indicativa: rapporti da 0,5:1 a 1:1 rispetto alla produzione di seme) e i possibili impieghi possono essere diversi, in modo particolare di tipo energetico (combustione), applicazione che tuttavia è stata per il momento considerata solo a livello sperimentale e ostacolata dagli elevati costi di raccolta e dalla mancanza di centri di trasformazione dei residui in biocombustibili solidi di qualità accettabile dal mercato.

Le **farine di estrazione** (FE) avevano e hanno un'ampia diffusione nell'alimentazione zootecnica (consumo nazionale di circa 3 Mt/anno nel 2008). Il relativo contenuto in grasso è limitato (2 – 4% sulla s.s.) e le caratteristiche nutrizionali interessanti; la FE di soia è il principale integratore proteico, ma sono utilizzate anche quelle di girasole e di colza. I pannelli grassi di estrazione (di interesse del Progetto) hanno invece una diffusione molto più limitata, non solo per ragioni legate alla minore resa della filiera, ma anche a inconvenienti di carattere tecnologico e nutrizionale. I pannelli sono infatti più soggetti ad irrancidimento (a causa dell'elevato tenore in grasso: 6-15 %) e a fermentazione (a causa del maggiore tenore in acqua). L'ostacolo all'impiego zootecnico non è solo la minore qualità del pannello ma soprattutto la variabilità nel tempo. Inoltre, l'elevato contenuto di olio vegetale extracellulare può comportare problematiche che riguardano la qualità del prodotto animale finale (carne, salumi e formaggi). Le FE, per il loro diffuso impiego, sono contemplate nei più importanti sistemi di valutazione degli alimenti, le cui tabelle riportano le caratteristiche chimiche e nutrizionali. Nel caso dei pannelli invece non si hanno dati tabulati e non vi sono stime ufficiali del valore energetico e delle caratteristiche della proteina. Ciò ne impedisce un uso razionale, anche se è presumibile che essi non possano sostituire in misura molto elevata la FE di soia, perché rispetto a questa hanno valori energetici (a parità di grasso) e tenori proteici più bassi. Tuttavia in misura e modalità opportune, tenendo conto anche delle caratteristiche degli animali e dei limiti imposti dai disciplinari di produzione, se ne potrebbe fare un uso tutt'altro che trascurabile nelle filiere zootecniche più importanti.

Oltre all'impiego zootecnico i pannelli ma anche le farine di alcune specie vegetali possono trovare impieghi agronomici (produzione di formulati per la difesa delle colture agrarie) ed energetici (produzione di

I citati sottoprodotti possono infatti trovare tutti o in parte impiego in quattro settori applicativi che il Progetto ha considerato di pari dignità (Figura 1):

- *agronomico*: per la produzione di ammendanti e prodotti specifici;
- *zootecnico*: per l'alimentazione di varie specie animali;
- *industriale*: per la produzione di materie prime di utilizzo generale;
- *energetico*: per la produzione di combustibili e di energia.

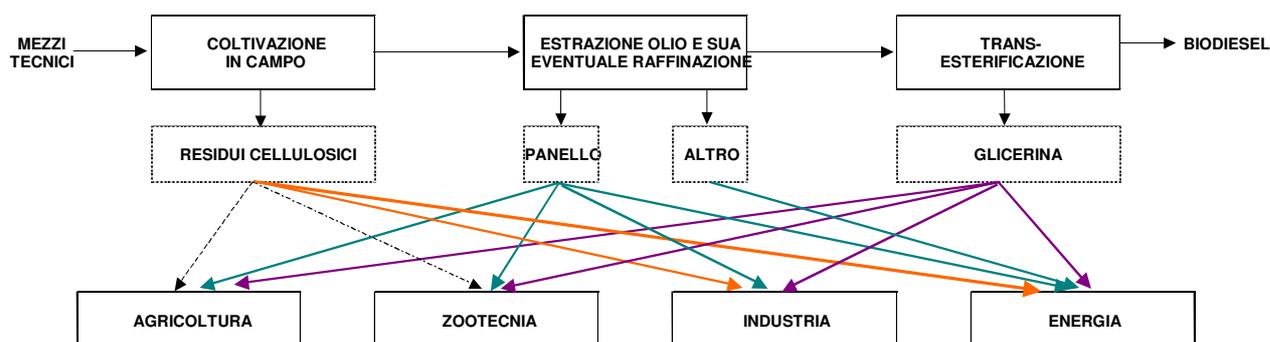


Figura 1 Relazioni tra elementi principali della filiera del biodiesel, sottoprodotti e settori di utilizzazione. Sono evidenziati, con linee di maggiore spessore, sottoprodotti e settori di utilizzazione studiati con sperimentazioni specifiche dal Progetto. Per la fase di estrazione i sottoprodotti indicati con "altro" sono costituiti dagli eventuali residui cellulosici della decorticazione dei semi e dalle gomme derivanti dalla

Con la sua impostazione il Progetto considerava sia le filiere corte delle oleaginose, basate su comprensori di 3-10.000 ha serviti da centri di spremitura di tipo meccanico diffusi sul territorio anche per favorire la collocazione sul posto di almeno parte dei sottoprodotti (soluzione ipotizzata in prospettiva), sia le filiere più tradizionali a servizio di comprensori più ampi e dotate di pochi oleifici di dimensioni industriali (soluzione esistente).

L'idea risultava in linea con le politiche europee in quanto, già nei primi anni del 2000, la CE vedeva nei biocombustibili prodotti in ambito comunitario uno degli assi portanti della sua politica energetica ed ambientale. Nel 2008, passaggi importanti erano costituiti dalla Direttiva 2003/30/CE (recepita a livello nazionale con il D.lgs. n.128 del 30.4.2005) che mirava a sostituire nel 2005 e nel 2010 rispettivamente il 2% e il 5,75% dei combustibili per il trasporto su strada con biocarburanti e poneva le basi per elevare tale *target* al 10%

biocombustibili solidi di elevate caratteristiche). Si tratta di impieghi oggi valutati a livello sperimentale o a livello pre-industriale.

I **residui cellulosici e gomme** derivanti dall'estrazione dell'olio e la sua lavorazione vengono generalmente smaltiti e non valorizzati anche se oggi lo sviluppo del settore del biogas offre notevoli possibilità di collocamento di questi materiali. Il più importante sottoprodotto industriale della produzione di biodiesel rimane comunque la **glicerina**. La relativa vendita contribuisce per circa il 5-8% al costo di produzione del biodiesel; il relativo valore è tuttavia basso, soprattutto a causa del surplus produttivo (quasi 50.000 t/anno nel 2006 a livello nazionale) a fronte di una domanda non elevata da parte del settore industriale e marginale da parte della zootecnia dove solo in tempi recenti se ne sta diffondendo l'impiego a seguito dell'aumento dei prezzi dei cereali che ha spinto a trovare dei surrogati energetici di minor costo. Il limite al suo impiego è il contenuto d'impurità, alcune particolarmente pericolose come il metanolo, che devono essere ridotte a quantitativi accettabili e costanti.

entro il 2020. Coerentemente con tali indicazioni, nel settembre 2007 il Governo Italiano presentò alla CE un *position paper* nel quale si prevedeva - a livello nazionale - di produrre circa 0,6 Mtep/anno (milioni di t equivalenti di petrolio) di biocarburanti e di importarne 3,6 Mtep per un totale di 4,2 Mtep (ovvero il 10% del consumo allora previsto per il 2020). Tali obiettivi, dopo un primo accoglimento positivo legato al favore generalizzato verso le rinnovabili, destò una serie di dubbi e critiche soprattutto da parte delle organizzazioni ambientaliste⁵.

Il Progetto risultava idoneo anche per la diffusione di una variante di filiera che prevedeva l'utilizzo dell'olio vegetale per la produzione di elettricità da riversare in rete. Ciò risultava, rispetto alla produzione di biocarburanti per la trazione, di più semplice realizzazione e particolarmente adatto alla filiera corta nelle condizioni nazionali⁶.

Stato dell'arte nel 2013 (anno di chiusura delle attività)

Dall'avvio del Progetto allo stato attuale, il quadro d'insieme ha subito, in solo cinque anni, delle evoluzioni più che significative. In particolare, a livello Europeo è stata pubblicata nel 2009 la Direttiva 28 (recepita poi a livello nazionale nel 2011) che ha fissato obiettivi e regole più precise per la diffusione dei biocarburanti, richiedendo l'incorporazione obbligatoria, con aliquote variabili nel tempo fino al 2020, dei biocarburanti nei combustibili da trazione. La 28, sempre nel 2009, è stata affiancata dalle Direttiva 30 sulla qualità dei combustibili, che, attraverso la modifica di alcune specifiche tecniche, favorisce la miscelazione dei biocarburanti nelle aliquote richieste. Sono poi seguiti altri disposti comunitari che hanno preso in esame la questione della sostenibilità ambientale introducendo una serie di vincoli.

L'incorporazione dei biocarburanti nei carburanti di origine fossile avviene, sia per motivazioni tecnologiche che fiscali, sostanzialmente in pochi centri, in particolare presso le raffinerie, e ciò ha spinto con più forza la già innata "internazionalizzazione" del settore⁷. Come diretta conseguenza i biocarburanti sono diventati una *commodity* tipicamente trasportata via nave e acquistata laddove disponibile alle migliori condizioni

⁵ Nelle condizioni italiane e con riferimento alle tecnologie di prima generazione per la produzione di biocarburanti e alle coltivazioni tradizionali, per produrre 1 Mtep con coltivazioni oleaginose (biodiesel) e cerealicole (etanolo), occorrono rispettivamente circa 1 e 0,6 milioni di ettari. Gli obiettivi del Governo Italiano erano quindi molto ambiziosi e probabilmente soffrivano di una visione di insieme non completa. Una lettura di tutto il quadro metteva in luce come in Italia sussistevano a partire dal 2005 almeno due visioni sui biocarburanti: la prima di tipo "*agricolo-centrica*" che vedeva in questi prodotti soprattutto una opportunità di sostegno al reddito dell'azienda agricola; la seconda di tipo "*economico-europeo*", centrata sull'obiettivo di conseguire un utilizzo, come riferito sopra, di 4,2 Mtep/anno. Ciò richiedeva (a fronte della reale mancanza di risorse): l'investimento di 600-700.000 ha a colture energetiche dedicate; l'impostazione di rapporti di collaborazione bi- o multi-laterali con Paesi dell'Unione a vocazione agricola e/o con i paesi in via di sviluppo; il necessario impegno della ricerca nel settore agronomico per aumentare le produzioni agricole e in quello petrolchimico, per sviluppare tecnologie e impianti di seconda generazione.

⁶ Fino al 2012 compreso questa filiera presentava i seguenti punti di forza: dimensioni degli impianti anche ridotte (esempio: 100 kW elettrici); limitati investimenti – se comparati con altre soluzioni – e interessante redditività. La soluzione si presenta molto meno interessante per gli impianti realizzati a partire dal 2013 per via del cambio di normativa che impone una drastica riduzione degli incentivi per questa soluzione (decreto 6/7/2012).

⁷ I motori endotermici (a benzina e gasolio o a gas) utilizzati per la trazione vengono commercializzati su base mondiale ("viaggiano" loro stessi nel corso del loro esercizio) e ciò richiede la globalizzazione (anche se ancora non totale) delle prescrizioni dei combustibili utilizzati. Questo aspetto è molto meno evidente, per esempio, per i generatori di energia termica (macchine di norma statiche) che vengono spesso commercializzati per mercati e combustibili diffusi a scala regionale.

economiche. Peraltro, sebbene la Direttiva 28 abbia introdotto delle prescrizioni sulla sostenibilità del prodotto⁸ (ancora non pienamente vigenti) dipendenti in modo particolare dalle tecniche di coltivazione, il trasporto via nave su lunghe distanze, se svolto razionalmente, con mezzi moderni e contrariamente alla comune percezione delle cose, incide relativamente poco su tale fattore⁹.

Il contributo del settore agricolo nazionale per l'approvvigionamento dei semi oleosi, dal canto suo, non è sostanzialmente cambiato: nel 2012/13 e tenendo come confronto il 2008 le superfici agricole destinate alla coltivazione delle oleaginose appaiono sostanzialmente costanti mentre nella composizione delle specie cresce la presenza di colza a spese di soia e girasole.

Le Direttive Europee hanno quindi rafforzato la richiesta e produzione di biocarburanti sostitutivi del gasolio da trazione (*biodiesel*) mentre i prodotti sostitutivi della benzina (etanolo e derivati) sono reperiti in buona misura sul mercato americano (Brasile e USA in particolare), dove il settore continua ad avere un consistente sviluppo tecnologico. In aggiunta, va considerato che con l'avvio di una reale domanda commerciale di biocarburanti la richiesta di qualità (da intendersi soprattutto in termini di costanza delle specifiche tecniche dei prodotti finali) è aumentata in modo considerevole, sia per motivazioni legate alla distribuzione dei prodotti (esempio: loro stabilità nel corso dello stoccaggio), sia per le prescrizioni più stringenti richieste dai motori moderni (esempio: controllo della combustione soprattutto in relazione al contenimento delle emissioni).

Gli adeguamenti della Direttiva 28, sollecitati dalla discussione sui risvolti ambientali relativi all'uso del suolo per la produzione di biocarburanti¹⁰, prevedono poi la riduzione degli obiettivi quantitativi al 2020, limiti più severi per l'utilizzo dei prodotti derivati dai semi oleaginosi e la preferenza per le coltivazioni alternative o sostanze residuali. Ciò alimenta, al momento, l'attenzione verso i biocarburanti di "seconda generazione" cioè ottenuti da coltivazioni non propriamente alimentari (l'esempio più citato è costituito dalle alghe) o da biomasse residuali trattate con procedimenti di sintesi¹¹. Un tema a sé è poi costituito dal biometano¹².

In conclusione: la produzione di biocarburanti è oggi sempre più sinonimo di processi di elevato contenuto tecnologico e di utilizzo di materie prime residuali o comunque *non food*.

⁸ Misurata in termini di risparmio di CO₂ equivalente per unità di energia del prodotto finale della filiera di produzione dei biocarburanti rispetto a quella dei carburanti fossili (oltre alle emissioni di CO₂ rientrano nella valutazione in modo particolare quelle di CH₄ e N₂O).

⁹ Tale aspetto ha dato avvio a tutta una serie di problematiche, quale il temuto "land grabbing" nei paesi in via di sviluppo magari a scapito delle coltivazioni *food* e lo sviluppo ritenuto eccessivo della coltivazione della palma da olio a scapito, in modo particolare, delle foreste tropicali.

¹⁰ Il fattore più influente e discusso è l'ILUC (*indirect land use change*). L'ILUC tiene conto del fatto che destinando una coltivazione agricola alla produzione di biocarburanti tendenzialmente si favorisce la conversione di terreno vergine alla produzione di coltivazioni industriali e *food*, provocando un aumento della produzione di gas serra (dalla lavorazione del terreno).

¹¹ In questo caso le biomasse sono da intendere come sorgenti di C e H per "costruire" degli idrocarburi.

¹² Ovvero CH₄ ottenuto da digestione anaerobica. Va sottolineato che, anche in questo caso, il biocarburante gassoso ottenuto è da ritenere concettualmente valido se prodotto a partire da materiali residuali. Non quindi da coltivazioni dedicate.

A livello nazionale, il quadro generale, che peraltro deve necessariamente seguire quello europeo, è caratterizzato dai seguenti aspetti aggiuntivi:

- con l'attuale congiuntura la richiesta di energia (e di combustibili per la trazione) sta aumentando meno del previsto. Ciò richiede, a parità di *target* pianificati pochi anni or sono, minori volumi di energie rinnovabili. L'aumento del prezzo dei combustibili fossili per la trazione, poi, sta favorendo la diffusione di veicoli più performanti, quindi con minori consumi. Il risultato finale è che il fabbisogno domestico di carburanti si sta tendenzialmente contraendo¹³;
- la particolare politica energetica, dal canto suo, ha favorito un eccessivo sviluppo del fotovoltaico, fatto che sta drenando risorse alle altre fonti alternative;
- la richiesta di base degli ultimi anni (*in primis* da parte delle organizzazioni agricole) è stata quella di promuovere la riduzione della dimensione suscettibile di incentivi degli impianti a energie rinnovabili, con l'intento di renderli più interessanti per le utenze diffuse sul territorio e per limitare la concorrenza degli impianti di dimensione industriale, ritenuti da molti non accettabili sotto il profilo socio-ambientale. Tale richiesta è stata accolta volentieri dal Governo che ha l'esigenza primaria di contenere la spesa pubblica e, tra i vari capitoli di spesa, quella per la promozione delle rinnovabili (oltre 10 miliardi di €/anno).

Da questa nuova situazione (che rimarrà stabile almeno fino al 2015) risulta, per esempio e per quello che riguarda da vicino il Progetto Extravalore, che l'impiego di olio vegetale per la produzione di energia elettrica - anche con piccole unità - è forse oggi non più percorribile dal punto di vista economico. Lo stesso vale per la produzione di biocarburanti.

In definitiva, il quadro generale sembrerebbe oggi vedere l'incompatibilità di base tra produzione di biocarburanti e il concetto di *filiera corta* e comunque assai poco probabile una proficua collaborazione tra industria e agricoltura nazionale.

I temi affrontati dal progetto Extravalore sono ancora attuali?

Il Progetto è nato come idea nel 2007 con l'intento di servire la filiera nazionale del *biodiesel* e anche dell'olio vegetale per uso energetico (esempio: produzione di energia elettrica). Come ricordato, l'obiettivo principale era di favorire la massimizzazione della PLV agricola studiando le varie opportunità di impiego dei sottoprodotti di filiera.

Il settore dei biocarburanti, con particolare riferimento a quello europeo, è nel frattempo evoluto e sta spostando il suo asse di interesse verso l'utilizzo di materie prime residuali, contando meno sull'utilizzo di semi oleaginosi di produzione comunitaria.

A livello nazionale, poi, sono stati considerevolmente ridotti gli incentivi per l'uso di olio vegetale energetico.

Obiettivi del Progetto ed evoluzione del sistema, tuttavia, si incrociano, seppure con sfumature diverse, sull'utilizzo dei sottoprodotti. Si potrebbe infatti concludere che:

- Extravalore voleva "aiutare" la produzione di biocarburanti convenzionali cercando di impiegare al meglio e per diverse finalità i sottoprodotti delle filiere dei biocarburanti;

¹³ Va sottolineato che questa considerazione è da ritenere valida nel contesto nazionale, mentre a livello globale la richiesta di combustibili per la trazione aumenta.

- il sistema vorrebbe oggi, tra le diverse opzioni principali, utilizzare i sottoprodotti delle coltivazioni alimentari per produrre biocarburanti e comunque prodotti di interesse commerciale.

La valorizzazione dei sottoprodotti rimane quindi un obiettivo valido e di primaria importanza per tutte le soluzioni. Per esempio, risultano di attualità:

- l'impiego dei sottoprodotti di campo (principalmente paglie e stocchi) per finalità energetiche (esempio: produzione di pellet combustibile o di idrocarburi di sintesi) ed industriali (esempio: produzione di materie prime di interesse generale);
- l'impiego dei sottoprodotti di processo per finalità zootecniche, agronomiche ed industriali ¹⁴.

La conclusione logica ed evidente è che, seppure a fronte di un quadro sostanzialmente mutato nel giro di pochi anni, i temi affrontati dal Progetto rimangono e sono da ritenere del tutto attuali.

ORGANIZZAZIONE DEL PROGETTO

Da un punto di vista organizzativo il Progetto è stato suddiviso in sei Sottoprogetti (SP), due di tipo orizzontale (Sottoprogetto "Materia prima" ed "Economia") che interessano i diversi settori applicativi dei sottoprodotti e quattro di tipo verticale (Sottoprogetti "Valorizzazione Agronomica"; "Valorizzazione Zootecnica"; "Valorizzazione Industriale" e "Valorizzazione Energetica") che hanno preso in considerazione l'applicabilità degli stessi sottoprodotti nei singoli campi applicativi (Figura 2).

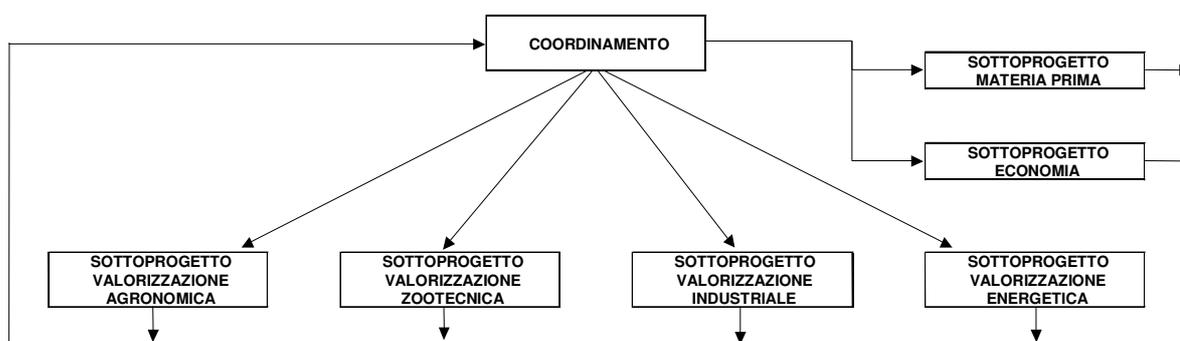


Figura 2: Organizzazione del Progetto. Il Comitato di Progetto ha funzioni consultive ed è formato da esperti esterni appartenenti al mondo industriale, associativo e scientifico.

All'interno dei Sottoprogetti sono state previste una o più Unità di Ricerca (U.O.), che vengono di seguito descritte.

¹⁴ La produzione di oleaginose per finalità alimentari o industriali (diverse da quella energetica) rimane comunque una opzione aperta e richiesta anche dalle comuni rotazioni agricole. La valorizzazione dei sottoprodotti di processo, quindi, rimane una esigenza di base.

Sottoprogetto Materie Prime

Responsabile scientifico: Dott. Andrea Del Gatto.

U.O.: CRA-CIN - Centro di Ricerca per le Colture Industriali.

Team di progetto: Andrea Del Gatto, Lorella Mangoni, Sandro Pieri, Salvatore Antonino Raccuia (CNR ISAFOM Catania), Marco Signor (ERSA Friuli).

La Sezione di Osimo fin dalla sua istituzione ha intrapreso sperimentazioni sulle colture oleaginose erbacee. Ha investigato nell'ambito del miglioramento genetico e agronomico di numerose specie come girasole, ricino, cartamo, colza e altre brassicacee, mais, e altre colture industriali come barbabietola da zucchero, lino, canapa, e orticole da industria, partecipando a numerosi progetti internazionali, nazionali e regionali. Da oltre 15 anni rappresenta una delle unità operative di riferimento a livello nazionale per la caratterizzazione e la valutazione dell'idoneità all'iscrizione di nuove varietà di girasole al Registro Nazionale delle varietà, e, dal 2005, anche per brassicacee (colza, rapa e ravizzone) e barbabietola da zucchero. L'attività della Sezione è rivolta anche alla ricerca sulle piante da biomassa per la produzione di energia e ha partecipato a progetti nazionali e regionali.

L'obiettivo della U.O. all'interno del Progetto è stato quello di valutare alcune delle principali varietà delle colture oleifere industriali che meglio si adattano agli ambienti di coltivazione italiani (girasole, *B. carinata*, colza e cardo) al fine di individuare quelle più produttive in semi, olio, biomassa, e che presentino “*prodotti e sottoprodotti*” idonei alla valorizzazione agronomica, zootecnica, energetica ed industriale in relazione ai diversi ambienti della Penisola (Nord, Centro e Sud). A tal fine è stato impostato uno studio sull'influenza delle diverse condizioni pedoclimatiche ed agrotecniche sulle caratteristiche dei sottoprodotti, individuando il giusto compromesso tra produttività e sostenibilità.

Parallelamente, l'U.O. ha avuto un ruolo importante nella produzione di quantitativi di seme delle oleifere sufficienti a svolgere la sperimentazione nei Sottoprogetti “*Valorizzazione agronomica e zootecnica*”.

Sottoprogetto Economia

Responsabile scientifico: Dott.ssa Annalisa Zezza.

U.O.: INEA - Istituto Nazionale di Economia Agraria.

Team di progetto: Annalisa Zezza, Michiele Donati (Dip. Bioscienze – UNIPR), Michela Pin (CETA.)

L'INEA svolge ricerche di politica ed economia agraria, analisi del commercio internazionale dei prodotti agricoli nonché ricerche sulla sostenibilità ambientale delle attività agricole e sviluppo rurale. Gestisce inoltre, per l'Italia, la rete di informazione contabile agricola (RICA) istituita in ambito comunitario allo scopo di monitorare l'evoluzione dei redditi e delle strutture agricole a livello territoriale. Grazie allo studio “*Bioenergie: quali opportunità per l'agricoltura italiana*” l'INEA si è posto l'obiettivo di fornire un contributo alla comprensione delle dinamiche che hanno determinato la crescente attenzione verso le biomasse, al ruolo del settore agricolo nella loro produzione, alle politiche che possono accompagnarne lo sviluppo, agli aspetti economici ed ambientali connessi.

L'obiettivo dell'U.O. all'interno del Progetto è stato quello di valutare (anche sulla base di alcuni risultati del Sottoprogetto Utilizzazioni Energetiche) la sostenibilità economica della *filiera corta* attraverso: (i) valutazione sulla possibilità di mercato e di reimpiego dei sottoprodotti e/o materie prime da loro ottenute (con riferimento a quelle studiate nel Progetto); (ii) stima dei costi e verifica della redditività della filiera nelle diverse

condizioni; (iii) stima, nel medio periodo, del contributo che la valorizzazione dei sottoprodotti e derivati possono dare per il conseguimento del *target* nazionale (10% di incorporazione di *biocombustibili* entro il 2020).

Sottoprogetto Valorizzazione Agronomica

Responsabile scientifico: Dott. Massimo Zaccardelli.

U.O.: CRA-ORT - Centro di Ricerca per l'Orticoltura.

Team di progetto: Massimo Zaccardelli, Armida Del Galdo, Giuseppe Di Stefano, Giuseppe Di Stefano, Alfano Giulia, Filomena Milano, Catello Pane, Domenico Perrone, Giovanni Ragosta, Domenico Rongai (CRA-PAV), Domenico Ronga (UNIMORE), Riccardo Scotti, Domenica Villecco.

Il CRA-ORT svolge attività di ricerca e sperimentazione su tematiche di tecniche colturali e confronti varietali, sia in pieno campo che sotto serra, compreso il fuori-suolo, e su tematiche di miglioramento genetico, fitopatologia e microbiologia delle colture ortive di maggiore interesse per l'agricoltura meridionale con particolare attenzione alla valorizzazione delle produzioni tipiche ed alla ricerca di processi produttivi a basso impatto ambientale attraverso l'impiego di microrganismi utili o sostanze naturali o mediante l'adozione di opportune precessioni colturali o attraverso l'uso di ammendanti organici.

L'obiettivo dell'U.O. all'interno del Progetto è stato quello di: (i) verificare sperimentalmente l'uso di farine di brassicacee come base di formulati per una difesa efficace ed ecocompatibile delle colture agrarie arboree ed ortive e di quelle ornamentali; (ii) verificare la possibilità di incrementare l'efficacia dei formulati a base di farine di brassicacee mediante l'integrazione con altri mezzi di lotta ecocompatibili (oli essenziali, batteri antagonisti, sterilizzazione); (iii) verificare l'efficacia dell'impiego dei pannelli come ammendanti/fertilizzanti in orticoltura; (iv) valutare l'impatto dei pannelli sulla fertilità chimica e microbiologica del suolo e sull'emissione di anidride carbonica da parte di questo ultimo.

Sottoprogetto Valorizzazione Zootecnica.

Responsabile scientifico: Dott. Giacomo Pirlo.

Il SP (al quale fanno parte quattro UU.OO.) ha considerato gli impieghi alimentari dei vari sottoprodotti con un approfondimento sperimentale per quanto riguarda l'impiego dei pannelli e della glicerina. Sono stati quindi perseguiti i seguenti due principali obiettivi specifici:

- caratterizzazione sotto il profilo nutrizionale dei pannelli grassi ottenibili delle specie/varietà di piante considerate dal progetto e della glicerina ottenuta almeno a due livelli di purezza al fine di approfondire le conoscenze alimentari su questi sottoprodotti e disporre di un *data-base* per la diffusione del loro utilizzo;
- risposta alla seguente domanda: *vi è un impedimento di carattere qualitativo che non consente di utilizzare questi sottoprodotti nella produzioni di carni, formaggi e salumi tipici?* Ciò con riferimento a bovini da latte, bovini da carne e suini. L'attività è concentrata sull'impiego dei pannelli grassi di girasole, mentre la glicerina viene presa in considerazione per i suini.

U.O.: CRA-FLC - Centro di Ricerca per le Produzioni Foraggere e Lattiero-casearie.

Responsabile scientifico dell'U.O.: Dott. Giacomo Pirlo.

Team di progetto: Giacomo Pirlo, Fabio Abeni, Antonio Bruni, Giovanni Cabassi, Maurizio Capelletti, Giovanna Contarini, Luigi Degano, Luciano Migliorati, Milena Povo.

Il Centro di Ricerca di Cremona studia in modo verticalmente integrato gli aspetti di produzione dei foraggi, della nutrizione e dei metodi di allevamento dei bovini finalizzati alla produzione di latte e prodotti derivati di alta qualità sensoriale, nutrizionale e con elevati standard di sicurezza. Vengono affrontati: studi e ricerche in materia di agrotecnica, sistemi colturali, ecosistemi prato-pascolivi, chimica e biochimica, genetica e miglioramento genetico delle piante foraggere e delle proteaginose per l'alimentazione zootecnica; i metodi d'allevamento della vacca da latte con particolare attenzione ai rapporti fra alimentazione, benessere animale e qualità della produzione di latte; le tecniche e gli impianti per la gestione della stalla finalizzate all'economicità della produzione, alla sicurezza dell'ambiente di lavoro, all'igiene del latte, alla prevenzione delle zoonosi.

L'obiettivo dell'U.O. all'interno del Progetto è pertanto stato quello di valorizzare l'impiego dei sottoprodotti della filiera corta del biodiesel nell'alimentazione dei bovini da latte. In considerazione del loro maggior interesse, la ricerca si concentra sui pannelli tralasciando glicerina e paglie. Gli obiettivi specifici necessari per raggiungere l'obiettivo di carattere generale sono: (i) verifica degli effetti dell'impiego dei pannelli grassi sulle caratteristiche del latte e del formaggio; (ii) verifica degli effetti dell'impiego dei pannelli grassi sulla salute e sullo sviluppo di bovine in accrescimento; (iii) determinazione della conservabilità dei pannelli in funzione del sistema di estrazione.

U.O.: CRA-SUI - Unità di Ricerca per la Suinicoltura.

Responsabile scientifico dell'U.O.: Dott. Giacinto Della Casa.

Team di progetto: Giacinto Della Casa, Davide Bochicchio, Michele Comellini, Valerio Faeti, Gianni Marchetto, Antonio Marino.

Il CRA-SUI svolge ricerca e sperimentazione relativamente alle filiere di produzione del suino per quanto attiene ai metodi di allevamento, alimentazione, nutrizione, macellazione e valorizzazione delle deiezioni. Si occupa degli effetti dei fattori di allevamento ed alimentari sull'efficienza della produzione, sul benessere animale e sulle caratteristiche qualitative delle carcasse, delle carni e dei depositi adiposi in funzione sia del consumo fresco, sia della trasformazione. Studia gli effetti dei fattori di allevamento sull'impatto ambientale e la valorizzazione degli effluenti per usi agricoli e non agricoli.

L'obiettivo dell'U.O. all'interno del Progetto è stato quello valutare gli effetti della glicerina sulle prestazioni produttive di suini all'ingrasso e sulla qualità delle carni fresche e stagionate. Oltre a questo, l'U.O. ha il secondo obiettivo di valutare l'uso del pannello grasso di girasole alto oleico nell'ingrasso del suino pesante in sostituzione della farina di estrazione di soia e i conseguenti effetti sulle prestazioni produttive e sulla qualità delle carni fresche e stagionate.

U.O.: CRA-PCM - Centro di Ricerca per le Produzioni delle Carni ed il Miglioramento Genetico.

Responsabile scientifico dell'U.O.: Dott.ssa Miriam Iacurto.

Team di progetto: Miriam Iacurto, Stefano Ferri, Maurizio Mormile, Federico Vincenti.

Il gruppo di ricerca sui bovini si occupa di qualità chimico-fisica della carne ed è stato considerato pioniere in Italia. Ha collaborato attivamente con ricercatori della Francia (INRA) e di altri paesi della Comunità Europea acquisendo esperienza e professionalità;

negli anni si è occupato, inoltre, dell'uso di diete con alimenti alternativi e sottoprodotti. Ha esperienza nella gestione delle diete in diverse specie animali (bovini da carne e latte, bufali, ovi-caprini).

Nell'ambito del Progetto il ruolo dell'U.O. è stato quello di occuparsi della verifica dell'effetto dell'inclusione del pannello grasso di girasole (derivato dalla produzione di biodiesel) in diete per vitelloni, nel periodo di ingrasso e finissaggio, sulla velocità di accrescimento, la composizione della carcassa e la qualità della carne. Compito dell'U.O. è pertanto quello di formulare le diete e il loro bilanciamento in relazione al prodotto sperimentale introdotto nella razione, dopodiché verificare l'effetto di questa dieta, con apporti azotati e materie grasse diversificati, sulla qualità del prodotto finale, tramite analisi sulla carne prodotta.

U.O.: D3A-Zootecnia - Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali – Sez. Scienze Molecolari, Microbiologiche, Zootecniche. Università Politecnica delle Marche. Responsabile scientifico dell'U.O.: Prof.ssa Maria Federica Trombetta.

Team di progetto: Maria Federica Trombetta, Sara Priori.

L'area zootecnica del D3A svolge attività di ricerca toccando diversi argomenti: (i) tecniche di allevamento e performance delle razze da carne; (ii) valutazione dei profili metabolici legati al tipo di allevamento ed alimentazione nelle diverse specie: bovina, suina, caprina ed equina; (iii) valutazione della stress-suscettibilità nella specie suina e suo effetto sulla qualità dei prodotti; (iv) riduzione del livello proteico in razioni per scrofa in lattazione e valutazione delle performance e della qualità delle deiezioni; (v) effetti dell'allevamento estensivo sulle performance dei suini; (vi) utilizzazione di proteaginosi alternative (pisello e pannello di girasole) nell'alimentazione di suini, bovini ed equini.

Il ruolo dell'U.O. all'interno del Progetto è stato quello di studiare le caratteristiche chimiche e nutrizionali dei pannelli di colza, girasole e cardo derivanti dall'estrazione di olio nella filiera corta del biodiesel per valutarne le caratteristiche chimiche, la digeribilità, il valore nutritivo e la composizione acidica.

Sottoprogetto Valorizzazione Industriale

Responsabile Scientifico: Prof. Fabrizio Cavani.

Il SP (al quale fanno parte tre UU.OO.) considera l'utilizzo dei tre principali sottoprodotti (residui cellulosici, pannello e glicerina) per la produzione di materie prime industriali di largo impiego. Gli obiettivi specifici sono stati i seguenti:

- messa a punto di un processo di produzione di brassinolidi a partire dai residui cellulosici di campo e dal pannello. Si vogliono individuare le modalità di estrazione e purificazione per ottenere biomolecole da destinare ad uso biomedico, costituite da glucosinolati e loro metaboliti;
- messa a punto di un processo di produzione di 1,3-Propandiolo a partire dalla glicerina, con la progettazione e sviluppo di un apposito bioreattore pilota a letto fisso;
- messa a punto di un processo di produzione di acido acrilico a partire dalla glicerina, con la progettazione e lo sviluppo di un apposito catalizzatore bi-funzionale.

U.O.: CHIMIND - Dipartimento di Chimica Industriale "Toso Montanari". Università di Bologna.

Responsabile scientifico dell'U.O.: Prof. Fabrizio Cavani.

Team di progetto: Fabrizio Cavani, Alessandro Chierigato, Giuseppe Puglia.

Il gruppo “Sviluppo Processi Catalitici” possiede competenze nel campo della catalisi eterogenea ed omogenea industriale, nei settori della Chimica industriale di base, della petrolchimica, e dell’industria per la sintesi di intermedi e composti di chimica fine. Possiede inoltre competenze nella trasformazione di materie prime rinnovabili a biocombustibili e a bio-chemicals, mediante processi chimici catalitici.

Il ruolo dell’U.O. all’interno del Progetto è stato quello relativo alla valorizzazione per via chimico-catalitica del glicerolo derivato dalla produzione del biodiesel. Obiettivi dell’U.O. sono stati la progettazione e sviluppo di un catalizzatore bifunzionale per la trasformazione one-step di glicerolo ad acido acrilico e successivamente l’ottimizzazione del processo in termini di resa e produttività in acido acrilico.

U.O.: DICAM - Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e dei Materiali. Università di Bologna.

Responsabile scientifico dell’U.O.: Prof. Fabio Fava.

Team di progetto: Fabio Fava, Lorenzo Bertin, Noura Raddadi

L’unità svolge attività nei seguenti campi: (i) sviluppo di processi biotecnologici aerobici ed anaerobici per la valorizzazione di rifiuti e sottoprodotti organici; (ii) trattamento biologico di acque, sedimenti e suoli contaminati; (iii) colture microbiche batteriche ed algali; (iv) caratterizzazione microbica attraverso tecniche di biologia molecolare.

Obiettivo della U.O. per il Progetto è stato quello di valorizzare il glicerolo derivato dalla produzione del biodiesel per via biotecnologica, ovvero attraverso la progettazione e lo sviluppo di un bioreattore a letto fisso su scala di laboratorio per una efficiente bioconversione microbica del glicerolo grezzo a 1,3 PD utilizzando come biocatalizzatori *Clostridium butyricum*, strain NCIMB 7423 (o CECT 361), o *Klebsiella pneumoniae* strain DSM 2026 e ottimizzare il processo in termini di resa in 1,3-propandiol.

U.O.: CRA-RPS - Centro di Ricerca per lo Studio delle Relazioni tra Pianta e Suolo.

Responsabile scientifico dell’U.O.: Dott.ssa Laura Bardi.

Team di progetto: Laura Bardi, Fulvia Rosso, Francesca Zoppellari

L’unità si occupa di biotecnologie microbiche applicate all’agricoltura e all’ambiente, di produzione di biocombustibili e biomolecole da matrici di scarto delle attività agricole ed agroindustriali ma anche di caratterizzazione di matrici vegetali in relazione al contenuto in specifiche biomolecole.

Il ruolo dell’U.O. nel Progetto è stato quello di valorizzare gli scarti di coltivazione e lavorazione dei vegetali destinati alla produzione di biodiesel per dare origine a prodotti commerciali (molecole bioattive) il cui valore di mercato possa andare in deduzione dai costi di produzione del biocombustibile. Ciò attraverso la valutazione della potenziale resa in brassinolidi dei residui colturali di *Brassica carinata* e colza e l’individuazione delle più opportune modalità di estrazione per ottenere un prodotto fitostimolante.

Sottoprogetto Valorizzazione Energetica

Responsabile scientifico: Prof. Giovanni Riva.

U.O.: D3A-Energia - Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali – Sez. Produzione e Gestione Agraria e Forestale. Università Politecnica delle Marche.

Team di progetto: Giovanni Riva, Fabrizio Corinaldesi, Carla De Carolis, Daniele Duca, Ester Foppa Pedretti, Marco Giustozzi, Chiara Mengarelli, Angela Palumbo, Andrea Pizzi, Giorgio Rossini, Giuseppe Toscano, Elio Zerbini

La U.O. opera da tempo nel settore dell'utilizzo energetico delle biomasse di origine agro-forestale e agro-alimentare (prodotti residuali e/o da colture dedicate). Le principali ricerche e sperimentazioni condotte dal gruppo sono: (i) caratterizzazione dei biocombustibili solidi e liquidi (oli vegetali e grassi animali); (ii) produzione di pellet e di agropellet per combustione in caldaie di piccola e media dimensione; (iii) comportamento termico dei residui inorganici della combustione (ceneri); (iv) caratterizzazione delle emissioni da combustione di sistemi energetici alimentati a biomasse e loro controllo con sistemi di abbattimento; (v) analisi del processo di estrazione meccanica dei semi di oleaginose; (vi) utilizzo di oli vegetali in motori endotermici; (vii) produzione tradizionale ed innovativa di biodiesel (FAME); (viii) tecniche di rimozione dell'azoto da reflui della digestione anaerobica; (ix) processi termochimici per la produzione di prodotti combustibili da biomassa; (x) studio ed analisi delle filiere olio-energia (olio-energia elettrica; olio-biocombustibili) e delle filiere legno/cellulosa-energia (legno/cellulosa-calore; legno/cellulosa-elettricità).

Il ruolo dell'U.O. all'interno del Progetto è stato quello di mettere a fuoco una serie di conoscenze che permettano il recupero energetico dei sottoprodotti dell'intera filiera e consentano la realizzazione pratica di centri di trasformazione di piccola/media taglia. Ciò anche attraverso la collaborazione della SIBE Srl (*Spin Off* della Università Politecnica delle Marche) e del *Centro Ricerca Energie Alternative e Rinnovabili* (C.R.E.A.R.) dell'Università di Firenze.

Il mutato quadro normativo dei biocarburanti di prima generazione, precedentemente delineato, ha spinto l'U.O. a limitare l'attività di studio più legata allo studio della produzione di biodiesel in piccoli impianti perchè di fatto non più attuale e attuabile, mentre si è deciso di focalizzare e intensificare il lavoro sulla valorizzazione dei residui e dei sottoprodotti di coltivazione e del processo di estrazione, in quanto su questi materiali l'interesse generale è sempre maggiore per tutta una serie di motivi. Di conseguenza le azioni che prevedevano in particolare la produzione e lo studio della valorizzazione di glicerina e delle acque di lavaggio del biodiesel, tra l'altro oggetto negli ultimi anni di numerose pubblicazioni scientifiche, sono state sostituite da altre azioni dedicate ad un ulteriore studio sull'utilizzo e il trattamento di residui di campo e di processo per consentire l'ottenimento di risultati molto più concreti e attuali.

Fatta questa premessa, gli obiettivi che l'U.O. ha perseguito sono di natura sia energetica, sia di tipo generale, mirati allo studio dei materiali e all'ottimizzazione dei primi processi di trasformazione, in particolare:

- quadro generale sull'utilizzo energetico dei sottoprodotti e loro caratterizzazione tecnica per costituire un *data-base* finalizzato al loro utilizzo energetico e industriale;
- messa a punto di parametri ottimali di estrazione e di prima raffinazione dell'olio al fine di ottenere un compromesso tra qualità dei sottoprodotti e dell'olio prodotto;
- studio del processo di decorticazione per l'ottenimento, come sottoprodotto, di pannello grasso di elevato valore per utilizzo zootecnico;
- studio della torrefazione di residui lignocelluloici (paglie e pannelli) per un loro più agevole impiego energetico;
- valutazione delle rese di transesterificazione ottenibili impiegando come materia prima gli oli estratti nell'ambito del Progetto;
- produzione di un *biocombustibile* solido pellettato (*agro-pellet*) a partire dai residui cellulosici di campo forniti dal SP "Materie Prime". Il combustibile solido sarà prodotto in diverse versioni, principalmente in dipendenza del tipo di pianta (girasole, brassica carinata, colza e cardo);

SINTESI DEI PRINCIPALI RISULTATI OTTENUTI DAL PROGETTO E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Risultati

Nel complesso i risultati ottenuti dal Progetto sono da ritenere interessanti e utili da un punto di vista sia scientifico che pratico. Di seguito un quadro di estrema sintesi, mentre per i particolari si rinvia alle relazioni complete.

Il **Sottoprogetto Materie Prime (CRA-CIN)** ha determinato le migliori cultivar delle colture oleifere (girasole, brassica carinata e cardo) idonee per le diverse localizzazioni geografiche. L'innovazione, rispetto a studi analoghi, è stata quella di evidenziare la convenienza o meno (da un punto di vista produttivo sia di prodotto principale che di sottoprodotto) dell'impiego intensivo di mezzi tecnici. In sintesi è emerso, in particolare, che laddove le precipitazioni sono più scarse (sud) non è conveniente procedere con dosi elevate di fertilizzanti.

Il **Sottoprogetto Economia (INEA)** ha eseguito l'analisi dei costi di produzione su 99 aziende produttrici di colza e 389 aziende produttrici di girasole. Tra i diversi risultati della ricerca, è risultato proponibile un prezzo di vendita del pannello grasso di 250 €/t il che apre diverse prospettive per l'utilizzo di questo sottoprodotto in zootecnia.

Il **Sottoprogetto Valorizzazione Agronomica (CRA-ORT)** ha evidenziato la notevole versatilità di impieghi dei sottoprodotti della filiera del biodiesel. In particolare, essi possono avere una duplice collocazione: nella difesa dalle avversità biotiche e nel sostegno della nutrizione vegetale, migliorando la fertilità generale dei suoli. La farina di brassica carinata, in particolare, è risultata compatibile con altri mezzi di lotta, come alcuni ceppi di antagonisti batterici, suggerendo la possibilità di un suo impiego in sistemi complessi integrati. È stata inoltre evidenziata la sua potenzialità di impiego in trattamenti fogliari. Il più ampio spettro dei sottoprodotti organici derivanti dal processo di estrazione del biodiesel trovano invece più naturale impiego in agricoltura in veste di ammendanti.

Il **Sottoprogetto Valorizzazione Zootecnica** ha svolto diverse ricerche prendendo in considerazione le diverse tipologie di allevamento e di trasformazione dei prodotti. In particolare:

- nel caso delle bovine in lattazione (**CRA-FLC**), la somministrazione di pannello di girasole non provoca effetti negativi sulla produzione di latte, grasso, proteina e dimensioni dei globuli di grasso, anzi sembrerebbe far aumentare la componente degli acidi polinsaturi, trans e ω -3, rendendo migliori le caratteristiche dietetiche del latte ed inoltre non sembra causare nessun effetto negativo sulle caratteristiche tecnologiche del latte;
- nel caso dei suini (**CRA-SUI**) l'utilizzazione del 15% di pannello grasso di girasole, in sostituzione integrale della farina di estrazione di soia e grazie alla disponibilità di aminoacidi di sintesi, ha consentito di mantenere i medesimi livelli produttivi sia in termini di accrescimento che in termini di utilizzazione dell'alimento. Allo stesso modo la sostituzione di una pari quantità di sostanza secca di mais con glicerina grezza di ottima qualità non ha provocato alcun tipo di peggioramento degli indici produttivi;
- nel caso dei bovini da ingrasso (**CRA-PCM**) non sono state evidenziate differenze sostanziali tra i due trattamenti, quindi la somministrazione del pannello grasso di

girasole sembra influire in modo molto moderato sia sulle performances di allevamento che quelle di macellazione e sulla qualità della carne. L'aspetto rilevante nella sperimentazione è che gli animali non hanno avuto problemi nell'ingestione della derrata messa in sperimentazione e il costo dell'alimentazione è stato inferiore ad una alimentazione a base di concentrato proteico normalmente utilizzato negli allevamenti da carne;

- da un punto di vista generale, infine, risulta che i panelli grassi (**UNIVPM – D3A**) presentano buone caratteristiche nutrizionali permettendo il loro inserimento nella formulazione di razioni destinate ad animali di interesse zootecnico. La decorticazione, anche se parziale, migliora la digeribilità, permettendo l'utilizzo del pannello decorticato nella formulazione di mangimi per suini all'ingrasso. Le problematiche legate alla conservabilità, anche se i livelli di grasso risultano sempre oltre il 10%, non sono apparse importanti, anche nonostante il trattamento a temperature piuttosto alte.

Il **Sottoprogetto Valorizzazione Industriale** ha preso in esame alcuni aspetti tra gli innumerevoli che potrebbero interessare l'industria. In particolare:

- a seguito di diverse prove con catalizzatori differenti (**UNIBO-CHIMIND**) è emerso che sistemi a base di ossidi misti di W/V e W/V/Nb danno risultati soddisfacenti nella trasformazione diretta di glicerolo ad acido acrilico, con resa in acido acrilico massima pari al 26%. Tuttavia, tale valore non è ancora sufficiente per rendere il processo economicamente competitivo con il processo convenzionale da propilene;
- sempre alla trasformazione del glicerolo in 1,3-propandiolo (**UNIBO-DICAM**) è stato evidenziato come il processo a cellule immobilizzate porti a risultati soddisfacenti anche in FBBR (reattori a letto fluidizzato) e in tal caso la generazione di biofilm batterico ottenuta con *C. freundii* sia più efficiente che non nei reattori di tipo PBBR (reattori a letto impaccato);
- in relazione al recupero di brassinosteroidi (**CRA-RPS**) presenti negli scarti colturali e nei panelli, la metodologia estrattiva più efficiente sia in termini di tempi sia in termini di resa è risultata essere l'estrazione breve abbinata a cicli di sonicazione, mentre il Wheat Leaf-unrolling Test ha permesso di verificare le potenzialità di tali estratti nel promuovere lo sviluppo vegetale e per determinare le concentrazioni potenzialmente più attive.

Il **Sottoprogetto Valorizzazione Energetica (UNIVPM-D3A)**, infine, ha evidenziato le caratteristiche energetiche dei diversi sottoprodotti soprattutto ai fini della combustione. In particolare, i residui della coltivazione del girasole sono risultati i meno interessanti, con contenuti di ceneri ampiamente al di sopra del 10% e poteri calorifici limitati, mentre la paglia di brassica carinata è risultata la migliore. Nell'ambito dello studio dei processi di filiera sono state fornite delle indicazioni importanti soprattutto per il processo di estrazione dell'olio dai semi, per il quale sono stati individuati i parametri operativi ottimali. L'olio vegetale estratto è risultato di buona qualità ai fini dell'impiego energetico per tutte le specie considerate, tanto da non rendere in pratica necessario lo sviluppo di sistemi di prima raffinazione. I risultati delle prove di torrefazione hanno dimostrato poi come i vari sottoprodotti possano essere trasformati in biocombustibili di migliore qualità e omogeneità.

Osservazioni conclusive

Il Progetto Extravalore ha sviluppato una serie di ricerche focalizzate sull'impiego dei sottoprodotti della filiera del biodiesel svolta con alcune colture oleaginose di interesse nazionale (girasole, colza e cardo).

I temi presi in considerazione sono stati necessariamente limitati in numero. Tuttavia il settore sarebbe meritorio di ben più ampia indagine, anche alla luce dei potenziali campi applicativi (agricoltura, zootecnia, industria, ecc.) che moltiplicano le opportunità di impiego dei sottoprodotti.

Come visto, le filiere di produzione di biocarburanti per i trasporti, soluzione promossa dalla UE già con le prime azioni della politica 20-20-20 (pacchetto clima-energia) che peraltro hanno avviato un settore industriale specializzato oggi probabilmente in sofferenza, sono state oggetto di un'ampia discussione che ha messo in luce la convenienza di ricorrere, perlomeno sul piano ambientale e per le stesse finalità, ai materiali residuali.

Pur considerando gli aggiustamenti della politica UE, gli obiettivi del Progetto Extravalore sono comunque da ritenere attuali. Infatti, in ogni caso e a tutt'oggi, la valorizzazione di tutti i flussi di materia nell'ambito delle diverse filiere agro-alimentari assume una valenza strategica e quanto emerso dal Progetto porta a raccomandare di potenziare le attività in questa direzione.

Andrebbero incoraggiate e finanziate, in particolare, le attività interdisciplinari che, nell'ambito delle singole filiere, mettano in evidenza tutte le possibilità di reimpiego dei residui, individuando le soluzioni più interessanti sotto il profilo economico e anche i settori dove effettuare ricerche di dettaglio e investimenti tecnologici.

Inoltre, le attività svolte nel Progetto portano alle seguenti considerazioni:

- probabilmente gli impieghi più interessanti dei sottoprodotti nel breve periodo sono nel settore zootecnico (alimentazione) per via della maggiore valorizzazione economica e della possibile disponibilità sul posto che riduce all'origine i costi;
- gli impieghi industriali (materie prime) ed energetici (biocombustibili ed energia elettrica e/o termica) di norma devono competere con prodotti standard di origine fossile e ciò costituisce, notoriamente, un problema di fondo. Tuttavia l'origine e/o il contenuto rinnovabile potrebbe "pagare" la differenza. È quello che si rileva per alcune applicazioni energetiche alle quali, tuttavia, oggi si richiede comunque una maggiore competitività;
- gli impieghi agronomici sono oggi probabilmente quelli meno competitivi anche se il ricorso a protocolli di produzione agro-alimentare più stringenti sotto il profilo ambientale e salutistico potrebbero, come nel caso degli impieghi industriali ed energetici, renderli interessanti per gli operatori.

RISULTATI OTTENUTI

PRODUTTIVITÀ E QUALITÀ DELLE OLEAGINOSE PER UN'INTEGRALE VALORIZZAZIONE AGRONOMICA, ZOOTECNICA, INDUSTRIALE ED ENERGETICA DEI SOTTOPRODOTTI

Responsabile scientifico:

Andrea Del Gatto

Team di progetto:

Andrea Del Gatto, Lorella Mangoni, Sandro Pieri, Salvatore Antonino Raccuia (CNR ISAFOM Catania), Marco Signor (ERSA Friuli)

Consiglio per la ricerca e sperimentazione in agricoltura, Centro di ricerca per le colture industriali (CRA-CIN), Osimo; andrea.delgatto@entecra.it

Introduzione

Per una piena valorizzazione delle piante oleaginose di interesse la struttura di Osimo del CRA-CIN nel Sottoprogetto “Materie prime”, si è posta l’obiettivo di studiare l’influenza delle diverse condizioni pedoclimatiche ed agro-tecniche sulle colture di girasole, colza, Brassica carinata e cardo, in collaborazione con altre due U.O.: l’ERSA del Friuli Venezia Giulia (Udine) ed il CNR ISAFOM di Catania. Al contempo ha fornito materiale vegetale (semi e residui) alle altre Unità collaterali per approfondire gli studi secondo gli scopi prefissi. Obiettivi del lavoro sono, quindi:

- Valutazione di alcune delle principali varietà delle colture oleifere industriali che meglio si adattano agli ambienti di coltivazione italiani (girasole, B. carinata, colza e cardo) al fine di individuare quelle più produttive in semi, olio, biomassa, e che presentino “*prodotti e sottoprodotti*” idonei alla valorizzazione agronomica, zootecnica, energetica ed industriale in relazione ai diversi ambienti della Penisola (Nord, Centro e Sud).
- Studio dell’influenza delle diverse condizioni pedoclimatiche ed agrotecniche sulle caratteristiche dei prodotti, individuando il giusto compromesso tra produttività e sostenibilità.

Metodologia di lavoro

Nel primo anno di lavoro si sono poste in valutazione le principali varietà commerciali delle specie vegetali oleaginose industriali di interesse: girasole, colza, B. carinata e cardo nelle tre località di riferimento per i tre ambienti prescelti del Nord, Centro e Sud Italia (Palazzolo, Osimo e Cassibile). Sono perciò state saggiate quaranta varietà (Tabella 1): 18 per il girasole distribuite da 7 ditte sementiere, ripartite fra cv ad alto contenuto di acido oleico e bassissimo linoleico e cv alto oleico ed un contenuto normale di linoleico nella frazione lipidica oltre a due testimoni convenzionali; 38 per il colza, fornite da 16 ditte distributrici, tutte con assenza di acido erucico e basso contenuto di glucosinolati nel seme (varietà “00”); 4 per la Brassica carinata; 2 genotipi per il cardo in tre densità di impianto (6, 9 e 12 piante/m²). Per quest’ultima specie si è provveduto, in epoca autunnale al centro e al sud e primaverile, al nord, all’impianto della coltura su cui i dati produttivi saranno rilevati nel corso del 2012.

SOTTOPROGETTO MATERIE PRIME

Tabella 1: varietà di colza , *B. carinata* e girasole, con relative ditte distributrici nelle prove di confronto 2011

| Colza (<i>Brassica napus</i>) ¹ | | | Colza (<i>Brassica napus</i>) ¹ | | |
|--|---------------------|-----------------------|---|------------------|--------------------------|
| N | VARIETA' | DITTA | N | VARIETA' | DITTA |
| 1 | <i>KUTIBA</i> | ISEA | 32 | BAGIRA | CARLAIMPORT-AGROQUALITA' |
| 2 | <i>ILIA</i> | ISEA | 33 | PR45D03 | PIONEER |
| 3 | VECTRA | CARLAIMPORT SEMENTI | 34 | PR45D04 | PIONEER-AGROQUALITA' |
| 4 | BELANA | CARLAIMPORT SEMENTI | 35 | ADRIANA | LIMAGRAIN |
| 5 | ARTOGA | LIMAGRAIN | 36 | ANACONDA | LIMAGRAIN |
| 6 | <i>SAVANNAH</i> | LIMAGRAIN | 37 | <i>KATABATIC</i> | MAISADOUR |
| 7 | ALBATRO | LIMAGRAIN | 38 | <i>GOYA</i> | FLORISEM |
| 8 | DC2949 | MAISADOUR | <i>Brassica carinata</i> | | |
| 9 | TOCCATA | MAISADOUR | 1 | CT 207 | CEREALTOSCANA |
| 10 | <i>OSPREY</i> | MAISADOUR | 2 | CT 180 | CEREALTOSCANA |
| 11 | EXCALIBUR DK | DEKALB | 3 | CT 204 | CEREALTOSCANA |
| 12 | EXPOWER | DEKALB | 4 | ISCI 7 | CEREALTOSCANA |
| 13 | <i>ECARLATE</i> | SEMFOR | <i>Girasole (Helianthus annuus)</i> ² | | |
| 14 | FREGAT | SEMFOR | 1 | DKF 2727 | <i>Syngenta</i> |
| 15 | PR46W10 | PIONEER | 2 | Heliagol | <i>KWS</i> |
| 16 | PR46W14 | PIONEER | 3 | Inotop | <i>Apsovsementi</i> |
| 17 | PRIMUS | SIS | 4 | LG 54.50 HO | <i>Limagrain</i> |
| 18 | PULSAR | SIS | 5 | LG 55.57 HO | <i>Limagrain</i> |
| 19 | HORNET | VENTUROLI (DSV) | 6 | LG 56.56 HO | <i>Limagrain</i> |
| 20 | COMPASS | VENTUROLI (DSV) | 7 | Mas 88.OL | <i>Maisadour</i> |
| 21 | <i>ZOOM</i> | FLORISEM | 8 | Mas 89.OL | <i>Maisadour</i> |
| 22 | <i>ALPAGA</i> | FLORISEM | 9 | Montijo | <i>SIS</i> |
| 23 | NK PETROL | SYNGENTA | 10 | NK Camen | <i>Syngenta</i> |
| 24 | NK CARAVEL | SYNGENTA | 11 | NK Ferti | <i>Syngenta</i> |
| 25 | NK TECNIC | SYNGENTA | 12 | NK Sinfoni | <i>Syngenta</i> |
| 26 | TASSILO | KWS Italia Spa | 13 | Oleko | <i>Syngenta</i> |
| 27 | ORLANDO | PADANA SEMENTI ELETTE | 14 | Pacific | <i>SIS</i> |
| 28 | <i>HENRY</i> | PADANA SEMENTI ELETTE | 15 | PR 64H31 | <i>Pioneer</i> |
| 29 | HYBRISTAR | IVS-MORETTI | 16 | PR64H41 | <i>Pioneer</i> |
| 30 | HYBRISWING | IVS-MORETTI | 17 | Doriana | <i>KWS</i> |
| 31 | EXAGONE | DEKALB-AGROQUALITA' | 18 | Mas 92.IR | <i>Maisadour</i> |

1= in grassetto le cultivar ibride, in corsivo le varietà

2= in grassetto gli ibridi convenzionali

Tutte le prove sono state eseguite in parcelle di 18 m² per le brassicacee, con una densità di investimento di 60-65 semi germinabili/m² ed un'epoca di semina tale da consentire il raggiungimento dello stadio di rosetta all'arrivo dei primi freddi e 15 m² per il girasole, con un investimento di 6 piante/ m², in tre repliche, con una superficie di raccolta di almeno 12 e 10 m², rispettivamente. Durante lo svolgimento delle prove sono stati eseguiti i rilievi sui principali caratteri morfo-fenologici e produttivi. Sui semi raccolti sono state effettuate le analisi sul contenuto di olio con metodologia NMR (Nuclear Magnetic Resonance) e, riguardo agli ibridi di girasole alto oleico, sulla sua composizione acidica tramite gascromatografia.

Le caratteristiche fisico-chimiche dei terreni di prova, nel primo anno, sono risultate abbastanza differenti. Il decorso termo-pluviometrico ha evidenziato temperature sempre al

di sopra della media poliennale, fino quasi a tre gradi, a Cassibile, per tutto il periodo autunno-vernino e inferiori in primavera, mentre nelle altre due località si è osservata una continua oscillazione attorno alla media; le precipitazioni, superiori alla norma nella prima parte del ciclo delle brassicacee in tutti gli ambienti, sono poi risultate più scarse successivamente, con l'unica significativa eccezione per la località friulana dove nel mese di giugno sono caduti oltre 80 mm in più del solito, ormai troppo tardi per poter influire positivamente sulle colture.

Nel secondo anno di lavoro sono state ripetute le valutazioni di produttività e adattabilità delle principali varietà commerciali, che meglio si erano comportate nel primo anno di esperienza, delle specie vegetali oleaginose industriali di interesse: girasole, colza, *B. carinata* e cardo nelle tre località del Nord, Centro e Sud Italia.

Tabella 2: varietà di colza, *B. carinata* e girasole, con relative ditte distributrici nelle prove di confronto 2012

| Colza (<i>Brassica napus</i>) | | | <i>Brassica carinata</i> | | |
|---------------------------------|------------|-------------------------|--|-------------|---------------|
| N | VARIETA' | DITTA | N | VARIETA' | DITTA |
| 1 | ALBATROS | LIMAGRAIN | 1 | CT 207 | CEREALTOSCANA |
| 2 | ARTOGA | LIMAGRAIN | 2 | CT 180 | CEREALTOSCANA |
| 3 | DC 2938 | MAISADOUR | 3 | CT 204 | CEREALTOSCANA |
| 4 | DC2949 | MAISADOUR | 4 | ISCI 7 | CEREALTOSCANA |
| 5 | DK EXPOWER | DEKALB | Girasole (<i>Helianthus annuus</i>) | | |
| 6 | EXAGONE | DEKALB- AGROQUALITA' | 1 | DKF 2727 | Syngenta |
| 7 | EXCALIBUR | DEKALB | 2 | DKF3333 | Syngenta |
| 8 | EXMEN | DEKALB- AGROQUALITA' | 3 | Inotop | APSOVSementi |
| 9 | FREGAT | SEMFOR | 4 | LG 55.57 HO | Limagrain |
| 10 | HYBRILORD | IVS-MORETTI | 5 | LG 56.56 HO | Limagrain |
| 11 | NK TECNIC | SYNGENTA | 6 | Mas 85.OL | Maisadour |
| 12 | PR45H73 | PIONEER | 7 | Mas 89.OL | Maisadour |
| 13 | PR46W14 | PIONEER | 8 | NK Camen | Syngenta |
| 14 | PRIMUS | SIS | 9 | Pacific | S.I.S. |
| 15 | PULSAR | SIS | 10 | PR64H31 | Pioneer |
| 16 | SENSATION | FLORISEM | 11 | PR64H41 | Pioneer |
| 17 | TOCCATA | MAISADOUR | 12 | Doriana | KWS |
| 18 | ZOOM | FLORISEM | 13 | Sillouet | APSOVSementi |

1= in grassetto le cultivar ibride, in corsivo le varietà

2= in grassetto gli ibridi convenzionali

Sono perciò state saggiate trentuno varietà (Tabella 2): 11 per il girasole distribuite da 7 ditte sementiere, ripartite fra cv ad alto contenuto di acido oleico e bassissimo linoleico e cv alto oleico ed un contenuto normale di linoleico nella frazione lipidica oltre a due testimoni convenzionali scelti fra i migliori desunti dalla graduatoria di ibridi in valutazione nella rete di sperimentazione nazionale coordinata dalla struttura di Osimo; 18

per il colza, fornite da 10 ditte distributrici, tutte con assenza di acido erucico e basso contenuto di glucosinolati nel seme (varietà "00"); 4 per la Brassica carinata; 2 genotipi per il cardo in tre densità di impianto (6, 9 e 12 piante/m²).

Inoltre su colza e girasole sono anche state svolte prove di confronto fra tre dosi di concimazione azotata, ponendo la coltura in condizioni di zero input e fornendone un quantitativo ottimale ed intermedio di elemento fertilizzante (0, 75, 150 kg N/ha), somministrato sotto forma ureica, su due varietà dalle differenti precocità e performance: Primus e Artoga, per il colza, NK Camen e LG 55.57, per il girasole. Sulla prima specie si è anche indagato sulla più opportuna epoca di impianto, confrontando tre date ricadenti nella terza decade di settembre e nelle prime due di ottobre, nelle due varietà già evidenziate; allo stesso modo per la seconda specie si è lavorato sull'influenza della disponibilità idrica confrontando tre livelli di restituzione idrica (0, 50% e 100%) del consumo evapotraspirometrico, calcolato adottando la formula di Penman-Monteith, con gli stessi ibridi già indicati. A Palazzolo è stata prevista la separazione dello studio degli input di concimazione ed irrigazione in due prove distinte; per tale motivo i risultati della località friulana saranno discussi separatamente.

Le prove del secondo anno di sperimentazione sono state portate a termine per tutte le specie in esame, con l'unica eccezione per la B. carinata in Friuli, devitalizzata dal picco di basse temperature registrato a febbraio che non ha consentito la prosecuzione della prova in questo ambiente, e Cassibile dove i danni da uccelli hanno fortemente compromesso le produzioni rendendo impossibile l'acquisizione del dato produttivo parcellare, per cui, per questa specie, saranno illustrati i dati della sola località di Osimo..

Le caratteristiche fisico-chimiche dei terreni di prova, nel secondo anno, sono risultate abbastanza uniformi. L'andamento climatico dell'annata 2011-2012 ha mostrato sensibili scostamenti rispetto alla media poliennale, in particolare per quanto riguarda le precipitazioni che al Nord sono risultate più scarse per tutto il ciclo della coltura, tranne che ad ottobre e aprile, mentre al Centro sono cadute copiose in fine inverno e in primavera, mentre al Sud l'incremento ha interessato il periodo novembre 2011-febbraio 2012. Le temperature hanno presentato in tutti gli ambienti un forte abbassamento nel mese di febbraio, che è stato meglio tamponato nella località marchigiana a causa del perdurare di una abbondante coltre nevosa e un improvviso rialzo consistente nel mese successivo, che al Centro Sud è perdurato nei mesi successivi.

Risultati

Primo anno - Colza - Palazzolo

Nella località settentrionale si è ottenuta una resa produttiva intermedia fra quelle in prova, con una più spiccata tardività di fioritura e una taglia delle piante più ridotta. Dal punto di vista produttivo si è avuta una differenziazione varietale più spiccata degli altri ambienti (Tabella 3); DK Expower si è distinta per la più alta produzione di granella, da cui non si sono differenziate statisticamente altre tre cultivar, Hornet, Hybriswing e Fregat, tutte con risultati superiori alle 3 t ha⁻¹. Per il contenuto in olio, che nella media delle località è risultato abbastanza omogeneo, si sono poste in evidenza Albatro e Primus, con valori superiori al 48%, mentre altre cinque accessioni hanno superato il 47%. Per la resa in olio, ai genotipi precedentemente menzionati per la prima graduatoria se ne sono aggiunti altri

due, PR46W14 e Compass, che sono entrati di diritto fra i migliori per il buon tenore in olio. Cinque giorni hanno separato le più precoci a fiorire (DK Expower, Pulsar e Bagira) dalla più tardiva (Alpaga), mentre per il peso dei 1000 semi lo scarto tra la varietà dal peso maggiore (Vectra) e minore (Ecarlate) ha di poco superato il grammo. Hybriswing ha fatto registrare la maggiore statura delle piante, Henry la minore, con appena 24 cm di differenza.

Primo anno - Colza - Osimo

Nelle Marche si è raggiunta la migliore resa in granella ed olio di tutta la sperimentazione, a testimonianza dell'estrinsecarsi di condizioni particolarmente favorevoli alla coltura. La produzione di seme ha mediamente superato le 4 t ha⁻¹: (Tabella 4) si sono distinte Albatro e Zoom con rese superiori o prossime alle 4,8 t ha⁻¹; da queste non si sono statisticamente differenziate Hornet, DC2949, Exagone, Toccata, Hybristar, Hybriswing e Belana, con ben altre otto accessioni che hanno superato la produzione media. Anche in questa località due cultivar (Katabatic e Adriana) hanno evidenziato un contenuto medio superiore al 48%, mentre solo altre due hanno superato il 47%. La graduatoria per la produzione di olio è variata proprio in virtù del precedente carattere: Compass e Katabatic, entrando nel gruppo delle migliori, Belana, Hybristar, Hybriswing, fuoriuscendone. Il periodo di inizio fioritura è durato una settimana: Primus ha per prima raggiunto l'antesi mentre ben sei (Kutiba, Ilia, DC2949, Hornet, Exagone, PR45D04) l'hanno iniziata per ultime. Adriana ed Ilia sono state le varietà estreme per dimensione dei semi, con uno scarto inferiore al grammo. L'altezza delle piante, che ha raggiunto, mediamente (166 cm) i valori maggiori dell'intera rete di prove, ha posto in evidenza Albatro, che ha sfiorato il metro e ottanta centimetri e Zoom, che, viceversa, non ha raggiunto il metro e mezzo.

Primo anno - Colza - Cassibile

Nella località siciliana le condizioni climatiche non hanno permesso il raggiungimento della finalizzazione produttiva a tutte le cultivar, alcune delle quali (Kutiba, Ilia, Tassilo, Adriana e Anaconda) non sono riuscite a fiorire, forse per la scarsa vernalizzazione subita. Per il resto le produzioni in granella ed olio sono state scarse, le più basse della intera sperimentazione, così come il tenore in olio riscontrato, che non ha raggiunto, mediamente, il 50% (Tabella 5). Fregat ha ottenuto la migliore resa; da questa non si sono differenziate otto cultivar, Excalibur, Ecarlate, PR46W10, PR46W14, Compass, Hybristar e Hybriswing, con produzioni sopra le 2 tha⁻¹, Pulsar appena al di sotto (1,90). Alpaga ha fatto registrare il tenore in olio più alto (48,1%) e solo Hybriswing e Hornet hanno superato o eguagliato il 47%. Per la produzione di olio alle varietà già menzionate per la resa in granella si sono aggiunte Hornet e Savannah.

A Cassibile si è realizzato il periodo di inizio fioritura più lungo (due settimane) ai cui estremi si sono posizionate Hybriswing, la più precoce e PR45D04, la più tardiva. La prima varietà ha anche presentato il peso più elevato dei semi e le piante più alte, mentre PR45D03 ha fatto registrare il minore peso medio dei semi e Zoom le piante più basse.

SOTTOPROGETTO MATERIE PRIME

Tabella 3: risultati produttivi, data di inizio fioritura, peso medio dei semi ed altezza delle piante registrati a Palazzolo (UD) nella valutazione di 38 genotipi di colza nella stagione 2010-2011

| Varietà | Prod. granello | | Olio su s.s. | | | | Inizio fioritura (data) | Peso 1000 semi (data) | Altezza (cm) |
|---------------|---------------------------------|----|---------------|----|----------------------------------|----|-------------------------|-----------------------|--------------|
| | 9% di um. (t ha ⁻¹) | | contenuto (%) | | produzione (t ha ⁻¹) | | | | |
| KUTIBA | 1,45 | r | 44,3 | jn | 0,58 | o | 25/4 | 4,0 | 115 |
| ILIA | 1,84 | pr | 43,4 | mp | 0,73 | mo | 26/4 | 4,2 | 123 |
| VECTRA | 2,40 | fn | 43,2 | np | 0,95 | gk | 23/4 | 4,7 | 114 |
| BELANA | 2,43 | en | 42,2 | p | 0,93 | gl | 23/4 | 4,4 | 110 |
| ARTOGA | 2,84 | ce | 45,1 | il | 1,17 | be | 24/4 | 4,0 | 120 |
| SAVANNAH | 1,65 | qr | 44,1 | kn | 0,66 | no | 24/4 | 4,1 | 115 |
| ALBATRO | 2,68 | ci | 48,3 | a | 1,18 | bd | 25/4 | 4,3 | 118 |
| DC2949 | 2,27 | ip | 45,7 | ej | 0,94 | gl | 24/4 | 4,0 | 118 |
| TOCCATA | 2,66 | ci | 45,9 | di | 1,11 | cg | 25/4 | 4,6 | 119 |
| OSPREY | 2,35 | go | 47,1 | ae | 1,01 | dj | 25/4 | 4,4 | 117 |
| EXCALIBUR | 2,73 | cg | 46,6 | bh | 1,16 | be | 24/4 | 4,1 | 112 |
| DK EXPOWER | 3,41 | a | 44,8 | im | 1,39 | a | 22/4 | 3,7 | 117 |
| ECARLATE | 2,13 | lp | 42,5 | op | 0,82 | kn | 26/4 | 3,6 | 120 |
| FREGAT | 3,01 | ac | 47,5 | ac | 1,30 | ab | 25/4 | 4,3 | 124 |
| PR46W10 | 2,29 | ho | 44,3 | jn | 0,92 | hl | 26/4 | 4,3 | 117 |
| PR46W14 | 2,95 | bd | 45,5 | gk | 1,22 | ac | 25/4 | 4,0 | 112 |
| PRIMUS | 2,60 | cj | 48,0 | ab | 1,13 | bf | 24/4 | 4,0 | 111 |
| PULSAR | 2,44 | en | 42,2 | p | 0,94 | gl | 22/4 | 3,8 | 120 |
| HORNET | 3,31 | ab | 45,6 | fj | 1,37 | a | 23/4 | 4,1 | 121 |
| COMPASS | 2,93 | bd | 45,7 | ej | 1,22 | ac | 24/4 | 3,7 | 115 |
| ZOOM | 2,32 | go | 46,9 | ag | 0,99 | ek | 26/4 | 4,3 | 110 |
| ALPAGA | 2,58 | dk | 46,1 | ci | 1,08 | ch | 27/4 | 4,1 | 118 |
| NK PETROL | 2,55 | dl | 44,9 | il | 1,04 | ci | 24/4 | 3,7 | 123 |
| NK CARAVEL | 2,46 | en | 47,2 | ad | 1,06 | ci | 25/4 | 4,1 | 118 |
| NK TECNIC | 2,36 | fo | 43,2 | np | 0,93 | hl | 25/4 | 3,9 | 120 |
| TASSILO | 2,15 | kp | 45,2 | hl | 0,89 | im | 26/4 | 3,9 | 123 |
| ORLANDO | 2,53 | dm | 42,1 | p | 0,97 | fk | 24/4 | 3,6 | 121 |
| HENRY | 1,94 | oq | 43,2 | np | 0,76 | lo | 25/4 | 3,9 | 105 |
| HYBRISTAR | 2,10 | np | 43,9 | lo | 0,84 | jn | 25/4 | 4,2 | 122 |
| HYBRISWING | 3,02 | ac | 47,1 | ae | 1,30 | ab | 24/4 | 4,1 | 129 |
| EXAGONE | 2,79 | cf | 42,9 | np | 1,09 | ch | 25/4 | 4,1 | 123 |
| BAGIRA | 2,43 | en | 44,8 | im | 0,99 | ek | 22/4 | 4,5 | 112 |
| PR45D03 | 2,27 | io | 44,8 | im | 0,93 | hl | 25/4 | 4,2 | 114 |
| PR45D04 | 2,21 | jp | 45,0 | il | 0,91 | hm | 25/4 | 4,0 | 120 |
| ADRIANA | 2,70 | ch | 47,0 | af | 1,16 | be | 26/4 | 4,5 | 117 |
| ANACONDA | 2,50 | en | 47,4 | ac | 1,08 | ch | 25/4 | 4,2 | 120 |
| KATABATIC | 2,12 | mp | 45,8 | di | 0,89 | im | 26/4 | 4,1 | 120 |
| GOYA | 2,50 | en | 45,6 | fj | 1,04 | di | 26/4 | 4,1 | 119 |
| Medie | 2,47 | | 45,1 | | 1,02 | | 25/4 | 4,1 | 118 |
| C.V. % | 10,65 | | 1,9 | | 11,02 | | 0,8 | 2,5 | 4,4 |

Tabella 4: risultati produttivi, data di inizio fioritura, peso medio dei semi ed altezza delle piante registrati ad Osimo (AN) nella valutazione di 38 genotipi di colza nella stagione 2010-2011

| Varietà | Prod. granella | | Olio su s.s. | | | | Inizio fioritura (data) | Peso 1000 semi (data) | Altezza (cm) |
|---------------|---------------------------------|----|---------------|----|----------------------------------|----|-------------------------|-----------------------|--------------|
| | 9% di um. (t ha ⁻¹) | | contenuto (%) | | produzione (t ha ⁻¹) | | | | |
| KUTIBA | 4,02 | cg | 45,4 | dk | 1,66 | ej | 2/4 | 4,2 | 155 |
| ILIA | 3,51 | ij | 43,9 | ik | 1,40 | ln | 2/4 | 3,4 | 170 |
| VECTRA | 3,96 | ci | 43,7 | jk | 1,57 | il | 27/3 | 4,1 | 171 |
| BELANA | 4,37 | ac | 44,5 | fk | 1,77 | ci | 29/3 | 4,1 | 157 |
| ARTOGA | 3,98 | ch | 44,6 | fk | 1,61 | hk | 1/4 | 3,9 | 169 |
| SAVANNAH | 3,52 | hj | 45,1 | ek | 1,45 | kn | 30/3 | 4,0 | 159 |
| ALBATRO | 4,81 | a | 47,0 | ad | 2,06 | a | 1/4 | 3,9 | 179 |
| DC2949 | 4,62 | ab | 45,1 | ek | 1,90 | ac | 2/4 | 3,8 | 168 |
| TOCCATA | 4,59 | ab | 46,0 | cg | 1,93 | ac | 1/4 | 4,0 | 175 |
| OSPREY | 3,86 | ei | 47,8 | ac | 1,68 | dj | 31/3 | 4,2 | 160 |
| EXCALIBUR | 4,29 | be | 45,0 | ek | 1,75 | ci | 28/3 | 4,1 | 168 |
| DK EXPOWER | 4,06 | cf | 44,4 | fk | 1,64 | ek | 30/3 | 3,6 | 173 |
| ECARLATE | 3,30 | j | 43,6 | k | 1,31 | n | 30/3 | 3,9 | 159 |
| FREGAT | 4,08 | cf | 44,1 | hk | 1,64 | fk | 31/3 | 3,7 | 168 |
| PR46W10 | 3,95 | ci | 45,7 | di | 1,65 | ek | 29/3 | 4,1 | 170 |
| PR46W14 | 3,86 | ei | 44,9 | ek | 1,58 | il | 1/4 | 3,7 | 173 |
| PRIMUS | 4,39 | ac | 46,2 | cf | 1,84 | bf | 26/3 | 3,9 | 164 |
| PULSAR | 4,31 | be | 45,1 | ek | 1,77 | ci | 31/3 | 3,9 | 171 |
| HORNET | 4,63 | ab | 45,1 | ek | 1,90 | ac | 2/4 | 3,8 | 169 |
| COMPASS | 4,23 | be | 48,1 | ab | 1,85 | ae | 1/4 | 3,6 | 170 |
| ZOOM | 4,79 | a | 46,2 | bf | 2,02 | ab | 2/4 | 4,1 | 148 |
| ALPAGA | 3,64 | fj | 44,4 | fk | 1,47 | jn | 28/3 | 4,1 | 160 |
| NK PETROL | 3,27 | j | 45,1 | ek | 1,34 | mn | 1/4 | 3,9 | 168 |
| NK CARAVEL | 3,99 | ch | 45,0 | ek | 1,63 | fk | 31/3 | 4,0 | 163 |
| NK TECNIC | 4,04 | cg | 43,9 | ik | 1,61 | gk | 1/4 | 3,9 | 166 |
| TASSILO | 3,53 | hj | 46,0 | ch | 1,48 | jn | 29/3 | 3,9 | 169 |
| ORLANDO | 3,85 | ei | 43,6 | k | 1,53 | jm | 29/3 | 3,6 | 169 |
| HENRY | 3,33 | j | 44,2 | gk | 1,34 | mn | 28/3 | 4,3 | 160 |
| HYBRISTAR | 4,42 | ac | 45,3 | dk | 1,82 | bh | 29/3 | 4,0 | 166 |
| HYBRISWING | 4,40 | ac | 45,5 | dj | 1,82 | bg | 31/3 | 3,9 | 177 |
| EXAGONE | 4,61 | ab | 44,7 | fk | 1,87 | ad | 2/4 | 3,6 | 175 |
| BAGIRA | 3,91 | di | 43,9 | ik | 1,56 | il | 29/3 | 4,2 | 165 |
| PR45D03 | 4,19 | be | 46,1 | cf | 1,76 | ci | 1/4 | 4,0 | 149 |
| PR45D04 | 4,31 | be | 46,8 | ae | 1,84 | bf | 2/4 | 3,6 | 155 |
| ADRIANA | 4,18 | be | 48,1 | a | 1,83 | bf | 1/4 | 4,3 | 176 |
| ANACONDA | 4,23 | be | 45,2 | dk | 1,74 | ci | 1/4 | 3,9 | 169 |
| KATABATIC | 4,27 | be | 48,5 | a | 1,89 | ad | 1/4 | 3,8 | 164 |
| GOYA | 3,58 | gj | 45,9 | dh | 1,50 | jn | 1/4 | 4,1 | 161 |
| Medie | 4,08 | | 45,4 | | 1,68 | | 31/3 | 3,9 | 166 |
| C.V. % | 6,82 | | 2,6 | | 7,69 | | 1,2 | 4,6 | 4,8 |

SOTTOPROGETTO MATERIE PRIME

Tabella 5: risultati produttivi, data di inizio fioritura, peso medio dei semi ed altezza delle piante registrati a Cassibile (SR) nella valutazione di 38 genotipi di colza nella stagione 2010-2011

| Varietà | Prod. granella | | Olio su s.s. | | | | Inizio fioritura (data) | Peso 1000 semi (data) | Altezza (cm) |
|---------------|---------------------------------|----|---------------|----|----------------------------------|----|-------------------------|-----------------------|--------------|
| | 9% di um. (t ha ⁻¹) | | contenuto (%) | | produzione (t ha ⁻¹) | | | | |
| KUTIBA | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| ILIA | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| VECTRA | 0,78 | m | 41,5 | lm | 0,29 | l | 27/3 | 3,1 | 127 |
| BELANA | 1,37 | im | 42,4 | jm | 0,53 | hl | 31/3 | 3,1 | 119 |
| ARTOGA | 1,66 | dl | 43,1 | gm | 0,65 | dk | 5/4 | 3,0 | 130 |
| SAVANNAH | 1,88 | bj | 45,9 | ag | 0,78 | ai | 2/4 | 2,7 | 122 |
| ALBATRO | 1,59 | dl | 45,8 | ah | 0,67 | dk | 4/4 | 2,8 | 134 |
| DC2949 | 1,29 | jm | 43,8 | em | 0,51 | il | 9/4 | 3,0 | 128 |
| TOCCATA | 1,59 | dl | 46,2 | af | 0,67 | dk | 31/3 | 3,3 | 132 |
| OSPREY | 1,48 | gl | 45,8 | ag | 0,62 | ek | 2/4 | 3,3 | 124 |
| EXCALIBUR | 2,27 | ac | 46,8 | ad | 0,96 | ac | 4/4 | 2,9 | 125 |
| DK EXPOWER | 1,66 | dl | 45,9 | ag | 0,70 | cj | 2/4 | 2,8 | 130 |
| ECARLATE | 2,13 | ad | 43,5 | fm | 0,85 | af | 26/3 | 2,8 | 124 |
| FREGAT | 2,50 | a | 45,6 | ai | 1,04 | a | 30/3 | 3,6 | 131 |
| PR46W10 | 2,46 | ab | 44,4 | ck | 1,00 | ab | 5/4 | 2,9 | 128 |
| PR46W14 | 2,08 | af | 44,0 | dm | 0,83 | ag | 1/4 | 2,9 | 128 |
| PRIMUS | 1,09 | lm | 44,2 | cm | 0,44 | jl | 31/3 | 3,0 | 123 |
| PULSAR | 1,90 | ai | 44,7 | bk | 0,78 | ai | 30/3 | 3,2 | 131 |
| HORNET | 1,83 | cj | 47,0 | ac | 0,79 | ah | 5/4 | 2,8 | 130 |
| COMPASS | 2,02 | ah | 45,8 | ag | 0,85 | af | 2/4 | 2,8 | 127 |
| ZOOM | 1,73 | ck | 46,9 | ac | 0,74 | bi | 6/4 | 3,2 | 114 |
| ALPAGA | 1,20 | km | 48,1 | a | 0,53 | hl | 24/3 | 3,1 | 124 |
| NK PETROL | 1,09 | lm | 42,0 | km | 0,42 | kl | 10/4 | 3,0 | 131 |
| NK CARAVEL | 1,38 | il | 45,2 | bj | 0,57 | gk | 5/4 | 2,9 | 125 |
| NK TECNIC | 1,49 | fl | 44,8 | bk | 0,61 | ek | 8/4 | 2,7 | 128 |
| TASSILO | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| ORLANDO | 1,45 | hl | 45,8 | ag | 0,61 | ek | 4/4 | 2,8 | 130 |
| HENRY | 1,10 | lm | 42,9 | hm | 0,43 | jl | 6/4 | 2,8 | 118 |
| HYBRISTAR | 2,07 | ag | 46,5 | ae | 0,88 | ae | 27/3 | 3,0 | 129 |
| HYBRISWING | 2,09 | ae | 47,5 | ab | 0,90 | ad | 21/3 | 3,7 | 138 |
| EXAGONE | 1,52 | el | 42,9 | im | 0,60 | fk | 9/4 | 2,8 | 134 |
| BAGIRA | 1,37 | il | 42,8 | im | 0,54 | hl | 27/3 | 3,0 | 124 |
| PR45D03 | 1,23 | km | 41,4 | m | 0,46 | jl | 7/4 | 2,6 | 117 |
| PR45D04 | 1,29 | jm | 46,8 | ad | 0,55 | hl | 12/4 | 3,1 | 123 |
| ADRIANA | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| ANACONDA | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| KATABATIC | 1,51 | el | 44,4 | cl | 0,61 | ek | 11/4 | 2,7 | 127 |
| GOYA | 1,57 | dl | 44,3 | cm | 0,64 | dk | 2/4 | 3,0 | 125 |
| Medie | 1,63 | | 44,8 | | 0,67 | | 2/4 | 3,0 | 127 |
| C.V. % | 22,41 | | 4,0 | | 24,90 | | 4,8 | 8,6 | 3,5 |

Primo anno – Brassica carinata

La coltura ha evidenziato risultati quali quantitativi inferiori a quelli del colza in tutti gli ambienti di indagine. A Palazzolo (Tabella 6) le piante, che hanno fiorito mediamente una settimana più tardi, manifestando una taglia superiore di circa 26 cm, hanno ottenuto una resa inferiore del 22% in granella e del 37% in olio rispetto al colza, facendo registrare anche un tenore in olio inferiore di oltre 8 punti percentuali.

Ad Osimo (Tabella 7) i risultati pur essendo stati i migliori di tutta l'esperienza sono stati più penalizzanti: lo scarto con il colza ha infatti raggiunto il 24% e il 37% rispettivamente per la resa in seme e olio, più o meno con il medesimo differenziale riguardo il contenuto in olio; le piante hanno fiorito più precocemente della località settentrionale manifestando un'altezza media simile a quella dell'altra brassicacea.

Nel Sud Italia (Tabella 8) si sono realizzate le produzioni più scarse con i maggiori scarti produttivi rispetto al colza (44% per il seme, 49% per l'olio), mentre per il tenore in sostanza grassa dei semi, risultato in Sicilia molto alto per la specie in esame, al contrario, la differenza è stata contenuta (4,2 %). Le piante hanno fiorito molto precocemente, anticipando di circa 25 giorni rispetto alla *B. napus*, con un'altezza superiore di 35 cm rispetto a quest'ultima.

Tabella 6: risultati produttivi, data di inizio fioritura, peso medio dei semi ed altezza delle piante registrati su *B.carinata* a Palazzolo (UD) nella stagione 2010-2011

| Varietà | Prod. granella 9% di um. (t ha ⁻¹) | | Olio su s.s. | | | | Inizio fioritura (data) | Peso 1000 semi (g) | Altezza (cm) |
|-----------------|--|----|------------------|----|-------------------------------------|----|-------------------------------|--------------------------|-----------------|
| | | | contenuto (%) | | produzione (t ha ⁻¹) | | | | |
| CT 207 | 1,67 | b | 36,0 | b | 0,55 | b | 3/5 | 3,9 | 161 |
| CT 180 | 2,01 | ab | 36,4 | ab | 0,66 | ab | 29/4 | 4,0 | 126 |
| CT 204 | 2,39 | a | 37,3 | a | 0,81 | a | 1/5 | 4,0 | 143 |
| ISCI 7 | 1,62 | b | 36,9 | ab | 0,55 | b | 1/5 | 3,9 | 146 |
| Medie | 1,92 | | 36,7 | | 0,64 | | 1/5 | 3,9 | 144 |
| C.V. % | 13,12 | | 1,3 | | 13,76 | | 0,7 | 3,1 | 3,1 |
| LSD 0,05 | 0,50 | | 0,9 | | 0,18 | | 1,7 | n.s. | 9,0 |

Tabella 7: risultati produttivi, data di inizio fioritura, peso medio dei semi ed altezza delle piante registrati su *B.carinata* a Osimo (AN) nella stagione 2010-2011

| Varietà | Prod. granella 9% di um. (t ha ⁻¹) | | Olio su s.s. | | | | Inizio fioritura (data) | Peso 1000 semi (g) | Altezza (cm) |
|-----------------|--|---|------------------|---|-------------------------------------|---|-------------------------------|--------------------------|-----------------|
| | | | contenuto (%) | | produzione (t ha ⁻¹) | | | | |
| CT 207 | 2,70 | b | 36,7 | b | 0,90 | b | 19/4 | 4,1 | 173 |
| CT 180 | 3,75 | a | 37,0 | b | 1,26 | a | 18/4 | 4,2 | 172 |
| CT 204 | 3,11 | b | 37,7 | a | 1,07 | b | 20/4 | 4,3 | 159 |
| ISCI 7 | 2,84 | b | 37,6 | a | 0,97 | b | 18/4 | 4,3 | 163 |
| Medie | 3,10 | | 37,3 | | 1,05 | | 19/4 | 4,2 | 167 |
| C.V. % | 7,82 | | 0,7 | | 7,99 | | 1,2 | 4,5 | 2,6 |
| DMS 0,05 | 0,48 | | 0,5 | | 0,17 | | 2,5 | n.s. | 8,8 |

Tabella 8: risultati produttivi, data di inizio fioritura, peso medio dei semi ed altezza delle piante registrati su *B.carinata* a Cassibile (SR) nella stagione 2010-2011

| Varietà | Prod. granella | | Olio su s.s. | | | | Inizio fioritura (data) | Peso 1000 semi (g) | Altezza (cm) |
|-----------------|---------------------------------|---|---------------|---|----------------------------------|----|-------------------------|--------------------|--------------|
| | 9% di um. (t ha ⁻¹) | | contenuto (%) | | produzione (t ha ⁻¹) | | | | |
| CT 207 | 0,78 | a | 36,1 | c | 0,26 | b | 12/3 | 3,9 | 187 |
| CT 180 | 1,07 | a | 38,9 | b | 0,38 | a | 10/3 | 3,2 | 133 |
| CT 204 | 0,93 | a | 43,2 | a | 0,36 | ab | 2/3 | 4,1 | 169 |
| ISCI 7 | 0,87 | a | 44,0 | a | 0,35 | ab | 9/3 | 3,8 | 159 |
| Medie | 0,91 | | 40,6 | | 0,34 | | 8/3 | 3,7 | 162 |
| C.V. % | 16,85 | | 4,0 | | 16,77 | | 2,2 | 2,6 | 3,6 |
| DMS 0,05 | n.s. | | 2,9 | | 0,11 | | 3,0 | 0,2 | 11,5 |

Primo anno - Girasole

I risultati medi degli effetti delle località sono riportati in tabella 9. In considerazione degli andamenti climatici, come atteso, gli ambienti si sono differenziati sensibilmente quanto a potenzialità produttiva e caratterizzazione morfo-fenologica delle varietà. A Palazzolo, che ha potuto godere di un andamento termo pluviometrico favorevole, le piante, associando alla precocità di fioritura e alla più ampia fase di riempimento degli acheni la minore taglia, la maggiore dimensione dei capolini ed il più elevato peso unitario degli acheni, hanno ottenuto il miglior risultato produttivo (in acheni ed olio) fra località. Nonostante l'ausilio irriguo, in Sicilia si sono ottenute le produzioni più basse, con uno scarto prossimo o superiore al 28%, rispettivamente per acheni ed olio. Ad Osimo il più alto contenuto in olio, registrato ha permesso di ridurre il divario produttivo nei confronti della località friulana dal 13% della resa in acheni al 11% di quella in olio, ampliando nel contempo quello nei confronti della siciliana dal 17 al 20%

Tabella 9: effetti medi delle località nelle prove di confronto di ibridi di girasole nel 2011

| Località | Altezza (cm) | Area calatide (cm ²) | Produzione acheni (t/ha) | Olio | | Fioritura (d) | Ciclo (d) | Peso 1000 semi (g) |
|---------------|--------------|----------------------------------|--------------------------|---------------|-------------------|---------------|------------|--------------------|
| | | | | contenuto (%) | produzione (t/ha) | | | |
| Nord | 169 a | 187 c | 2,51 c | 44,6 b | 1,02 c | 26/6 c | 109 a | 50,8 b |
| Centro | 166 a | 249 b | 3,04 b | 46,0 a | 1,27 b | 24/6 b | 123 b | 45,7 c |
| Sud | 155 b | 419 a | 3,48 a | 44,9 b | 1,43 a | 22/6 a | 144 c | 77,7 a |
| Medie | 163 | 285 | 3,01 | 45,2 | 1,2 | 24/6 | 125 | 58,1 |
| C.V. % | 6,8 | 17,5 | 8,9 | 3,1 | 9,8 | 0,6 | 1,7 | 1,5 |

Legenda: Nord= Cassabile (SR); Centro=Osimo (AN); Sud=Palazzolo (UD)

Primo anno - Girasole - Palazzolo

LG 55.57 HO è risultato l'ibrido più produttivo in acheni ed olio, ottenendo il primato anche relativamente al contenuto in sostanza grassa dei semi (Tabella 10). Riguardo al primo carattere hanno fornito produzioni statisticamente indifferenti Oleko ed entrambi i testimoni convenzionali, mantenendo tutti la resa oltre le 4 t/ha; a tale valore si sono approssimati LG 56.56 HO (3,9 t/ha) e NK Camen (3,88 t /ha). Oleko non ha mantenuto la posizione di vertice anche per la resa in olio, così come uno dei due testimoni alto linoleico (Mas 92.IR); per il contenuto di olio solo Doriana si è avvicinato al miglior valore, mentre

gli altri hanno dimostrato differenze superiori. Heliagol HO ha fiorito più tardivamente degli altri, mentre Mas 88.OL e LG 54.50 HO più precocemente, con uno scarto di 10 giorni. Quest'ultimo ha concluso per primo il ciclo biologico, mentre l'ibrido più produttivo è risultato il più tardivo, usufruendo anche del maggior intervallo fioritura-maturazione agronomica (79 giorni). L'altezza delle piante è risultata abbastanza contenuta, con una media di poco superiore al metro e mezzo; 33 cm hanno separato MAS 89.OL (la cultivar più alta) da PR64H41 (la più bassa). Inotop ha raggiunto la maggiore dimensione del capolino, al contrario di Oleko. Heliagol HO, con 70 g per 1000 semi e LG 54.50, con 99,1, hanno raggiunto i valori estremi riguardo al peso degli acheni.

Tabella 10: Caratteristiche produttive, fenologiche e biometriche degli ibridi a confronto a Palazzolo (UD)

| Varietà | Prod. acheni al 9% di um. (t ha ⁻¹) | Olio s.s. | | Fioritura (data) | Ciclo sem-mat. (d) | Altezza pianta (cm) | Superficie calatide (cm ²) | Peso 1000 (g) |
|--------------|---|---------------|----------------------------------|------------------|--------------------|---------------------|--|---------------|
| | | contenuto (%) | produzione (t ha ⁻¹) | | | | | |
| DKF 2727 | 3,25 eg | 44,69 bd | 1,32 fg | 21/6 cd | 145 df | 150 eg | 442 ad | 84,7 b |
| Heliagol HO | 3,08 eg | 44,76 bd | 1,26 fg | 25/6 a | 143 fh | 167 ab | 424 ad | 70,0 f |
| LG 54.50 HO | 2,80 gh | 40,39 e | 1,03 hi | 15/6 e | 140 j | 161 ad | 368 cd | 99,1 a |
| Mas 88.OL | 3,39 ef | 45,98 ac | 1,42 eg | 15/6 e | 141 j | 150 eg | 358 cd | 72,0 ef |
| Mas 89.OL | 3,31 ef | 45,27 ac | 1,36 eg | 19/6 d | 143 fh | 169 a | 455 ac | 79,3 bd |
| NK Camen | 3,88 bd | 44,58 bd | 1,58 ce | 21/6 cd | 146 bc | 163 ad | 380 bd | 76,5 ce |
| NK Ferti | 3,42 ef | 45,07 ac | 1,40 eg | 21/6 bd | 144 eh | 153 dg | 381 bd | 84,7 b |
| Pacific | 3,06 eg | 43,91 cd | 1,23 gh | 24/6 ab | 142 hi | 158 be | 432 ad | 82,0 bc |
| PR64H41 | 3,25 eg | 44,00 cd | 1,30 fg | 24/6 a | 147 b | 153 dg | 436 ad | 73,2 ef |
| Inotop | 3,44 def | 44,22 cd | 1,38 eg | 20/6 d | 146 bd | 155 cg | 484 a | 74,5 df |
| LG 55.57 HO | 4,46 a | 47,12 a | 1,91 a | 23/6 ac | 153 a | 157 cf | 438 ad | 72,4 ef |
| LG 56.56 HO | 3,94 bc | 46,47 ab | 1,66 bd | 19/6 d | 146 bd | 150 eg | 397 ad | 76,7 ce |
| Montijo | 2,51 h | 42,70 d | 0,98 i | 19/6 d | 141 ij | 148 fg | 453 ac | 71,6 ef |
| NK Sinfoni | 3,00 fg | 45,07 ac | 1,23 gh | 19/6 d | 143 gh | 147 g | 426 ad | 72,4 ef |
| Oleko | 4,04 ab | 45,92 ac | 1,69 bc | 21/6 cd | 145 ce | 155 cg | 345 d | 71,5 ef |
| PR64H31 | 3,51 cde | 45,66 ac | 1,46 df | 20/6 d | 143 fh | 136 h | 476 ab | 77,2 ce |
| Doriana | 4,26 ab | 46,93 a | 1,82 ab | 24/6 ab | 144 eg | 155 cg | 453 ac | 77,1 ce |
| Mas 92.IR | 4,05 ab | 44,66 bd | 1,64 bd | 20/6 d | 142 hi | 163 ac | 397 ad | 83,5 b |
| Medie | 3,48 | 44,9 | 1,43 | 20/6 | 144 | 155 | 419 | 77,7 |
| C.V. % | 7,91 | 2,9 | 9,06 | 0,8 | 4,8 | 3,8 | 14,4 | 4,6 |

Primo anno - Girasole - Osimo

Nella località marchigiana (Tabella 11) la differenziazione varietale è stata meno marcata: ad Oleko, l'ibrido che, in assoluto, ha fornito la maggiore resa in acheni, se ne sono affiancati altri otto, con produzioni non dissimili. Doriana ha evidenziato il miglior contenuto in olio, prossimo al 50%: altre due costituzioni hanno comunque superato il 48% (LG 55.57 HO e NK Sinfoni) e quattro il valore medio (46%). Contemplando congiuntamente i due caratteri viene determinata, per la resa in olio, una graduatoria in cui Doriana e Mas 88.OL sono risultati i migliori, in valore assoluto, seguiti, con valori statisticamente simili da Oleko, Pacific, PR64H41, PR64H31, NK Camen e Inotop. Il periodo di inizio fioritura è risultato abbastanza compresso: in 6 giorni tutte le varietà

hanno presentato più del 50% delle calatidi con le ligule visibili e completamente distese (carattere distintivo di inizio fioritura) ad iniziare da Oleko e LG 54.50 HO (19/6) per finire con Heliagol, Mas 88.OL ed i due testimoni (25/6). Il ciclo della coltura, inteso come intervallo semina-maturazione agronomica, è risultato intermedio fra quelli delle località di prova, con un differenziale fra la più precoce, LG 54.50 (118 giorni) e la più tardiva, LG 55.57 HO (128 giorni), pari a quanto verificatosi nell'Italia Settentrionale. Anche l'altezza delle piante e la superficie media delle calatidi sono risultati intermedi; per il primo carattere Mas 89.OL ha raggiunto i 188 cm, NK Sinfoni non è andata oltre i 151; per il secondo, Oleko con 333 cm² e LG 56.56 HP, con 198, hanno espresso i valori estremi. Inotop ha fatto registrare il maggiore peso degli acheni, Mas 92.IR il minore.

Tabella 11: Caratteristiche produttive, fenologiche e biometriche degli ibridi a confronto a Osimo (AN)

| Varietà | Prod. acheni al 9% di um. (t ha ⁻¹) | Olio s.s. | | Fioritura (data) | Ciclo sem-mat. (d) | Altezza pianta (cm) | Superficie calatide (cm ²) | Peso 1000 (g) |
|--------------|---|---------------|----------------------------------|------------------|--------------------|---------------------|--|---------------|
| | | contenuto (%) | produzione (t ha ⁻¹) | | | | | |
| DKF 2727 | 2,89 cf | 45,8 ce | 1,20 c | 24/6 ac | 119 fg | 170 ad | 212 de | 43,1 eg |
| Heliagol HO | 2,81 ef | 45,8 ce | 1,17 c | 25/6 ab | 124 ae | 177 ab | 239 be | 39,4 gh |
| LG 54.50 HO | 3,17 af | 43,6 f | 1,26 ac | 19/6 hi | 118 g | 158 bd | 233 be | 50,6 b |
| Mas 88.OL | 3,29 ab | 47,3 ac | 1,42 a | 25/6 ab | 126 ad | 160 bd | 228 ce | 48,1 bd |
| Mas 89.OL | 2,82 df | 47,0 ad | 1,21 bc | 24/6 ac | 126 ac | 188 a | 259 bc | 45,7 ce |
| NK Camen | 3,01 af | 46,3 be | 1,27 ac | 22/6 df | 124 af | 161 bd | 273 b | 45,8 ce |
| NK Ferti | 2,89 cf | 45,1 df | 1,19 c | 22/6 eg | 121 eg | 159 bd | 245 bd | 39,5 gh |
| Pacific | 3,22 ac | 44,8 df | 1,31 ac | 21/6 fg | 123 bf | 173 ac | 252 bd | 41,3 fg |
| PR64H41 | 3,12 af | 45,9 ce | 1,30 ac | 22/6 eg | 121 eg | 154 cd | 238 be | 49,0 bc |
| Inotop | 3,07 af | 44,7 ef | 1,25 ac | 20/6 gh | 124 ae | 164 bd | 268 bc | 68,7 a |
| LG 55.57 HO | 3,18 ae | 48,1 ab | 1,40 ab | 24/6 bd | 128 a | 176 ab | 275 b | 48,2 bd |
| LG 56.56 HO | 2,92 bf | 46,0 be | 1,22 bc | 22/6 df | 127 ab | 164 bd | 198 e | 49,0 bc |
| Montijo | 2,93 bf | 44,4 ef | 1,18 c | 23/6 ce | 122 bg | 172 ac | 236 be | 40,5 fh |
| NK Sinfoni | 2,79 f | 48,1 ab | 1,22 bc | 23/6 ce | 120 eg | 151 d | 250 bd | 43,1 eg |
| Oleko | 3,31 a | 45,1 cf | 1,36 ac | 19/6 i | 122 cg | 165 bd | 333 a | 44,6 df |
| PR64H31 | 3,15 af | 44,6 ef | 1,28 ac | 22/6 df | 121 dg | 163 bd | 227 ce | 40,7 fh |
| Doriana | 3,20 ad | 49,2 a | 1,43 a | 25/6 ab | 127 ac | 166 bd | 245 bd | 48,7 bd |
| Mas 92.IR | 2,91 bf | 46,1 be | 1,22 bc | 25/6 a | 124 af | 161 bd | 265 bc | 36,9 h |
| Medie | 3,04 | 46,0 | 1,27 | 22/6 | 123 | 166 | 249 | 45,7 |
| C.V. % | 7,72 | 2,9 | 9,13 | 0,6 | 2,3 | 7,1 | 10,3 | 5,6 |

Primo anno - Girasole - Cassibile

Anche in Sicilia (Tabella 12) si sono poste in evidenza per la produttività nove accessioni. Mas 89.OL, che ha sfiorato una resa in acheni di 3 t/ha, è stata affiancata, nell'ordine, in valore assoluto, da DKF 2727, LG 55.57 HO, PR64H41, Montijo, Inotop, Mas 92.IR e NK Camen, tutte con produzioni superiori alla media. Per il contenuto in olio si è posta in evidenza LG 55.57 HO, con il 48,1%, insieme ad altre sette accessioni che hanno superato il valore medio. Il comportamento relativo a questo carattere ha condizionato la classifica

della produzione in olio, diversificandone la graduatoria di merito rispetto a quella della resa in acheni; pur rimanendo nove le accessioni in evidenza, è LG 55.57 HO che se ne pone al vertice, proprio grazie al buon tenore oleico dimostrato; Mas 88.OL ne fuoriesce e ne entra a far parte a pieno titolo Mas 92.IR. In questo ambiente le piante hanno dimostrato maggiore scolarità di fioritura, con 13 giorni di differenza tra la prima a raggiungere l'antesi (Montijo) e l'ultima (Heliagol HO). Anche l'intervallo semina-maturazione si è dimostrato il più ampio: 21 giorni hanno infatti distanziato la cultivar più precoce (LG 56.56 HO) dalla più tardiva (Heliagol HO), a dimostrazione della differente risposta varietale alle particolari condizioni termiche e di disponibilità idrica determinata con l'ausilio irriguo. La conformazione stessa delle piante ne è risultata influenzata, tanto che si sono registrate, mediamente, la maggiore taglia e la più piccola dimensione del capolino, che hanno sicuramente condizionato negativamente il risultato produttivo. Non sembra essere andato sulla stessa linea il peso dei 1000 acheni, oscillato tra i 63,8 g di NK Ferti e i 34,0 di Mas 92.IR, comunque mediamente superiore ai valori del Centro Italia.

Tabella 12: Caratteristiche produttive, fenologiche e biometriche degli ibridi a confronto a Cassibile (SR)

| Varietà | Prod. acheni al 9% di um. (t ha ⁻¹) | Olio s.s. | | Fioritura (data) | Ciclo sem-mat. (d) | Altezza pianta (cm) | Superficie calatide (cm ²) | Peso 1000 (g) |
|--------------|---|---------------|----------------------------------|------------------|--------------------|---------------------|--|---------------|
| | | contenuto (%) | produzione (t ha ⁻¹) | | | | | |
| DKF 2727 | 2,87 ab | 43,0 de | 1,12 ac | 26/6 dg | 124 a | 187 a | 200 ab | 56,3 ad |
| Heliagol HO | 2,04 de | 44,7 be | 0,83 ef | 30/6 a | 108 df | 171 ac | 201 ab | 52,8 bf |
| LG 54.50 HO | 2,50 bd | 42,5 e | 0,97 ce | 20/6 i | 104 gh | 161 bd | 166 ab | 50,5 cf |
| Mas 88.OL | 2,63 ac | 43,1 de | 1,03 cd | 20/6 i | 104 h | 161 bd | 200 ab | 58,2 ac |
| Mas 89.OL | 2,99 a | 44,6 be | 1,21 ab | 22/6 h | 110 de | 173 ac | 202 ab | 59,2 ab |
| NK Camen | 2,65 ac | 46,0 ac | 1,11 ac | 22/6 h | 118 b | 176 ac | 199 ab | 47,3 eh |
| NK Ferti | 1,88 e | 43,5 ce | 0,74 f | 25/6 g | 111 cd | 161 bd | 178 ab | 63,8 a |
| Pacific | 2,43 bd | 43,1 de | 0,95 ce | 25/6 g | 104 gh | 181 ab | 175 ab | 51,5 bf |
| PR64H41 | 2,81 ac | 43,3 ce | 1,11 ac | 29/6 b | 105 fh | 168 ad | 157 b | 41,5 gi |
| Inotop | 2,71 ac | 45,3 bd | 1,11 ac | 25/6 fg | 110 ce | 161 bd | 204 ab | 53,5 be |
| LG 55.57 HO | 2,83 ac | 48,1 a | 1,24 a | 27/6 c | 104 h | 170 ac | 198 ab | 49,7 dg |
| LG 56.56 HO | 2,07 de | 43,2 de | 0,82 ef | 29/6 ab | 103 h | 160 bd | 156 b | 48,3 dh |
| Montijo | 2,79 ac | 42,8 de | 1,09 ac | 17/6 j | 109 de | 174 ac | 247 a | 41,2 hi |
| NK Sinfoni | 2,46 bd | 47,2 ab | 1,05 bd | 26/6 eg | 104 h | 186 a | 220 ab | 46,7 eh |
| Oleko | 2,37 cd | 44,3 ce | 0,96 ce | 27/6 ce | 107 eg | 168 ad | 187 ab | 52,3 bf |
| PR64H31 | 2,09 de | 47,1 ab | 0,89 df | 27/6 cd | 104 gh | 148 d | 164 ab | 44,7 fh |
| Doriana | 2,65 ac | 45,1 be | 1,09 ac | 26/6 cf | 111 cd | 158 cd | 166 ab | 62,3 a |
| Mas 92.IR | 2,50 bd | 46,9 ab | 1,06 ad | 26/6 cf | 113 c | 172 ac | 141 b | 34,0 i |
| Medie | 2,51 | 44,6 | 1,02 | 25/6 | 109 | 169 | 187 | 50,8 |
| C.V. % | 11,11 | 3,6 | 10,68 | 0,4 | 3,9 | 7,7 | 28,2 | 9,8 |

Nella tabella 13 sono riportati i risultati delle analisi gascromatografiche eseguite sui metil-esteri degli acidi grassi dell'olio degli ibridi in prova per determinarne la composizione. Appare evidente la rispondenza di tutte le varietà alle caratteristiche dichiarate, con valori di acido oleico ben al di sopra dell'80% (media 88, 27%), spesso prossimi o pari al 90%.

SOTTOPROGETTO MATERIE PRIME

Tabella 13: Contenuto di acidi grassi nell'olio degli ibridi di girasole in prova nel 2011

| Varietà | Acidi grassi (%) | | | | | | |
|------------------|------------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | palmitico | stearico | oleico | linoleico | linolenico | arachidico | beenico |
| DKF 2727 | 4,32 | 3,43 | 86,79 | 4,22 | 0,31 | 0,18 | 0,77 |
| Heliagol HO | 3,70 | 5,59 | 87,11 | 1,90 | 0,49 | 0,22 | 1,01 |
| LG 54.50 HO | 4,33 | 3,35 | 88,55 | 2,16 | 0,34 | 0,25 | 1,03 |
| Mas 88.OL | 3,60 | 3,27 | 89,25 | 2,55 | 0,32 | 0,24 | 0,80 |
| Mas 89.OL | 4,02 | 4,57 | 86,64 | 3,21 | 0,41 | 0,19 | 0,97 |
| NK Camen | 4,14 | 3,74 | 88,78 | 1,79 | 0,34 | 0,20 | 1,03 |
| NK Ferti | 4,27 | 4,67 | 87,36 | 1,81 | 0,43 | 0,22 | 1,26 |
| Pacific | 3,90 | 2,63 | 90,00 | 2,13 | 0,26 | 0,25 | 0,85 |
| PR64H41 | 3,69 | 3,57 | 89,08 | 2,11 | 0,35 | 0,26 | 0,95 |
| Inotop | 4,38 | 2,85 | 88,89 | 2,56 | 0,31 | 0,21 | 0,82 |
| LG 55.57 HO | 3,95 | 3,10 | 89,83 | 1,78 | 0,35 | 0,22 | 0,79 |
| LG 56.56 HO | 3,86 | 3,49 | 89,85 | 1,24 | 0,32 | 0,24 | 1,03 |
| Montijo | 4,07 | 4,57 | 87,57 | 1,98 | 0,48 | 0,25 | 1,10 |
| NK Sinfoni | 4,22 | 4,02 | 86,57 | 3,39 | 0,39 | 0,23 | 1,19 |
| Oleko | 4,17 | 3,32 | 89,46 | 1,60 | 0,35 | 0,23 | 0,89 |
| PR64H31 | 3,66 | 3,01 | 86,56 | 5,26 | 0,30 | 0,25 | 0,98 |
| <i>Doriana</i> | <i>5,33</i> | <i>4,43</i> | <i>33,60</i> | <i>55,69</i> | <i>0,23</i> | <i>0,15</i> | <i>0,57</i> |
| <i>Mas 92.IR</i> | <i>5,44</i> | <i>5,63</i> | <i>34,53</i> | <i>53,11</i> | <i>0,34</i> | <i>0,14</i> | <i>0,82</i> |

Secondo anno - Colza - Fiume Veneto

Nella località friulana (Tabella 14) Pulsar (3,88 t ha⁻¹) ha raggiunto la migliore resa in granella e olio; da questa non si sono differenziate 8 cultivar, tutte con produzioni sopra la media. Primus, con il 44,5% ha evidenziato il più alto contenuto in olio nei semi, PR45H73, con uno scarto del 4%, il più basso. Il ritardo di fioritura rispetto all'Italia centrale ha prodotto una compressione del periodo di inizio dell'antesi rispetto allo stesso ambiente. Anche in questo caso PR45H73 è risultata la più precoce, ma il divario con la seconda cultivar a fiorire (in questo caso Pulsar) si è dimezzato, rimanendo invariato l'intervallo di fioritura delle restanti cultivar. Exmen e Fregat, con 4,7 e 3,7 g/1000 semi, hanno rappresentato gli estremi per il peso medio del seme. Pulsar ha raggiunto la statura maggiore delle piante, Primus, con 32 cm in meno, la minore. Per la produzione di residui è stato registrato lo stesso scarto produttivo medio evidenziato con la località marchigiana per la granella; DC2949 ha evidenziato il valore maggiore approssimando le 11 t ha⁻¹.di s.s., Fregat e Primus i valori più alti dell'indice di raccolta (harvest index) – frazione di granella sulla biomassa totale –, suffragati, per la seconda cultivar, anche da una ridotta taglia delle piante.

Tabella 14: caratteri morfo fenologici e produttivi di varietà di colza in prova a Fiume Veneto (PN) nel 2012

| Varietà | Prod. granella 9% di um. (t ha ⁻¹) | Olio s.s. | | Inizio fioritura (data) | Peso 1000 semi (g) | Altezza (cm) | Prod. residui s.s. (t ha ⁻¹) | Harvest index |
|---------------|--|---------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------|---|---------------|
| | | contenuto (%) | produzione (t ha ⁻¹) | | | | | |
| ALBATROS | 3,70 ab | 42,9 ac | 1,44 a | 15/4 be | 4,3 ac | 167 ad | 8,85 bc | 0,28 ad |
| ARTOGA | 2,69 cd | 43,1 ac | 1,06 bd | 15/4 bd | 4,2 ae | 155 be | 6,91 dg | 0,27 ae |
| DC 2938 | 2,62 ce | 42,3 ac | 1,00 ce | 17/4 de | 4,0 ce | 162 ae | 8,53 bd | 0,22 de |
| DC2949 | 3,27 ad | 41,6 ac | 1,23 ad | 17/4 de | 3,9 ce | 167 ad | 10,93 a | 0,22 e |
| DK EXPOWER | 3,59 ab | 41,4 bc | 1,35 ab | 15/4 be | 3,9 ce | 155 be | 9,31 b | 0,26 ae |
| EXAGONE | 2,68 cd | 42,0 ac | 1,02 cd | 17/4 de | 3,8 de | 163 ad | 8,36 be | 0,23 ce |
| EXCALIBUR | 3,28 ad | 42,3 ac | 1,26 ad | 14/4 bc | 4,2 ae | 150 de | 8,16 be | 0,27 ae |
| EXMEN | 3,24 ad | 42,8 ac | 1,26 ad | 14/4 bc | 4,7 a | 153 be | 8,02 be | 0,27 ae |
| FREGAT | 3,61 ab | 41,5 bc | 1,36 ab | 15/4 be | 3,7 e | 168 ac | 7,60 cf | 0,31 ab |
| HYBRILORD | 3,19 ad | 42,0 ac | 1,22 ad | 17/4 de | 4,3 ac | 158 be | 8,82 bc | 0,25 be |
| PR45H73 | 1,90 e | 40,5 c | 0,70 e | 2/4 a | 3,7 de | 110 f | 5,28 g | 0,25 be |
| PR46W14 | 3,19 ad | 43,8 ab | 1,27 ad | 16/4 ce | 4,2 ae | 163 ad | 7,60 cf | 0,28 ad |
| PRIMUS | 2,69 cd | 44,5 a | 1,09 bd | 17/4 ce | 4,1 ae | 145 e | 5,28 g | 0,32 a |
| PULSAR | 3,88 a | 42,3 ac | 1,49 a | 13/4 b | 4,2 ad | 177 a | 8,88 bc | 0,28 ac |
| SENSATION | 2,79 cd | 42,8 ac | 1,09 bd | 17/4 de | 4,0 ce | 160 ae | 6,98 dg | 0,27 ae |
| TOCCATA | 2,59 de | 41,1 bc | 0,97 de | 18/4 de | 4,7 ab | 170 ab | 6,28 fg | 0,27 ae |
| ZOOM | 2,99 bd | 40,9 bc | 1,11 bd | 18/4 e | 4,1 ce | 155 be | 6,69 eg | 0,29 ab |
| NK TECNIC | 3,36 ac | 42,7 ac | 1,31 ac | 15/4 bd | 4,2 ae | 152 ce | 8,03 be | 0,28 ac |
| Medie | 3,07 | 42,2 | 1,18 | 15/4 | 4,1 | 157 | 7,80 | 0,27 |
| C.V. % | 12,53 | 3,6 | 13,21 | 1,5 | 6,7 | 5,8 | 11,16 | 10,94 |

Secondo anno - Colza - Osimo

Nelle Marche (Tabella 15) ben 12 varietà hanno superato le 4 tha^{-1} di resa in granella; Excalibur ha raggiunto la produzione massima (4,68 tha^{-1}), anche se non statisticamente differente dalle altre del gruppo di merito. Sensation, con il 47,3%, ha evidenziato il più alto contenuto in olio e altre 14 accessioni hanno superato il valore del 45%; 4,2 punti hanno separato i valori estremi. La graduatoria per la resa in olio ha rispecchiato fedelmente quella relativa al seme, con 12 cultivar che hanno superato o eguagliato la produzione media. 27 giorni hanno separato la varietà più pronta a raggiungere l'antesi (PR45H73) dalla più tardiva (Zoom); il risultato acquista maggiore rilevanza se si considera che lo scarto tra la prima e la seconda a fiorire (Primus) è stato di ben 22 giorni e che, ad esclusione di PR45H73, tutte le altre hanno fiorito nell'arco di 5 giorni. Excalibur ha presentato il maggiore peso medio dei semi. Exagone ha fatto registrare le piante più alte, sfiorando il metro e settanta cm, PR45H73, con 35 cm in meno, le più basse. Considerando la produttività complessiva in biomassa Albatros, Hybrilord ed Excalibur sono risultate le più performanti coniugando, ad una elevata resa in granella, un ottimo rilascio di residui colturali. Exmen e NK Tecnic hanno evidenziato il migliore indice di raccolta (H.I.) -frazione di produzione utile sulla biomassa totale- insieme a Primus che ha comunque superato il valore di 0,3. Ciò è imputabile più alla ridotta taglia delle piante, comunque pari o superiore alla media, che all'elevato volume delle strutture vegetative, di conseguenza, all'esiguità dei residui colturali rilasciati.

Tabella 15: caratteri morfo fenologici e produttivi di varietà di colza in prova ad Osimo nel 2012

| Varietà | Prod. granella 9% di um. (t ha^{-1}) | Olio s.s. | | Inizio fioritura (data) | Peso 1000 semi (g) | Altezza (cm) | Prod. residui s.s. (t ha^{-1}) | Harvest index |
|---------------|---|---------------|-----------------------------------|-------------------------|--------------------|--------------|---|---------------|
| | | contenuto (%) | produzione (t ha^{-1}) | | | | | |
| ALBATROS | 4,29 ad | 46,8 ab | 1,83 ac | 1/4 fg | 4,6 bd | 168 ab | 12,66 a | 0,24 ef |
| ARTOGA | 4,33 ad | 46,5 ab | 1,83 ac | 30/3 bd | 4,5 ce | 149 cd | 11,37 ac | 0,26 bf |
| DC 2938 | 3,51 ef | 44,9 cd | 1,43 ef | 1/4 eg | 4,0 f | 144 de | 8,51 df | 0,27 be |
| DC2949 | 3,51 ef | 45,3 bd | 1,45 df | 31/3 dg | 4,0 f | 151 cd | 10,17 ad | 0,24 ef |
| DK | | | | | | | | |
| EXPOWER | 4,02 ae | 46,7 ab | 1,71 ae | 30/3 ce | 4,1 f | 148 cd | 11,61 ac | 0,24 cf |
| EXAGONE | 3,86 be | 45,5 bd | 1,60 be | 31/3 dg | 4,0 f | 169 a | 11,44 ac | 0,24 ef |
| EXCALIBUR | 4,68 a | 46,8 ab | 1,99 a | 1/4 eg | 5,1 a | 148 cd | 11,44 ac | 0,27 be |
| EXMEN | 4,48 ac | 45,6 bd | 1,86 ac | 30/3 ce | 4,7 bc | 152 cd | 6,53 f | 0,38 a |
| FREGAT | 4,05 ae | 46,0 ac | 1,70 ae | 31/3 cf | 4,3 ef | 146 d | 9,42 ce | 0,28 be |
| HYBRILORD | 4,54 ab | 46,7 ab | 1,93 a | 31/3 cf | 4,3 df | 165 ab | 12,15 ab | 0,25 cf |
| PR45H73 | 3,03 f | 43,1 e | 1,19 f | 6/3 a | 4,0 f | 134 e | 10,62 ad | 0,21 f |
| PR46W14 | 4,48 ac | 45,9 ad | 1,87 ab | 1/4 eg | 4,5 be | 158 bc | 9,87 bd | 0,29 bd |
| PRIMUS | 4,45 ac | 46,3 ac | 1,87 ab | 28/3 b | 4,5 ce | 152 cd | 9,22 cf | 0,31 b |
| PULSAR | 3,81 ce | 45,8 ad | 1,59 be | 29/3 bc | 4,3 df | 148 cd | 8,59 df | 0,29 bc |
| SENSATION | 4,06 ae | 47,3 a | 1,74 ad | 31/3 dg | 4,6 bd | 152 cd | 9,78 bd | 0,28 be |
| TOCCATA | 3,75 de | 45,9 ad | 1,57 ce | 31/3 dg | 4,8 b | 158 bc | 10,28 ad | 0,25 cf |
| ZOOM | 4,22 ad | 46,0 ac | 1,77 ac | 2/4 g | 4,2 ef | 146 d | 9,53 be | 0,29 be |
| NK TECNIC | 4,21 ad | 44,4 de | 1,70 ae | 1/4 eg | 4,5 be | 154 cd | 7,00 ef | 0,36 a |
| Medie | 4,07 | 45,9 | 1,70 | 29/3 | 4,4 | 152 | 10,01 | 0,28 |
| C.V. % | 8,58 | 1,8 | 9,02 | 1,0 | 3,6 | 3,7 | 13,66 | 9,74 |

Secondo anno -Colza - Cassibile

Come nella precedente annata le produzioni in granella ed olio sono state scarse, le più basse dell'intera sperimentazione, mentre il tenore in olio riscontrato è risultato intermedio fra quello dei restanti due ambienti (Tabella 16). Primus ha ottenuto la migliore resa, da cui non si è differenziata Zoom, entrambe sfiorando le 2 t/ha, mentre Fregat, che l'anno precedente era risultata la migliore, insieme a DK Expower e Albatros non hanno raggiunto la tonnellata. Sensation ha fatto registrare il tenore in olio più alto (46,3%), PR45H73 il più basso, con uno scarto di 4,4 punti. La graduatoria per la resa in olio teorica ha ricalcato quella per il seme, ma nessuna accessione ha raggiunto la soglia della tonnellata. La fioritura delle piante si è prolungata per il periodo più lungo fra gli ambienti: 20 giorni hanno infatti separato la più precoce a raggiungere l'antesi (PR45H73) dalla più tardiva (DC2949). Toccata ha fatto rilevare il più alto peso medio dei semi, Zoom il più basso, con uno scarto di 14 mg tra le due. L'altezza delle piante è risultata molto contenuta, quasi 25 cm in meno delle altre due località, con PR45H73 che ha di poco superato il metro e la sola Toccata che ha superato il metro e mezzo. Conseguentemente alla scarse produzioni il quantitativo di residui rilasciato ha assunto proporzioni minime, circa la metà di quanto ottenuto al Nord e meno di due volte e mezzo quanto realizzato al Centro. Zoom ne ha prodotto maggiormente in assoluto con altre sette cultivar che hanno superato le 4 t/ha. Al contrario l'harvest index ha raggiunto valori superiori agli altri ambienti, con 10 valori al di sopra dello 0,3.

Tabella 16: caratteri morfo fenologici e produttivi di varietà di colza in prova a Cassibile (SR) nel 2012

| Varietà | Prod. granella 9% di um. (t ha ⁻¹) | Olio s.s. | | Inizio fioritura (data) | Peso 1000 semi (g) | Altezza (cm) | Prod. residui s.s. (t ha ⁻¹) | Harvest index |
|---------------|--|---------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------|--------------|--|---------------|
| | | contenuto (%) | produzione (t ha ⁻¹) | | | | | |
| ALBATROS | 0,99 gh | 46,0 a | 0,41 ik | 9/4 b | 4,0 cd | 116 df | 3,11 fg | 0,28 dg |
| ARTOGA | 1,15 eg | 45,3 a | 0,47 fj | 9/4 b | 4,1 bc | 130 bf | 3,49 df | 0,31 ae |
| DC 2938 | 1,23 df | 44,3 a | 0,49 ei | 1/4 ab | 3,6 fg | 118 cf | 3,95 be | 0,32 ad |
| DC2949 | 0,97 gh | 44,5 a | 0,39 jk | 12/4 b | 3,7 eg | 122 bf | 3,37 eg | 0,32 ad |
| DK | | | | | | | | |
| EXPOWER | 1,10 fh | 45,3 a | 0,45 gk | 9/4 b | 3,5 g | 142 ac | 3,77 cf | 0,24 g |
| EXAGONE | 1,37 d | 44,2 ab | 0,55 df | 9/4 b | 3,7 eg | 133 ae | 4,16 ae | 0,29 eg |
| EXCALIBUR | 1,29 df | 45,1 a | 0,53 eg | 10/4 b | 4,3 b | 126 bf | 3,55 df | 0,32 ad |
| EXMEN | 1,24 df | 45,3 a | 0,51 eh | 7/4 b | 4,3 b | 138 ae | 3,09 fg | 0,34 ab |
| FREGAT | 0,91 h | 45,5 a | 0,38 k | 10/4 b | 4,3 b | 125 bf | 2,53 g | 0,28 dg |
| HYBRILORD | 1,68 bc | 45,1 a | 0,69 bc | 10/4 b | 3,9 ce | 142 ac | 4,81 a | 0,27 eg |
| PR45H73 | 1,14 eg | 41,9 b | 0,43 hk | 23/3 a | 3,6 eg | 106 f | 3,78 cf | 0,26 fg |
| PR46W14 | 1,70 bc | 44,8 a | 0,69 bc | 9/4 b | 3,8 df | 135 ae | 4,58 ac | 0,30 bf |
| PRIMUS | 1,91 a | 44,8 a | 0,78 a | 9/4 b | 3,8 de | 133 ae | 4,21 ad | 0,33 ac |
| PULSAR | 1,64 bc | 44,0 ab | 0,65 c | 9/4 b | 3,7 eg | 114 ef | 4,75 ab | 0,32 ad |
| SENSATION | 1,33 de | 46,3 a | 0,56 de | 7/4 b | 4,2 bc | 139 ad | 3,54 df | 0,26 fg |
| TOCCATA | 1,36 d | 44,2 ab | 0,55 df | 9/4 b | 4,6 a | 157 a | 4,21 ad | 0,28 dg |
| ZOOM | 1,82 ab | 45,1 a | 0,75 ab | 10/4 b | 3,2 h | 145 ab | 4,86 a | 0,32 ad |
| NK TECNIC | 1,55 c | 44,0 ab | 0,62 cd | 8/4 b | 4,1 bc | 139 ad | 4,10 ae | 0,35 a |
| Medie | 1,35 | 44,8 | 0,55 | 8/4 | 3,9 | 131 | 3,88 | 0,30 |
| C.V. % | 7,73 | 2,7 | 8,32 | 6,9 | 3,7 | 4,4 | 11,03 | 7,86 |

Valutazione varietale - Brassica carinata

Le condizioni meteorologiche dell'annata 2011-2012 non si sono dimostrate particolarmente confacenti alla coltura: l'inverno rigido con un lungo periodo di copertura nevosa, che comunque ha protetto la vegetazione da drastici danni da freddo, ha consentito i peggiori risultati produttivi dell'ultimo quadriennio di prove, con uno scarto negativo del 29% e del 45% rispetto al 2011, del 23 e 35%, rispetto al 2010 e del 23 e 33%, relativamente al 2009, rispettivamente per granella e olio. CT 180 ha ottenuto le migliori rese (Tabella 17), inferiori di un terzo per la granella e addirittura pari ad un terzo per l'olio prodotti dal colza. Oltre alla congenita inferiorità produttiva gioca un ruolo determinante nelle deficitarie prestazioni della B. carinata il suo scarso contenuto in sostanza grassa nei semi che nel 2012 non ha raggiunto mediamente il 30%, discostandosi dal valore medio del colza di quasi 17 punti percentuali. La pianta per il resto ha mostrato una più spiccata tardività (quasi un mese di ritardo nell'entrata in fioritura), una inferiore dimensione delle piante (con circa 10 cm di differenza), anche se con il medesimo peso medio dei semi. La produzione vegetativa media non si è discostata di molto da quella dell'altra brassicacea in prova, anche se il confronto fra le migliori varietà per questo carattere mostrano un vantaggio per il colza di circa 2 t ha⁻¹; in ogni caso ciò sta ad indicare che la stagione per la coltura non è decorsa del tutto favorevolmente. I due ultimi caratteri della tabella hanno evidenziato differenze significative tra le varietà, ma mentre la quantità di residui si è avvicinata a quella del colza, l'indice di raccolta ha evidenziato valori pari alla metà di quelli dell'altra specie, fatto imputabile prevalentemente alle ridotte rese in granella.

Tabella 17: caratteri morfo fenologici e produttivi di varietà di B. carinata in prova ad Osimo nel 2012

| Varietà | Prod. granella 9% di um. (t ha ⁻¹) | Olio s.s. | | Inizio fioritura (data) | Durata ciclo em. - mat. (d) | Altezza pianta (cm) | Peso 1000 semi (g) | Prod. strame s.s. (t ha ⁻¹) | Harvest index |
|---------------|--|---------------|----------------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------|---|---------------|
| | | contenuto (%) | produzione (t ha ⁻¹) | | | | | | |
| CT 207 | 1,68 c | 28,1 | 0,43 b | 27/4 c | 218 c | 155 a | 4,1 b | 8,92 | 0,15 |
| CT 180 | 2,72 a | 29,5 | 0,73 a | 22/4 a | 219 c | 130 b | 4,3 b | 11,28 | 0,18 |
| CT 204 | 2,12 bc | 28,9 | 0,56 ab | 27/4 c | 222 b | 136 ab | 4,3 b | 10,50 | 0,15 |
| ISCI 7 | 2,24 ab | 30,6 | 0,62 a | 24/4 b | 223 a | 152 a | 4,7 a | 10,94 | 0,16 |
| Medie | 2,19 | 29,3 | 0,58 | 25/4 | 220 | 143 | 4,4 | 10,41 | 0,16 |
| C.V. % | 11,88 | 3,5 | 14,42 | 0,7 | 0,2 | 7,0 | 3,9 | 24,31 | 21,13 |

Confronto fra epoche di semina - Fiume Veneto

L'effetto del genotipo (Tabella 18) si è evidenziato a livello di inizio fioritura e produzione dei residui: per il primo Albatros ha evidenziato un anticipo dell'antesi di 4 giorni, mentre Primus un rilascio di residui colturali superiore del 8%.

L'effetto delle epoche di impianto (Tabella 19) di è manifestato sull'inizio della fioritura con un vantaggio decrescente col progredire della stagione di semina. Sia il peso dei semi che l'investimento rilevato al momento della raccolta hanno visto prevalere l'impianto più anticipato, anche se nel primo caso senza differenze statistiche con la data intermedia.

I dati produttivi e l'altezza (Tabella 20) sono stati influenzati contestualmente dai due fattori di indagine (epoca x varietà).

Per la produzione in seme e olio le prime due epoche di semina hanno sortito i migliori risultati con Albatros, mentre per il contenuto di olio non si sono registrate differenze con

Primus in epoca anticipata; risultati simili, invece, si sono ottenuti con entrambe le varietà in epoca ritardata. Un andamento analogo si è osservato riguardo l'altezza e l'harvest index che ha presentato valori oscillanti tra i 49-51 e 37-38.

Tabella 18: effetto delle varietà di colza sulla data di inizio fioritura e sulla produzione di residui colturali (Fiume veneto)

| Varietà | Inizio fioritura (d) | Produzione residui s.s. (tha ⁻¹) |
|--------------|----------------------|--|
| ALBATROS | 18/4 a | 2,46 b |
| PRIMUS | 22/4 b | 2,68 a |
| Media | 20/4 | 2,57 |
| CV% | 0,7 | 7,96 |

Tabella 19: effetto delle epoche di semina sulla data di inizio fioritura, sul peso dei semi e sulla densità finale in colza (Fiume veneto)

| Epoche di semina (data) | Inizio fioritura (d) | Peso 1000 semi (g) | Investimento alla raccolta (n. m ⁻²) |
|-------------------------|----------------------|--------------------|--|
| 26-set | 16/4 a | 4,2 ab | 30,5 a |
| 05-ott | 20/4 b | 4,4 a | 22,3 b |
| 17-ott | 25/4 c | 3,9 b | 17,2 b |
| Media | 20/4 | 4,2 | 23,3 |
| CV% | 0,7 | 4,2 | 17,2 |

Tabella 20: effetto dell'interazione varietà x epoca di semina sui caratteri produttivi e sull'altezza delle piante di colza (Fiume Veneto)

| Genotipi | Prod.seme 9% um. (t ha ⁻¹) | | | Contenuto olio (%) | | | Prod. olio s.s. (t ha ⁻¹) | | |
|--------------|--|--------|--------|--------------------|--------|--------|---------------------------------------|--------|--------|
| | 26-set | 05-ott | 17-ott | 26-set | 05-ott | 17-ott | 26-set | 05-ott | 17-ott |
| ALBATROS | 2,81a | 2,69a | 1,56c | 45,8a | 45,3a | 43,3b | 1,17a | 1,11a | 0,61c |
| PRIMUS | 2,23b | 1,78c | 1,85bc | 45,4a | 42,9b | 44,0b | 0,92b | 0,70c | 0,74c |
| Media | 2,15 | | | 44,5 | | | 0,88 | | |
| CV% | 9,84 | | | 1,5 | | | 10,79 | | |
| Genotipi | Altezza (cm) | | | Harvest index | | | | | |
| | 26-set | 05-ott | 17-ott | 26-set | 05-ott | 17-ott | | | |
| ALBATROS | 153a | 152a | 137c | 0,51a | 0,49ab | 0,37c | | | |
| PRIMUS | 150a | 145b | 140c | 0,44bc | 0,37c | 0,38c | | | |
| Media | 146 | | | 0,43 | | | | | |
| CV% | 1,6 | | | 8,56 | | | | | |

Confronto fra epoche di semina - Osimo

Albatros è risultata la varietà più produttiva e vigorosa, ottenendo i valori più alti in tutti i caratteri esaminati (Tabella 23), ad eccezione della fioritura, dove Primus ha dimostrato maggiore precocità, Indice di produzione, superiore di 5 punti e al contenuto di olio, carattere variabile anche in funzione dell'epoca di semina (Tabella 25), dove comunque ha fatto registrare il tenore migliore in assoluto, ma nell'impianto seminato la seconda decade di ottobre, che non si è differenziato statisticamente da quello di Primus in prima epoca, dove non si sono apprezzate differenze tra i due genotipi.

Non si sono osservate sensibili differenze tra la prima e la seconda epoca di impianto, né dal punto di vista della produzione di seme e olio né per l'altezza delle piante e l'inizio della fioritura (Tabella 24), che in ogni caso hanno fatto registrare risultati superiori a quelli della terza. Sia l'investimento determinato alla raccolta che il peso medio dei semi si

sono avvantaggiati dell'epoca di semina più precoce, anche se nel primo caso senza variazioni statistiche con la terza epoca. Con la seconda epoca di semina il rilascio di residui ha fatto rilevare un volume superiore del 30 e del 27% rispetto alla prima e terza epoca. Conseguentemente l'indice di raccolta (Hi). Il miglior contenuto in olio è stato registrato in seconda epoca con Albatros ed in prima con Primus.

Tabella 21: effetto delle varietà di colza su caratteri produttivi, data di fioritura e altezza delle piante (Osimo)

| Varietà | Prod. seme 9% di um. (t ha ⁻¹) | Produzione olio s.s. (t ha ⁻¹) | Inizio fioritura (d) | Altezza piante (cm) | Peso 1000 semi (g) | Produzione residui s.s. (tha ⁻¹) | Harvest index |
|--------------|--|--|----------------------|---------------------|--------------------|--|---------------|
| ALBATROS | 3,77 a | 1,56 a | 1/4 b | 158,0 a | 4,7 a | 12,26 a | 0,23 b |
| PRIMUS | 3,29 b | 1,34 b | 30/3 a | 139,9 b | 4,4 b | 7,99 b | 0,28 a |
| Media | 3,53 | 1,45 | 31/3 | 148,9 | 4,5 | 10,13 | 0,25 |
| CV% | 8,90 | 9,60 | 1,4 | 3,1 | 3,7 | 15,29 | 9,06 |

Tabella 22: effetto delle epoche di semina su caratteri produttivi, data di fioritura, altezza delle piante, peso dei semi e sulla densità finale in colza (Osimo)

| Epoche di semina (data) | Prod. seme 9% di um. (t ha ⁻¹) | Produzione olio s.s. (t ha ⁻¹) | Altezza piante (cm) | Inizio fioritura (d) | Investimento alla raccolta (n. m ⁻²) | Peso 1000 semi (g) | Produzione residui s.s. (t ha ⁻¹) | Harvest index |
|-------------------------|--|--|---------------------|----------------------|--|--------------------|---|---------------|
| 23-set | 3,96 a | 1,63 a | 152,7 a | 29/3 a | 48,9 a | 4,8 a | 8,70 b | 0,29 a |
| 05-ott | 3,52 ab | 1,45 ab | 152,2 a | 30/3 a | 36,7 b | 4,5 b | 12,53 a | 0,22 b |
| 19-ott | 3,11 b | 1,27 b | 142,0 b | 4/4 b | 41,5 ab | 4,3 b | 9,15 b | 0,25 b |
| Media | 3,53 | 1,45 | 148,9 | 31/3 | 42,3 | 4,5 | 10,13 | 0,25 |
| CV% | 8,90 | 9,60 | 3,1 | 1,4 | 9,6 | 3,7 | 15,29 | 9,09 |

Tabella 23: effetti dell'interazione varietà x epoche di semina sul contenuto in olio dei semi in colza (Osimo)

| Genotipi | Contenuto olio (%) | | |
|--------------|--------------------|--------|--------|
| | 23-set | 05-ott | 19-ott |
| ALBATROS | 45,2 b | 46,2 a | 45,3 b |
| PRIMUS | 45,5 ab | 44,4 c | 43,9 c |
| Media | 45,1 | | |
| CV% | 0,9 | | |

Confronto fra epoche di semina - Cassibile.

In questo ambiente, dove non si sono verificati effetti di interazione genotipo x epoca di semina, Primus ha ottenuto risultati produttivi superiori ad Albatros, iniziando anche prima a fiorire (Tabella 24). La semina ricadente nella prima decade di ottobre ha consentito le migliori rese in seme e olio, un anticipo di 6-7 giorni sull'inizio della fioritura, un Harvest index più alto e una taglia delle piante più ridotta, anche se, in questi due ultimi casi, senza differenze rispetto all'epoca successiva (Tabella 25).

Tabella 24: effetti delle varietà di colza su produzione in seme e olio, data di fioritura e peso dei semi (Cassibile)

| Varietà | Prod. seme 9% di um. (t ha ⁻¹) | Produzione olio s.s. (t ha ⁻¹) | Inizio fioritura (d) | Peso 1000 semi (g) |
|--------------|--|--|----------------------------|--------------------------|
| ALBATROS | 1,30 b | 0,54 b | 9/4 b | 3,9 a |
| PRIMUS | 1,59 a | 0,65 a | 5/4 a | 3,4 a |
| Media | 1,45 | 0,60 | 7/4 | 3,7 |
| CV% | 13,75 | 14,36 | 1,2 | 9,4 |

Tabella 25: effetti delle epoche di impianto su caratteri produttivi, altezza delle piante e data di fioritura in colza (Cassibile)

| Epoche di semina (data) | Prod. seme 9% di um. (t ha ⁻¹) | Produzione olio s.s. (t ha ⁻¹) | Altezza piante (cm) | Inizio fioritura (d) | Harvest index |
|-------------------------------|--|--|------------------------|-------------------------|---------------|
| 10-ott | 1,75 a | 0,73 a | 118,4 b | 3/4 a | 0,34 a |
| 19-ott | 1,35 b | 0,56 b | 119,6 b | 10/4 b | 0,31 ab |
| 07-nov | 1,24 b | 0,50 b | 129,0 a | 9/4 b | 0,28 b |
| Media | 1,45 | 0,60 | 122,3 | 7/4 | 0,31 |
| CV% | 13,75 | 14,36 | 5,7 | 1,2 | 8,30 |

Confronto fra dosi di concime azotato - Fiume Veneto

Albatros ha dimostrato una maggiore vigoria (Tabella 26) con una taglia delle piante superiore di quasi 14 cm, ha evidenziato una superiore resa teorica in olio mentre ha rilasciato circa il 20% in meno di residui colturali, con conseguente superiore valore dell'indice di produzione. La concimazione azotata (Tabella 27) ha influito condizionando la produzione di biomassa totale ed il contenuto di olio: non si sono apprezzate variazioni statisticamente significative tra le due dosi di azoto per la produzione di seme, la produzione di residui ha mostrato una crescita lineare all'aumentare dell'elemento somministrato, in senso diametralmente opposto a quanto evidenziato per il tenore in olio e il H.i.

Tabella 26: effetto medio delle varietà su altezza e caratteri produttivi in colza (Fiume Veneto)

| Genotipi | Altezza piante (cm) | Produzione olio s.s. (t ha ⁻¹) | Produzione residui s.s. (t ha ⁻¹) | Harvest index |
|--------------|---------------------------|--|--|------------------|
| ALBATROS | 159,4 a | 1,16 a | 2,63 b | 0,50 a |
| PRIMUS | 145,9 b | 1,02 b | 3,35 a | 0,42 b |
| Media | 152,7 | 1,09 | 2,99 | 0,46 |
| CV% | 3,5 | 12,21 | 20,91 | 8,84 |

Tabella 27: effetto medio delle dosi di azoto sui caratteri produttivi in colza (Fiume Veneto)

| Dosi di azoto (kg ha ⁻¹) | Prod. seme 9% di um. (t ha ⁻¹) | Contenuto olio s.s. (%) | Produzione residui s.s. (t ha ⁻¹) | Harvest index |
|---|--|-------------------------------|--|------------------|
| 0 | 2,39 b | 46,7 a | 2,32 b | 0,49 a |
| 75 | 2,87 a | 45,6 ab | 3,08 ab | 0,46 ab |
| 150 | 2,77 a | 42,2 b | 3,58 a | 0,42 b |
| Media | 2,67 | 44,8 | 2,99 | 0,46 |
| CV% | 9,70 | 4,7 | 20,91 | 8,84 |

Confronto fra dosi di concime azotato - Osimo

Anche nella località marchigiana Albatros ha denotato una maggiore taglia delle piante (Tabella 28) che si è tradotta in un conseguente maggiore quantitativo di residui colturali. L'altezza è stata influenzata anche dalla concimazione azotata che alla dose massima ha fatto raggiungere mediamente il metro e sessanta cm (Tabella 29). Per la produzione di seme ed il contenuto in olio si è osservato lo stesso andamento del Nord Italia, mentre la resa teorica in olio e il H.i. hanno in questo caso presentato lo stesso andamento del precedente carattere produttivo.

Riguardo agli effetti combinati della varietà e delle dosi di azoto, Primus ha mostrato la maggiore precocità in fioritura alla dose più bassa e sul non concimato, Albatros è risultata più tardiva, ma specialmente alla dose massima (Tabella 30). Primus ha evidenziato il peso più basso del seme alla dose intermedia, senza differenziarsi dalle altre tesi tranne che da quello di Albatros con lo stesso quantitativo di azoto.

Tabella 28: effetto delle varietà su altezza e produzione di residui in colza a Osimo

| Genotipi | Altezza piante (cm) | Produzione e residui s.s. (t ha ⁻¹) |
|--------------|---------------------|---|
| ALBATROS | 158,0 a | 9,37 a |
| PRIMUS | 147,9 b | 7,62 b |
| Media | 152,9 | 8,49 |
| CV% | 3,4 | 10,67 |

Tabella 29: effetto medio delle dosi di azoto sui caratteri produttivi ed altezza delle piante in colza a Osimo

| Dosi di azoto (kg ha ⁻¹) | Prod. seme 9% di um. (t ha ⁻¹) | Contenuto olio s.s. (%) | Produzione olio s.s. (t ha ⁻¹) | Altezza piante (cm) | Harvest index |
|--------------------------------------|--|-------------------------|--|---------------------------------|---------------|
| 0 | 2,19 b | 47,8 a | 0,95 b | 149,2 b | 0,24 b |
| 75 | 3,32 a | 47,5 ab | 1,44 a | 151,8 ^a _b | 0,30 a |
| 150 | 3,59 a | 46,5 b | 1,52 a | 157,8 a | 0,32 a |
| Media | 3,03 | 47,2 | 1,30 | 152,9 | 0,29 |
| CV% | 8,48 | 1,7 | 8,87 | 3,4 | 8,78 |

Tabella 30: effetto dell'interazione varietà x dosi di azoto su fioritura e peso dei semi in colza a Osimo

| Genotipi | Inizio fioritura (d) | | | Peso 1000 semi (g) | | |
|--------------|----------------------|--------|--------|--------------------|-------|--------|
| | 0 | 75 | 150 | 0 | 75 | 150 |
| ALBATROS | 31/3 c | 2/4 d | 1/4 d | 4,2 ab | 4,6 a | 4,3 ab |
| PRIMUS | 27/3 a | 27/3 a | 29/3 b | 4,5 ab | 4,1 b | 4,3 ab |
| Media | 30/3 | | | 4,4 | | |
| CV% | 0,7 | | | 5,5 | | |

Confronto fra dosi di concime azotato - Cassibile

Nell'ambiente meridionale Primus, la varietà più precoce, ha spuntato le migliori produzioni (Tabella 31). La concimazione azotata (Tabella 32) ha consentito i migliori risultati produttivi alla dose massima, con un gradiente crescente linearmente a partire dalla non concimazione; ha altresì condizionato in egual misura l'altezza delle piante e negativamente, in senso opposto, il contenuto in olio dei semi. La dose intermedia di azoto ha evidenziato un ritardo di tre giorni rispetto alle altre due; i migliori indici di produzione si sono realizzati con la somministrazione di azoto, indipendentemente dalla dose. L'unico carattere influenzato dal contemporaneo effetto di genotipo e azoto è stato il peso dei 1000 acheni (Tabella 33), risultato statisticamente differente da tutti gli altri in Albatros alla dose massima di concimazione.

Tabella 31: effetto delle varietà su data di fioritura e produzione in colza a Cassibile

| Genotipi | Inizio fioritura (d) | Prod. seme 9% di um. (t ha ⁻¹) | Produzione olio s.s. (t ha ⁻¹) | Produzione residui s.s. (t ha ⁻¹) |
|--------------|----------------------|--|--|---|
| ALBATROS | 26/2 a | 0,61 b | 0,25 b | 1,39 b |
| PRIMUS | 24/2 b | 0,76 a | 0,31 a | 1,80 a |
| Media | 25/2 | 0,69 | 0,28 | 1,59 |
| CV% | 2,1 | 15,71 | 17,15 | 16,02 |

Tabella 32: effetto delle dosi di azoto su altezza, fioritura e caratteri produttivi ed altezza delle piante in colza a Cassibile

| Dosi di azoto (kg ha ⁻¹) | Inizio fioritura (d) | Prod. seme 9% di um. (t ha ⁻¹) | Contenuto olio s.s. (%) | Produzione olio s.s. (t ha ⁻¹) | Altezza piante (cm) | Produzione residui (t ha ⁻¹) | Harvest index |
|--------------------------------------|----------------------|--|-------------------------|--|---------------------|--|---------------|
| 0 | 24/2 a | 0,14 c | 46,5 a | 0,06 c | 95,2 c | 0,56 c | 0,19 b |
| 75 | 27/2 b | 0,71 b | 45,7 b | 0,30 b | 125,2 b | 1,64 b | 0,29 a |
| 150 | 24/2 a | 1,21 a | 44,3 c | 0,49 a | 134,7 a | 2,58 a | 0,30 a |
| Media | 25/2 | 0,69 | 45,5 | 0,28 | 118,3 | 1,59 | 0,26 |
| CV% | 2,1 | 15,71 | 1,6 | 17,15 | 6,1 | 16,02 | 7,72 |

Tabella 33: effetto dell'interazione varietà x dosi di azoto sul peso dei semi in colza a Cassibile

| Genotipi | Peso 1000 semi (g) | | |
|--------------|--------------------|--------|--------|
| | 0 | 75 | 150 |
| ALBATROS | 2,19 c | 3,57 b | 4,23 a |
| PRIMUS | 2,59 c | 3,35 b | 3,75 b |
| Media | 3,28 | | |
| CV% | 7,63 | | |

Valutazione varietale - Girasole

In considerazione degli andamenti climatici, come atteso, gli ambienti si sono differenziati sensibilmente quanto a potenzialità produttiva e caratterizzazione morfo-fenologica delle varietà. Il decorso stagionale è stato caratterizzato da temperature quasi sempre al di sopra della media poliennale. Ad Osimo le precipitazioni sono risultate molto scarse nel periodo estivo e più abbondanti della norma ad aprile, maggio e settembre. Simile è stato l'andamento verificatosi in Friuli, con scostamenti dalla media meno marcati. In Sicilia le precipitazioni sono risultate deficitarie durante tutto il ciclo colturale rendendo indispensabile il soccorso irriguo nei due momenti di maggiore fabbisogno (prefioritura e riempimento degli acheni).

I risultati medi degli effetti delle località sono riportati in tabella 34. Nonostante le condizioni climatiche non proprio favorevoli a Osimo si sono raggiunti i valori superiori in quasi tutti i caratteri considerati, ad eccezione della superficie della calatide, risultata maggiore a Palazzolo e il peso dei semi, a Cassibile; non si sono apprezzate differenze fra località nel contenuto in olio e per conseguenza nella resa in olio fra gli ambienti del Nord e Centro, così come per l'indice di raccolta alla cui diversificazione ha contribuito prevalentemente la scarsa produzione di acheni in Sicilia.

Tabella 34: Caratteristiche produttive, fenologiche e biometriche di ibridi di girasole a confronto nelle 3 località.

| Varietà | Prod. acheni al 9% di um. (t ha ⁻¹) | Olio s.s. | | Data di fioritura (d) | Semina - maturazione (d) | Altezza pianta (cm) | Area calatide (cm ²) | Peso 1000 (g) | Produzione residui s.s. (t ha ⁻¹) | Harvest index |
|----------------|---|---------------|----------------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------|---|---------------|
| | | contenuto (%) | produzione (t ha ⁻¹) | | | | | | | |
| Palazzolo (UD) | 2,44 b | 46,2 a | 1,13 a | 12/7 c | 122 b | 163 b | 264 a | 43,0 b | 5,45 b | 0,31 a |
| Osimo (AN) | 2,79 a | 46,7 a | 1,19 a | 22/6 a | 121 a | 171 a | 225 b | 41,1 b | 5,74 a | 0,31 a |
| Cassibile (SR) | 2,18 c | 46,3 a | 0,92 b | 4/7 b | 129 c | 120 c | 172 c | 52,7 a | 4,77 c | 0,29 b |
| Medie | 2,62 | 46,4 | 1,16 | 2/7 | 122 | 167 | 245 | 42,0 | 5,60 | 0,31 |
| C.V. % | 12,5 3 | 3,1 | 12,8 6 | 0,6 | 1,0 | 5,1 | 12, 2 | 9,3 | 11,7 7 | 6,29 |

Valutazione varietale - Girasole - Palazzolo

Doriana, uno dei due testimoni convenzionali, ha ottenuto la migliore produzione in acheni ed olio (Tabella 35). Ad esso si sono affiancati, per la resa in acheni, con produzioni non differenti statisticamente, LG 56.56 HO e PR64H41, tutte con valori superiori alle 3 t/ha. Il contenuto in olio è risultato relativamente basso: PR64H41 ha evidenziato il tenore più elevato fra gli alto oleici (48,6%). In virtù di ciò nessuna delle varietà in valutazione ha eguagliato la resa in olio del migliore testimone; solo Inotop ha fatto registrare una produzione inferiore ad una t/ha, al pari dell'altro testimone (Sillouet).

Le varietà sono risultate abbastanza uniformi per precocità, mostrando uno scarto di 4 e 6 giorni fra i valori estremi di fioritura e ciclo (semina – maturazione).

Mas 89.OL ha evidenziato la taglia superiore con 21 cm più di Sillouet, la più bassa. La stessa ha anche raggiunto la maggiore dimensione del capolino, mentre DKF 2727 il maggior peso medio dei semi. Ben 9 ibridi su 13 hanno evidenziato un indice di raccolta pari o superiore a 0,3, con Inotop che ha raggiunto il valore più alto; ciò è imputabile prevalentemente alla esiguità dei residui colturali rilasciati data la scarsa resa in acheni.

Valutazione varietale - Girasole - Osimo

LG 55.57 ha raggiunto la maggior produzione in acheni superando, da solo, le 3 t/ha; ad esso si sono affiancati altri sette ibridi alto oleico, oltre che Doriana (Tabella 36).

La graduatoria per la resa in olio ricalca pedissequamente la precedente con l'aggiunta di Mas 89.OL che entra nel gruppo dei più produttivi grazie al migliore tenore in olio evidenziato.

Ad Osimo si è realizzata la massima differenziazione varietale per la precocità con 10 giorni di intervallo tra la prima cultivar a fiorire, Inotop e l'ultima, DKF 3333 e 16 giorni tra quelle a ciclo più breve, ancora Inotop e LG 55.57, la più tardiva. Quest'ultima, superando il metro e ottanta cm è risultata la più alta, NK Camen con 17 cm in meno, la più bassa.

Molto vario il peso medio degli acheni oscillante tra i 32,2 mg di PR64H41 e i 58 di Inotop.

Più uniforme la dimensione delle calatidi, mentre otto ibridi alto oleico, a differenza dei testimoni, hanno presentato un indice di raccolta pari o superiore a 0,3.

SOTTOPROGETTO MATERIE PRIME

Tabella 35: Caratteristiche produttive, fenologiche e biometriche degli ibridi di girasole a confronto a Palazzolo (UD) nel 2012

| Varietà | Prod. acheni al 9% di um. (t ha ⁻¹) | Olio s.s. | | Data di fioritura (d) | Semina - maturazione (d) | Altezza pianta (cm) | Peso 1000 (g) | Area calatide (cm ²) | Produzione residui s.s. (t ha ⁻¹) | Harvest index |
|---------------|--|-------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------|-------------------------------------|--|---------------|
| | | contenuto | produzione | | | | | | | |
| | | (%) | (t ha ⁻¹) | | | | | | | |
| DKF 2727 | 2,60ce | 45,5 e | 1,08 ce | 14/7 de | 124 gh | 155 ef | 54,8 a | 247 ce | 4,94 bd | 0,32 ac |
| Doriana | 3,32a | 49,6 a | 1,50 a | 13/7 ce | 122 ce | 170 ac | 45,7 b | 253 ce | 7,45 a | 0,29 de |
| LG 55.57 | 2,57ce | 44,6 ef | 1,04 ce | 14/7 de | 121 bd | 166 ae | 45,3 b | 234 de | 5,82 bc | 0,29 de |
| HO | 2,68bd | 44,8 ef | 1,09 cd | 11/7 ab | 124 gh | 173 ab | 45,0 b | 237 de | 5,29 bc | 0,32 bd |
| Mas 85.OL | 2,34de | 47,6 c | 1,01 de | 11/7 ab | 120 bc | 174 a | 43,4 bc | 383 a | 5,02 bd | 0,30 cd |
| Mas 89.OL | | | | | | | | | | |
| NK Camen | 2,68bd | 46,7 d | 1,14 cd | 13/7 ce | 124 fh | 157 df | 42,6 bc | 300 bc | 4,74 cd | 0,34 ab |
| Pacific | 2,61ce | 45,2 e | 1,07 ce | 12/7 bd | 122 df | 163 bf | 42,6 bc | 205 e | 6,00 bc | 0,29 de |
| PR64H41 | 2,73bc | 45,5 e | 1,13 cd | 12/7 ac | 120 ab | 162 cf | 42,4 bd | 255 ce | 5,39 bc | 0,31 bd |
| Sillouet | 2,39ce | 45,5 e | 0,99 de | 12/7 bd | 122 de | 153 f | 42,1 bd | 248 ce | 6,16 b | 0,26 e |
| DKF3333 | 2,62ce | 47,9 bc | 1,14 cd | 14/7 e | 124 h | 164 af | 40,2 cd | 264 cd | 5,27 bc | 0,31 bd |
| Inotop | 2,25e | 44,6 ef | 0,91 e | 10/7 a | 118 a | 158 df | 39,4 cd | 253 ce | 3,84 d | 0,35 a |
| LG 56.56 | 3,02ab | 43,9 f | 1,20 bc | 14/7 de | 122 de | 167 ad | 38,2 d | 240 de | 5,62 bc | 0,33 ac |
| HO | 3,02ab | 48,6 b | 1,33 b | 12/7 bd | 123 eg | 159 df | 38,1 d | 317 b | 5,32 bc | 0,34 ab |
| PR64H31 | | | | | | | | | | |
| Medie | 2,68 | 46,2 | 1,13 | 12/7 | 122 | 163 | 43,0 | 264 | 5,45 | 0,31 |
| C.V. % | 7,24 | 1,1 | 7,64 | 0,5 | 0,7 | 3,6 | 5,2 | 10,4 | 12,66 | 5,33 |

Tabella 36: Caratteristiche produttive, fenologiche e biometriche degli ibridi di girasole a confronto ad Osimo (AN) nel 2012

| Varietà | Prod. acheni al 9% di um. (t ha ⁻¹) | Olio s.s. | | Data di fioritura (d) | Semina - maturazione (d) | Altezza pianta (cm) | Peso 1000 (g) | Area calatide (cm ²) | Produzione residui s.s. (t ha ⁻¹) | Harvest index |
|---------------|--|--------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------|-------------------------------------|--|---------------|
| | | contenuto | produzione | | | | | | | |
| | | (%) | (t ha ⁻¹) | | | | | | | |
| DKF 2727 | 2,92 ad | 46,97 a | 1,24 ab | 23/6 bd | 119 bc | 179 ab | 43,7 b | 220 bd | 5,67 bc | 0,32 bc |
| Doriana | 2,96 ac | 46,54 ab | 1,25 ab | 25/6 e | 124 de | 174 ac | 44,3 b | 210 bd | 6,50 ab | 0,29 ce |
| LG 55.57 | 3,14 a | 46,44 ab | 1,33 a | 23/6 bd | 131 f | 181 a | 45,0 b | 262 a | 7,04 a | 0,29 ce |
| HO | 2,37 e | 47,54 a | 1,02 c | 22/6 bc | 119 bc | 177 ab | 33,7 cd | 211 bd | 5,21 c | 0,29 ce |
| Mas 85.OL | 2,57 be | 48,14 a | 1,13 ac | 23/6 bd | 121 bc | 173 ad | 42,1 bc | 187 d | 5,95 ac | 0,28 de |
| Mas 89.OL | | | | | | | | | | |
| NK Camen | 2,98 ab | 46,15 ab | 1,25 ab | 22/6 b | 125 e | 164 eg | 36,9 bd | 260 a | 4,81 c | 0,36 a |
| Pacific | 2,50 de | 43,95 b | 1,00 c | 22/6 b | 120 bc | 165 dg | 37,1 bd | 235 ac | 5,62 bc | 0,29 ce |
| PR64H41 | 2,83 ad | 46,42 ab | 1,19 ac | 22/6 b | 118 ab | 168 cf | 40,2 bd | 217 bd | 5,69 bc | 0,31 bd |
| Sillouet | 2,54 ce | 46,15 ab | 1,06 bc | 25/6 e | 121 bc | 160 fg | 37,0 bd | 272 a | 6,44 ab | 0,26 e |
| DKF3333 | 2,89 ad | 47,23 a | 1,24 ab | 26/6 e | 121 c | 177 ab | 40,5 bd | 206 cd | 6,03 ac | 0,30 bd |
| Inotop | 2,89 ad | 47,43 a | 1,25 ab | 16/6 a | 115 a | 172 be | 58,0 a | 186 d | 4,81 c | 0,35 a |
| LG 56.56 | 2,93 ad | 46,61 ab | 1,24 ab | 23/6 d | 122 cd | 180 ab | 42,9 b | 247 ab | 5,60 bc | 0,32 b |
| HO | 2,79 ae | 47,15 a | 1,20 ac | 23/6 cd | 120 bc | 156 g | 32,2 d | 217 bd | 5,30 bc | 0,32 b |
| PR64H31 | | | | | | | | | | |
| Medie | 2,79 | 46,67 | 1,19 | 22/6 | 121 | 171 | 41,1 | 225 | 5,74 | 0,31 |
| C.V. % | 7,99 | 3,05 | 8,81 | 0,3 | 1,4 | 2,7 | 11,6 | 9,3 | 10,7 5 | 5,23 |

Valutazione varietale - Girasole - Cassibile

In Sicilia (Tabella 37) la differenziazione varietale è stata ancora meno evidente: tre sole varietà, Mas 89.OL, Pacific, si sono diversificate dalle migliori, guidate da LG 55.56 HO, per la resa in acheni, rimanendo poi solo Pacific e Mas 85.OL nella graduatoria per la resa in olio, questa volta condotta da NK Camen. Mas 89.OL ha infatti fatto rilevare il più alto contenuto in olio (48,48%).

Quattro giorni hanno separato le varietà per la data di fioritura e ciclo colturale: Inotop e PR64H41 sono risultate le più precoci, nell'ordine, per i due caratteri.

DKF 2727, con 131 cm, ha raggiunto la maggiore taglia delle piante; LG 55.57 HO, con 20 cm meno, è stata la più bassa.

Nonostante l'inferiore resa in granella fra tutti gli ambienti di sperimentazione otto ibridi hanno evidenziato un harvest index pari o superiore a 0,3, giustificabile con la scarsità dei residui prodotti.

Tabella 37: Caratteristiche produttive, fenologiche e biometriche degli ibridi di girasole a confronto a Cassibile (SR) nel 2012

| Varietà | Prod. acheni al 9% di um. t ha ⁻¹ | Olio s.s. | | Data di fioritura (d) | Semina - maturazione (d) | Altezza pianta (cm) | Peso 1000 (g) | Area calatide (cm ²) | Produzione residui s.s. t ha ⁻¹ | Harvest index |
|---------------|---|--------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------|-------------------------------------|---|---------------|
| | | contenuto | produzione | | | | | | | |
| | | % | t ha ⁻¹ | | | | | | | |
| DKF 2727 | 2,23 ab | 46,67 ac | 0,94 ab | 6/7 b | 128 ac | 131 a | 59,8 b | 183 ac | 4,43 cd | 0,31 ac |
| Doriana | 2,26 ab | 48,84 a | 1,01 ab | 6/7 b | 131 e | 117 bc | 55,1 bc | 178 ac | 4,61 cd | 0,31 ad |
| LG 55.57 HO | 2,07 ab | 45,61 bd | 0,86 ab | 3/7 ab | 130 ce | 111 c | 46,0 d | 135 c | 4,33 cd | 0,30 ae |
| Mas 85.OL | 1,86 ab | 45,71 bd | 0,78 ab | 5/7 b | 129 bd | 120 ac | 44,1 d | 162 ac | 4,59 cd | 0,27 de |
| Mas 89.OL | 1,77 b | 48,48 ab | 0,78 ab | 6/7 b | 131 de | 125 ab | 49,6 cd | 145 bc | 4,52 cd | 0,26 e |
| NK Camen | 2,40 ab | 48,34 ab | 1,06 a | 4/7 ab | 130 ce | 113 bc | 44,9 d | 164 ac | 4,31 d | 0,33 a |
| Pacific | 1,76 b | 45,93 ad | 0,73 b | 4/7 ab | 129 ac | 123 ac | 44,9 d | 167 ac | 4,27 d | 0,27 de |
| PR64H41 | 2,19 ab | 44,31 cd | 0,88 ab | 4/7 ab | 129 ac | 114 bc | 59,7 b | 202 ab | 4,59 cd | 0,30 ae |
| Sillouet | 2,03 ab | 46,74 ac | 0,87 ab | 4/7 ab | 129 ac | 124 ac | 47,5 cd | 192 ab | 4,77 bd | 0,28 ce |
| DKF3333 | 2,35 ab | 48,18 ab | 1,03 ab | 4/7 ab | 128 ab | 121 ac | 50,5 cd | 180 ac | 5,91 a | 0,26 e |
| Inotop | 2,48 ab | 43,55 d | 0,98 ab | 2/7 a | 130 ce | 125 ab | 82,3 a | 218 a | 4,78 bd | 0,32 ab |
| LG 56.56 HO | 2,58 a | 44,75 cd | 1,05 ab | 5/7 b | 131 e | 120 ac | 50,3 cd | 155 bc | 5,66 ab | 0,29 be |
| PR64H31 | 2,43 ab | 45,13 cd | 1,00 ab | 4/7 ab | 127 a | 112 bc | 50,5 cd | 159 bc | 5,30 ac | 0,29 be |
| Medie | 2,18 | 46,33 | 0,92 | 4/7 | 129 | 120 | 52,7 | 172 | 4,77 | 0,29 |
| C.V. % | 16,74 | 3,36 | 17,70 | 0,8 | 0,7 | 5,5 | 7,9 | 16,7 | 10,4 | 7,00 |

Confronto fra tre dosi di concime azotato e tre livelli di restituzione idrica (Osimo - Cassibile)

Come atteso le località hanno inciso significativamente interagendo con i tre fattori (varietà, concimazione, irrigazione) e influenzando in maniera differente quasi tutti i caratteri in esame e tutti quelli produttivi.

In relazione alla varietà (Tabella 38) ad Osimo si sono ottenute le migliori produzioni in acheni ed olio, ma per il primo carattere nelle Marche ha primeggiato LG 55.57, NK Camen a Cassibile.

In Sicilia la coltura ha presentato il ciclo più breve differenziandosi per la varietà solo ad Osimo, mentre in entrambi gli ambienti LG 55.57 ha evidenziato le piante più basse. Lo stesso ha fatto registrare il maggiore peso dei semi e quantitativo di residui nella località marchigiana, dove è l'altra varietà che ha raggiunto il più alto indice di raccolta.

Tabella 38: effetti dell'interazione località x varietà

| Varietà | Prod. acheni (t ha ⁻¹) | | Prod. olio s.s. (t ha ⁻¹) | | Ciclo sem.- mat. (d) | | Altezza (cm) | |
|----------------|------------------------------------|----------|---------------------------------------|----------|----------------------|----------|--------------|----------|
| | LG 55.57 | NK Camen | LG 55.57 | NK Camen | LG 55.57 | NK Camen | LG 55.57 | NK Camen |
| Cassibile (SR) | 1,99 d | 2,34 c | 0,86 c | 1,09 b | 128 a | 128 a | 98 a | 168 c |
| Osimo (AN) | 3,03 a | 2,85 b | 1,28 a | 1,29 a | 136 c | 130 b | 98 a | 157 b |
| Media | 2,55 | | 1,13 | | 130 | | 130 | |
| CV% | 8,84 | | 9,59 | | 1,5 | | 3,4 | |

| Varietà | Peso 1000 acheni (g) | | Prod. residui s.s. (t ha ⁻¹) | | Harvest index | |
|----------------|----------------------|----------|--|----------|---------------|----------|
| | LG 55.57 | NK Camen | LG 55.57 | NK Camen | LG 55.57 | NK Camen |
| Cassibile (SR) | 44,4 b | 44,7 b | 5,29 c | 5,81 b | 0,26 c | 0,28 b |
| Osimo (AN) | 50,4 a | 43,8 b | 7,19 a | 4,00 d | 0,28 b | 0,39 a |
| Media | 45,8 | | 5,57 | | 0,30 | |
| CV% | 7,8 | | 12,66 | | 5,93 | |

Riguardo la somministrazione di azoto (Tabella 39) il girasole ha risposto fino alla dose intermedia per entrambe le località per la resa in olio, per quella in acheni ad Osimo, mentre in Sicilia la dose più alta ha consentito un ulteriore incremento. Il contenuto di olio è stato influenzato negativamente dall'elemento azotato, ma con minore incisività a Cassibile; precocità di fioritura, peso dei semi, e HI hanno raggiunto i valori più alti nelle Marche, indipendentemente dalla dose, mentre il quantitativo maggiore di residui si è riscontrato a Cassibile con 150 unità di azoto/ha.

L'interazione località per irrigazione (Tabella 40) ha investito tutti i caratteri in esame determinando un aumento lineare della produzione in acheni e olio in entrambe le località, così come per la superficie del capolino ed il peso medio dei semi, e, viceversa, una progressiva riduzione del periodo semina-maturazione e dell'altezza, anche se al Sud senza sensibili differenze tra la restituzione intermedia e l'assenza di interventi.

Anche in questo caso nella località siciliana il maggior input ha permesso il conseguimento della maggiore produzione di residui e, conseguentemente, il peggior HI che, invece, ha raggiunto i valori maggiori nel Centro Italia, indipendentemente dall'intervento.

SOTTOPROGETTO MATERIE PRIME

Tabella 39: effetti dell'interazione località x concimazione

| Varietà | Produzione acheni 9% um.(t ha ⁻¹) | | | Contenuto olio s.s. (%) | | | Produzione olio s.s. (t ha ⁻¹) | | |
|----------------|---|--------|--------|-------------------------|--------|--------|---|--------|---------|
| | 0 | 75 | 150 | 0 | 75 | 150 | 0 | 75 | 150 |
| Cassibile (SR) | 1,78 e | 2,26 d | 2,46 c | 49,8 a | 49,6 a | 48,6 b | 0,81 d | 1,02 c | 1,09 c |
| Osimo (AN) | 2,77 b | 3,03 a | 3,02 a | 49,0 ab | 47,8 c | 47,6 c | 1,23 b | 1,32 a | 1,30 ab |
| Media | 2,55 | | | 48,7 | | | 1,13 | | |
| CV% | 8,84 | | | 2,4 | | | 9,59 | | |
| Varietà | Data di fioritura (d) | | | Peso 1000 acheni (g) | | | Produzione residui s.s. (t ha ⁻¹) | | |
| | 0 | 75 | 150 | 0 | 75 | 150 | 0 | 75 | 150 |
| Cassibile (SR) | 7/7 c | 5/7 b | 4/7 b | 41,2 c | 44,6 b | 47,8 a | 4,85 c | 5,50 b | 6,31 a |
| Osimo (AN) | 29/6 a | 29/6 a | 29/6 a | 47,1 a | 47,2 a | 47,0 a | 5,35 bc | 5,66 b | 5,79 b |
| Media | 2/7 | | | 45,8 | | | 5,57 | | |
| CV% | 0,6 | | | 7,8 | | | 12,66 | | |
| Varietà | Harvest index | | | | | | | | |
| | 0 | | | 75 | | | 150 | | |
| Cassibile (SR) | 0,25 c | | | 0,29 b | | | 0,28 b | | |
| Osimo (AN) | 0,34 a | | | 0,34 a | | | 0,33 a | | |
| Media | 0,30 | | | | | | | | |
| CV% | 5,93 | | | | | | | | |

Tabella 40: Effetti dell'interazione località x irrigazione

| Varietà | Produzione acheni 9% um. (t ha ⁻¹) | | | Contenuto olio s.s. (%) | | | Produzione olio s.s. (t ha ⁻¹) | | |
|----------------|--|--------|--------|--------------------------------|--------|--------|--|--------|--------|
| | 0 | 0,5 | 1 | 0 | 0,5 | 1 | 0 | 0,5 | 1 |
| Cassibile (SR) | 1,01 e | 2,64 c | 2,84 b | 49,8 a | 48,2 b | 50,0 a | 0,46 e | 1,16 c | 1,29 b |
| Osimo (AN) | 2,23 d | 2,86 b | 3,73 a | 48,5 b | 48,2 b | 47,8 b | 0,98 d | 1,25 b | 1,62 a |
| Media | 2,55 | | | 48,7 | | | 1,13 | | |
| CV% | 8,84 | | | 2,4 | | | 9,59 | | |
| Varietà | Data di fioritura (d) | | | Ciclo semina – maturazione (d) | | | Altezza (cm) | | |
| | 0 | 0,5 | 1 | 0 | 0,5 | 1 | 0 | 0,5 | 1 |
| Cassibile (SR) | 4/7 b | 6/7 c | 6/7 c | 126 a | 128 b | 130 c | 92 a | 91 a | 110 b |
| Osimo (AN) | 29/6 a | 29/6 a | 29/6 a | 131 c | 132 d | 136 e | 151 c | 159 d | 178 e |
| Media | 2/7 | | | 130 | | | 130 | | |
| CV% | 0,6 | | | 1,5 | | | 3,4 | | |

| Varietà | Superficie calatide (cm ²) | | | Peso 1000 acheni (g) | | | Produzione residui s.s. (t ha ⁻¹) | | |
|----------------|--|---------|---------|----------------------|--------|--------|---|--------|--------|
| | 0 | 0,5 | 1 | 0 | 0,5 | 1 | 0 | 0,5 | 1 |
| Cassabile (SR) | 69,3 f | 118,6 e | 136,6 d | 36,7 e | 46,9 c | 49,9 b | 2,32 f | 6,41 c | 7,93 a |
| Osimo (AN) | 165,6 c | 188,6 b | 218,2 a | 39,9 d | 46,3 c | 55,2 a | 4,03 e | 5,45 d | 7,31 b |
| Media | 149,5 | | | 45,8 | | | 5,57 | | |
| CV% | 12,9 | | | 7,8 | | | 12,66 | | |
| | Harvest index | | | | | | | | |
| | 0 | | | 0,5 | | | 1 | | |
| Cassabile (SR) | 0,29 b | | | 0,28 c | | | 0,25 d | | |
| Osimo (AN) | 0,34 a | | | 0,33 a | | | 0,33 A | | |
| Media | 0,30 | | | | | | | | |
| CV% | 5,93 | | | | | | | | |

Nella media delle località, NK Camen ha prodotto più acheni, con un più alto H.I. di LG 55.57 HO, che ha mostrato un maggior peso medio dei semi (Tabella 41).

Tabella 41: effetti delle varietà

| Varietà | Produzione olio s.s. (t ha ⁻¹) | Peso 1000 acheni (g) | Harvest index |
|--------------|--|----------------------|---------------|
| LG 55.57 HO | 1,07 b | 47,4 a | 0,27 b |
| NK Camen | 1,19 a | 44,2 b | 0,34 a |
| Media | 1,13 | 45,8 | 0,30 |
| CV% | 15,55 | 10,4 | 12,39 |

La coltura non è sembrata avvantaggiarsi della maggiore somministrazione di azoto (Tabella 42) ottenendo i risultati produttivi maggiori già con la dose intermedia; al contempo l'elemento azotato ha interferito negativamente con il contenuto di olio la precocità di fioritura e la taglia delle piante.

Tabella 42: effetti delle dosi di concimazione

| Dosi di azoto (kg ha ⁻¹) | Produzione acheni (t ha ⁻¹) | Olio s.s. | | Data di fioritura (d) | Altezza piante (cm) | Peso 1000 acheni (g) | Produzione residui s.s. (t ha ⁻¹) |
|--------------------------------------|---|---------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|---|
| | | contenuto (%) | produzione (t ha ⁻¹) | | | | |
| 0 | 2,28 b | 49,4 a | 1,02 b | 3/7 b | 127,7 a | 44,1 b | 5,10 b |
| 75 | 2,64 a | 48,7 b | 1,17 a | 2/7 a | 131,4 b | 45,9 ab | 5,58 ab |
| 150 | 2,74 a | 48,1 b | 1,20 a | 2/7 a | 131,4 b | 47,4 a | 6,05 a |
| Media | 2,55 | 48,7 | 1,13 | 2/7 | 130,1 | 45,8 | 5,6 |
| CV% | 15,41 | 2,8 | 15,55 | 0,7 | 4,7 | 10,4 | 28,6 |

L'irrigazione ha sortito effetti positivi, linearmente al crescere della restituzione, su resa in acheni ed olio, peso dei semi e, in maniera inversa, sull'H.I. (Tabella 43).

Tabella 43: effetti dell'irrigazione

| Coefficienti di restituzione | Produzione (t ha ⁻¹) | | Peso 1000 (g) | Harvest index |
|------------------------------|----------------------------------|--------------|---------------|---------------|
| | acheni | olio s.s. | | |
| 0 | 1,62 c | 0,72 c | 38,3 c | 0,32 a |
| 0,5 | 2,75 b | 1,21 b | 46,6 b | 0,31 ab |
| 1 | 3,28 a | 1,45 a | 52,6 a | 0,29 b |
| Media | 2,55 | 1,13 | 45,8 | 0,30 |
| CV% | 15,41 | 15,55 | 10,4 | 12,39 |

Indipendentemente dalla dotazione idrica NK Camen ha fatto registrare il migliore tenore in olio ed il ciclo colturale più breve, LG 55.57 la data di fioritura più anticipata; d'altro canto quest'ultimo ha conseguito la massima produzione di residui alla massima restituzione, mentre non si sono evidenziate differenze produttive fra i due ibridi con le altre modalità irrigue. La mancanza di apporti idrici ha comportato uno sviluppo più ridotto della pianta non dissimile da quanto verificatosi con NK Camen con il coefficiente di restituzione di 0,5 (Tabella 44).

Tabella 44: Effetti dell'interazione varietà x irrigazione

| Varietà | Contenuto olio s.s. (%) | | | Data di fioritura (d) | | | Ciclo semina – maturazione (d) | | |
|--------------|-------------------------|--------|--------|---|--------|--------|--------------------------------|-------|-------|
| | 0 | 0,5 | 1 | 0 | 0,5 | 1 | 0 | 0,5 | 1 |
| LG 55.57 | 48,1 c | 46,6 d | 46,8 d | 1/7 a | 3/7 b | 2/7 b | 131 c | 132 c | 133 d |
| HO | | | | | | | | d | |
| NK | 50,2 a | 49,8 b | 50,9 a | 3/7 b | 3/7 b | 3/7 b | 126 a | 128 b | 132 c |
| Carmen | b | | | | | | | | d |
| Media | 48,7 | | | 2/7 | | | 130 | | |
| CV% | 2,8 | | | 0,7 | | | 1,9 | | |
| Varietà | Altezza (cm) | | | Produzioni residui s.s. (t ha ⁻¹) | | | | | |
| | 0 | 0,5 | 1 | 0 | 0,5 | 1 | | | |
| LG 55.57 | 120 a | 130 b | 150 d | 3,48 c | 6,38 b | 8,86 a | | | |
| HO | | | | | | | | | |
| NK | 123 a | 119 a | 139 c | 2,87 c | 5,48 b | 6,38 b | | | |
| Carmen | | | | | | | | | |
| Media | 130 | | | 5,57 | | | | | |
| CV% | 4,7 | | | 28,65 | | | | | |

Lo sviluppo dell'infiorescenza è stato condizionato sia dall'irrigazione che dalla concimazione (Tabella 45): la superficie più ampia si è ottenuta con 75 kg/ha di N e la massima dose irrigua, non diversamente da quanto realizzato con l'inversione della dotazione dei fattori considerati ed il massimo input.

Tabella 45: effetti dell'interazione concimazione x irrigazione

| Coefficienti di restituzione | Superficie calatide (cm ²) | | |
|------------------------------|--|----------|----------|
| | 0 | 75 | 150 |
| 0 | 111,5 e | 128,2 de | 112,7 e |
| 0,5 | 139,3 cd | 147,7 c | 173,7 ab |
| 1 | 165,3 b | 183,9 a | 183,0 ab |
| Media | 149,5 | | |
| CV% | 13,9 | | |

Confronto fra tre dosi di concime azotato - Palazzolo

L'adozione delle due varietà ha comportato influenze sul contenuto e produzione di olio, precocità di fioritura, superficie della calatide, riduzione della taglia delle piante e H.I. a favore di NK Camen (Tabella 46), mentre LG 55.57 ha evidenziato un peso dei semi superiore.

Tabella 46: effetti delle varietà

| Varietà | Contenuto olio s.s. (%) | Produzione olio s.s. (t ha ⁻¹) | Data di Fioritura (d) | Ciclo sem.-mat. (d) | Altezza pianta (cm) |
|--------------|-------------------------|--|-----------------------|---------------------|---------------------|
| LG 55.57 HO | 47,0 b | 0,99 b | 14/7 b | 29/4 a | 174 a |
| NK Camen | 50,3 a | 1,09 a | 12/7 a | 1/5 b | 154 b |
| Media | 48,7 | 1,04 | 13/7 | 30/4 | 164 |
| CV% | 1,8 | 3,86 | 0,4 | 0,6 | 2,0 |

| Varietà | Peso 1000 acheni (g) | Area calatide (cm ²) | Produzione residui s.s. (t ha ⁻¹) | Harvest index |
|--------------|----------------------|----------------------------------|---|---------------|
| LG 55.57 HO | 44,9 a | 293,3 b | 5,59 a | 0,28 b |
| NK Camen | 38,7 b | 331,0 a | 4,06 b | 0,35 a |
| Media | 41,8 | 312,1 | 4,82 | 0,31 |
| CV% | 1,7 | 6,3 | 11,54 | 5,54 |

L'aumento della somministrazione di azoto ha significativamente incrementato le produzioni in acheni e olio così come il peso dei semi e la superficie della calatide, mentre, indifferentemente dalla dose, un ritardo nel ciclo della coltura (Tabella 47). L'altezza delle piante è aumentata solo alla dose massima di concime.

Tabella 47: effetti della concimazione

| Dosi di azoto (kg ha ⁻¹) | Produzione | | Ciclo sem.-mat. (d) | Altezza piante (cm) | Peso 1000 acheni (g) | Area calatide (cm ²) | Harvest index |
|--------------------------------------|-----------------------|-------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------------------|---------------|
| | acheni | olio s.s. | | | | | |
| | (t ha ⁻¹) | | | | | | |
| 0 | 2,00 c | 0,89 c | 29/4 a | 161 b | 40,4 c | 227,6 c | 0,29 b |
| 75 | 2,40 b | 1,07 b | 30/4 b | 164 b | 41,9 b | 324,9 b | 0,32 a |
| 150 | 2,66 a | 1,16 a | 1/5 b | 168 a | 43,1 a | 383,8 a | 0,32 a |
| Media | 2,35 | 1,04 | 30/4 | 164 | 41,8 | 312,1 | 0,31 |
| CV% | 4,15 | 3,86 | 0,6 | 2,0 | 1,7 | 6,3 | 5,54 |

Confronto fra tre livelli di restituzione idrica - Palazzolo

Nella media dell'irrigazione (Tabella 48) NK Camen ha evidenziato il più alto contenuto e resa in olio, superficie della calatide e H.I., risultando più precoce alla fioritura (non per l'intero ciclo) e più bassa di LG 55.57 HO, che ha fatto rilevare il più alto peso dei semi e, al livello più alto di irrigazione (Tabella 49), la maggiore produzione di residui; in tal caso quest'ultima varietà ha evidenziato una crescita proporzionale all'aumento della dotazione idrica al contrario di NK Camen che non si è avvantaggiata della restituzione completa.

Tabella 48: effetti delle varietà

| Varietà | Olio s.s. | | Data di fioritura (d) | Durata ciclo (d) | Altezza piante (cm) | Peso 1000 acheni (g) | Area calatide (cm ²) | Harvest index |
|--------------|---------------|----------------------------------|-----------------------|------------------|---------------------|----------------------|----------------------------------|---------------|
| | contenuto (%) | produzione (t ha ⁻¹) | | | | | | |
| LG 55.57 HO | 45,4 b | 1,09 b | 14/7 b | 121 a | 167,2 b | 50,2 a | 218,0 b | 0,27 b |
| NK Camen | 49,3 a | 1,20 a | 12/7 a | 123 b | 159,0 a | 45,8 b | 240,3 a | 0,34 a |
| Media | 47,4 | 1,14 | 13/7 | 122 | 163,1 | 48,0 | 229,1 | 0,31 |
| CV% | 2,0 | 4,40 | 0,3 | 0,7 | 2,2 | 2,2 | 5,1 | 4,31 |

Tabella 49: effetti dell'interazione varietà x irrigazione

| Varietà | Produzione residui s.s. (t ha ⁻¹) | | |
|--------------|---|--------|--------|
| | 0 | 0,5 | 1 |
| LG 55.57 HO | 4,96 c | 6,24 b | 8,20 a |
| NK Camen | 4,06 d | 4,93 c | 5,53 c |
| Media | 5,66 | | |
| CV% | 5,96 | | |

Gli effetti dell'irrigazione (Tabella 50) sono stati positivi e progressivi al crescere dell'intervento per la resa in acheni, e in olio, nonostante la pianta non abbia risposto per il contenuto all'incremento dell'irrigazione, il peso dei 1000 acheni e la superficie della calatide; hanno altresì influenzato l'altezza delle piante (carattere da interpretare negativamente), mentre il valore più alto dell'HI è stato ottenuto indifferentemente a zero o metà restituzione dell'evapotraspirato.

Tabella 50: effetti dell'irrigazione

| Coefficiente di restituzione | Produzione acheni (t ha ⁻¹) | Olio s.s. | | Altezza piante (cm) | Peso 1000 acheni (g) | Area calatide (cm ²) | Harvest index |
|------------------------------|---|---------------|----------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------------------|---------------|
| | | contenuto (%) | produzione (t ha ⁻¹) | | | | |
| 0 | 2,30 c | 48,5 a | 1,02 c | 154,2 a | 41,0 c | 187,1 c | 0,32 a |
| 0,5 | 2,68 b | 47,1 b | 1,15 b | 161,5 b | 47,2 b | 238,1 b | 0,31 a |
| 1 | 2,99 a | 46,5 b | 1,27 a | 173,7 c | 55,8 a | 262,2 a | 0,29 b |
| Media | 2,66 | 47,4 | 1,14 | 163,1 | 48,0 | 229,1 | 0,31 |
| CV% | 3,24 | 2,0 | 4,40 | 2,2 | 2,2 | 5,1 | 4,31 |

Discussione e conclusioni

La valutazione varietale ha confermato di essere un valido supporto alle decisioni che deve prendere l'agricoltore specie se si tratta di coltivare essenze le cui varietà vengono prodotte all'estero o in Italia, ma a partire da linee selezionate in ambienti comunque diversi dal nostro, per cui si impone assolutamente una caratterizzazione dell'adattabilità e produttività negli areali di coltivazione. Ne è la conferma il fatto che le produzioni delle cultivar arrivano a differire anche di oltre il 50% della migliore produzione riscontrata nello stesso ambiente di coltivazione.

L'ambiente del Centro Italia si è rivelato più affidabile per le specie brassicacee, raggiungendo produzioni ragguardevoli; quello del Nord, seppure con qualche eccezione ha mediamente fornito delle rese sufficienti; il Sud Italia, invece, si conferma difficile per tali coltivazioni e va ponderata attentamente la possibilità di un tale investimento risultando

più urgente il reperimento di soluzioni alternative supplementari di incremento del reddito aziendale da coltivazione tradizionale. La *Brassica carinata* ha confermato la propria inferiorità rispetto al colza e la sensibilità dimostrata nei confronti di certe avversità biotiche e abiotiche ne suggerisce l'utilizzo solo in quegli ambienti dove la coltivazione del colza è soggetta a rilevanti rischi, dove invece possono essere esaltate le peculiarità della carinata, come la resistenza alla deiscenza delle silique.

Il comportamento agronomico degli ibridi di girasole si è diversificato nei vari ambienti: al Centro e al Nord si è evidenziata una potenzialità produttiva che, seppure evidenziando una flessione nel secondo anno di sperimentazione, è risultata accettabile; non altrettanto si è verificato nel Meridione, dove, data l'esiguità della disponibilità idrica, la finalizzazione produttiva è stata realizzabile esclusivamente attraverso l'ausilio dell'irrigazione. La differenziazione varietale è stata più sensibile al Nord ed il divario produttivo tra le varietà, prossimo al 30% della migliore resa, nel secondo anno è risultato meno ampio del 2011.

Riguardo alla risposta alle diverse modalità di conduzione agronomica si sono evidenziati alcuni aspetti che, seppure in attesa di conferme nel successivo anno di indagine, possono permettere di avanzare alcune considerazioni:

riguardo la più opportuna epoca di impianto nel colza in tutti gli ambienti la semina anticipata ha mostrato vantaggi produttivi, soprattutto al Sud, dove le temperature non sono un fattore così decisamente limitante: impiantare per tempo la coltura la pone perciò nelle migliori condizioni per la finalizzazione produttiva e ciò si evidenzia maggiormente con l'impiego di varietà più performanti. Al Centro e al Nord ritardare la semina di una decina di giorni non ha causato differenze sostanziali; oltre comporta delle innegabili penalizzazioni produttive. In ogni caso la varietà a maggiori potenzialità si è espressa meglio negli ambienti a superiore produttività.

Per quanto riguarda la somministrazione di azoto, l'aumento delle dosi ha generalmente causato un decremento sensibile del contenuto in olio dei semi, effetto meno evidente nella coltura del girasole, mentre dal punto di vista produttivo al Nord e al Centro per il colza, solo al Centro per il girasole, non si sono apprezzate differenze tra la dose massima di elemento e quella dimezzata, sia per la resa in seme che in olio che in residui colturali: ciò pone in evidenza la necessità di ponderare bene i quantitativi di concime da somministrare alle colture, spesso sovradimensionati rispetto alle effettive esigenze di finalizzazione. Al Nord per il girasole e, più in generale al Sud, invece, le produzioni sono cresciute all'aumentare dell'input, anche se al Meridione i risultati raggiunti con la massima dose non hanno comunque eguagliato quelli ottenuti al Centro senza alcun apporto.

La risposta al sussidio irriguo può dirsi sia stata univoca in tutti gli ambienti comportando sensibili incrementi all'aumentare della disponibilità idrica, con un pari effetto deprimente sul contenuto in olio degli acheni; anche in questo caso è risultata incisiva la potenzialità produttiva degli ambienti dato che il massimo risultato conseguito al Sud non ha superato quello ottenuto con metà della restituzione al Centro.

Il girasole si è dimostrato ancora una volta in grado di esprimere capacità di adattamento ai vari ambienti di coltivazione superiori a quelle di altre colture da rinnovo, in particolare riguardo alla disponibilità di acqua; la finalizzazione produttiva nel 2012 (eccetto la località siciliana) può dirsi sia quasi esclusivamente attribuibile alla dotazione del terreno precedente la semina e agli apporti verificatisi in primavera, lontani dalle fasi di maggiore fabbisogno della composita.

Le varietà ad alto contenuto di acido oleico hanno dimostrato un'apprezzabile validità: nel 2012, nella media dei tre ambienti, ben otto ibridi sugli undici in prova hanno presentato produzioni, in acheni, non dissimili dal migliore testimone alto linoleico, mentre più

riduttiva risulta la situazione riguardo alla resa in olio. Comunque solo qualche anno fa si riuscivano a reperire con difficoltà costituzioni alto oleico che permettessero di raggiungere risultati comparabili a quelli delle convenzionali. Abbandonate tutte le caratteristiche negative (altezza elevata, tardività di ciclo, instabilità del tenore in acido oleico) per cui venivano considerate con diffidenza dagli operatori del settore agricolo e raggiunta, o, addirittura, superata la produttività di riferimento delle varietà convenzionali, data la migliore versatilità di impiego connessa alla particolare composizione acidica dell'olio da esse estraibile, si profilano per queste varietà prospettive di mercato sempre più incoraggianti.

ANALISI ECONOMICA DEI CO-PRODOTTI DELLA FILIERA DEL BIODIESEL

Responsabile scientifico:

Annalisa Zezza

Team di progetto:

Annalisa Zezza, Michiele Donati (Dip. Bioscienze – UNIPR), Michela Pin (CETA)

Istituto nazionale di economia agraria (INEA); zezza@inea.it

Introduzione e obiettivi della ricerca

La ricerca ha l'obiettivo di valutare la sostenibilità economica del processo di produzione del biodiesel attraverso una valutazione economica sulla possibilità di mercato e di reimpiego dei sottoprodotti con l'obiettivo finale di quantificare nel medio periodo il contributo che la produzione nazionale di biodiesel può dare al rispetto dell'obbligo di miscelazione stabilito dalla direttiva comunitaria e all'obiettivo individuato dal governo nel position paper. L'attività metterà in rilievo anche i costi di smaltimento di alcune tipologie di rifiuti che non trovano alcun tipo di riutilizzo (morchie di separazione delle fasi e morchie di distillazione, catalizzatore esausto, ecc).

Metodologia di lavoro

Sono state sviluppate le seguenti attività:

Analisi dei costi di produzione del biodiesel

I costi di produzione dei biocarburanti sono determinati dal costo della materia prima, dalla resa in biodiesel e dal costo della trasformazione, cui vanno sottratti i ricavi provenienti dalla vendita dei sottoprodotti. La materia prima costituisce la principale voce di costo e presenta un'elevata variabilità legata alla competizione nell'allocazione della terra con altre colture destinate sia ad uso energetico che ad altri usi. Oltre alla variabilità del costo della materia prima, altre voci che incidono nel determinare le differenze tra paesi sono il costo dell'energia, il prezzo ricevuto per i sottoprodotti e i costi di trasformazione.

Sono stati rilevati attraverso la rete contabile RICA i costi di produzione, suddivisi per singole voci e i ricavi, per regione, delle colture utilizzate per la produzione del biodiesel quali colza e girasole.

Struttura del mercato del pannello grasso di girasole

È stata effettuata un'analisi del mercato del pannello grasso di girasole poiché il pannello grasso può sostituirsi alle farine di estrazione ottenute dalla soia, in virtù del suo profilo nutrizionale ricco in proteine, e guadagnare delle quote di mercato in questo comparto. L'analisi della domanda potenziale di pannello ha considerato la consistenza dei capi bovini e suini ed i quantitativi di mangimi consumati. Nell'analisi dell'offerta attuale è stato preso in considerazione il mercato della mangimistica.

La valutazione della convenienza economica della filiera a scala regionale

Nell'ambito del progetto è stato sviluppato un modello per valutare da un punto di vista economico il potenziale di sviluppo della filiera agroenergetica a livello di bacino territoriale di produzione.

L'analisi intende valutare: 1) la soglia di convenienza delle aziende agricole ad introdurre colture da biomassa all'interno dei propri piani produttivi; 2) il livello di prezzo della biomassa rispetto al quale l'ambito territoriale di interesse può fornire una quantità di biomassa in linea con la scala di trasformazione industriale; 3) l'individuazione dei bacini di approvvigionamento potenziali nella regione.

La metodologia adottata è basata sull'approccio della programmazione matematica positiva (PMP) ampiamente impiegato nella valutazione del comportamento del produttore agricolo di fronte a possibili cambiamenti dei prezzi dei prodotti agricoli e delle politiche comunitarie. Il modello di PMP sviluppato per questo studio tenta, attraverso una tecnica di calibrazione, di rappresentare il processo decisionale dell'agricoltore estrapolando dai dati osservati la componente implicita di costo. Nello specifico, il modello valuta come gli agricoltori potrebbero reagire alla possibilità di coltivare una coltura da biomassa individuando le superfici virtualmente interessate alla nuova coltura nelle differenti province e le interazione con le altre colture.

La PMP è una metodologia che permette di ricostruire il comportamento dell'agricoltore anche in un contesto povero di informazioni, osservando i livelli produttivi piuttosto dei costi di produzione, in quanto essi rivelano l'esatto ordine di scelta predisposto dall'agricoltore sulla base di una funzione di costo percepita (Paris-Howitt, 1998).

Il dataset impiegato (Figura 1) è stato costruito utilizzando le informazioni sui piani produttivi delle aziende agricole della regione Emilia-Romagna raccolte nell'archivio AGREA (Agenzia Regionale per le Erogazioni in Agricoltura) combinate con le informazioni tecniche ed economiche del database RICA (Rete di Informazione sulla Contabilità delle Aziende Agricole) gestito a livello nazionale dall'Istituto Nazionale di Economia Agraria (INEA).

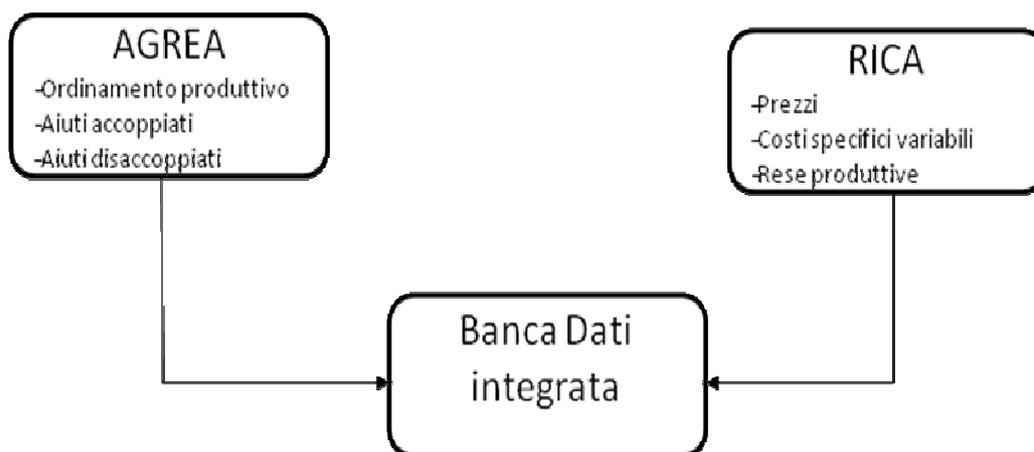


Figura 1: la costruzione del modello: i dati

Le aziende agricole sono aggregate sulla base della specializzazione produttiva (seminativi, ortofrutta e zootecnia) e di 7 classi di dimensione fisica.

Risultati

Analisi dei costi di produzione del biodiesel

Complessivamente si sono analizzati, per ognuno dei tre anni presi in considerazione) i dati relativi a 99 aziende produttrici di colza e 389 aziende produttrici di girasole per una superficie rispettivamente di ettari 1.364,41 e 6.299,88 distribuiti in dodici regioni italiane.

A titolo esemplificativo si riporta la tabella 1 relativa alla regione Toscana. Nella tabella è calcolata l'incidenza dei vari costi (energia, acqua, fertilizzanti) sui costi specifici.

Tabella 1: costi di produzione e ricavi - Regione Toscana media 2008-2010

| | Colza | Girasole |
|--|--------------|-----------------|
| Aziende (numero) | 13 | 80 |
| Superficie (ettari) | 217,2 | 1558,4 |
| Superficie media (ettari) | 16,6 | 19,5 |
| Superficie irrigata (%) | 2,2 | 1,9 |
| Produzione Lorda Totale (€) | 628,6 | 592,4 |
| Produzione Lorda Vendibile (€) | 628,6 | 592,3 |
| Produzione Reimpiegata (€) | 0,0 | 0,1 |
| Costi specifici (€) | 302,3 | 300,4 |
| Di cui: Costi fertilizzanti (€) | 107,7 | 111,2 |
| Di cui: Costi fitofarmaci (€) | 34,3 | 42,1 |
| Di cui: Costi sementi e piantine (€) | 68,7 | 70,7 |
| Di cui: Acqua (€) | 0,0 | 0,0 |
| Di cui: Energia (€) | 0,2 | 0,4 |
| Di cui: Certificazione (€) | 0,0 | 0,4 |
| Di cui: Costi assicurazione per la coltura (€) | 0,1 | 0,1 |
| Di cui: Costi dei prodotti aziendali reimpiegati (€) | 40,3 | 6,8 |
| Di cui: Contoterzismo (€) | 51,1 | 67,1 |
| Di cui: Altri costi variabili (€) | 0,1 | 0,3 |
| Margine Lordo (€) | 326,3 | 292,0 |
| Costo manodopera (€) | 36,2 | 15,2 |
| Costo macchine (€) | 74,5 | 50,3 |
| Margine Operativo (€) | 215,5 | 226,5 |
| Costi specifici/ha | | |
| Di cui: Costi fertilizzanti(% su costi specifici) | 35,6 | 37,0 |
| Di cui: Costi fitofarmaci (% su costi specifici) | 11,3 | 14,0 |
| Di cui: Costi sementi e piantine (% su costi specifici) | 22,7 | 23,5 |
| Di cui: Acqua (% su costi specifici) | 0,0 | 0,0 |
| Di cui: Energia (% su costi specifici) | 0,1 | 0,1 |
| Di cui: Certificazione(% su costi specifici) | 0,0 | 0,1 |
| Di cui: Costi assicurazione per la coltura (% su costi specifici) | 0,0 | 0,0 |
| Di cui: Costi dei prodotti aziendali reimpiegati(% su costi specifici) | 13,3 | 2,3 |
| Di cui: Contoterzismo (% su costi specifici) | 16,9 | 22,3 |
| Di cui: Altri costi variabili(% su costi specifici) | 0,0 | 0,1 |

Struttura del mercato del pannello grasso di girasole

Relativamente alla valorizzazione del pannello grasso, si è proceduto alla quantificazione della soglia massima per la sua quotazione, tenendo in considerazione il suo inferiore contenuto proteico (i.e. 25% rispetto al 44% della farina di estrazione di soia) ed il prezzo della farina di estrazione di soia nazionale. L'andamento di questa soglia nel periodo 2010-2012 è riportato nella Figura 2, da cui si evince come il prezzo proponibile per il pannello grasso nel periodo considerato sia oscillato tra i 173 €/t del dicembre 2011 ed i 319 €/t dell'agosto 2012. In riferimento alle quotazioni per il periodo gennaio-ottobre 2012, il prezzo proponibile per la vendita del pannello grasso può assumere il valore massimo di 250 €/t per garantire lo stesso apporto proteico fornito dalla farina di estrazione di soia.

In base a questa ipotesi, il valore così calcolato può essere ragionevolmente incluso nell'analisi economico-finanziaria della filiera del biodiesel da semi di girasole per la voce relativa ai ricavi dalla vendita del pannello grasso.

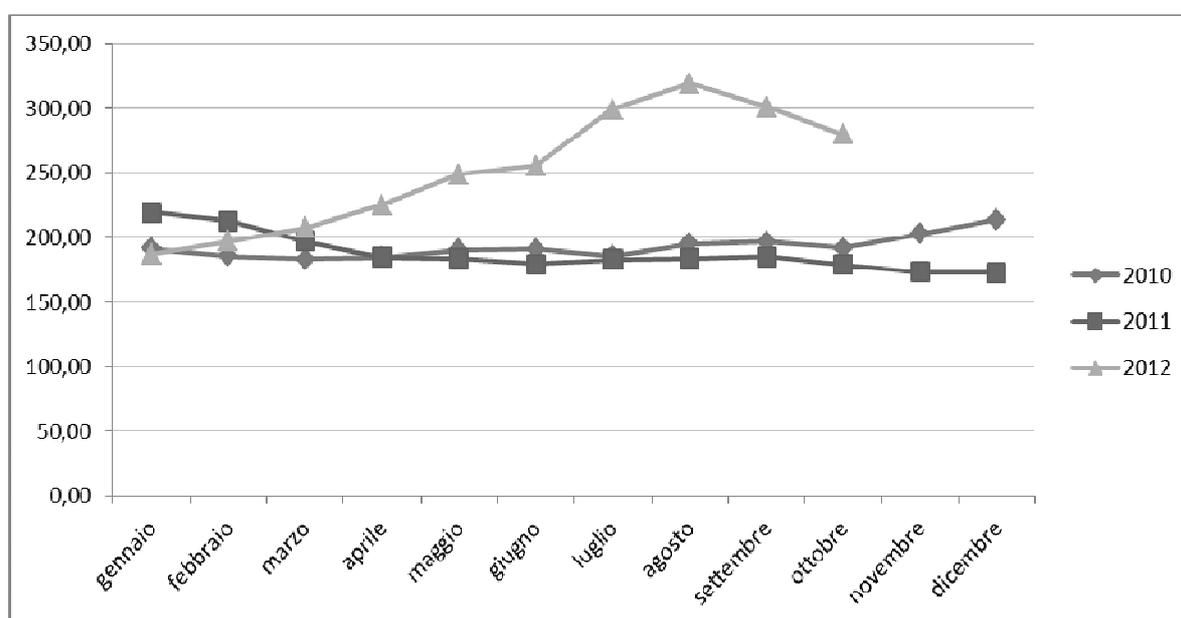


Figura 2: andamento delle quotazioni proponibili per il pannello grasso in funzione del suo contenuto proteico (25% sulla sostanza secca) e del prezzo della farina di estrazione di soia nazionale (fonte: elaborazione CETA su dati della Borsa Merci Milano)

La Valutazione della Convenienza Economica della Filiera a Scala Regionale

Le analisi mediante modelli hanno consentito di misurare le reazioni produttive rispetto a nuove opportunità colturali.

Le valutazioni dei diversi scenari forniscono un'indicazione delle soglie di convenienza, per cui è possibile stabilire il prezzo e i bacini di approvvigionamento della biomassa più interessanti.

Le dinamiche produttive ed economiche ottenute attraverso il modello possono essere di supporto al decisore pubblico nel definire gli interventi a favore della filiera e agli operatori di mercato nell'attuare le scelte produttive ottimali.

I risultati ottenuti dal modello devono essere letti in funzione alle condizioni di mercato ipotizzate, per cui nuove evoluzioni nei prezzi e nei costi dei prodotti agricoli potrebbero

introdurre cambiamenti nelle convenienze relative e, quindi, nei processi di sostituzione a favore delle nuove colture.

Il modello è stato applicato in due regioni, Emilia Romagna e Lombardia, introducendo nella rotazione la coltura del cardo, i cui coefficienti tecnici sono stati ottenuti attraverso prove sperimentali applicando i risultati di un biennio di sperimentazione presso l'azienda sperimentale del CRA-RPS in Tor Mancina – Monterotondo (RM):.

Tabella 2: Costi di impianto - lavori agro meccanici (prezzi esenti da IVA ottenuti da indagine di mercato delle tariffe dei contoterzisti dell'area romana-reatina anno 2012):

| | |
|-----------------------------|-----------------|
| Aratura profonda (40-50 cm) | € 117,00 |
| Estirpatura | € 44,20 |
| Erpicatura o fresatura | € 48,24 |
| Concimazione di fondo | € 24,12 |
| Semina di precisione | € 40,20 |
| Diserbo (eventuale) | € 32,16 |
| Antiparassitari (eventuale) | € 32,16 |
| TOTALE | € 333,08 |

Tabella 3: Acquisto sementi, concimi e antiparassitari (prezzi esenti da IVA)

| | |
|---|-----------------|
| Semente certificata di cardo ^(*) (4,5 Kg/ha) | € 207,00 |
| Perfosfato triplo (300 Kg ha ⁻¹) | € 132,00 |
| Diserbanti e antiparassitari (eventuale) | € 100,00 |
| TOTALE | € 439,00 |

(*) prezzo all'ingrosso della var. Gigante Bianco Inerme della ditta S.a.i.s € 46,00/ kg

TOTALE COSTI D'IMPIANTO PER ETTARO: € 772,08

Tabella 4: Costi per le cure colturali e la raccolta (dal primo anno in poi) - lavori agro meccanici (prezzi esenti da IVA ottenuti da indagine di mercato delle tariffe dei contoterzisti dell'area romana-reatina anno 2012):

| | |
|---|-----------------|
| Concimazione azotata | € 24,12 |
| Antiparassitari (eventuale) | € 32,16 |
| Trebbiatura capolini | € 108,54 |
| Falcia-trincia-caricatrice per raccolta fusti | € 210,00 |
| TOTALE | € 374,82 |

Tabella 5: Acquisto concimi e antiparassitari (prezzi esenti da IVA)

| | |
|--|----------------|
| Antiparassitari (eventuale) | € 30,00 |
| Urea agricola (150 Kg ha ⁻¹) | € 68,25 |
| TOTALE | € 98,25 |

TOTALE COSTI CURE COLTURALI E RACCOLTA: € 473,07

La valutazione ad investire superficie a sorgo per la produzione di cardo è stata effettuata tenendo conto di tre aspetti tra loro collegati:

- La variazione della superficie a cardo al variare dei prezzi di mercato;
- L'impatto sull'uso del suolo con riferimento anche alle altre commodity agricole;
- L'impatto sui redditi degli agricoltori.

L'analisi economica delle scelte produttive mediante l'uso di modelli di programmazione matematica positiva ha permesso di individuare le soglie di convenienza relative alla produzione di cardo e i potenziali bacini di approvvigionamento.

Il modello impiegato nello studio è basato sulla metodologia della programmazione matematica positiva (PMP). I livelli produttivi rivelano l'esatto ordine di scelta predisposto dall'agricoltore sulla base di una funzione di costo percepita.

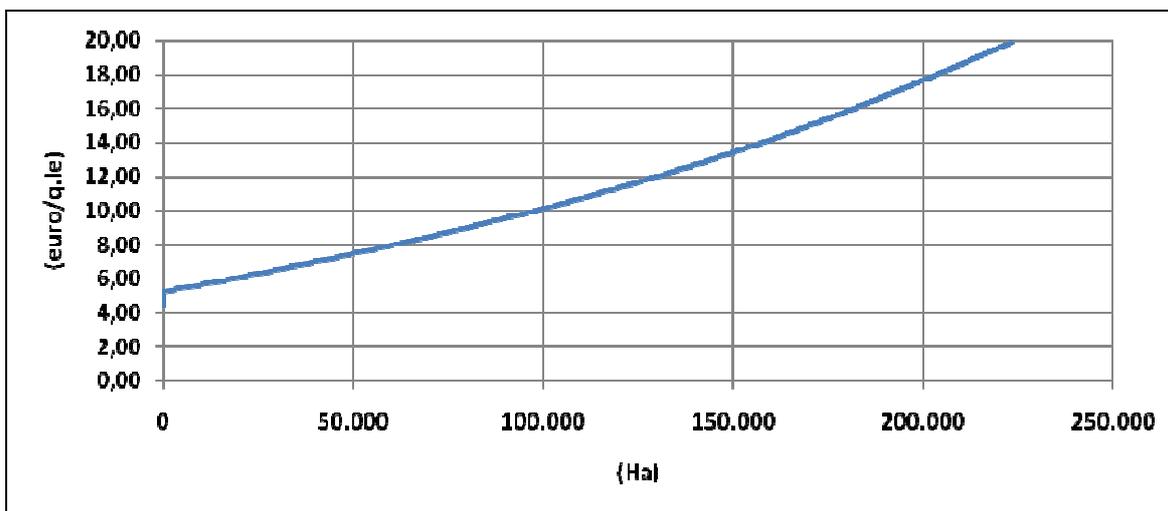


Fig.3: Analisi di sensitività: attivazione del cardo: Regione Emilia Romagna

La figura 3 evidenzia il livello soglia di prezzo (5 €/ql) a cui la coltura comincia ad entrare in produzione nella regione Emilia Romagna. Come evidenziato nella figura successiva, il cardo gradatamente, al salire del prezzo, va a sostituire in parte il frumento e in parte le colture foraggere.

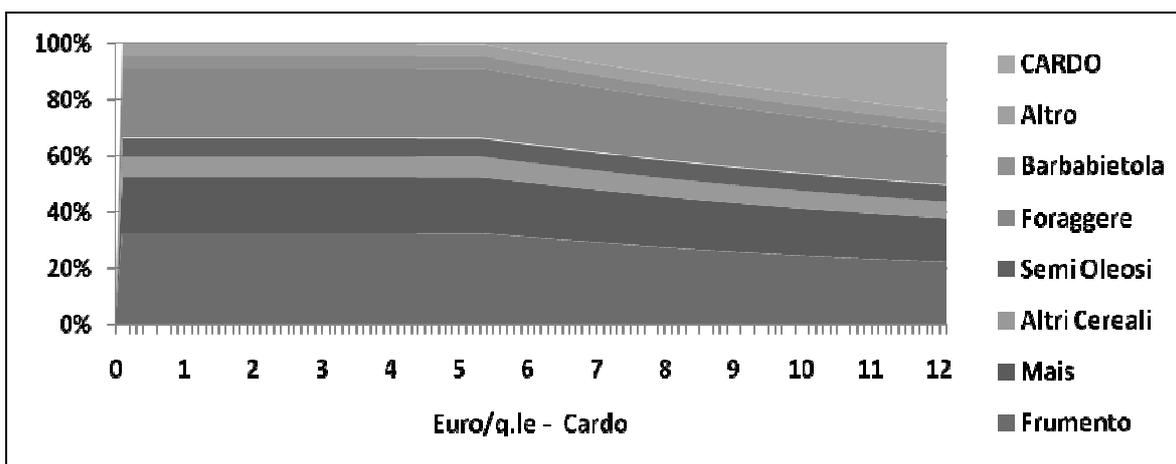


Figura 4: Analisi di sensitività : Cambiamento dell'ordinamento produttivo regionale: Emilia Romagna

Le successive figure riportano i risultati dell'applicazione del modello nella regione Lombardia.

Dalle figure 4 e 6 si può notare che mentre in Emilia , al crescere del prezzo, il cardo si afferma come coltura a spese del frumento e delle foraggere, in Lombardia la sostituzione principale avviene con il mais.

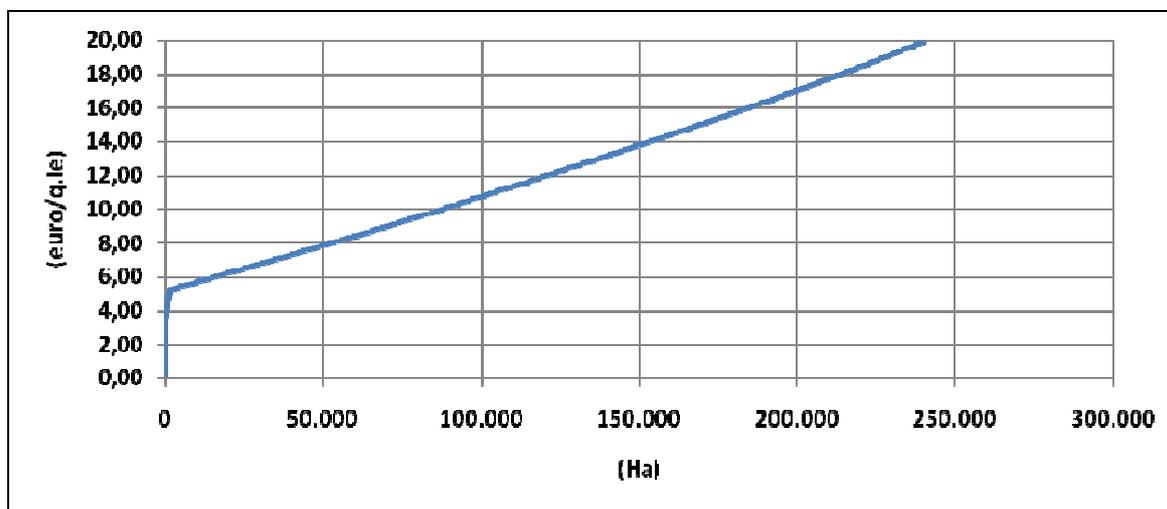


Figura 5: Analisi di sensitività: attivazione del cardo: Regione Lombardia

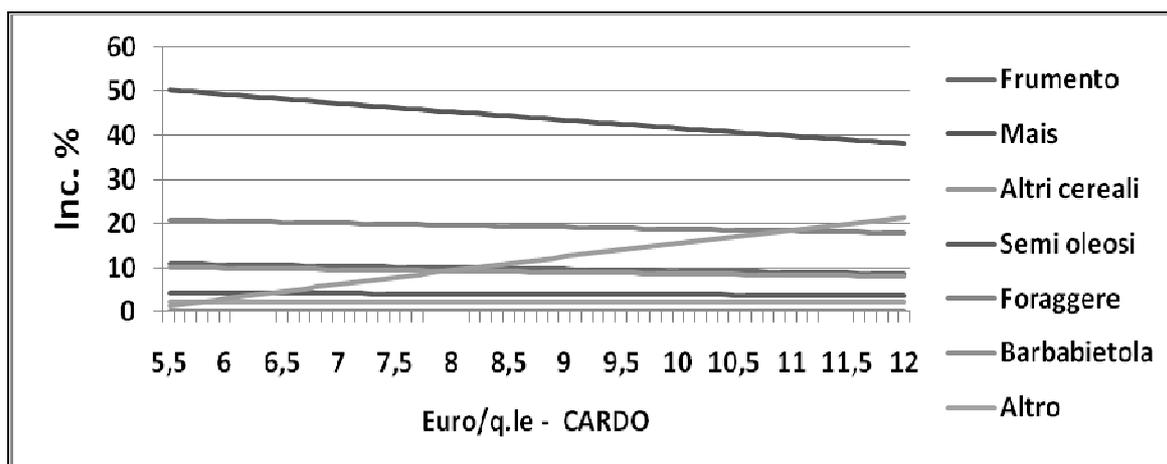


Figura 6: Analisi di sensitività : Cambiamento dell'ordinamento produttivo regionale: Lombardia

Altri risultati sono stati elaborati per provincia e, per ordinamento tecnico economico delle aziende e per unità di dimensione economica. Questi risultati saranno oggetto dell'elaborato finale.

Discussione

Nel proseguimento delle attività saranno apportate le modifiche derivanti dalle differenti opzioni di valorizzazione dei sottoprodotti e ne saranno valutate le ricadute in termini di risparmio nelle emissioni di GHGs. Inoltre si sta valutando l'impatto della sostituzione della coltura sulla domanda di acqua.

Bibliografia

- [1]Arfini, F., Donati, M. and Paris, Q. (2003). A National PMP Model for Policy Evaluation in Agriculture Using Micro Data and Administrative Information.

- Contributed paper to International Conference: Agricultural policy reform and the WTO: where are we heading? Capri (Italy), June 23–26, 2003.
- [2] Cesaro L., Marongiu S., Arfini F., Donati M., and M.G. Capelli. 2008. Cost of production – Definition and concept. EU FP7 project FACEPA, Deliverable D1.1.2, October.
- [3] M. Donati, D. Bodini, F. Arfini, A. Zezza, An integrated PMP model to assess the development of agroenergy crops and the effect on water requirements, Paper prepared for presentation at the 2nd AIEAA Conference “Between Crisis and Development: which Role for the Bio-Economy”, 6-7 June, 2013 , Parma, Italy
- [4] Paris Q. and Howitt R.E. (1998), An Analysis of Ill-Posed Production Problems Using Maximum Entropy, American Journal of Agricultural Economics, n.80, pp. 124-138.
- [5] Zezza A. (2011), Le politiche per la promozione dell’energia rinnovabile, INEA

IMPIEGO DI FARINE DI BRASSICA CARINATA, IN COMBINAZIONE CON GLI OLI VEGETALI E ALTRI MEZZI DI LOTTA ECOCOMPATIBILI, PER LA DIFESA DELLE PIANTE E IMPIEGO DI PANNELLI GRASSI DI OLEAGINOSE COME AMMENDANTI, PER IL MIGLIORAMENTO DELLE PRODUZIONI ORTICOLE E DELLA FERTILITÀ CHIMICA E MICROBIOLOGICA DEL SUOLO

Responsabile scientifico:
Massimo Zaccardelli

Team di progetto:

Massimo Zaccardelli, Armida Del Galdo, Giuseppe Di Stefano, Giuseppe Di Stefano, Alfano Giulia, Filomena Milano, Catello Pane, Domenico Perrone, Giovanni Ragosta, Domenico Rongai (CRA-PAV), Domenico Ronga (UNIMORE), Riccardo Scotti, Domenica Villecco

Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Centro di Ricerca per l'Orticoltura, via Cavalleggeri 25, 84098, Pontecagnano (SA) – massimo.zaccardelli@entecra.it

Introduzione e obiettivi della ricerca

I principali sottoprodotti della filiera di produzione del biodisel da matrici oleaginose di origine vegetale sono il pannello grasso e la farina di semi disoleati. Uno studio approfondito per valutarne le possibilità di impiego in campo agronomico aumenterebbe il valore di questi materiali altrimenti destinati allo scarto, con ripercussioni positive sull'intera filiera. Nel caso specifico della farina di *Brassica carinata* [1], è prevedibile un suo impiego nell'ambito della difesa ecocompatibile delle piante. Infatti, nei tessuti di queste piante sono presenti glucosinolati dai quali, ad opera dell'enzima mirosinasi, in presenza di acqua, vengono prodotte molecole ad elevato potenziale antimicrobico, quali isotiocianati, tiocianati, nitrili, epitionitrili, tioni, etc. [2]. Pertanto, l'impiego di tali farine, da sole oppure integrate ad agenti di biocontrollo (*Bacillus spp.*) ed altri prodotti naturali come gli oli essenziali, potrebbe costituire una valida prospettiva di sfruttamento delle proprietà di questo sottoprodotto in campo agricolo.

I pannelli grassi e le stesse farine, data la loro natura organica, sono suscettibili di un'ulteriore utilizzazione agronomica come ammendanti per il miglioramento della qualità e della fertilità del suolo. Questi materiali, oltre ad apportare elementi nutritivi come l'azoto, possono avere una notevole influenza sulle caratteristiche microbiologiche del suolo migliorandone, nel complesso, la capacità di sostenere la crescita delle piante. L'impiego dei sottoprodotti della filiera del biodisel in campo agricolo va nella direzione di una progressiva riduzione, nei processi produttivi, degli input chimici di sintesi, per un passaggio progressivo ad un'agricoltura ecosostenibile.

Le attività del sottoprogetto "Valorizzazione Agronomica" prevedono il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- 1) Validazione dell'efficacia del formulato contenente farina biocida a base di *Brassica carinata* per la lotta alle avversità del filloplano (funghi ed insetti), sia su colture ortive che arboree;
- 2) Utilizzo integrato delle farine biocide con oli essenziali e batteri antagonisti nella lotta alle avversità del rizopiano;

3) Impiego di panelli grassi di oleaginose come ammendanti per il miglioramento delle produzioni orticole e della fertilità chimica e microbiologica del suolo.

Metodologia di lavoro

Nell'ambito dell'attività di valutazione di un formulato a base di farine di *Brassica carinata* per il contenimento di aversità biotiche delle piante, sono state condotte prove sperimentali in pieno campo su pomodoro, per il controllo di virosi e danni da insetti; su olivo, per il controllo della malattia "Occhio di pavone" e su bietola, per il controllo del ragnetto rosso.

Nell'ambito dell'attività che ha riguardato, invece, lo sviluppo di un biofungicida integrato costituito da tre componenti (farina di *B. carinata*, olio essenziale e batterio antagonista appartenente al genere *Bacillus*), è stata predisposta una strategia di screening per la selezione della combinazione delle tre componenti secondo criteri di efficienza, con prove *in vitro* ed *in vivo* per il controllo di alcune malattie telluriche nei tre patosistemi: *Rhizoctonia solani*/Fagiolo, *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici*/Pomodoro e *Sclerotinia minor*/lattuga), ed è stata svolta un'attività di laboratorio per la messa a punto della formulazione tecnica del biofungicida tricomponente.

Riguardo al terzo obiettivo specifico della ricerca, è stata avviata un'attività di sperimentazione agronomica biennale per la valutazione dei panelli di oleaginose quali ammendanti nei sistemi produttivi bietola da IV gamma (coltura protetta) e pomodoro da industria (pieno campo).

Risultati

Controllo di aversità biotiche di pomodoro da industria

Le prove sperimentali condotte in pieno campo hanno evidenziato le potenzialità di impiego delle farine contenenti glucosinolati nella difesa del pomodoro da industria da parassiti della parte aerea come virus ed insetti (Tabella 1). I preparati a base di glucosinolati applicati alla parte aerea delle piante hanno consentito di ottenere produzioni sia su base qualitativa che quantitativa in molti casi superiori a quelle ottenute in assenza totale di trattamenti e, in certi casi, comparabili con quelle ottenute con i trattamenti chimici convenzionali.

Tabella 1 – Effetto di trattamenti fogliari con glucosinolati ed oli essenziali sulla risposta produttiva e sullo stato fitosanitario di una coltivazione di pomodoro da industria. I valori presentati sono la media di tre prove stagionali consecutive (2009-2011).

| Campione (Tipo di trattamento) | Produzione totale (t ha ⁻¹) | Stato Fitosanitario (1-5) |
|-----------------------------------|--|------------------------------|
| Controllo | 53,0bc | 2,0b |
| Agrofarmaci chimici | 65,2a | 3,4a |
| Glucosinolati A | 54,6bc | 2,2b |
| Glucosinolati B | 62,9ab | 2,3b |
| Glucosinolati C | 59,0abc | 2,3b |
| Olio di Rosmarino | 53,5bc | 2,3b |
| Olio di Timo | 32,7d | 2,2b |
| Olio di Origano | 38,1d | 2,1b |
| Olio di Carvi | 51,6c | 2,3b |
| Olio di Melissa | 56,0abc | 2,3b |

Controllo dell'occhio di pavone dell'olivo

Risultati positivi importanti sono stati ottenuti anche dalle prove di confronto tra un formulato a base di farina di *B. carinata* ed olio vegetale e uno a base di fungicida (dodina) per il contenimento di *Fusicladium oleagineum* agente dell'occhio di pavone dell'olivo (Figura 1). Il formulato a base di glucosinolati ha consentito di mantenere sotto controllo la diffusione della malattia facendo registrare percentuali di foglie infette, al pari della dodina, molto basse rispetto alle tesi non trattate. Sono state eseguite sia prove di laboratorio, con l'osservazione degli effetti sulla germinazione dei conidi, la formazione dell'appressorio ed il numero delle infezioni ifali, sia prove di campo, nelle quali è stata valutata la percentuale di foglie mostranti i sintomi dell'attacco del patogeno in un oliveto di 20 anni (cv Gentile di Chieti). In pieno campo è stato escluso il trattamento con il solo olio vegetale, risultato in laboratorio decisamente meno attivo rispetto al formulato. Sono stati effettuati 2 trattamenti con Dodina (primavera-autunno) e 5 con il formulato. In laboratorio, il formulato ha mostrato una efficacia simile a quella riscontrata utilizzando il p.a. Dodina, preso come prodotto chimico di riferimento. Entrambe le tesi trattate hanno presentato una percentuale di germinazione conidica, formazione di appressorio e infezione ifale, statisticamente più bassa della tesi non trattata. Le prove di campo hanno confermato quanto osservato in laboratorio, pur essendo necessari, utilizzando il formulato, un maggior numero di trattamenti rispetto al prodotto chimico commerciale. Trattandosi di un prodotto costituito da sostanze naturali è ipotizzabile che esso possa essere impiegato in programmi di lotta biologica e integrata, anche in considerazione del fatto che dalle prove eseguite non sono emersi fenomeni di fitotossicità.

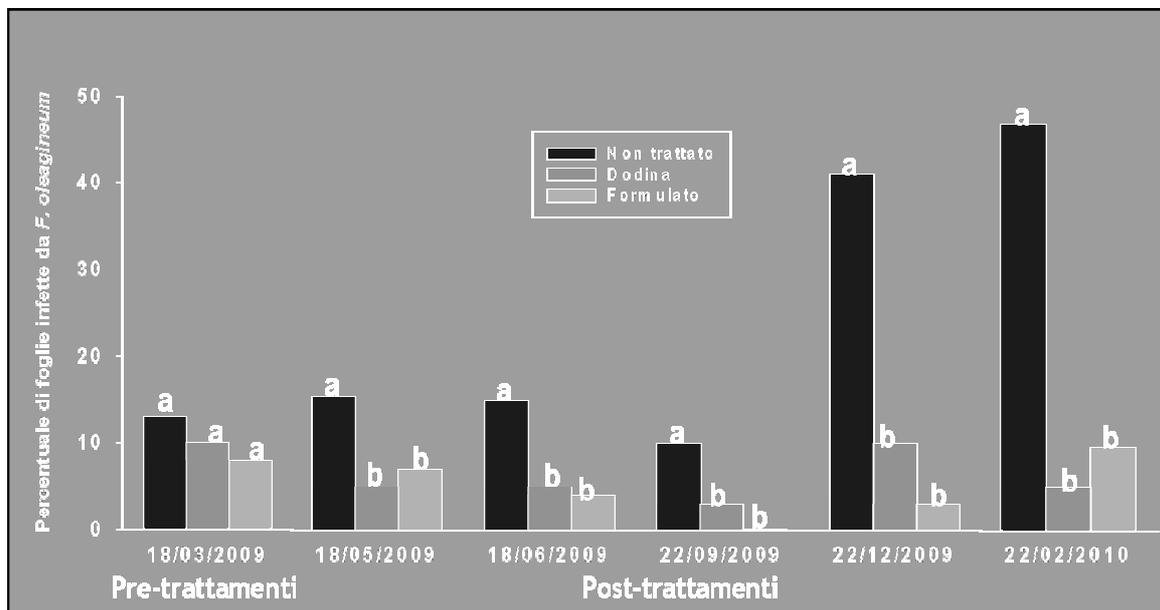


Figura 1 – Effetto di trattamenti fogliari con un formulato a base di glucosinolati, in comparazione con un trattamento con fungicida (dodina) ed un controllo non trattato, sull'evoluzione temporale della severità dell'occhio di pavone dell'olivo causato da *Fusicladium oleagineum* in pien'aria.

Controllo del ragnetto rosso della bietola

In modo simile, il formulato a base di farina è stato provato con successo su bietola per il controllo dell'acaro *Panonychus ulmi* (Figura 2). Il formulato ha consentito di mantenere le percentuali di schiusura delle uova del parassita sotto i livelli di guardia, al pari

dell'acaricida hexythiazox. Come nelle precedenti prove, la farina disoleata di semi di *Brassica carinata* è stata dispersa in olio vegetale e usata come un'emulsione (2%) di olio in acqua. Come prodotto chimico di riferimento è stato usato l'acaricida hexythiazox Matarcar (Sipcam) al 10% di p.a., alla dose di 50 mg p.a./l. Dischi fogliari di bietola sono stati messi all'interno di contenitore Petri e su ciascun disco fogliare sono state poste a ovideporre 15 femmine dell'acaro. Dopo 24 ore le femmine sono state rimosse mentre le uova sono state conteggiate. Dopo quattro giorni dal trattamento, l'attività ovicida è stata determinata calcolando la percentuale delle uova schiuse stimata indirettamente conteggiando le neanide vive.

L'attività ovicida è stata determinata calcolando la percentuale delle uova schiuse stimata indirettamente conteggiando le neanide vive. Dai risultati ottenuti, si nota come nella tesi trattata con il "formulato", poco più del 2% delle uova si sono schiuse, mentre l'acaricida commerciale ha fatto registrare un 12,3% di uova schiuse. Ben il 76% delle uova di acaro rosso si sono schiuse dopo 8 giorni dal trattamento con solo acqua (Figura 2).

L'efficacia del formulato usato contro le uova di ragnetto rosso può essere dovuta al fatto che i granuli di farina, dispersi al momento del trattamento, si imbrigliano alla ragnatela che "ancora" e protegge le uova deposte dal ragnetto, probabilmente concentrando su di sé il rilascio dell'isotiocianato.

La vicinanza dei granuli di farina alle uova crea, molto probabilmente, un ambiente tossico, interferendo così sul loro normale sviluppo.

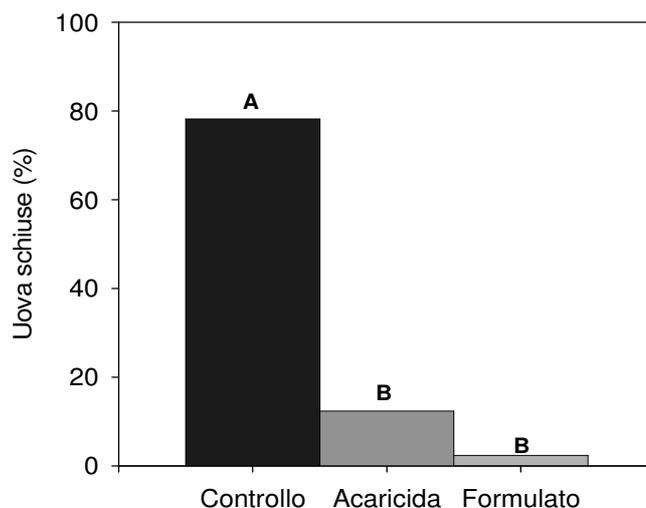


Figura 2 – Effetto di trattamenti fogliari con un formulato a base di glucosinolati, in comparazione con un trattamento acaricida ed un controllo non trattato, sull'incidenza percentuale di schiusura delle uova di *Panonychus ulmi* du bietola.

Sviluppo di un biofungicida tricomponente per il controllo di malattie telluriche

Per quanto concerne le attività inerenti lo sviluppo del biofungicida tricomponente, in primo luogo è stata verificata l'attività antifungina degli isotiocianati prodotti dall'idrolisi dei glucosinolati contenuti nelle farine di *B. carinata*. Le farine hanno mostrato capacità di inibizione della crescita *in-vitro* dei patogeni fungini già a basse concentrazioni, con effetto dose-dipendente (Figura 3). La crescita di *F. oxysporum f. sp. lycopersicy* e *R. solani* è stata completamente inibita alla dose di 100 mg, mentre quella di *S. minor* si è bloccata già a 50 mg. Tali evidenze indicano che quest'ultimo fungo, agente causale del marciume basale su

diverse specie ortive, potrebbe essere più sensibile alle molecole tossiche derivate da *B. carinata*, rispetto agli altri.

La valutazione dell'attività antifungina degli oli essenziali (Figura 3) e dell'eventuale sinergismo con le farine stesse (Tabella 2) ha consentito di selezionare l'olio essenziale di timo come il più efficace nell'azione diretta contro i funghi ed il più sinergico in aggiunta alle farine.

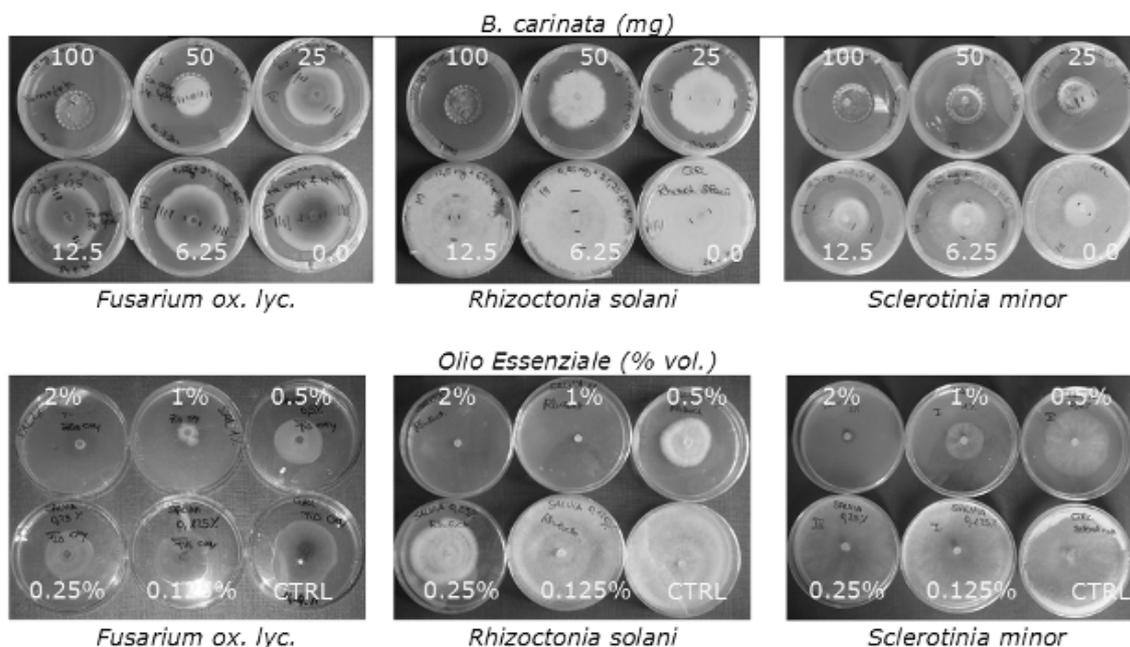


Figura 3 – Esempio dell'evidenza in-vitro dell'effetto antifungino dose-dipendente della farina di *B. carinata* contenente glucosinolati e dell'olio essenziale.

Le attività di laboratorio hanno consentito, poi, di isolare e selezionare antagonisti batterici appartenenti al genere *Bacillus* per la loro attività di antibiosi, esibita *in vitro* nei confronti dei tre patogeni in studio. I ceppi batterici antagonisti sono molto promettenti per il controllo delle malattie causate dai patogeni soil-borne.

Tali ceppi di *Bacillus sp.* sono stati successivamente testati per la tolleranza alle farine ed ai composti antimicrobici presenti in miscela negli oli essenziali vegetali.

I *Bacillus sp.* tolleranti, in presenza delle farine e degli oli hanno migliorato le performances di biocontrollo *in vitro* dei suddetti funghi fitopatogeni (Figura 4).

Tabella 2 – Sinergismo tra oli essenziali e farina di *B. carinata* nell'attività antifungina. Effetto sinergico (+), effetto competitivo (-).

| Oli essenziali (combinati con la farina) | Patogeni fungini | | |
|---|---------------------------|------------------|-----------------|
| | <i>F. ox. lycopersici</i> | <i>R. solani</i> | <i>S. minor</i> |
| Timo | - | + | ++ |
| Origano | - | + | + |
| Carvi | + | - | - |
| Melissa | ++ | - | - |
| Maggiorana | - | - | - |
| Salvia | - | - | - |

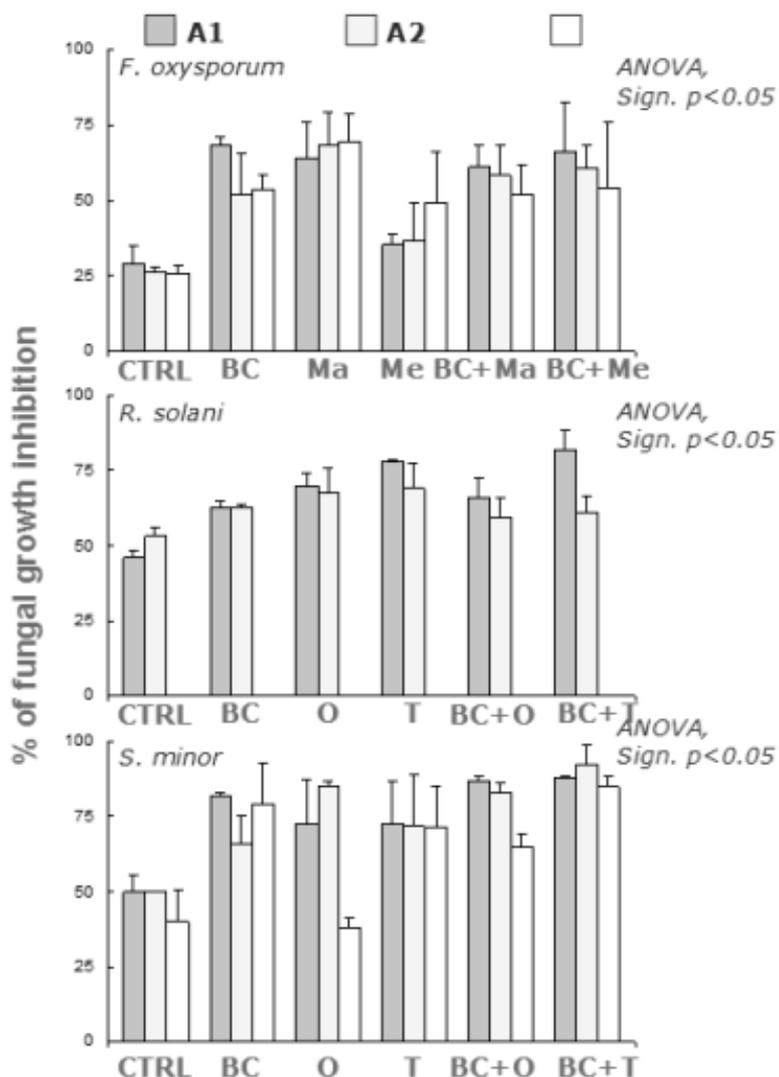


Figura 4 – Efficacia di biocontrollo in-vitro di ceppi antagonisti appartenenti al genere *Bacillus* (A1, A2 e A3) contro *F. oxysporum*, *R. solani* e *S. minor*, influenzata dall'impiego singolo e combinato di farina di *B. carinata* e oli essenziali (T=timo, O=origano, Me=melissa, oppure, Ma=maggiorana)

I biosaggi *in vivo* hanno confermato le potenzialità del biofungicida tricomponente nel mostrare elevata efficienza di biocontrollo delle malattie della rizosfera.

I risultati suggeriscono che la farina di semi di *B. carinata* può essere utilizzata nella formulazione di fungicidi multicomponenti a basso impatto, in grado di sostituire molecole chimiche vietate o poco sostenibili.

Valutazione agronomica dei panelli di oleaginose quali ammendanti nei sistemi produttivi bietola e pomodoro da industria

Per quanto concerne la valorizzazione agronomica dei sottoprodotti della filiera del biodiesel, vale a dire i materiali organici residuati dall' estrazione dell'olio dai semi, i risultati prodotti hanno fornito indicazioni molto interessanti.

I panelli di oleaginose, in particolare quelli prodotti a partire dai semi di colza, girasole (nelle versioni: pellet, seme decorticato e tegumento), e *Brassica carinata*, si sono rivelati idonei all'impiego in agricoltura come ammendanti organici. Come tali, a parità di unità di azoto somministrate al suolo, la sostanza organica ha il limite della lenta cessione dei nutrienti a causa del processo di mineralizzazione, e della loro minore biodisponibilità a causa di possibili fenomeni di sequestro dell'azoto da parte della microflora sviluppatasi a carico del carbonio organico.

In questo tipo di contesto, tutti gli ammendanti testati sostengono la produzione commerciale di bietola verde da taglio, a livelli statisticamente comparabili con quelli ottenuti in suoli trattati con la concimazione minerale (Tabella 3). Inoltre, l'ammendamento riesce a produrre effetti benefici sulle piante che si manifestano in un migliore stato vegetativo rispetto al controllo non trattato (dati non mostrati).

Tabella 3 – Effetto dell'applicazione al suolo di differenti tipi di ammendanti organici sulla risposta produttiva di una coltivazione intensiva in coltura protetta di bietola verde da taglio. I valori presentati sono riferiti al primo (2012) ed al secondo (2013) anno di prova.

| Campione (n°) | 2012 | | | 2013 | | |
|------------------|---|---|--|---|---|--|
| | Biomassa Totale (kg m ⁻²) | Biomassa epigea (kg m ⁻²) | Biomassa Commerciale (kg m ⁻²) | Biomassa Totale (kg m ⁻²) | Biomassa epigea (kg m ⁻²) | Biomassa Commerciale (kg m ⁻²) |
| Controllo | 1.61d | 1.4c | 0.87c | 1.85c | 1.52c | 1.27c |
| Minerale | 4.60a | 3.76a | 2.30a | 2.60bc | 2.14bc | 1.70b |
| Colza | 2.93c | 2.49abc | 1.57b | 2.71ab | 2.34b | 2.09ab |
| Girasole Pellet | 3.04bc | 2.72ab | 1.60ab | 1.90c | 1.60c | 1.35bc |
| Girasole Decort. | 2.75c | 2.40bc | 1.53b | 3.20a | 2.70ab | 2.30a |
| Girasole Teg. | 2.83c | 2.33bc | 1.57b | 1.98bc | 1.64c | 1.27c |
| Brassica | 3.23abc | 2.75ab | 1.73ab | 3.40a | 2.88a | 2.23a |
| Compost Veg.1 | 3.53 | 3.28a | 2.10a | * 2.70ab | 2.27b | 1.86b |
| Compost Veg. 2 | 4.40ab | 3.80a | 2.37a | ** 3.20a | 2.70ab | 2.04ab |

* nel secondo anno è stato sostituito da Compost Forsu

**nel secondo anno è stato sostituito da Digestato

Nel pomodoro da industria è stato osservato un trend leggermente differente.

Gli ammendanti, benché riescano a sostenere livelli di produzione più elevati rispetto a quelle registrate nelle tesi di controllo non trattato, nel primo anno non sono stati in grado di surrogare pienamente la concimazione minerale (Tabella 4). Quest'ultima ha assicurato, statisticamente, i livelli produttivi più elevati. Nel secondo anno, però, l'ammendamento con colza e girasole (pellet e decorticato) ha fatto registrare livelli produttivi non significativamente differenti da quelli ottenuti dalle tesi minerali. Analogamente, sempre nel secondo anno, produzioni comparabili a quelle ottenute dalla tesi minerale sono state registrate anche con l'ammendamento di farine non pellettate di *B. carinata* e girasole (dati non mostrati).

Inoltre le piante, sotto il profilo fitosanitario, non hanno mostrato problemi significativi con tessuti di girasole e brassica, mentre hanno subito una flessione dello stato vegetativo nelle tesi ammendate con colza e tegumento del seme di girasole.

Tabella 4 – Effetto dell'applicazione al suolo di differenti tipi di ammendanti organici sulla risposta produttiva di una coltivazione intensiva in pieno campo di pomodoro da industria. I valori presentati sono riferiti al primo (2012) ed al secondo (2013) anno di prova.

| Campione (n°) | 2012 | | | 2013 | | |
|------------------|--|---|------------------------------|--|---|------------------------------|
| | Produzione Totale (t ha ⁻¹) | Produzione Commerciale (t ha ⁻¹) | Stato fitosanitario (1-5) | Produzione Totale (t ha ⁻¹) | Produzione Commerciale (t ha ⁻¹) | Stato fitosanitario (1-5) |
| Controllo | 24.8c | 15.9c | 3.67cd | 30.41b | 25.05b | 1.66c |
| Minerale | 95.5a | 77.9a | 4.83a | 73.84a | 57.02a | 2.33bc |
| Colza | 48.0b | 36.1b | 3.83bcd | 76.99a | 59.18a | 3.5ab |
| Girasole Pellet | 47.2b | 32.2b | 4.33abc | 63.93a | 50.56a | 4.16a |
| Girasol Decort. | 49.9b | 33.5b | 4.33abc | 58.94a | 45.57a | 3.33ab |
| Girasole Teg. | 27.9c | 19.8c | 2.83e | 24.95b | 18.72b | 2.83abc |
| Brassica | 50.9b | 38.6b | 4.5ab | 76.94a | 58.14a | 2.83abc |
| Digestato | 28.9c | 19.2c | 3.50de | 20.14b | 17.20b | 2.50bc |
| Compost Forsu | 29.1c | 19.1c | 3.17de | 18.35b | 15.70b | 1.83c |

Effetto degli ammendanti sull'attività microbiologica del suolo

In entrambe le prove, condotte in due siti diversi, in seguito all'ammendamento è stato osservato, in generale, un aumento dell'attività biologica del suolo. Infatti, la somministrazione di sostanza organica ha fatto registrare un aumento delle attività microbiologiche misurate quali respirazione e attività idrolasica totale (Fig. 5).

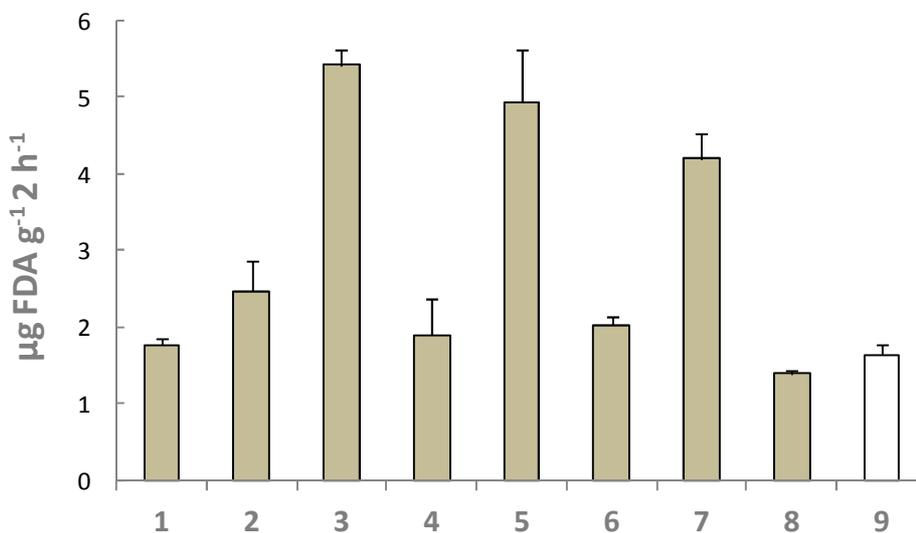


Figura 5 – Effetto delle differenti farine utilizzate sull'attività idrolasica totale in un suolo coltivato con bietola sotto serra.

Legenda: 1-Colza pannello; 2-Girasole pannello, scaglie e pellet; 3-Girasole pannello decorticato parzialmente; 4-B.Carinata pannello; 5-Girasole tegumenti; 6 – 7 Compost vegetale; 8-Concimazione minerale; 9-Controllo non trattato.

Discussione

I risultati fin qui ottenuti hanno dato indicazione di una versatilità di impiego che i sottoprodotti della filiera del biodiesel possono avere in campo agricolo. In particolare, il lavoro svolto ha sancito che essi possono avere una duplice collocazione: nella difesa dalle avversità biotiche e nel sostegno della nutrizione vegetale, migliorando la fertilità generale dei suoli. L'ampio spettro di efficacia delle farine di *B. carinata* mostrato dagli esperimenti sopra descritti, sono in linea con una serie di dati di letteratura che ne incoraggiano l'impiego nel campo della difesa vegetale [3]. Un recente studio ha riportato che applicazioni al terreno di *B. carinata*, in un sistema di produzione di fragole, ha ridotto l'incidenza di *Phytophthora spp.* [4]. Recentemente, i prodotti di idrolisi dei glucosinolati rilasciati dai tessuti di brassicacee, sono stati testati per controllare *in vitro* i patogeni fungini *Phytophthora nicotianae* [5] e *Sclerotinia sclerotiorum* [6]. Analogamente, tali formulati avevano dato risultati incoraggianti per il controllo di danni da insetti [7-10]. La farina di *B. carinata*, inoltre, è risultata compatibile con altri mezzi di lotta, come alcuni ceppi di antagonisti batterici, suggerendo la possibilità di un suo impiego in sistemi complessi integrati. Questo tipo di risultato è stato analogo a quello riportato in un lavoro precedente [11] in cui gli autori trovarono la tolleranza di alcuni ceppi di batteri utili appartenenti al genere *Bacillus* in composti biocidi rilasciati dalle farine dei semi di *B. carinata*. Inoltre, un risultato simile è stato riportato per i ceppi di *Trichoderma spp.* che hanno mostrato, *in vitro*, tolleranza a sostanze volatili biocide rilasciate da farine di semi di *B. carinata* risultate, invece, molto tossiche per i funghi fitopatogeni *Pythium ultimum*, *R. solani* e *F. oxysporum* [12].

Questa ricerca ha messo in luce le potenzialità di impiego delle farine di *B. carinata* in trattamenti fogliari. Questo in controtendenza con una vasta letteratura che propone i tessuti di brassicacee come sovescio [13], biofumiganti [14], biosanificanti [15] e come agenti per la sanificazione delle semanti [16-17].

Il più ampio spettro dei prodotti organici derivanti dal processo di estrazione del biodiesel, come si evince dai risultati della ricerca sin qui condotta, trovano un più naturale impiego in agricoltura in veste di ammendanti.

Il sostegno delle produzioni orticole con questi prodotti va nella duplice direzione di migliorare la sostenibilità dei sistemi colturali, limitando il ricorso ad input di sintesi chimica, e migliorare la qualità generale dei suoli con apporti di carbonio organico, molto scarso in suoli degradati a causa dell'eccessivo sfruttamento.

I risultati ottenuti rafforzano indicazioni precedenti sull'impiego agronomico di derivati dei semi di girasole e di brassicacee [18-20].

Inoltre, gli indicatori dell'attività biologica del suoli supportano la scelta di impiegare tali prodotti anche con finalità ecologiche proprie della dinamica delle popolazioni microbiche telluriche, come ampiamente riportato in letteratura [21].

Bibliografia

- [1] Cardone M, Mazzoncini M, Menini S, Rocco V, Senatore A, Seggiani M, Vitolo S. *Biomass Bioenerg.* 2003, 25, 623-636.
- [2] Gasol CM, Gabarrell X, Anton A, Rigola M, Carrasco J, Ciria P, Solano ML, Rieradevall J. *Biomass Bioenerg.* 2007, 31, 543-555.
- [3] Brown PD, Morra MJ. *Adv. Agron.* 1997, 61, 167-231.
- [4] Barrau C, Porrai M, Romero E, Zurera C, Ramos N, Soares C, Neto E, Marreiros A, Entrudo J, Romero F. *Revista de Ciências Agrárias* 2009, 32, 135-138.

- [5] Morales-Rodríguez C, Picón-Toro J, Palo C, Palo EJ, García Á, Rodríguez-Molina C. *Pest Manag. Sci.* 2012, DOI: 10.1002/ps.3310.
- [6] Kurt Ş, Güneş U, Soylu EM. *Pest Manag. Sci.* 2011, 67, 869–875.
- [7] Rongai D, Borselli M, Cerato C. in proceedings of XXI Italian Entomological Society National Conference, Campobasso, Italy, June 11-16 2007.
- [8] Rongai D, Cerato C, Lazzeri L, Di Franco F, Magnano di San Lio R, Benfatto D. in proceedings of XXI Italian Entomological Society National Conference, Campobasso, Italy, June 11-16 2007.
- [9] Rongai D, Cerato C, Lazzeri L, Calmieri S. in proceedings of II International Biofumigation Symposium, Moscow, Idaho, USA, June 25-29 2006.
- [10] Rongai D, Cerato C, Martelli R, Ghedini R. *Potato Res.* 1998, 41, 29-37.
- [11] Zaccardelli M, Villecco D, Del Galdo A, Lazzeri L. *Agroindustria* 2007, 6, 70.
- [12] Galletti S, Sala E, Leoni O, Burzi PL, Cerato C. *Biol. Cont.* 2008, 45, 319-327.
- [13] Larkin RP, Griffin TS. *Crop Prot.* 2007, 26, 1067-1077.
- [14] Lu P, Gilardi G, Gullino ML, Garibaldi A. *Eur. J. Plant Pathol.* 2009, 126, 387-402.
- [15] Szczygłowska M, Piekarska A, Konieczka P, Namiesnik J. *Int. J. Mol. Sci.* 2011, 2, 7760-7771.
- [16] Pane C, Villecco D, Campanile F, Zaccardelli M. *J. Plant Pathol.* 2011, 93, 47.
- [17] Pane C, Villecco D, Campanile F, Zaccardelli M. *J. Plant Pathol.* 2011, 93, 47.
- [18] Zaccardelli M, Pentangelo A, D'Onofrio B, Marchetti R. *Italian J. Agron.* 2008, 3, 283-284.
- [19] Zaccardelli M, Pentangelo A, D'Onofrio B, Lazzeri L. *Fertilitas Agrorum* 2011, 4, 38-44.
- [20] Pane C, Villecco D, Pentangelo A, Lahoz E, Zaccardelli M. *Acta Agric. Scand. Sec. B - Soil Plant Sci.* 2012, 62, 291-299.
- [21] Bending GD, Turner KM, Jones JE. *Soil Biol. Biochem.* 2002, 34, 1073-1082.

VALORIZZAZIONE DEI SOTTOPRODOTTI DELLA FILIERA DEL BIODIESEL NELL'ALIMENTAZIONE DEI BOVINI DA LATTE

Responsabile scientifico:
Giacomo Pirlo

Team di progetto:
Giacomo Pirlo, Fabio Abeni, Antonio Bruni, Giovanni Cabassi, Maurizio Capelletti, Giovanna Contarini, Luigi Degano, Luciano Migliorati, Milena Povo

Consiglio per la ricerca e sperimentazione in agricoltura, Centro di ricerca per le produzioni foraggere e lattiero-casearie (CRA-FLC), Lodi; giacomo.pirlo@entecra.it.

Introduzione

Il biodiesel viene ottenuto da piante oleaginose, come la soia, il colza e il girasole. Altre fonti sono l'olio di palma oppure i grassi animali di scarto o residui di cottura.

Il suo impiego è stato indicato come una delle strategie per ridurre la dipendenza dai combustibili fossili e diminuire la concentrazione di gas serra nell'atmosfera [1]. In Europa, a partire dal 2006, in conseguenza di alcune misure politiche adottate dall'Unione Europea, è stato registrato un forte aumento della produzione, dei consumi e dell'importazione di questo combustibile [2].

Nel caso del biodiesel da colture oleaginose, la sostenibilità della filiera può essere garantita solo attraverso la valorizzazione dei sottoprodotti. Tra le principali forme di valorizzazione si possono considerare (a) la combustione dei residui colturali, (b) l'impiego come alimento zootecnico delle farine di estrazione, (c) l'uso delle farine di estrazione come ammendanti ed anticrittogamici, (d) l'uso della glicerina per l'alimentazione animale, la produzione energetica ed industriale.

Il girasole è una coltura particolarmente adatta alle condizioni ambientali ed agronomiche dell'area del Mediterraneo. Rispetto ad altri olii di origine vegetale, quello di girasole è ricco di acido oleico e linoleico [3]. Il contenuto di grasso della farina è molto variabile e dipende dal processo di estrazione, che può essere semplicemente meccanica o effettuata mediante solventi chimici [4] [5].

È noto da tempo che l'integrazione della dieta di bovine con olii vegetali presenta alcuni aspetti negativi riguardanti il grasso e la proteina del latte [6]. Rispetto a diete prive di integrazione lipidica, oppure con l'aggiunta di sego, la loro somministrazione causa, secondo Clapperton e Steele (1985) [7], una riduzione della concentrazione di grasso del latte ed un aumento dell'acido stearico e degli acidi polinsaturi. Una modificazione della composizione degli acidi grassi, con un incremento del C18:0, *cis*-9C18:1, *trans*-11C18:1 (acido vaccenico), *cis* 9, *trans* 11C18:2(CLA) è stata osservata anche da Zengh et al. (2005) [8] e Larsen et al. (2012) [9].

La riduzione del grasso di latte e lo spostamento verso acidi grassi a lunga catena sono stati osservati anche nel caso della somministrazione di semi schiacciati di girasole a bovine da latte [10] [11] [12]. Rego et al. (2009) [13] hanno osservato che la somministrazione di olio di girasole a vacche da latte ha determinato una riduzione della concentrazione di grasso, mettendo in evidenza una riduzione lineare degli acidi grassi saturi a corta o media catena ed un incremento dei *trans* C18:1 totali e dei CLA. Infine, Murphy et al. (2008) [14] hanno mostrato che l'integrazione delle diete con 255g/d di olio di girasole ha determinato un aumento della produzione di latte, una diminuzione della concentrazione di grasso, proteina, *trans* 9C18:1, *trans* 11C18:1 e CLA. Risultati simili

sono stati ottenuti da Coakley et al. (2007) [15] ad esclusione della concentrazione di proteina che è aumentata in seguito alla somministrazione di olio di girasole.

C'è una grande attenzione sui problemi riguardanti la salute umana legati alla assunzione di alimenti con un elevato contenuto di grassi saturi. La dieta dovrebbe caratterizzarsi per una maggiore presenza di acidi polinsaturi rispetto a quelli saturi. L'aumento nel latte degli acidi polinsaturi e dei CLA, a seguito dell'introduzione del girasole nella dieta delle bovine, è di conseguenza un aspetto positivo [16].

A fronte di questi vantaggi nutrizionali, vi sono alcune remore, spesso non giustificate, riguardanti l'aumento dei rischi di ossidazione o lo sviluppo di "off-flavour" [17].

Scopo del seguente lavoro è stato di valutare la possibilità di sostituire un chilogrammo di farina di estrazione di soia con due chilogrammi di pannello di girasole (SC), nella ipotesi che questa quantità non sia tale da ridurre la produzione di latte o peggiorarne la qualità.

Materiali e metodi

Due gruppi di sedici bovine di razza ItalianHolstein sono state tenute in due aziende sperimentali (Porcellasco e Baroncina, del CRA-FLC), per valutare l'effetto della sostituzione parziale della farina di estrazione di soia (SBM) con il SC ottenuto per spremitura meccanica. Tutte le bovine erano di seconda o terza lattazione ed erano nella fase iniziale (tra 80 e 160 d dal parto) o finale (tra 160 e 240 giorni) della lattazione. In tutte e due le aziende, le vacche sono state suddivise in due gruppi omogenei, per ordine di parto e stadio di lattazione; metà gruppo ha ricevuto la SBM, l'altra metà il SC. Le diete erano isoenergetiche e isoproteiche e 2 kg/capo di SC hanno sostituito 1 kg/capo di SBM. Gli alimenti sono stati somministrati mediante miscelata completa.

Il disegno sperimentale era un *change-over*, replicato in due aziende, con periodi di tre settimane: le prime due di adattamento e la terza per la raccolta dei dati e dei campioni.

Le diete somministrate alle bovine nelle due aziende sperimentali sono riportate nella tabella 1. Il SC proveniva da girasole regolare (tabella 2). L'analisi gascromatografica degli alimenti è stata effettuata mediante la procedura descritta da Moioli et al. (2012) [18]. La composizione dell'olio del SC è riportata nella tabella 3.

La composizione del latte è stata stimata mediante spettrofotometria NIR. Il grasso del latte è stato estratto secondo lo standard ISO 14156 (2001) [19].

Tabella 1. Composizione delle diete di controllo e sperimentali

| Alimento | Dieta | |
|-------------------------------------|-------|-----|
| | SBM | SC |
| Insilato di mais | 24 | 26 |
| Fieno di medica | 2 | 2 |
| Fieno di graminacee | 2 | 2 |
| Semi di cotone | 1 | 1 |
| Concentrato | 3,6 | 3,6 |
| Farina di estrazione di soia | 1 | - |
| Pannello di girasole | - | 2 |
| Farina di mais | 4,8 | 4,8 |
| Integratore vitaminico e minerale | 0,2 | 0,2 |
| Sodio bicarbonato | 0,1 | 0,1 |
| Farina di estrazione di soia totale | 2,5 | 0,5 |
| Pannello di girasole totale | - | 2 |

Gli esteri metilici degli acidi grassi sono stati ottenuti secondo l'ISO 15884 (2002) [20], per analizzarli con una colonna 100 m GC. Le dimensioni dei globuli di grasso del latte

sono state stimate mediante granulometria laser, secondo la metodologia seguita da Cabassi et al. (2012) [21].

Tabella 2. Composizione chimica del pannello di girasole

| | | |
|----------------------|--------|------|
| Sostanza secca | (%) | 95.2 |
| Estratto etereo | (% SS) | 13.4 |
| Fibra | “ | 31.7 |
| Proteina grezza | “ | 25.3 |
| Estrattivo inazotato | “ | 23.2 |
| Ceneri | “ | 5.9 |

Tabella 3. Acidi grassi del pannello di girasole

| Acido grasso | % sul totale degli acidi |
|--------------|--------------------------|
| C14 | 0.12 |
| C16 | 6.57 |
| C17I | 0.02 |
| C17AI | 0.12 |
| C17 | 0.03 |
| C18 | 3.32 |
| C18:1 | 32.30 |
| C18:2 | 56.48 |
| C20 | 0.20 |
| C18:3 | 0.20 |
| C23 | 0.01 |
| C24 | 0.15 |

La normalità della distribuzione dei dati è stata verificata mediante stima della skewness e della kurtosis; l'omogeneità della varianza è stata stimata mediante il test F (Kamps e Lamberson, 2009) [22]. I dati sono stati analizzati mediante procedura GLM del SAS (Release 9.2; SAS Institute Inc., Cary NC), utilizzando il seguente modello: trait = farm period(farm) cow(farm) stage treatment stage*treatment. Le differenze tra le medie sono considerate significative o altamente significative ad un livello di probabilità inferiore a 0.05 oppure 0.001 rispettivamente.

Risultati

L'analisi statistica ha evidenziato che non ci sono interazioni tra il trattamento alimentare e lo stadio di lattazione, se si eccettua la concentrazione del grasso del latte e la percentuale di C10:1, C18 e C20-C22 sugli acidi grassi totali.

La sostituzione parziale della SBM con SC non ha influenzato la produzione di latte ed il contenuto di grasso; al contrario ha causato una significativa ($P < 0.05$) riduzione del contenuto in proteina (tabella 4). Per quanto riguarda la concentrazione di grasso, l'effetto della somministrazione di CS risente dello stadio di lattazione (figura 1). Con il proseguire della lattazione, infatti, la SBM tende a far produrre un latte con una concentrazione di grasso superiore a quella che si ottiene con il SC.

Tabella 4 Produzione di latte e concentrazione di grasso e proteina di bovine alimentate con SBM o con SC

| | | Dieta | | SE |
|------------------------------|--------|-------|------|------|
| | | SBM | SC | |
| | | Media | | |
| Produzione di latte | (kg/d) | 36.5 | 37.3 | 0.37 |
| Concentrazione di grasso§ | (%) | 4.03 | 3.82 | 0.01 |
| Concentrazione di proteina** | (%) | 3.52 | 3.42 | 0.01 |

**Significatività dell'effetto principale ($P < 0.001$); § interazione significativa tra trattamento e stadio di lattazione ($P < 0.05$)

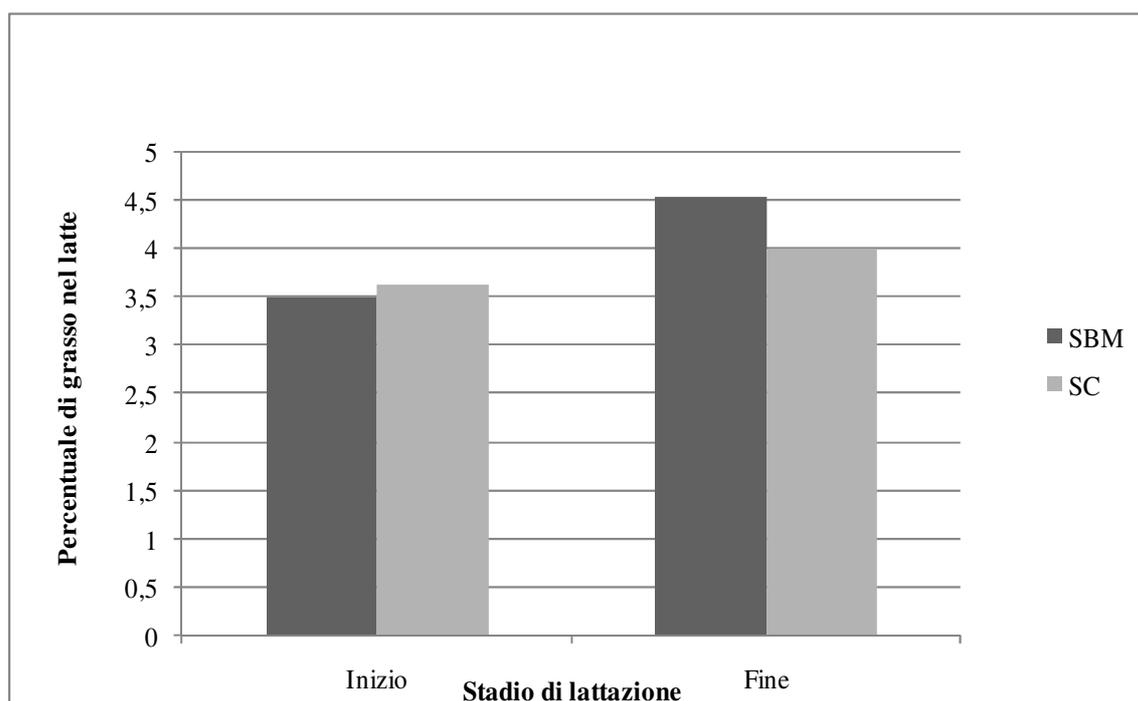


Figura 1. Percentuale di grasso del latte di bovine alimentate con SMB o SC nella fase iniziale o finale della lattazione

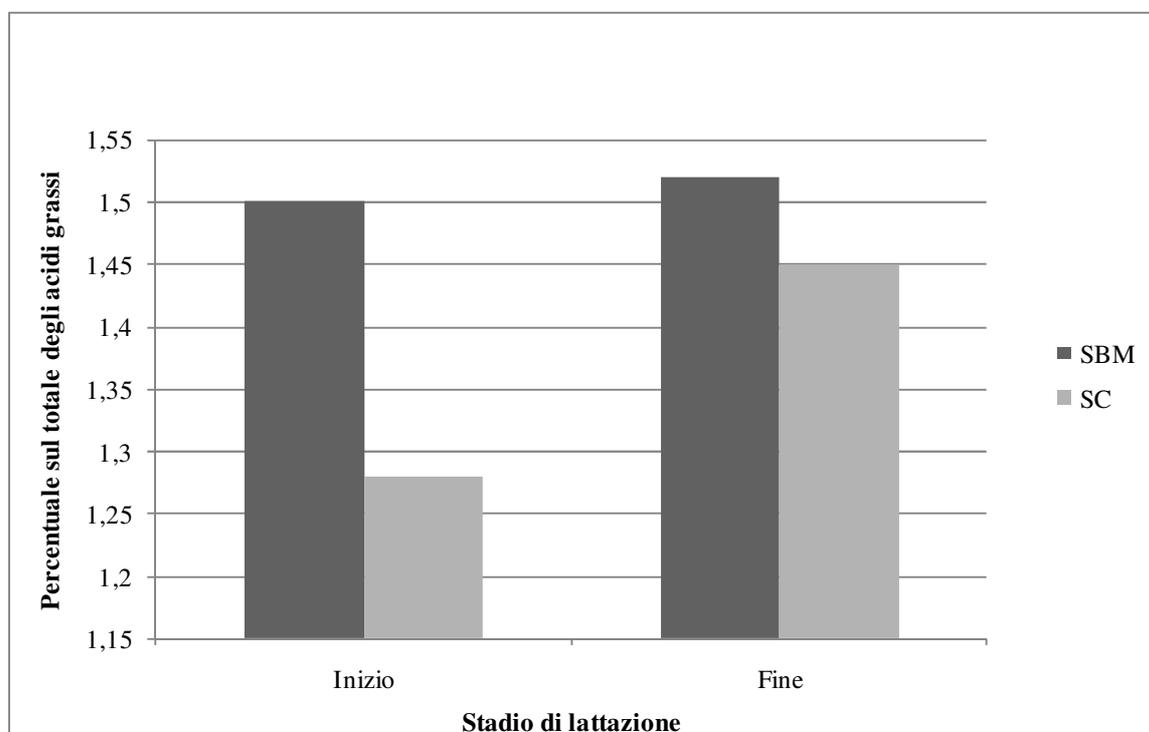


Figura 2. Percentuale di C10:1 – C14:1 sugli acidi grassi totali del latte di bovine alimentate con SMB o SC nella fase iniziale o finale della lattazione

La composizione in acidi grassi del latte è riportata nella tabella 5. La sostituzione parziale della SBM con il SC ha modificato la percentuale di diversi acidi grassi sul totale. Il SC ha determinato un incremento ($P<0.001$) della percentuale di C10:1 – C14:1, *cis*-7+ *cis*-9C16:1, acido stearico (C18), acido oleico (C18:1), acido vaccenico (*trans*-11C18:1), acido linoleico coniugato (CLA, *cis*-9,*trans*-11C18:2), C20 – C22, degli acidi insaturi totali, dei monoinsaturi e di polinsaturi. Invece, la somministrazione del SC non ha influito sulla presenza relativa dei C4 – C14 e C13 – C19, del C17:1, dell'acido arachidonico (C20:4n6), degli acidi grassi polinsaturi della serie n3 (ω -3).

Tabella 5. Percentuale degli acidi grassi sul totale degli acidi grassi del latte delle bovine alimentate con SBM o con SC

| | | Dieta | | SE |
|---|------------------|-------|-------|-------|
| | | SBM | SC | |
| | | Media | | |
| C4 – C14 | (%) | 26.4 | 26.1 | 0.28 |
| C13 – C19 | (^a) | 3.28 | 3.16 | 0.05 |
| C10:1 – C14:1**§ | (^a) | 1.15 | 1.36 | 0.01 |
| C16** | (^a) | 31.5 | 28.2 | 0.20 |
| <i>Cis</i> -7 C16:1 e <i>cis</i> -9 C16:1** | (^a) | 1.70 | 1.39 | 0.23 |
| C17:1 | (^a) | 0.15 | 0.19 | 0.02 |
| C18**§ | (^a) | 8.66 | 10.31 | 0.12 |
| C18:1** | (^a) | 21.3 | 22.9 | 0.24 |
| <i>trans</i> 11- C18:1 (VA) ** | (^a) | 0.87 | 1.21 | 0.04 |
| <i>cis</i> -9 <i>trans</i> -11C18:2 (CLA)** | (^a) | 0.47 | 0.63 | 0.02 |
| <i>cis</i> -9 <i>cis</i> -12 C18:2 (LA)** | (^a) | 2.59 | 2.95 | 0.04 |
| C20 – C22**§ | (^a) | 0.11 | 0.13 | 0.002 |
| C20:4n6 (ARA) | (^a) | 0.13 | 0.13 | 0.002 |
| Saturitotali** | (^a) | 70.0 | 67.9 | 0.31 |
| Insaturitotali** | (^a) | 30.0 | 32.1 | 0.31 |
| Monoinsaturitotali** | (^a) | 25.61 | 27.2 | 0.27 |
| Polinsaturitotali** | (^a) | 4.39 | 4.90 | 0.50 |
| ω -3 acids | (^a) | 0.39 | 0.38 | 0.05 |

**Effetto principale significativo ($P<0.001$); § interazione significativa tra trattamento e stadio di lattazione ($P<0.05$)

VA=acido vaccenico; CLA=acido linoleico coniugato; LA=acido linoleico; ARA=acido arachidonico

L'analisi della varianza ha anche messo in evidenza una significativa interazione tra il trattamento alimentare e lo stadio di lattazione per i C10:1 – C14:1 (figura 2), C18 (figura 3) e C20 – C22 (figura 4).

Nessun effetto del trattamento alimentare è stato, invece, rilevato in merito al rapporto tra volume e superficie (d_{32}) dei globuli di grasso (tabella 6).

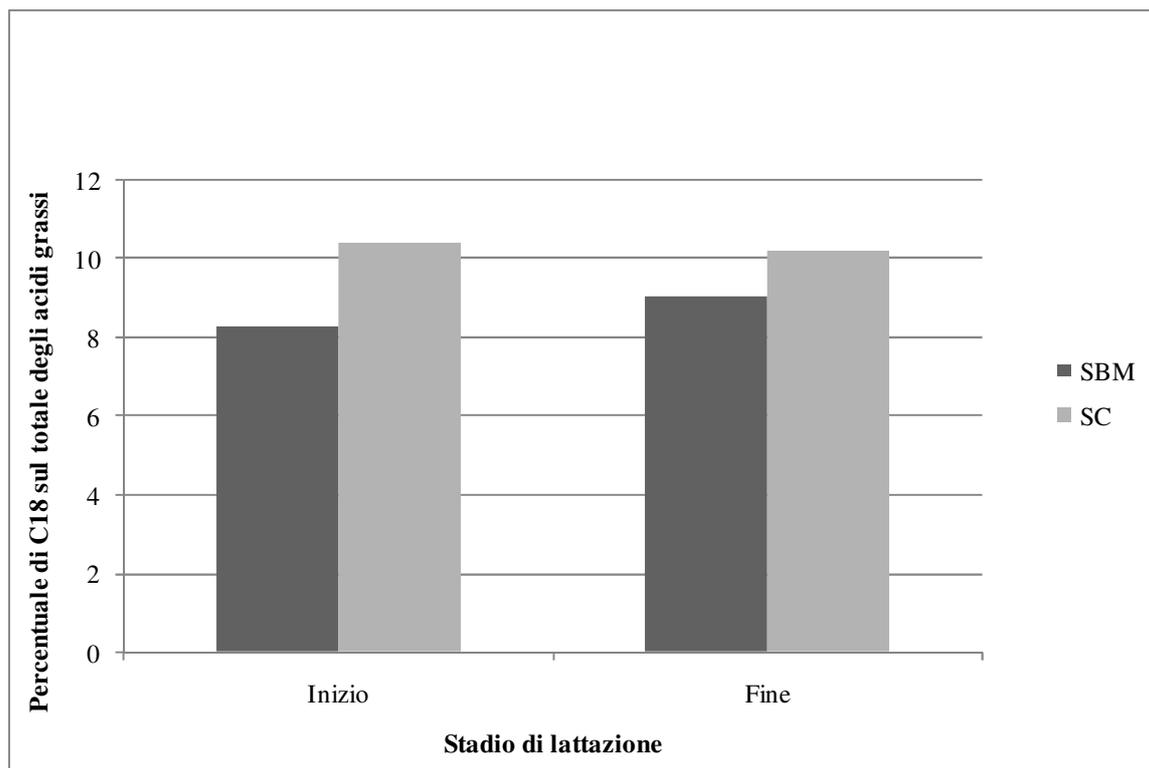


Figura 3. Percentuale di C18 sugli acidi grassi totali del latte di bovine alimentate con SMB o SC nella fase iniziale o finale della lattazione

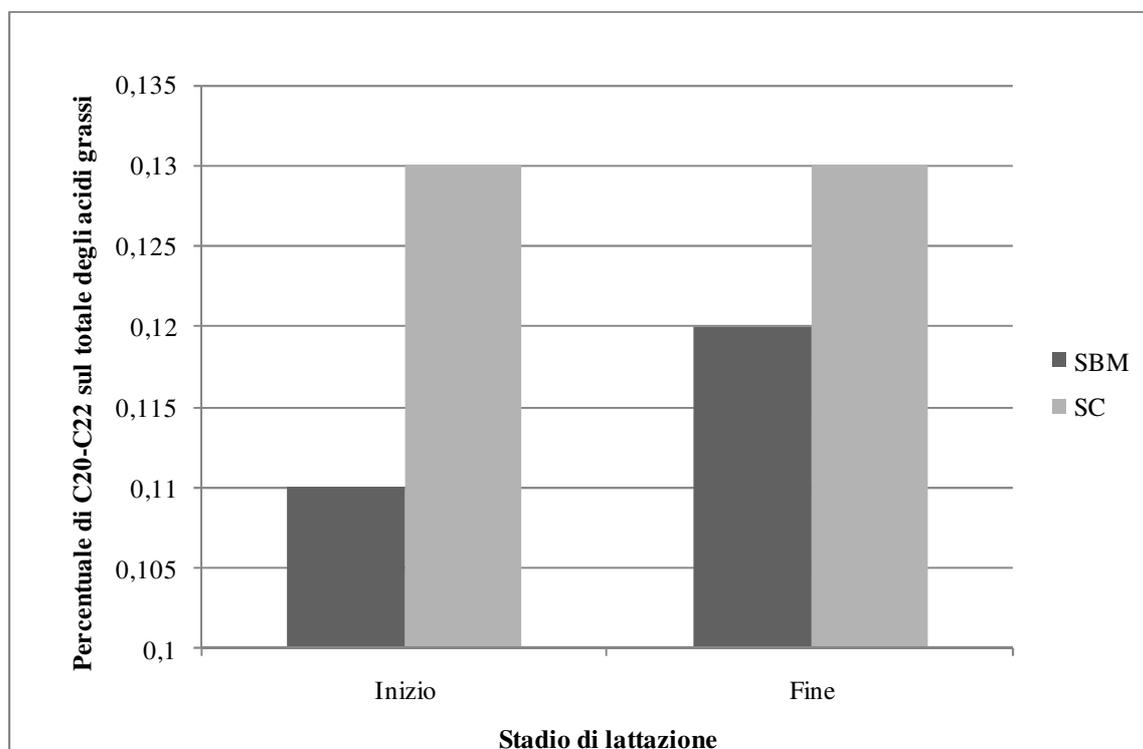


Figura 4. Percentuale di C20 – C22 sugli acidi grassi totali del latte di bovine alimentate con SMB o SC nella fase iniziale o finale della lattazione

Tabella 6. Dimensione dei globuli di grasso del latte delle bovine alimentate con SBM o SC

| | | Dieta | | SE |
|--|-------------------|-------|------|-----|
| | | SBM | SC | |
| Volume – superficie (d ₃₂) | (μm) | 3.24 | 3.22 | 0.7 |

Discussione

Con la sostituzione di parte della SMB con il SC alle bovine è stata somministrata una quantità giornaliera di lipidi pari a circa 0,2 kg.

La produzione di latte è condizionata da molti fattori di carattere genetico, ambientale e nutrizionale. Poiché non c'è stato un effetto negativo sulla quantità di latte prodotta è da ritenere che non vi sia stata né una depressione dell'ingestione di sostanza secca né una modifica delle fermentazioni ruminali a scapito della produzione di aminoacidi ruminali, che rappresentano le due vie principali attraverso le quali la dieta può deprimere la produzione.

La diminuzione del tenore in proteina del latte a seguito dell'aggiunta di lipidi è un fenomeno abbastanza atteso, osservato in vari esperimenti in cui sono state somministrate diverse fonti di lipidi non protetti [23].

La somministrazione di olii vegetali, ricchi di acido linoleico, alle bovine da latte è stata sovente associata ad una riduzione del grasso [24]. Il risultato ottenuto nella nostra prova non va visto come un risultato fuori della norma, perché gli stessi autori [24] hanno messo in evidenza che i risultati degli esperimenti sono molto diversi e la depressione del contenuto in grasso, associata all'integrazione con semi o pannelli di semi oleaginosi, è il risultato di una serie di diversi fattori concomitanti, non ancora del tutto chiariti.

L'interazione tra stadio di lattazione e trattamento alimentare ha messo in evidenza che nella fase iniziale non c'è differenza tra i due gruppi, mentre nella fase finale le bovine alimentate con SBM hanno fornito un latte con maggior contenuto in grasso (figura 1), facendo ritenere che ci sia stato un effetto predominante della mobilitazione a carico del tessuto adiposo degli animali, come suggerisce il maggior contributo dell'acido stearico alla composizione del grasso del latte degli animali alimentati con SC nella fase iniziale (figura 3).

L'aumento di acidi grassi polinsaturi nella dieta induce, nel latte, un incremento degli acidi monoinsaturi e polinsaturi. Tra questi, un particolare interesse è rivestito dall'acido linoleico. In precedenti esperimenti era già stato registrato un aumento di questo acido [13] [14] [15] [25] a seguito della somministrazione di olio di girasole. Nel nostro esperimento ciò è avvenuto mediante l'impiego del pannello.

Un'altra interessante osservazione è quella relativa al CLA, significativamente maggiore negli animali alimentati con SC. Questo fenomeno era stato osservato da Coakley et al. (2007) [15] e Murphy et al. (2008) [14] con l'olio di girasole; in questo caso l'effetto è stato ottenuto con il pannello di estrazione.

La dimensione dei globuli di grasso riveste una notevole importanza tecnologica perché influenza la reologia e le caratteristiche organolettiche del formaggio [26] ed è positivamente correlata all'affioramento del grasso, fenomeno di grande importanza per le trasformazioni casearie come quelle a grana [27]. L'esperimento ha messo in evidenza che, pur con un aumento degli acidi polinsaturi, la curva di distribuzione dei globuli e il diametro medio non risultano modificati, permettendo quindi di ritenere che la modifica apportata alla dieta non causa modificazioni significative alle attitudini tecnologiche dei globuli di grasso.

Conclusioni

In precedenti esperimenti era stato evidenziato che la somministrazione dell'olio di girasole a bovine da latte determina un aumento del contributo dell'acido linoleico nel grasso del latte ed una maggiore presenza di CLA. Questo esperimento ha consentito di verificare che questa modifica avviene anche con la somministrazione di pannello e che tale effetto è costante nell'arco della lattazione.

Il latte acquista caratteristiche nutrizionali positive senza che venga modificato un importante parametro fisico, quale la dimensione media dei globuli di grassi, che influenza l'affioramento del grasso e la trasformazione casearia.

La sostituzione di anche un solo chilogrammo di SMB con due chilogrammi di SC fornisce un contributo quantitativamente importante alla valorizzazione di questo sottoprodotto della filiera del biodiesel.

Bibliografia

- [1] Chum H., Faaj A., Moreira J., Berndes G., Dhamija P., Dong H., Gabrielle B., Gros Eng A., Lucht W., Mapako M., Masera Cerutti O., McIntyre O., Minowa T., Pingoud K. Bioenergy. In IPCC Special report on renewable energy sources and climate change mitigation (Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Seyboth K., Matschoss P., Kadner S., Zwickel T., Eickemeier P., Hansen G., Schlömer S., von Stechow C., Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, **2011**.
- [2] GAIN, EU annual biofuel report. Global Agricultural Information network. GAIN report number: NL 0019, **2010**.
- [3] National Research Council. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th revised edition. National Academic Press, Washington, D.C. **2001**.
- [4] Südekum KH. By-products from biodiesel production: glycerine and rapeseed products in rations for farm animals. In Biofuels: implications for the feed industry Doppenberg J., van der Aar J. (Eds.). Wageningen Academic Publishers, **2007**.
- [5] Trombetta M.F., Matti S., Falaschini A. Ital. J. Anim. Sci., 6, 165-173, **2007**.
- [6] Sutton J.D.. J. Dairy Sci., 72, 2801-2814, **1989**.
- [7] Clapperton J.L., Steele W.. J. Dairy Sci., 68, 2908-2913, **1985**.
- [8] Zheng H.C., Liu J.X., Yao J.H., Yuan Q., Ye H.W., Ye J.A., Wu Y.M. J. Dairy Sci., 88, 2037-2042, **2005**.
- [9] Larsen M.K., Hymøller L., Brask-Pedersen D.B., Weisbjerg M.R. J. Dairy Sci., 95, 3569-3578, **2012**.
- [10] McGuffey R.K., Schingoethe D.J. J. Dairy Sci., 65, 1479-1483, **1982**.
- [11] Casper D.P., Schingoethe D.J., Middaugh R.P., Baer R.J.. J. Dairy Sci., 71, 1267-1274, **1988**.
- [12] Sarrazin P., P., Mustafa A.F., Chouinard P.Y., Raghavan G.S.V., Sotocinal S.A. J. Sci. Food Agric., 84, 1179-1185, **2004**.
- [13] Rego O.A., Alves S.P., Antunes L.M.S., Rosa H.J.D., Alfaia C.F.M., Prates J.A.M., Cabrita A.R.J., Fonseca A.J.M., Bessa R.J.B. J. Dairy Sci., 92, 4530-4540, **2009**.
- [14] Murphy J.J., Coakley M., Stanton C. Livest. Sci., 116, 332-337, **2008**.
- [15] Coakley M., Barrett E., Murphy J.J., Ross R.P., Devery R., Stanton C. J. dairy Sci., 90, 2095-2104, **2007**.
- [16] Shingfield K.J., Chilliard Y., Toivonen V., Kairenius P., Givens D.I., Advanced in experimental medicine and biology, 606, 3-65, **2008**.
- [17] Woods V.B., Fearon A.M. Livest. Sci., 126, 1-20, **2009**.

- [18] Moioli B., Contarini G., Pariset L., Marchitelli C., Crisà A., Catillo G., Napolitano F. *Small Rum. Res.*, 103, 187-193, **2012**.
- [19] ISO (International Organization for Standardization). Standard 14156. Milk and milk products. In: *Extraction methods for lipids and liposoluble compounds*. ISO, Geneva, Switzerland, **2001**.
- [20] ISO (International Organization for Standardization). Standard 15884. Milk fat. In: *Preparation of fatty acid methyl esters*. ISO, Geneva, Switzerland, **2002**.
- [21] Cabassi G., Profaizer M., Marinoni L., Cattaneo T.M.P. *Proc. 15th Inter. Conf., Near Infrared Spectrometry*. Manley M., McGoverin C.M., Thomas D.B., Downey G. (Eds.). Cape Town, South Africa, pp 214-218, **2012**.
- [22] Kamps M., Lamberson W. *Biostatistics for animal science*, 2nd Edition. CABI, **2009**.
- [23] DePeters E.J., Cant J.P. *J. Dairy Sci.*, 75: 2043-2070, **1992**.
- [24] Bauman D.E., Griinari J.M. *Livest. Prod. Sci.*, 70, 15-29, **2001**.
- [25] Zened A., Enjalbert F., Nicot M.C., Troegeler-Meynadier A. *J. Dairy Sci.*, 96: 451-459, **2013**.
- [26] Michalski M.C., Camier B., Briard V., Leconte N., Gassi J.Y., Goudédranche H., Michel F., Fauquant J. *Lait*, 84, 4, **2004**.
- [27] Walstra P. *Physical chemistry of milk fat globules*. In *Advanced Dairy Chemistry*. Vol. 2: Lipids, P.E., pp 131-178 Fow, ed. Chapman and Hall, London, UK, **1994**.

VALORIZZAZIONE DELLA GLICERINA E DEL PANNELLO DI GIRASOLE NELL'ALIMENTAZIONE DEL SUINO PESANTE

Responsabile scientifico:
Giacinto Della Casa

Team di progetto:
Giacinto Della Casa, Davide Bochicchio, Michele Comellini, Valerio Faeti, Gianni Marchetto, Antonio Marino

C.R.A. Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in agricoltura. Unità di ricerca per la suinicoltura. San Cesario sul Panaro (MO). giacinto.dellacasa@entecra.it

Introduzione

La nascita del biodiesel nell'Unione Europea è da ricondursi alla Direttiva sulla promozione dell'uso di biocarburanti dell'8 Maggio 2003 [1]. Tale normativa aveva raccomandato agli stati membri di provvedere ad immettere sui loro mercati percentuali minime di biocarburanti, indicando come primo obiettivo il 2% su tutta la benzina ed il gasolio utilizzati per trasporto immessi sul mercato entro il 31 Dicembre 2005 con l'incremento al 5% entro il 31 Dicembre 2010 (recepita in Italia con la Legge Finanziaria 2007 che ha fissato tali obiettivi al 2%) fino a prevedere una copertura del 20% entro il 2020. La coltura oleaginosa tradizionalmente coltivata in Italia è rappresentata dal girasole, coltura dotata di notevole adattabilità climatica e quindi idonea alla coltivazione su gran parte del territorio nazionale. Il processo produttivo prevede la formazione di due sottoprodotti che possono rappresentare una valida fonte alimentare per la nutrizione degli animali da reddito: i pannelli grassi, residui dopo l'estrazione dell'olio e la glicerina grezza, prodotto della reazione tra trigliceride e metanolo. La valorizzazione di tali sottoprodotti rappresenta un interessante opportunità per incrementare e ottimizzare la sostenibilità economica dell'intera filiera energetica. Il glicerolo compare nel metabolismo del glucosio di cui può essere precursore o derivato. È la base per la formazione dei glicerolipidi, trigliceridi e fosfolipidi. Quando l'organismo utilizza le riserve lipidiche, rappresentate dai trigliceridi, dapprima le scinde in acidi grassi e glicerolo, quest'ultimo viene trasformato nel fegato in glucosio diventando una fonte di energia per il metabolismo cellulare. Il glicerolo ricopre quindi una funzione strettamente energetica nel metabolismo animale. Il glicerolo è assorbito rapidamente dopo l'ingestione e una volta completata la fase di assimilazione se ne trovano tracce solamente nelle feci [2]. Lammers [3] attribuisce al glicerolo grezzo un valore di ED pari a 3350 kcal/kg.

La crescita ottimale nei suini leggeri in fase di ingrasso si osserva con livelli di integrazione di glicerolo nella dieta tra il 5 e il 10%, della sostanza secca somministrata, sia per quanto concerne il glicerolo puro [2] [3] che per la glicerina grezza [4], vero sottoprodotto della produzione di biodiesel. I rari studi disponibili sul suino pesante [5] considerano ottimale una percentuale di inclusione pari al 5% della sostanza secca somministrata. Utilizzando percentuali d'inclusione più alte si osserva infatti un incremento della quota di glicerolo non trattenuta eliminata attraverso la via renale e pertanto una riduzione del valore nutritivo del glicerolo [6]. Diversi studi [7] [8] hanno evidenziato inoltre che inclusioni nel mangime destinato a suini leggeri pari al 5% della sostanza secca dell'intera razione porta ad incrementare in modo significativo la ritenzione idrica nei tessuti riducendo quindi le perdite per gocciolamento (*drip loss*) e quelle dovute alla cottura (*cooking loss*). Di particolare importanza, impiegando il prodotto

nell'alimentazione animale, risulta la qualità chimica della glicerina utilizzabile in termini di impurità in essa contenute. L' EFSA nel Dicembre 2010 attraverso il "parere scientifico sui rischi abiotici per la salute pubblica e degli animali connessi alla glicerina come co-prodotto della produzione di biodiesel a partire dai sottoprodotti di origine animale" [9] indica che concentrazioni fino allo 0,5% di metanolo nella glicerina non esercita effetti avversi sulla salute degli animali. Più recentemente l' Unione Europea attraverso il Regolamento (UE) N. 575/2011 [10] consente la presenza di metanolo fino allo 0,2%. Il pannello che residua dall'estrazione dell'olio può rappresentare un mangime con caratteristiche nutrizionali assai diverse, strettamente dipendenti dal grado di decorticazione a cui vengono sottoposti i semi prima della spremitura e dall'efficienza della spremitura stessa. Un maggiore grado di decorticazione corrisponde ad una qualità superiore del prodotto con alti tenori proteici ed un minore quantitativo di fibra grezza e lignina [11], quest'ultima presente nei pannelli di semi interi in quantità tali da ostacolarne la digeribilità nelle specie monogastriche [12]. Di fondamentale importanza risulta l'efficienza di spremitura, aumentando la quale aumenta il tenore proteico del prodotto e diminuisce il valore energetico. Alla luce di queste variabili non esistono in letteratura studi comparabili sull'utilizzazione in alimentazione animale del pannello grasso di girasole, il livello di inclusione nella razione risulta strettamente dipendente dalla qualità del pannello impiegato. L'utilizzazione dei pannelli grassi di girasole nell'alimentazione del suino pesante trova un forte limite nel contenuto e nella qualità della frazione lipidica in essi presente, risulta caratterizzata da un elevato grado di insaturazione (soprattutto a causa dell'alta concentrazione di acido linoleico) che potrebbe comportare un peggioramento delle caratteristiche del grasso di deposito [13] con inaccettabili problematiche legate soprattutto alla stagionatura dei prodotti. Recenti studi [14] hanno messo in luce la possibilità di utilizzare l'olio di girasole ottenuto da ibridi alto oleico nell'alimentazione del suino pesante. Tali ibridi, considerati in passato meno produttivi, hanno raggiunto oggi rese equiparabili alle varietà convenzionali [15]. Scopo del presente lavoro è stato quello di valutare l'impiego della glicerina grezza e del pannello di girasole, derivato da ibridi alto oleico e basso linoleico, nell'alimentazione del suino pesante e verificarne l'effetto sulle prestazioni produttive e sulla qualità delle carni prodotte.

Metodologia

Il pannello di girasole utilizzato nella sperimentazione è stato ottenuto attraverso la spremitura, in uguali proporzioni, di due ibridi di girasole alto oleico (NK Camen e Oleko) già parzialmente decorticate. Sul prodotto così ottenuto sono state condotte, in accordo con le metodiche indicate dalla Commissione Valutazione degli Alimenti [16], le seguenti analisi chimiche-bromatologiche: sostanza secca, proteina grezza, estratto etereo, ceneri, fibra grezza, fibra neutro detersa (NDF), fibra acido detersa (ADF), lignina (ADL) (Tabella 1).

Tabella 1 Caratteristiche nutrizionali del pannello di girasole ottenuto (% sul tal quale)

| Campione | Pannello di girasole |
|--------------------------|----------------------|
| Umidità in stufa a 65 °C | 9,37 |
| Proteina greggia | 32,40 |
| Grassi greggi | 11,44 |
| Ceneri | 5,41 |
| Fibra grezza | 14,06 |
| NDF | 23,91 |
| ADF | 20,65 |
| ADL | 6,05 |
| ED (Kg/cal) | 3839 |

Tabella 2 Composizione acidica dell'olio estratto dalla miscela di due varietà alto oleico(% sul totale degli acidi grassi)

| | |
|--------------------|-------|
| Acido miristico | 0,04 |
| Acido palmitico | 3,80 |
| Acido palmitoleico | 0,16 |
| Acido stearico | 2,31 |
| Acido oleico | 87,99 |
| Acido linoleico | 4,07 |
| Acido linolenico | 0,04 |
| Acido arachidonico | 0,20 |
| Acido eicosaenoico | 0,21 |
| Acido behenico | 0,69 |
| Acido lignocerico | 0,29 |
| Altri | 0,21 |

L'energia digeribile del pannello di girasole è stata stimata sulla base dell'equazione di Perez [17]. Sulla frazione lipidica è stata eseguita l'analisi gascromatografica [18] [19] per evidenziarne il contenuto acidico (Tabella 2). La glicerina grezza è stata sottoposta ad analisi per accertarne i principali parametri qualitativi, in particolare la quantità di metanolo presente [20] (Tabella 3).

Tabella 3 Parametri qualitativi del glicerolo utilizzato (% sul tal quale).

| Campione | Glicerolo | Riferimento Normativo |
|----------------------------|-----------|-----------------------|
| Umidità in stufa a 65 °C x | 6,68 | - |
| Glicerolo presente | 90,92 | - |
| Ceneri | 3,20 | - |
| Metanolo | < 0,01 | 0,2% S.S* |

*Regolamento (UE) N. 575/2011

Lo studio è stato realizzato attraverso l'utilizzo di 48 suini (Duroc x Large White) distribuiti in maniera omogenea in base al peso, al sesso e alla nidiata di provenienza, in tre tesi sperimentali (Controllo, Glicerina, Pannello) ognuna costituita da 4 ripetizioni di 4 animali ciascuna. Gli animali, del peso vivo iniziale di 53 kg, macellati dopo 138 giorni di prova al raggiungimento di circa 165 kg, sono stati alimentati con mangimi (Tabella 4) formulati in base all'età e aventi lo stesso rapporto Lisina/ED (Tabella 5). Le miscele utilizzate sono state sottoposte ad analisi chimica [16] per determinare il contenuto di proteine e di lipidi grezzi, inoltre è stata valutata la qualità della frazione lipidica attraverso analisi gascromatografica [18] [19] (Tabella 5). La razione iniziale di 1,6 kg/capo/d è stata incrementata di 200 g/capo/d per le prime tre settimane e successivamente di 100 g/capo/d ogni settimana fino al raggiungimento della dose massima di 3,4 kg/capo/d. La formulazione del mangime per il gruppo alimentato con glicerina grezza è stata modificata in modo tale che la razione giornaliera apportasse la stessa quantità di tutte le materie prime apportate al gruppo di controllo ad eccezione della farina di mais. La glicerina grezza ha sostituito nel gruppo Glicerina il 10% della sostanza secca apportata dal mais cioè il 5% della sostanza secca dell'intera dieta. La glicerina grezza è stata, aggiunta all'acqua di borlanda al momento della somministrazione del pasto. Le quantità di glicerina grezza per capo e per giorno è cresciuta quindi dagli 80 g iniziali ad un massimo di 170 g. L'alimento è stato somministrato in forma umida con rapporto acqua : mangime

di 2,5 : 1. Il pannello di girasole parzialmente decorticato è stato incluso nella razione alimentare in ragione del 15% (tesi Pannello) in totale sostituzione della farina di estrazione di soia. Poiché la proteina del girasole è di minor valore biologico rispetto a quella della farina di estrazione di soia, la dieta è stata integrata con una maggior quantità di lisina treonina e triptofano di sintesi.

Tabella 4 Formulazione dei mangimi

| | da 40 a 80 kg | | da 80 a 120 kg | | Oltre 120 kg | |
|------------------------|---------------|----------|----------------|----------|--------------|----------|
| | Controllo | Pannello | Controllo | Pannello | Controllo | Pannello |
| Farina di mais | 50,00 | 50,00 | 52,00 | 52,00 | 54,00 | 54,00 |
| Farina di orzo | 24,80 | 22,50 | 25,80 | 20,70 | 26,80 | 18,80 |
| Crusca di grano tenero | 9,00 | 9,00 | 9,00 | 9,00 | 9,00 | 9,00 |
| F. e. soia proteica | 13 | - | 10,00 | - | 7,00 | - |
| Pannello di girasole | - | 15,00 | - | 15,00 | - | 15,00 |
| L-lisina HCl | 0,20 | 0,48 | 0,15 | 0,34 | 0,09 | 0,19 |
| L-treonina | - | 0,04 | - | - | - | - |
| L-triptofano | - | 0,03 | - | 0,01 | - | - |
| Carbonato di calcio | 1,20 | 1,15 | 1,25 | 1,15 | 1,31 | 1,21 |
| Fosfato bicalcico | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Cloruro di sodio | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Integratore | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |

Tabella 5 Composizione chimica dei mangimi

| | | da 40 a 80 kg | | da 80 a 120 kg | | Oltre 120 kg | |
|----------------------------|---------|---------------|----------|----------------|----------|--------------|----------|
| | | Controllo | Pannello | Controllo | Pannello | Controllo | Pannello |
| Valori calcolati (s.t.q.) | | | | | | | |
| Protidi grezzi | % | 14,06 | 13,04 | 12,90 | 12,84 | 11,74 | 12,67 |
| Lipidi grezzi | " | 2,86 | 4,30 | 2,90 | 4,34 | 2,94 | 4,37 |
| Energia digeribile | Kcal/kg | 3085 | 3111 | 3074 | 3122 | 3064 | 3131 |
| Acido linoleico | % | 1,33 | 1,29 | 1,35 | 1,32 | 1,38 | 1,34 |
| Lisina | " | 0,79 | 0,80 | 0,68 | 0,69 | 0,55 | 0,57 |
| Lisina/E.D. | g/Mcal | 2,58 | 2,58 | 2,20 | 2,21 | 1,79 | 1,81 |
| Valori analizzati (s.t.q.) | | | | | | | |
| Protidi grezzi | % | 14,12 | 13,50 | 12,88 | 12,67 | 11,42 | 12,79 |
| Lipidi grezzi | " | 2,53 | 4,38 | 2,92 | 4,53 | 2,77 | 4,56 |
| Ac. Miristico | " | 0,18 | 0,09 | 0,17 | 0,09 | 0,17 | 0,09 |
| Ac. Palmitico | " | 21,91 | 12,07 | 21,53 | 12,12 | 21,35 | 12,23 |
| Ac. Palmitoleico | " | 0,14 | 0,15 | 0,14 | 0,15 | 0,14 | 0,15 |
| Ac. Stearico | " | 3,55 | 2,48 | 3,53 | 2,51 | 3,36 | 3,42 |
| Ac. Oleico | " | 28,19 | 53,47 | 28,88 | 52,99 | 28,65 | 52,91 |
| Ac. Cis-vaccenico | " | 0,35 | 0,04 | 0,29 | 0,04 | 0,25 | 0,04 |
| Ac. Linoleico | " | 42,74 | 30,02 | 42,69 | 30,43 | 43,41 | 30,48 |
| Ac. Linolenico | " | 2,43 | 1,32 | 2,31 | 1,32 | 2,22 | 1,28 |
| Ac. Eicosenoico | " | 0,51 | 0,35 | 0,44 | 0,33 | 0,44 | 0,34 |

Gli animali, pesati ogni 28 giorni, sono poi stati macellati dopo 138 giorni di prova, al raggiungimento del peso vivo medio di circa 165 kg. In sede di macellazione è stato rilevato il peso della carcassa per il calcolo della resa lorda ed è stato stimato il tenore in carne magra con la strumentazione F.O.M. Successivamente le carcasse sono state sezionate e sono stati rilevati il peso delle cosce, il peso dei lombi (taglio Bologna senza

costole e senza vertebre sacrali) ed il pH dei muscoli semimembranoso e bicipite femorale a 45' dalla macellazione. A 24 ore dalla macellazione è stato rilevato il pH dei muscoli semimembranoso e bicipite femorale ed il peso dei prosciutti a freddo. Un prosciutto per ogni suino è stato rifilato, pesato ed avviato alla stagionatura in uno stabilimento aderente al Consorzio del Prosciutto di Parma. Contemporaneamente è stato prelevato un campione di grasso di copertura della coscia a tutto spessore per l'analisi della composizione acidica [18] [19] e per la determinazione del numero di iodio [16]. Sono stati selezionati 18 lombi, tre di maschi e tre di femmine per ogni tesi sperimentale, dai quali sono stati prelevati tranci costituiti dalla porzione del *Longissimus dorsi* sovrastante le prime 3-4 vertebre lombari da sottoporre all'analisi centesimale (sostanza secca, protidi grezzi, lipidi grezzi, ceneri) [16] e alla valutazione sensoriale [21]. Il *Longissimus dorsi* sovrastante la successiva vertebra lombare è stato prelevato per la determinazione della perdita di liquido (*drip loss*) e del calo di cottura (*cooking loss*) [22].

I dati rilevati sono stati analizzati con l'analisi della varianza con SAS [23], secondo il seguente modello: $y_{ijl} = M + C_i + D_j + CD_{(ij)} + e_{ijl}$ dove y_{ijl} = variabile dipendente osservata sull' i^{mo} soggetto del ij^{mo} sottogruppo; M = media generale; C_i = trattamento alimentare ($i = 1,3$); D_j = sesso ($j=1,2$); $CD_{(ij)}$ = interazione dieta x sesso; e_{ijl} = errore residuo. Le variabili che differivano per $P \leq 0.05$ sono state testate con il test di Bonferroni rispettivamente con $\alpha = 0.05$ e $\alpha = 0.01$. Le medie pubblicate sono state calcolate attraverso LSMEANS della procedura GLM. La cella minima è il box di 4 animali per i dati in vita, ed il singolo animale per i dati di macellazione e composizione acidica del grasso dorsale.

Per quanto concerne l'analisi statistica sensoriale, le diverse tesi sono state sottoposte all'analisi della varianza, con la metodologia SPSS [24], le medie sono state distinte attraverso il test di Duncan di separazione delle medie ($\alpha = 0.05$) per identificare i descrittori utili alla differenziazione delle tesi. Infine, è stata eseguita, sulle medie dei descrittori per ogni lombo in esame, l'analisi delle componenti principali per verificare quali fossero i descrittori che distinguevano meglio le tre tipologie di studio.

Risultati

Dai valori riportati in Tabella 1 si evince l'alta qualità della decorticazione ottenuta dai semi di girasole (PG 32,4%, FG 14,06%) con valori nutrizionali che rispecchiano i parametri ottimali indicati da Piccioni [25] per il prodotto destinato all'alimentazione della specie suina. La glicerina utilizzata risulta conforme al Regolamento (UE) N. 575/2011 [10].

Durante la prova sperimentale non si sono registrate patologie o episodi clinici acuti o cronici ascrivibili alla razione utilizzata o in particolare ai sottoprodotti utilizzati. L'appetibilità dei mangimi è risultata normale; gli animali dei gruppi Pannello e Glicerina non hanno lasciato residui né impiegato per l'ingestione delle razioni tempi maggiori di quelli del gruppo Controllo. Le prestazioni produttive in vita (Tabella 6) sono risultate sovrapponibili nelle tre tesi alimentari in tutte le fasi della carriera produttiva degli animali. I principali parametri produttivi, incremento ponderale e conversione degli alimenti, non hanno messo in evidenza differenze significative tra i gruppi sperimentali considerati; l'analisi statistica rileva solamente differenze significative ($P < 0,01$) negli accrescimenti delle femmine rispetto ai maschi nei primi 55 giorni di prova.

Tabella 6 Prestazioni produttive in vita

| | Alimentazione | | | Sesso | | EMS | | |
|------------------------|---------------|----------|-----------|--------|---------|--------|--------|---------|
| | Controllo | Pannello | Glicerolo | Maschi | Femmine | | | |
| Peso: | | | | | | | | |
| Iniziale | kg | 53,4 | 53,2 | 53,2 | 54,0 | 52,6 | 12,360 | |
| Dopo 55 | d. | " | 96,5 | 96,2 | 96,7 | 96,3 | 96,7 | 9,710 |
| Finale (138 d) | " | 165,5 | 163,6 | 164,4 | 164,2 | 164,8 | 9,780 | |
| Accrescimento: | | | | | | | | |
| Da 1 a 55 | d | g/d | 783 | 782 | 790 | 769 b | 801 a | 144,130 |
| Da 56 a 138 | d | " | 832 | 812 | 816 | 818 | 821 | 346,250 |
| Da 1 a 138 | d | " | 813 | 800 | 806 | 799 | 813 | 233,170 |
| Indice di conversione: | | | | | | | | |
| Da 1 a 55 | d | | 2,76 | 2,77 | 2,74 | 2,81 a | 2,70 b | 0,002 |
| Da 56 a 138 | d | | 3,64 | 3,73 | 3,73 | 3,71 | 3,69 | 0,006 |
| Da 1 a 138 | d | | 3,30 | 3,35 | 3,34 | 3,37 | 3,30 | 0,003 |

A, B, C indicano differenze significative per P< 0,001; a, b, c indicano differenze significative per P< 0,05

Dai risultati registrati in fase di macellazione (Tabella 7) e sezionatura (Tabella 8) come pure dai rilievi condotti su campioni di muscolo *Longissimus dorsi* (Tabella 9) non sono emerse differenze significative tra le diverse tesi sperimentali.

Tabella 7 Risultati di macellazione e sezionatura

| | Alimentazione | | | Sesso | | EMS | |
|---------------------------|---------------|----------|-----------|--------|---------|-------|-------|
| | Controllo | Pannello | Glicerolo | Maschi | Femmine | | |
| Peso finale | kg | 165,5 | 163,6 | 164,4 | 164,2 | 164,8 | 9,780 |
| Peso della carcassa | " | 136,8 | 136,1 | 135,1 | 136,3 | 135,7 | 52,07 |
| Resa lorda ⁽¹⁾ | % | 82,6 | 83,2 | 82,2 | 83,0 | 82,3 | 1,440 |
| Carne magra | " | 48,2 | 47,8 | 48,1 | 48,3 | 47,7 | 5,886 |
| Peso cosce a caldo | kg | 34,06 | 33,83 | 33,98 | 33,94 | 33,97 | 3,205 |
| Resa cosce ⁽²⁾ | % | 24,9 | 24,9 | 25,2 | 24,9 | 25,0 | 0,290 |
| Peso lombi | kg | 15,54 | 14,95 | 15,15 | 15,28 | 15,15 | 0,977 |
| Resa lombi | % | 11,4 | 11,1 | 11,1 | 11,22 | 11,17 | 0,340 |

(1) calcolata sul peso vivo (2) calcolata sul peso a caldo della carcassa

Tabella 8 Caratteristiche delle cosce

| | Alimentazione | | | Sesso | | EMS | |
|-----------------------|---------------|----------|-----------|--------|---------|-------|-------|
| | Controllo | Pannello | Glicerolo | Maschi | Femmine | | |
| pH a 45': | | | | | | | |
| Semimembranoso | | 5,93 | 5,87 | 5,94 | 5,93 | 5,90 | 0,020 |
| Bicipite femorale | | 6,01 | 6,03 | 6,01 | 5,99 | 6,04 | 0,028 |
| pH a 24 ore: | | | | | | | |
| Semimembranoso | | 5,78 | 5,78 | 5,74 | 5,81 | 5,73 | 0,012 |
| Bicipite femorale | | 5,81 | 5,77 | 5,78 | 5,84 | 5,74 | 0,012 |
| Peso cosce a 24 ore | kg | 33,62 | 33,43 | 33,57 | 33,53 | 33,56 | 3,130 |
| Calo raffreddamento | % | 1,26 | 1,18 | 1,20 | 1,21 | 1,23 | 0,007 |
| Peso coscia sinistra: | | | | | | | |
| a freddo | kg | 16,82 | 16,76 | 16,74 | 16,79 | 16,76 | 0,809 |
| rifilata | " | 13,92 | 13,71 | 13,69 | 13,78 | 13,77 | 0,478 |
| Calo rifilatura | % | 17,0 | 18,2 | 18,2 | 17,8 | 17,8 | 2,280 |

Tabella 9 Caratteristiche del muscolo Longissimus dorsi

| | | Alimentazione | | | Sesso | | EMS |
|-----------------|---|---------------|----------|-----------|--------|---------|-------|
| | | Controllo | Pannello | Glicerolo | Maschi | Femmine | |
| Sostanza secca | % | 27,39 | 27,98 | 27,40 | 27,66 | 27,52 | 0,459 |
| Proteine grezze | " | 23,15 | 23,15 | 23,32 | 23,27 | 23,15 | 0,231 |
| Lipidi grezzi | " | 3,18 | 3,33 | 2,89 | 2,96 | 3,30 | 1,279 |
| Ceneri | " | 1,12 | 1,10 | 1,13 | 1,12 | 1,11 | 0,001 |
| Drip loss | " | 3,52 | 3,64 | 3,89 | 3,91 | 3,47 | 1,243 |
| Cooking loss | " | 35,68 | 35,59 | 36,64 | 36,82 | 35,12 | 1,594 |

L'analisi gascromatografica rileva differenze significative nella composizione acidica del grasso di copertura derivato dai tre gruppi sperimentali (Tabella 10).

In particolare la frazione lipidica del gruppo alimentato con pannello di girasole mette in luce una più alta componente monoinsatura rispetto ai gruppi Controllo e Glicerolo (53,10 vs 47,63; 49,30) grazie ad un più alto contenuto di acido oleico (49,52 vs 43,96; 45,06) a scapito della componente satura (36,17 vs 40,75; 39,78). Nel gruppo Pannello risultano infatti significativamente inferiori i contenuti percentuali di acido palmitico (21,26 vs 23,03; 22,96) e di acido stearico (13,68 vs 16,47; 15,57). Il contenuto in acidi grassi polinsaturi, pur tendenzialmente inferiore in Pannello e Glicerolo rispetto al controllo, non risulta significativamente diverso.

Tabella 10 Composizione acidica del grasso dorsale (%)

| | | Alimentazione | | | EMS |
|-------------------|-----------|---------------|----------|-----------|-------|
| | | Controllo | Pannello | Glicerolo | |
| Ac. Miristico | C 14:0 | 1,25 | 1,22 | 1,26 | 0,009 |
| Ac. Palmitico | C 16:0 | 23,03 A | 21,26 B | 22,96 A | 1,212 |
| Ac. Palmitoleico | C 16:1 | 1,66 | 1,61 | 1,82 | 0,655 |
| Ac. Stearico | C 18:0 | 16,47 A | 13,68 B | 15,57 A | 1,483 |
| Ac. Oleico | C 18:1n-9 | 43,96 B | 49,52 A | 45,06 B | 2,115 |
| Ac. Cis-Vaccenico | C 18:1n-7 | 1,09 | 1,02 | 1,39 | 0,123 |
| Ac. Linoleico | C 18:2n-6 | 11,01 | 10,35 | 10,43 | 1,013 |
| Ac. Linolenico | C 18:3n-3 | 0,51 A | 0,38 B | 0,49 A | 0,002 |
| Ac. Eicosenoico | C 20:1 | 0,92 | 0,96 | 1,03 | 0,013 |
| Σ SFA | | 40,75 A | 36,17 B | 39,78 A | 2,394 |
| Σ MUFA | | 47,63 B | 53,10 A | 49,30 B | 2,446 |
| Σ PUFA | | 11,61 | 10,73 | 10,92 | 1,097 |
| N. Iodio | | 60,80 B | 63,35 A | 60,81 B | 2,807 |

A, B, C indicano differenze significative per $P < 0,001$; a, b, c indicano differenze significative per $P < 0,05$

In conseguenza delle variazioni della composizione acidica, il numero di iodio risulta significativamente più alto nel gruppo pannello rispetto al gruppo controllo e glicerolo (63,35 vs 60,80; 60,81) (Tabella 10). La valutazione sensoriale ha messo in evidenza (Tabella 11) differenze tra le tre tesi sperimentali esclusivamente per la succosità ($P < 0,001$), per la quale si distingue la minor succosità della tesi con glicerolo e per il colore, mediamente più intenso ($P < 0,05$) nella tesi controllo rispetto alle altre tipologie di lombo.

Tabella 11 Analisi sensoriale

| Descrittori | Controllo | Pannello | Glicerolo | EMS |
|-----------------------------|-----------|----------|-----------|-------|
| Colore | 5,1 a | 4,7 b | 4,7 b | 0,306 |
| Marezzatura | 5,3 | 5,5 | 5,0 | 1,444 |
| Tenerezza iniziale | 5,5 | 5,6 | 5,5 | 0,446 |
| Tenerezza di frammentazione | 5,1 | 5,1 | 5,1 | 0,507 |
| Succosità | 3,9 A | 4,0 A | 3,4 B | 0,419 |
| Residuo finale | 2,5 | 2,6 | 2,5 | 0,204 |
| Masticabilità | 5,4 | 5,4 | 5,2 | 0,316 |
| Intensità aroma | 5,7 | 5,6 | 5,5 | 0,288 |
| Aroma di burro | 2,8 | 2,9 | 2,6 | 0,320 |
| Altri aromi | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 0,173 |

A, B, C indicano differenze significative per $P < 0,001$; a, b, c indicano differenze significative per $P < 0,05$

Discussione

L'utilizzazione del 15% di pannello grasso di girasole, in sostituzione integrale della farina di estrazione di soia ha consentito di mantenere i medesimi livelli produttivi sia in termini di accrescimento che in termini di utilizzazione dell'alimento. Questo ovviamente è stato reso possibile dalla disponibilità di aminoacidi di sintesi (lisina, treonina e triptofano) che hanno consentito di equilibrare gli apporti amminoacidici. Infatti l'inclusione di L-lisina nella formulazione del mangime per gli animali da 40 a 80 kg è stata dello 0,48%, un livello molto più alto di quello usuale. Sono stati inseriti anche L- treonina ed L- triptofano che sono stati in passato utilizzati (a causa del loro costo) solamente nei mangimi ad alto valore biologico e nutritivo destinati ai suinetti nelle prime fasi di vita. La tendenza all'aumento dei prezzi delle farine proteiche di origine vegetale e una maggior disponibilità (associata a prezzi minori) degli aminoacidi di sintesi dischiude oggi la possibilità di rinunciare, nell'alimentazione dei suini, alle farine vegetali di maggior valore biologico (fra cui prima la farina di estrazione di soia). Con l'utilizzazione di aminoacidi di sintesi è infatti tecnicamente possibile equilibrare nella dieta gli apporti in aminoacidi essenziali anche partendo da proteine di relativamente scarso valore biologico quale il girasole.

In questo caso la sostituzione è stata resa possibile anche dall'alto valore nutritivo del pannello utilizzato, dovuto ad una parziale decorticatura e ad una spremitura non particolarmente spinta. Questo ha reso non necessario l'uso di fonti lipidiche al fine di riequilibrare il rapporto fra energia digeribile e lisina. In base alle diverse caratteristiche qualitative dei pannelli presenti oggi sul mercato, dovute principalmente alla differente intensità di decorticazione e alla diversa efficienza di spremitura, risulta difficile comparare i risultati avuti con i pochi studi disponibili in letteratura. In suini leggeri Henry *et al.* [26], hanno ottenuto le medesime prestazioni produttive impiegando mangimi con farina di estrazione di soia o pannello decorticato di girasole integrato con lisina di sintesi; questi mangimi erano a base di frumento ad alto contenuto proteico (13,5%); Da Costa Ribeiro *et al.* [27] invece, utilizzando un pannello di girasole non decorticato e integrando la dieta con lisina e metionina di sintesi sono stati in grado di sostituire circa la metà della farina di estrazione di soia. Non risultano studi sull'utilizzo del pannello decorticato nell'alimentazione del suino pesante. Trombetta [12] rileva un calo significativo nelle prestazioni (accrescimento medio giornaliero ed indice di conversione) del suino pesante alimentato con pannello di girasole non decorticato evidenziando bassi coefficienti digestivi delle frazioni fibrose in esso contenute. Allo stesso modo la sostituzione di una pari quantità di sostanza secca di mais con glicerina grezza non ha provocato alcun tipo di

peggiore degli indici produttivi. Naturalmente questo risultato è riferibile ad una glicerina grezza di ottima qualità (90% di glicerolo e solamente 3,3% di sali) nella misura del 5% della sostanza secca della dieta. In passato Kijora [2], dopo diverse sperimentazioni che includevano fino al 30% di glicerolo nella dieta degli animali, indicava come crescita ottimale livelli di integrazione di glicerolo tra il 5% e il 10% su suini leggeri in accrescimento. Studi più recenti [5] sull'alimentazione del suino pesante indicano cali produttivi in termini di conversione dell'alimento quando il glicerolo raggiunge livelli di inclusione pari al 10% della sostanza secca della razione. È risaputo infatti che al di sopra di una percentuale di circa il 7% di glicerina nella dieta, aumenta in modo significativo la perdita di glicerolo per via urinaria. Pertanto inclusioni nella dieta di oltre il 7-10% di glicerolo superano le potenzialità di ritenzione dell'organismo e ne determinano una riduzione del valore nutritivo a causa delle perdite per via urinaria. Probabilmente tale limite è imputabile alla saturazione dell'enzima glicerolchinasasi, enzima citoplasmatico che trasforma il glicerolo in glicerolo 3-fosfato (via della gluconeogenesi) all'interno del citoplasma cellulare [6] impedendone l'uscita negli spazi extracellulari quando il glicerolo non venga immediatamente utilizzato per la sintesi lipidica.

L'utilizzazione sia della glicerina grezza che del pannello di girasole non ha peggiorato l'attitudine alla trasformazione delle cosce in prosciutti tipici. Infatti il contenuto in acido linoleico è risultato tendenzialmente inferiore rispetto al controllo, ed il numero di Iodio, pur significativamente superiore nel gruppo Pannello, rimane abbondantemente al di sotto del limite di accettabilità (70) individuato dal Disciplinare del Prosciutto di Parma.

Dalla valutazione sensoriale dei lombi esaminati infine non emergono differenze tra le tre diverse tesi tali da sconsigliare l'impiego della glicerina grezza e del pannello di girasole nell'alimentazione del suino pesante. I prosciutti sono giunti a termine stagionatura e sono in corso le analisi qualitative sul prodotto stagionato.

Conclusioni

Entrambi i sottoprodotti presi in esame sono interessanti per l'alimentazione del suino pesante. La possibilità di sostituire la farina di estrazione di soia con il pannello grasso parzialmente decorticato di girasole potrebbe consentire, al di là delle fluttuazioni di mercato delle materie prime, una minore dipendenza dai paesi extraeuropei nell'approvvigionamento proteico e minori rischi di presenza indesiderata di OGM. Il girasole inoltre costituisce una coltivazione sostenibile in molte zone del territorio nazionale. La glicerina grezza, nei limiti utilizzati nella presente ricerca, può costituire una fonte energetica sostitutiva dei cereali, in particolare del mais, cereale per il quale è crescente la competizione fra uomo ed animali, in particolare a motivo degli scenari climatici che vengono prospettati nei quali sarà sempre più ridotta la disponibilità idrica; d'altra parte il limite di inclusione della glicerina del 5-7% sulla sostanza secca della dieta, essendo legato alla rapidità con la quale il glicerolo è assorbito e perso per via urinaria qualora sia in eccesso a livello cellulare, potrebbe essere superato con opportuni accorgimenti relativi alla tecnica di somministrazione degli alimenti.

Bibliografia

- [1] Direttiva (CE) N. 2003/30/CE. *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea* **2003**, L 123/42
- [2] Kijora C, Bergner H, Kupsch RD, Hagemann L. *Arch. Anim. Nutr.* **1995**, 47, 345-360.

- [3] Lammers PJ, Kerr TE, Weber K, Bregendahl S, Lonergan SM, Prusa KJ, Ahn DU, Stoffregen WC, Dozier WA, Honeyman MS. *J. Anim. Sci.* **2008**, 86, 2962-2970.
- [4] Hansen CF, Hernandez A, Mullan BP, Moore K, Trezona- Murray M, King RH, Pluske JR. *Anim. Prod. Sci.* **2009**, 49, 154-161.
- [5] Della Casa G, Bochicchio D, Faeti V, Marchetto G, Poletti E, Rossi A, Garavaldi A, Panciroli A, Brogna N. *Meat Sci.* **2009**, 81, 238-244.
- [6] Rossi A, Della Casa G. *Rivista di Suinicoltura* **2008**, 12, 88-94.
- [7] Mourot J, Aumaitre A, Mounier A, Peiniau P, Francois AC. *Livestock Prod. Sci.* **1994**, 38, 237-243.
- [8] Cerneau P, Mourot J, Peyronnet C. *Journ. Rech. Porcine Fr.* **1994**, 26, 193-198.
- [9] EFSA. Home page address: <http://www.europass.parma.it> **2010**, consultato il 15/06/2013
- [10] Regolamento (UE) N. 575/2011. *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*, **2011**, L 159/25.
- [11] Pistoia A, Ferruzzi G, Greppi G, Secchiari P. *Agr. Med.* **2002**, 132, 139-147.
- [12] Trombetta MF, Mattii S. *Ital. J. Anim. Sci.* **2005**, 4 (Suppl. 2), 461-463.
- [13] Milinsk MC, Matsushita M, Visentainer, JV, Silva, CA, RibeiroCosta, MC, Bridi, AM, De Souza NE. *Semina: Ciências Agrárias* **2007**, 28(4), 753-760.
- [14] Della Casa G, Bochicchio, D, Faeti, V, Marchetto, G, Poletti, E, Rossi, A, Panciroli A, Mordenti AL, Brogna N. *Meat Sci.*, **2010**, 84, 152-158.
- [15] Del Gatto A, Pieri, S, Mangoni L. *Terra e Vita* **2012**, 9, 66-69.
- [16] Martillotti F, Antongiovanni M, Rizzi L, Santi E, Bittante G. *Metodi di analisi per la valutazione degli alimenti d'impiego zootecnico*, **1987**, IPRA, Padova, Italia.
- [17] Perez JM, Bourdon D. *Journ. Rech. Porcine Fr.* **1984**, 16, 293-300.
- [18] De Pedro E, Casillas M, Miranda CM. *Meat Science* **1997**, 45, 45-51.
- [19] Stoffel W, Chu F, Ahrens, EH Jr. *Anal. Chem.* **1959**, 31, 307-308.
- [20] Knothe GJ. *Am. Oil. Chem. Soc.* **2006**, 83, 10, 823-833
- [21] UNI. Norma italiana, Ente Nazionale Italiano di Unificazione **2003**. Metodo per la definizione del profilo sensoriale degli alimenti e delle bevande. UNI 10957
- [22] Honikel KO. *Meat Sci.* **1998**, 49, 447-457.
- [23] SAS, **1997**. SAS User Guide Statistics, Version 6.12. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- [24] SPSS, **2008**. Statistics 16.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA.
- [25] Piccioni M. *Dizionario degli alimenti per il Bestiame*, **1960**, Calderini, Bologna, Italia.
- [26] Henry Y., Bourdon D., Palisse- Roussel M., Wabnitz P. *Ann. Zootech.* **1973**, 22, 147-155.
- [27] Da Costa Ribeiro MC, Da Silva Abercio C, Pinheiro JW, Fonseca NAN, De Souza NE, Visentainer JV, Belè JC, Borosky JC, Mourinho FL, Da Silva AR. *Bras. Zootec* **2005**, 5, 1581-1588.

VALORIZZAZIONE DEL PANNELLO DI GIRASOLE NELL'ALIMENTAZIONE DEL VITELLONE.

Responsabile scientifico:

Miriam Iacurto

Team di progetto:

Miriam Iacurto, Stefano Ferri, Maurizio Mormile, Federico Vincenti

Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura-Centro per la Produzione della Carne e il Miglioramento genetico. Rome Italy Via Salaria 31, 00015 Monterotondo (RM), Italy; e-mail: miriam.iacurto@entecra.it.

Introduzione

Molti sono ormai i prodotti che vengono usati per produrre la cosiddetta “energia verde” ed anche le tecnologie utilizzate negli ultimi anni sono diventate sempre più diversificate; molti di questi prodotti coinvolgono l'industria zootecnica intesa come utilizzatrice dei sottoprodotti [1]. La parte che interessa questo lavoro è l'utilizzazione di questi prodotti provenienti dalla produzione del biodiesel.

La produzione del biodiesel avviene partendo da piante oleaginose o da prodotti di scarto come oli fritti o grassi animali e l'obiettivo nazionale è usarlo nell'ordine del 10% dei carburanti entro il 2010 [2]. Le piante maggiormente utilizzate sono: la soia, il girasole e il colza ma, a livello mondiale si sta studiando anche l'uso di altre piante come il Cartamo, l'Arachide, il Cotone, la Jatropa, la *Madhuca longifolia*, la Senape, il Lino, la Palma da olio, la Canapa, la *Thlaspi arvense*, la Patagonia pinnata e le alghe [3] [4].

Per quanto riguarda il nostro territorio, una delle piante più utilizzate è il Girasole, dalla cui lavorazione fuoriesce come sottoprodotto un “panello grasso”. Tale prodotto sembrerebbe avere delle ottime potenzialità nell'alimentazione animale; in modo particolare le varietà cosiddette “alto oleico” in quanto sembrano avere una elevata capacità di contrastare i radicali liberi e migliorare la composizione acidica della carne.

L'obiettivo di questo lavoro è stato quello di valutare l'effetto del pannello grasso di girasole come fonte proteica nell'alimentazione di bovini all'ingrasso.

Metodologia

La prova è stata condotta su 11 vitelloni di razza Frisona: 6 alimentati con una razione a base di insilato di mais e nucleo proteico al 33% (Gruppo C); 5 alimentati come il gruppo C ma la fonte proteica è stata parzialmente sostituita (13,5% sulla razione totale) con pannello grasso di girasole (Gruppo G). Entrambe le razioni sono state formulate con una media di 0,96 UFV/kg s.s. (Tabella 1). I valori nutrizionali sono stati stimati partendo sia dall'analisi sull'alimento (Pannello di girasole e insilato di mais) sia dai dati tabellari [5].

Il pannello di girasole è stato prodotto dall'azienda Komaros - Agroenergie (Osimo-Italy) e dalle analisi svolte dal Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali dell'Università degli Studi di Ancona è risultato un contenuto in proteina grezza del 26,1%, un estratto etereo del 14,6% ed una fibra grezza del 25%.

La prova è durata 140 giorni, gli animali sono stati pesati in media ogni 20 giorni per il calcolo degli Incrementi medi giornalieri (IMG) e sono stati macellati al raggiungimento della maturità commerciale ad un peso medio di 540 kg (Tabella 2).

Il giorno della macellazione è stato rilevato il pH all'altezza della 10^a vertebra con pHmetro Hanna Instruments HI98240 con elettrodo HI1618D a compensazione automatica

della temperatura ed è stata fatta la valutazione SEUROP. Il giorno dopo la macellazione è stato prelevato una porzione del tronco (dalla 10^a alla 12^a vertebra), divisa in due parti (11^a-12^a e 10^a) ed entrambe messe sottovuoto. Sempre a 24 ore sono state rilevate le misurazioni sulla carcassa [6].

Tabella 1 Composizione alimentare (% sulla sostanza secca) e valori nutritivi della razione

| Ingredienti | Gruppo controllo | Gruppo girasole |
|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Fieno polifita | 18,55 | 18,01 |
| Insilato di mais | 17,81 | 17,36 |
| Mais schiacciato | 28,52 | 25,50 |
| Orzo | 12,90 | 12,56 |
| Nucleo proteico al 33% | 22,23 | 9,53 |
| Pannello di girasole | ---- | 17,05 |
| Valori nutritivi | | |
| Kg ss capo giorno | 13,73 | 14,13 |
| Proteina grezza % ss | 14,82 | 14,52 |
| Estratto etereo % ss | 2,97 | 4,96 |
| Fibra grezza % ss | 13,83 | 17,02 |
| NDF | 32,23 | 39,99 |
| ADF | 20,78 | 26,13 |
| ADL | 3,60 | 5,60 |
| UFV/ kg ss | 0,97 | 0,95 |

Tabella 2 Valori di riferimento della prova

| | Peso iniziale (kg) | Età iniziale (mesi) | Tempo della prova (giorni) | Peso macellazione (kg) | Età macellazione (mesi) |
|--------------|-------------------------------|--------------------------------|---|---------------------------------------|--|
| Controllo | 380 | 11,8 | 138 | 536 | 16,4 |
| Girasole | 352 | 12,0 | 142 | 546 | 16,7 |
| Media | 367,5 | 11,9 | 140 | 540,5 | 16,6 |
| R-MSE | 33,44 | 0,77 | 34,5 | 22,21 | 0,92 |

Dopo 7 e 14 giorni di frollatura (7d; 14d) del campione sottovuoto, sul muscolo *Longissimus thoracis*, sono state eseguite le seguenti analisi fisiche: colore con colorimetro Minolta CM-3600d dopo l'esposizione della fettina all'aria per 1 ora a 4°C. I dati sono stati ripetuti tre volte usando il metodo CIE L*a*b* a luce D65 con un'apertura di 7 mm di diametro. Le coordinate generate sono state la Luminosità (L), l'indice del rosso (a), indice del giallo (b), Cromo (C) e Tinta (H).

Sono state calcolate le perdite di liquidi sia sulla carne cruda che cotta calcolate per differenza percentuale [7] e infine, sempre sulla carne cruda e cotta è stata analizzata la durezza, espressa in kg/cm² su 4 tasselli di un cm di lato, usando la lama Warner Blatzler Shear montata su Instron 5543. I dati sono stati analizzati con analisi di varianza ad un solo fattore fisso (formulazione della razione) usando la procedura GLM del SAS, versione 9.3 per Windows.

Risultati

Gli accrescimenti medi giornalieri (IMG) non sono risultati differenti fra i due gruppi (P=0,14) anche se il gruppo G ha dato un IMG più alto del 13,2% (G=1,36 kg/d vs C=1,18 kg/d). Differenze non significative sono state riscontrate anche su tutti i parametri di macellazione (Tabella 3) dove il peso medio della carcassa è stato di 294 kg, la resa lorda del 54,5% e la valutazione SEUROP della carcassa O2.

Tabella 3 IMG e performance alla macellazione

| | IMG (kg/giorno) | Peso carcassa (kg) | Resa lorda (%) | Conformazione* (Classe) | Ingrassamento* (Classe) |
|--------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Controllo | 1,18 | 292,73 | 54,63 | O (1,8) | 2 (2,0) |
| Girasole | 1,36 | 296,64 | 54,34 | O (1,6) | 2 (2,4) |
| Media | 1,26 | 294,51 | 54,50 | O (1,72) | 2 (2,18) |
| R-MSE | 0,186 | 13,745 | 1,248 | 0,669 | 0,596 |

*I numeri fra parentesi sono decodificati per P=1...S=6

Non sono state riscontrate differenze significative neanche sulle misurazioni morfologiche della carcassa (Tabella 4).

Tabella 4 Rilievi morfologici sulla carcassa.

| | Lunghezza carcassa (cm) | Profondità torace (cm) | Lunghezza coscia (cm) | Massima larghezza coscia (cm) | Minima larghezza coscia (cm) |
|--------------|--|---------------------------------------|--------------------------------------|--|---|
| Controllo | 133 | 44 | 76 | 27 | 26 |
| Girasole | 133 | 44 | 76 | 27 | 26 |
| Media | 133 | 44 | 76 | 27 | 26 |
| R-MSE | 1,89 | 1,82 | 1,62 | 1,35 | 1,12 |

Per quanto riguarda, la dissezione del taglio campione, l'incidenza percentuale dei tessuti è praticamente sovrapponibile con il 60% di carne, il 13% di grasso e il 26% di osso ma il taglio campione è risultato più pesante negli animali alimentati con il pannello di girasole facendo risultare 635 g in più (tabella 5). La differenza significativa è stata rilevata anche nel contenuto percentuale in altra carne con una differenza di 3,81 punti percentuali a favore degli animali alimentati con il girasole.

Tabella 5 Peso del taglio campione e incidenza tissutale.

| | Peso campione (Kg) | Longissimus thoracis (%) | Altra carne (%) | Grasso interno (%) | Grasso esterno (%) | Osso (%) |
|--------------|-----------------------------------|---|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| Controllo | 4.138 b | 40,56 | 18,58 b | 8,69 | 4,86 | 26,11 |
| Girasole | 4.773 a | 38,02 | 22,39 a | 7,82 | 4,02 | 26,58 |
| Media | 4.427 | 39,40 | 20,31 | 8,30 | 4,48 | 26,32 |
| R-MSE | 462,72 | 3,181 | 1,537 | 2,257 | 0,984 | 1,735 |

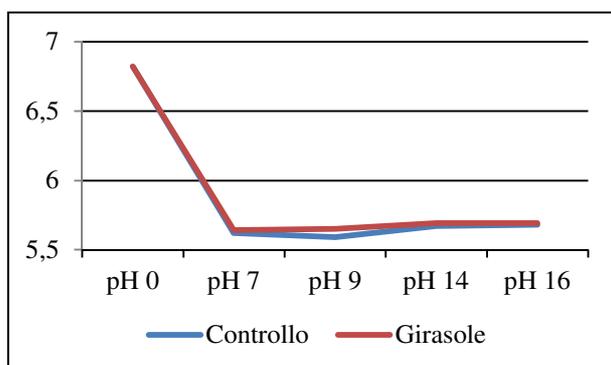


Figura 1 Andamento del pH

Dal punto di vista della qualità della carne il pH non ha fatto rilevare differenze significative (Figura 1). Le uniche differenze significative sono state rilevate a 14d, per la perdita di liquidi sulla carne cruda, l'indice del rosso (a^*) e il Cromo.

Per la perdita di liquidi (Tabella 6) il gruppo Girasole ha fatto rilevare un valore inferiore ($C=1,15\%$ vs $G=0,60\%$), questo trend si è verificato anche a 7d anche se non in modo

significativo (C=0,94% vs G=0,79%; P=0,46). Mentre non sono state rilevate differenze significative per quanto riguarda la durezza della carne che, come era lecito attendersi, per effetto della frollatura risulta più tenera a 14 giorni dalla macellazione.

Tabella 6 Perdita di liquidi su carne cruda (drip loss) e cotta (cooking loss) e durezza (WBS) su carne cruda e cotta.

| | Drip loss 7 giorni (%) | Cookin g loss 7 giorni (%) | Drip loss 14 giorni (%) | Cooking loss 14 giorni (%) | WBS crudo 7 giorni (kg/cm ²) | WBS cotto 7 giorni (kg/cm ²) | WBS crudo 14 giorni (kg/cm ²) | WBS cotto 14 giorni (kg/cm ²) |
|--------------|------------------------------|--|-------------------------------|-------------------------------------|---|---|--|--|
| Controllo | 0,94 | 26,86 | 1,15 a | 27,49 | 5,35 | 7,38 | 5,66 | 4,68 |
| Girasole | 0,79 | 27,22 | 0,60 b | 27,31 | 5,67 | 7,91 | 5,21 | 5,86 |
| Media | 0,87 | 27,02 | 0,90 | 27,41 | 5,49 | 7,62 | 5,45 | 5,21 |
| R-MSE | 0,328 | 0,996 | 0,375 | 1,484 | 2,183 | 3,756 | 1,477 | 1,572 |

Le coordinate colorimetriche rilevate a 7 giorni non hanno fatto risultare differenze significative fra le alimentazioni (Tabella 7).

Tabella 7 Valori delle coordinate colorimetriche a 7 giorni

| | Luminosità | a* | b* | Croma | Tinta |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Controllo | 33,75 | 10,16 | 10,56 | 14,70 | 46,35 |
| Girasole | 32,78 | 7,52 | 9,21 | 11,91 | 50,24 |
| Media | 33,31 | 8,96 | 9,94 | 13,43 | 48,11 |
| R-MSE | 3,867 | 2,133 | 2,431 | 3,070 | 4,155 |

Mentre, dalle coordinate colorimetriche rilevate a 14 giorni (Tabella 8) risulta che l'indice del rosso (a*) (C=12,14 vs G=7,49) e il Croma (C=17,07 vs G=11,90) presentano differenze significative facendo risultare la carne proveniente da animali alimentati con girasole meno satura di rosso quindi più chiara; questa tendenza però si può rilevare già a 7 giorni dove la differenza fra le due alimentazioni è del 25,9% per l'indice a* (P=0,07) e del 18,9% per il Croma (P=0,16).

Tabella 8 Valori delle coordinate colorimetriche a 14 giorni

| | Luminosità | a* | b* | Croma | Tinta |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Controllo | 35,12 | 12,14 a | 11,95 | 17,07 a | 44,96 |
| Girasole | 33,29 | 7,49 b | 9,21 | 11,90 b | 50,14 |
| Media | 34,28 | 10,03 | 10,70 | 14,72 | 47,31 |
| R-MSE | 4,680 | 2,882 | 2,803 | 3,867 | 4,142 |

Discussione

Per quanto riguarda gli IMG nessuna differenza statistica era già stata riscontrata da Metii *et al.*, (2009) [8] su vitelloni di razza Marchigiana dove il pannello grasso di girasole era stato completamente sostituito dalla soia, mentre Mapiye *et al.*, (2010) [9], su vitelloni Nguni, hanno rilevato che l'uso del pannello di girasole comportava IMG e pesi alla macellazione più alti ma le rese lorde non hanno fatto rilevare differenze significative. Turki *et al.*, (2011) [10] confrontando l'effetto di vari sottoprodotti su bovini Western Bagarra ha rilevato che il pannello di girasole è quello che ha dato i migliori IMG insieme al pannello di semi di cotone.

Mir *et al.*, (2002) [11], somministrando olio di girasole a soggetti di razza Limousine, Wagyu e loro incroci, hanno rilevato differenze negli IMG a favore degli animali alimentati con olio di girasole rispetto al controllo ed hanno rilevato differenze significative anche nei pesi di macellazione e nella carcassa ma solo negli incroci, mentre nelle razze pure non sono state trovate differenze significative, deducendo, in questo modo, un importante ruolo del fattore razza.

Gibb *et al.*, (2004) [12] usando il seme di girasole su varie razze di bovini da carne allevati in *feed-lot* per un periodo di finissaggio di 100 giorni hanno rilevato un effetto positivo crescente all'aumentare del quantitativo di girasole, mentre Mir. *et al.*, (2008) [13] su bovini alimentati individualmente hanno rilevato un decremento dell'IMG per i primi 84 giorni di finissaggio mentre fino a 157 giorni le differenze non sono state significative anche se sono sempre risultati più bassi gli animali supplementati con seme di girasole.

Per quanto riguarda la qualità fisica della carne prodotta con immissione nella dieta del pannello grasso di girasole non sono stati trovati molti lavori in bibliografia. Per quanto riguarda le perdite di liquidi sulla carne cruda Matii *et al.* [8] non riportano differenze significative su vitelloni marchigiani, mentre hanno rilevato differenze significative per quanto riguarda tutti i valori colorimetrici, facendo rilevare valori più alti nel gruppo trattato, ma comunque in linea con il colore della carne della razza bovina Marchigiana, che in valore assoluto mostra valori più alti rispetto a quanto rilevato nel presente lavoro sulla razza Frisona.

Anche Mapiye *et al.* [9], utilizzando il pannello di girasole sulla razza Nguni non hanno rilevato differenze nel valore di *drip loss*, mentre hanno rilevato una maggiore perdita di liquidi per cottura a due giorni dalla macellazione. Tale dato non viene però confermato dopo 21 giorni dalla macellazione. Per quanto riguarda i valori colorimetrici, è stato rilevato un valore di L più alto nel gruppo girasole e valori di a^* e Croma più bassi rispetto agli animali che venivano alimentati con *Acacia karroo* ma uguali al controllo. Per quanto riguarda i valori assoluti riportati, anche quelli della razza Nguni, sono più elevati di quanto rilevato nel presente lavoro ma ciò era prevedibile in quanto il colore è stato rilevato dopo due giorni dalla macellazione.

Conclusioni

Da quanto rilevato si evidenzia che è possibile usare il pannello di girasole come alimento proteico senza compromettere le *performances* di allevamento e macellazione. Anche in base a quanto riportato da altri autori, il pannello di girasole potrebbe rappresentare una fonte proteica alternativa alla soia. E' comunque da chiarire il suo effetto sulla qualità fisica della carne, perché la bibliografia a disposizione è poca e i valori si scostano da quanto rilevato nel presente lavoro, inoltre sembra che ci sia un effetto legato al fattore razza. A seguito dei dati rilevati sembra che la carne sia più chiara e con meno perdite di liquidi sulla razza Frisona.

Ringraziamenti

Si ringraziano i Sig.ri Stefano Ferri, Riccioni Cesare e Valentini Antonio per aver seguito l'allevamento degli animali badando giornalmente alla loro alimentazione e alla loro crescita e il Sig. Maurizio Mormile per aver seguito e svolto le analisi fisiche della carne.

Bibliografia

- [1] Lywood W. and Pinkney J., An outlook on EU biofuel production and its implications for the animal feed industry. In: “*Biofuel co-products as livestock feed-Opportunities challenges*”. Ed. FAO, Rome **2012**.
- [2] Di Somma M.R., I biocarburanti, sostenibilità e sviluppo. 2012. Convegno Energia 2012, Pisa
- [3] <http://en.wikipedia.org/wiki/Biofuel#Biodiesel>
- [4] http://www.crpa.it/media/documents/crpa_www/Progetti/Seq-cure/Documentazione/oli_vegetali.pdf
- [5] Martillotti F, Bartocci S, Terramocchia S, Guida all'alimentazione dei ruminanti da latte-Tavole dei valori nutritivi degli alimenti di interesse zootecnico, **1996**, Ed INEA
- [6] Commissione di valutazione della produzione quanti-qualitativa della carne, “Metodologie relative alla macellazione degli animali di interesse zootecnico e alla valutazione e dissezione della loro carcassa” **1991** Ministero dell'Agricoltura e Foreste-ASPA Ed, ISMEA
- [7] Commissione di studio Valutazione della produzione quanti qualitativa della carne ASPA “Metodiche per la determinazione delle caratteristiche qualitative della carne” **1996**, Ed, Università degli Studi di Perugia
- [8] Mattii S., Priori S., Trombetta M.F., *Italian Journal of Animal Science* **2009**, 8 (Suppl. 2), 513-515.
- [9] Mapiye C., Chimonyo M., Dzama K., Muchenje V., Strydom P.E., *Meat Science*, **2010**, 84, 621-627.
- [10] Turki I.Y, Elkadier O.A., Amin E.EL. Hassabo A.A., *Veterinary Science Research*, **2011**, 2 (Issue 1), 8-12.
- [11] Mir P.S., Mir Z., Kuber P.S., Gaskins C.T., Martin E.L., Dodson M.V., Elias Calles J.A., Johnson K.A., Busboom J.R., Wood A.J., Pittenger G.J. Reeves J.J., *Journal of Animal Science*, **2002**, 80, 2996-3004.
- [12] Gibb D.J., Owens F.N., Mir P.S., Mir Z., Ivan M., NcAllister T.A., *Journal of Animal Science*, **2004**, 82: 2679-2692.
- [13] Mir P.S., Dugan M.E.R., He M.L., Entz T., Yip B., *Journal of Animal Science*, **2008**, 86, 3125-3136.

VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE QUALITATIVE DI SOTTOPRODOTTI DELLA FILIERA ENERGETICA PER L'ALIMENTAZIONE ZOOTECNICA

Responsabile scientifico:
Maria Federica Trombetta

Team di progetto:
Maria Federica Trombetta, Sara Priori

Dipartimento di Scienza Agrarie, Alimentari ed Ambientali (D3A), Università Politecnica delle Marche –
m.f.trombetta@univpm.it

Introduzione

Il girasole è la terza coltura più importante al mondo come fonte di olio vegetale dopo soia e arachidi [1]. Negli ultimi anni tale coltura più frequentemente viene destinata alla produzione di olio utilizzato a fine energetico e/o sottoposto a trans-esterificazione per la produzione di biodiesel.

Dall'analisi bibliografica si evince che il pannello, sottoprodotto della filiera agro-energetica del girasole, è un'interessante fonte proteica frequentemente utilizzata nell'alimentazione degli animali da reddito soprattutto nei paesi emergenti [2]. Alcuni studi hanno analizzato gli aspetti nutritivi del pannello di girasole, valutando i possibili effetti dell'utilizzo di questa materia prima nelle diete di animali da reddito [3], [4], [5], [6], [7]. Dato che limitate sono le informazioni sulla composizione chimica del pannello di girasole, con il presente lavoro ci si è posti l'obiettivo di stimare le caratteristiche chimiche, la conservabilità ed il valore energetico di diversi pannelli di girasole, integrali e parzialmente decorticati, ottenuti mediante diverse modalità di estrazione.

Metodologia

La sperimentazione ha valutato la composizione chimica e la conservabilità di diversi pannelli di girasole integrali e parzialmente decorticati.

I pannelli, derivati dalla lavorazione di seme integrale, campionati in triplo ed analizzati in doppio, sono stati ottenuti per estrazione meccanica con le seguenti modalità:

- tre bussole con diametro dei fori: 13, 15 e 17 mm;
- tre differenti temperature in fase di estrazione: 80°C, 100°C e 120°C.

I pannelli derivati dalla lavorazione di seme parzialmente decorticato, prelevati singolarmente ed analizzati in doppio, sono stati ottenuti con le seguenti modalità di estrazione:

- una bussola con diametro del foro di 10 mm;
- tre differenti temperature in fase di estrazione: 80°C, 100°C e 120 °C.

Tutti i campioni di pannello sono stati sottoposti alle seguenti analisi di laboratorio: sostanza secca (SS), proteina grezza (PG), estratto etereo (EE), ceneri, fibra grezza (FG), fibra neutro deterosa (NDF), fibra acido deterosa (ADF), lignina (ADL), digeribilità (DIG) e numero di perossidi, secondo le metodiche indicate dalla Commissione Valutazione degli Alimenti dell'A.S.P.A. [8].

La determinazione del numero di perossidi è stata eseguita per stimare la conservabilità del prodotto a 0, 15 e 30 giorni dall'arrivo del campione in laboratorio dopo una permanenza in stufa ad una temperatura di 25 - 30°C.

Per la determinazione degli acidi grassi i campioni sono stati metilati secondo la tecnica indicata dalla Gazzetta Ufficiale n° 248 del 05/09/1991 e riportata nel Reg. CEE 2568/91. L'analisi è stata effettuata con gascromatografo Carlo Erba HRGC serie Mega 2, utilizzando una colonna capillare in silice fusa della lunghezza di 100 m e diametro di 0,25 mm con detector a ionizzazione di fiamma (FID). Il programma prevedeva una temperatura iniziale del forno di 130°C e finale di 240°C, con crescita di 3,5°C/ min. ed un isoterma di 10 minuti a 240°C, come carrier - gas è stato utilizzato l'elio.

Risultati e discussione

I dati ottenuti dall'analisi chimica dei pannelli integrali, sono stati analizzati con pacchetto statistico JMP, considerando i fattori "bussola", "temperatura" e l'interazione "bussola x temperatura".

Nella tabella 1 si riportano le medie e l'errore standard ottenute considerando la variabile bussola. L'analisi statistica ha evidenziato differenze significative per: SS ($P < 0,0143$), ceneri ($P < 0,0003$), FG ($P < 0,0010$), NDF ($P < 0,0172$) e DIG ($P < 0,0066$). La SS risulta più alta nel pannello ottenuto con bussola 13, le ceneri invece sono superiori nel pannello ottenuto con bussola 17, si osserva un valore di FG più basso nel pannello ottenuto con bussola 17, mentre l'NDF è più bassa per il pannello ottenuto con bussola a diametro 15 e la digeribilità risulta migliore per il pannello ottenuto con bussola 17.

Tabella 1 – Composizione chimica e digeribilità del pannello integrale secondo l'effetto bussola (% ss) (media ed errore standard).

| | 13 mm | 15 mm | 17 mm | P |
|--------|---------------|---------------|---------------|--------|
| | Media ± ES | Media ± ES | Media ± ES | |
| SS | 93,50 ± 0,045 | 93,31 ± 0,045 | 93,47 ± 0,045 | 0,0143 |
| PG | 25,90 ± 0,270 | 25,77 ± 0,270 | 26,34 ± 0,270 | ns |
| EE | 14,47 ± 0,294 | 14,47 ± 0,294 | 14,82 ± 0,294 | ns |
| Ceneri | 5,95 ± 0,029 | 5,99 ± 0,029 | 6,15 ± 0,029 | 0,0003 |
| FG | 25,40 ± 0,357 | 25,84 ± 0,357 | 23,66 ± 0,357 | 0,0010 |
| NDF | 51,83 ± 1,256 | 46,75 ± 1,256 | 47,06 ± 1,256 | 0,0172 |
| ADF | 37,78 ± 0,375 | 37,11 ± 0,375 | 37,07 ± 0,375 | ns |
| ADL | 12,99 ± 0,229 | 12,28 ± 0,229 | 12,75 ± 0,229 | ns |
| DIG | 50,70 ± 0,280 | 55,39 ± 0,256 | 57,15 ± 0,256 | 0,0066 |

Tabella 2 – Composizione chimica e digeribilità del pannello integrale secondo l'effetto temperatura (% ss) (media ed errore standard).

| | 80°C | 100°C | 120°C | P |
|--------|---------------|---------------|---------------|--------|
| | Media ± ES | Media ± ES | Media ± ES | |
| SS | 93,33 ± 0,045 | 93,65 ± 0,045 | 93,31 ± 0,045 | 0,0001 |
| PG | 26,58 ± 0,270 | 25,59 ± 0,270 | 25,83 ± 0,270 | 0,0478 |
| EE | 13,88 ± 0,294 | 14,91 ± 0,294 | 14,97 ± 0,294 | 0,0286 |
| Ceneri | 6,03 ± 0,029 | 6,08 ± 0,029 | 5,98 ± 0,029 | ns |
| FG | 25,61 ± 0,357 | 24,90 ± 0,357 | 24,39 ± 0,357 | ns |
| NDF | 47,50 ± 1,256 | 49,75 ± 1,256 | 48,38 ± 1,256 | ns |
| ADF | 39,42 ± 0,375 | 36,40 ± 0,375 | 36,14 ± 0,375 | 0,0001 |
| ADL | 13,33 ± 0,229 | 12,31 ± 0,229 | 12,38 ± 0,229 | 0,0094 |
| DIG | 54,75 ± 0,280 | 54,20 ± 0,280 | 54,28 ± 0,229 | ns |

Nella tabella 2 si riportano le medie e l'errore standard considerando la variabile temperatura. L'analisi statistica evidenzia differenze significative per: SS ($P < 0,0001$), PG ($P < 0,0478$), EE ($P < 0,0286$), ADF ($P < 0,0001$) e ADL ($P < 0,0094$). La SS risulta più alta nel pannello ottenuto ad una lavorazione di 100°C , il contenuto di PG è migliore alla temperatura di lavorazione di 80°C seguita dalla lavorazione a 120°C , mentre l'EE risulta significativamente più basso nel pannello ottenuto ad una lavorazione di 80°C . ADF e ADL risultano essere significativamente più basse, quindi migliori, per i pannelli ottenuti con temperature di lavorazione di 100°C e 120°C .

La composizione chimica del pannello analizzato non si discosta dai valori medi riportati in letteratura [9], per cui potremmo presupporre che le caratteristiche chimiche del pannello siano poco influenzate dalle tecniche di lavorazione da noi considerate.

Tabella 3 – Composizione chimica e digeribilità del pannello integrale secondo l'interazione bussola x temperatura (% ss) (media ed errore standard).

| | | 13 mm | 15 mm | 17 mm | P |
|--------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|
| | | Media \pm ES | Media \pm ES | Media \pm ES | |
| SS | 80 °C | 93,45 \pm 0,078 | 93,07 \pm 0,078 | 93,40 \pm 0,078 | 0,0230 |
| | 100 °C | 93,39 \pm 0,078 | 93,14 \pm 0,078 | 93,46 \pm 0,078 | |
| | 120 °C | 93,66 \pm 0,078 | 93,72 \pm 0,078 | 93,56 \pm 0,078 | |
| PG | 80 °C | 27,07 \pm 0,468 | 25,88 \pm 0,468 | 26,79 \pm 0,468 | 0,0119 |
| | 100 °C | 25,55 \pm 0,468 | 25,03 \pm 0,468 | 26,21 \pm 0,468 | |
| | 120 °C | 25,09 \pm 0,468 | 26,41 \pm 0,468 | 26,00 \pm 0,468 | |
| EE | 80 °C | 13,18 \pm 0,509 | 13,64 \pm 0,509 | 14,82 \pm 0,509 | ns |
| | 100 °C | 15,09 \pm 0,509 | 14,71 \pm 0,509 | 14,93 \pm 0,509 | |
| | 120 °C | 15,14 \pm 0,509 | 15,07 \pm 0,509 | 14,71 \pm 0,509 | |
| Ceneri | 80 °C | 5,88 \pm 0,050 | 6,10 \pm 0,050 | 6,13 \pm 0,050 | 0,0444 |
| | 100 °C | 6,08 \pm 0,050 | 5,95 \pm 0,050 | 6,20 \pm 0,050 | |
| | 120 °C | 5,88 \pm 0,050 | 5,95 \pm 0,050 | 6,12 \pm 0,050 | |
| FG | 80 °C | 26,04 \pm 0,619 | 26,95 \pm 0,619 | 23,85 \pm 0,619 | 0,0253 |
| | 100 °C | 24,43 \pm 0,619 | 24,76 \pm 0,619 | 23,51 \pm 0,619 | |
| | 120 °C | 25,74 \pm 0,619 | 23,80 \pm 0,619 | 23,63 \pm 0,619 | |
| NDF | 80 °C | 48,84 \pm 2,175 | 46,68 \pm 2,175 | 46,97 \pm 2,175 | ns |
| | 100 °C | 54,62 \pm 2,175 | 46,98 \pm 2,175 | 46,54 \pm 2,175 | |
| | 120 °C | 52,02 \pm 2,175 | 46,60 \pm 2,175 | 48,84 \pm 2,175 | |
| ADF | 80 °C | 42,42 \pm 0,650 | 38,07 \pm 0,650 | 37,77 \pm 0,650 | 0,0003 |
| | 100 °C | 35,30 \pm 0,650 | 36,59 \pm 0,650 | 37,32 \pm 0,650 | |
| | 120 °C | 35,63 \pm 0,650 | 36,68 \pm 0,650 | 36,11 \pm 0,650 | |
| ADL | 80 °C | 14,33 \pm 0,397 | 12,82 \pm 0,397 | 12,83 \pm 0,397 | ns |
| | 100 °C | 12,15 \pm 0,397 | 12,09 \pm 0,397 | 12,70 \pm 0,397 | |
| | 120 °C | 12,52 \pm 0,397 | 11,93 \pm 0,397 | 12,71 \pm 0,397 | |
| DIG | 80 °C | 50,91 \pm 0,485 | 56,46 \pm 0,485 | 56,89 \pm 0,485 | 0,0361 |
| | 100 °C | 53,21 \pm 0,485 | 53,02 \pm 0,485 | 56,36 \pm 0,485 | |
| | 120 °C | 47,97 \pm 0,485 | 56,68 \pm 0,485 | 58,20 \pm 0,485 | |

Nella tabella 3 si riporta l'analisi statistica effettuata considerando l'interazione "bussola x temperatura"; che mostra differenze significative per: SS ($P < 0,0230$), PG ($P < 0,0119$), ceneri ($P < 0,0444$), FG ($P < 0,0253$), ADF ($P < 0,0003$) e DIG ($P < 0,0361$). In particolare la SS è simile nei panelli ottenuti a 120°C con bussola 13 e 17, i panelli ottenuti dalle bussole 15 e 17 a temperature di 120°C evidenziano un contenuto più alto in PG, più basso di FG ed una migliore digeribilità rispetto alla bussola 13 con stessa temperatura di lavorazione. L'ADF non presenta un andamento simile ai parametri sopra descritti in quanto i valori medi ottenuti dall'analisi dei panelli estratti con bussola 15 e 17 sono più alti rispetto a quelli ottenuti con bussola 13 a temperatura di lavorazione di 120°C.

Nella tabella 4 si riportano le medie e l'errore standard ottenute dall'analisi dei panelli provenienti dalla lavorazione di semi parzialmente decorticati. L'analisi statistica effettuata considerando soltanto la variabile temperatura evidenzia differenze significative per: SS ($P < 0,0001$), PG ($P < 0,0058$), EE ($P < 0,0177$), ceneri ($P < 0,0214$) e FG ($P < 0,0102$). In particolare il pannello ottenuto a 100°C evidenzia un valore più alto di SS rispetto alle altre due temperature di lavorazione. I panelli ottenuti alle temperature di estrazione di 100°C e 120°C presentano un maggior contenuto di PG e FG ed anche il contenuto di EE risulta essere più alto nei panelli estratti alle temperature di 100 e 120 °C.

Tabella 4 – Composizione chimica e digeribilità di panelli parzialmente decorticati ottenuti con bussola di 10 mm a tre differenti temperature(% ss) (media ed errore standard).

| | 80°C | 100°C | 120°C | P |
|---------------|---------------|---------------|---------------|--------|
| | Media ± ES | Media ± ES | Media ± ES | |
| SS | 92,71 ± 0,113 | 93,32 ± 0,113 | 91,47 ± 0,113 | 0,0001 |
| PG | 33,47 ± 0,114 | 34,30 ± 0,114 | 33,74 ± 0,114 | 0,0058 |
| EE | 16,40 ± 0,368 | 17,23 ± 0,368 | 18,53 ± 0,368 | 0,0177 |
| Ceneri | 6,15 ± 0,039 | 6,05 ± 0,039 | 5,93 ± 0,039 | 0,0214 |
| FG | 17,39 ± 0,340 | 19,12 ± 0,340 | 19,49 ± 0,340 | 0,0102 |
| NDF | 30,29 ± 0,904 | 28,49 ± 0,904 | 27,91 ± 0,904 | ns |
| ADF | 23,40 ± 0,630 | 22,60 ± 0,630 | 22,53 ± 0,630 | ns |
| ADL | 8,48 ± 0,811 | 8,61 ± 0,811 | 10,43 ± 0,811 | ns |
| DIG | 67,44 ± 0,429 | 66,39 ± 0,429 | 65,82 ± 0,429 | ns |

Nelle Figure 1, 2 e 3 si riporta un confronto tra i dati ottenuti dall'analisi di panelli provenienti da seme integrale e parzialmente decorticato nei due anni di attività. Il trattamento della decorticazione anche se parziale [1] [10] evidenzia, per tutte le temperature di estrazione, un minor contenuto di fibra e frazioni fibrose, un maggior contenuto di proteina grezza, estratto etereo ed una migliore digeribilità.

Nelle tabelle 5 e 6 si riportano le medie e l'errore standard degli acidi grassi saturi ed insaturi analizzati considerando la variabile bussola; l'analisi statistica evidenzia differenze significative ($P < 0,0001$) per l'acido oleico e l'acido linoleico. Dai valori ottenuti si evince che tutti i panelli analizzati provengono da semi di varietà alto oleiche. Il pannello estratto con bussola 10, relativo al secondo anno di sperimentazione, presenta un valore significativamente più alto di acido oleico rispetto ai panelli del primo anno, che sono stati ottenuti dalla miscela di due varietà (NK Camen ed Oleko) di semi migliorati per il contenuto di acido oleico. Nelle tabelle 7 e 8 si riportano le medie e l'errore standard degli acidi grassi saturi ed insaturi considerando la variabile temperatura, l'analisi statistica non ha evidenziato differenze significative per nessun acido grasso considerato.

La determinazione del numero di perossidi a 0, 15 e 30 giorni non ha evidenziato l'avvio di processi ossidativi in nessuno dei campioni analizzati probabilmente in conseguenza dell'alto livello di sostanza secca dei campioni e del limitato contenuto di umidità dell'ambiente in cui i pannelli sono stati conservati.

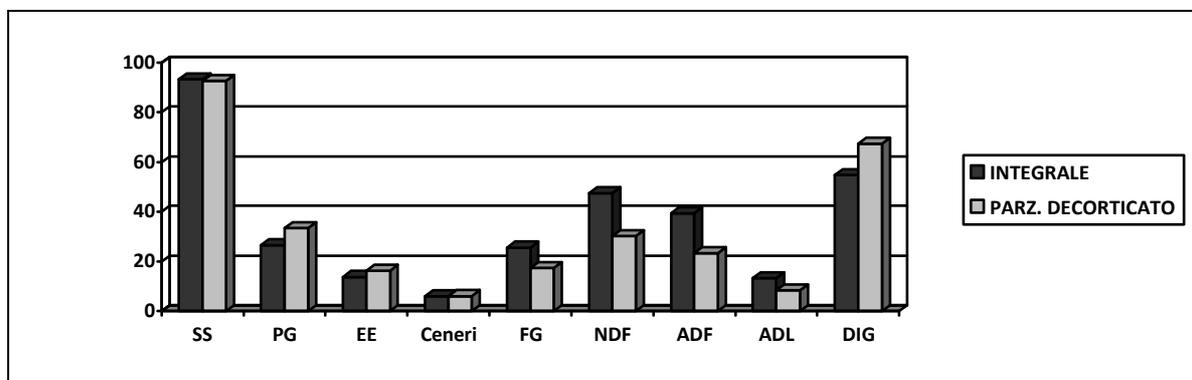


Figura 1 – Differenze tra la composizione chimica di pannello integrale e parzialmente decorticato estratto a 80°C.

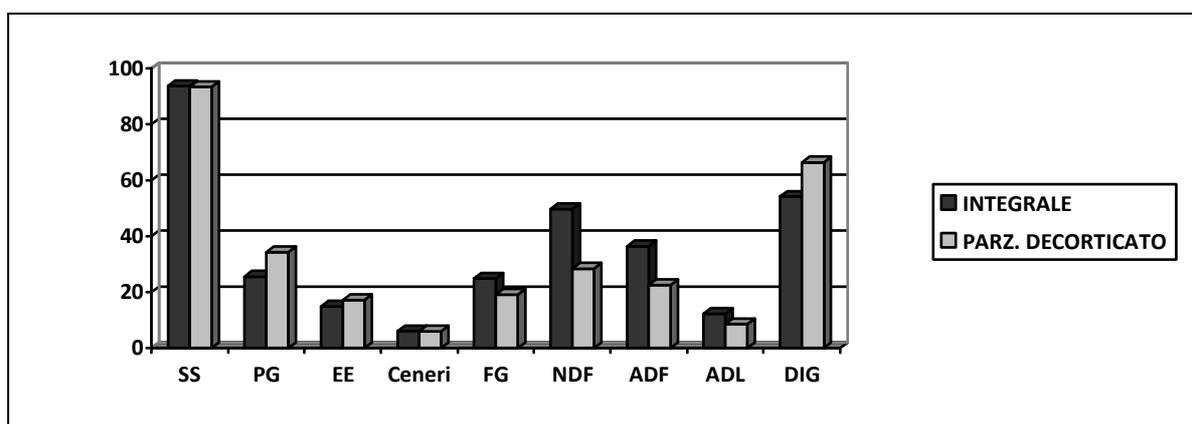


Figura 2 – Differenze tra la composizione chimica di pannello integrale e parzialmente decorticato estratto a 100°C.

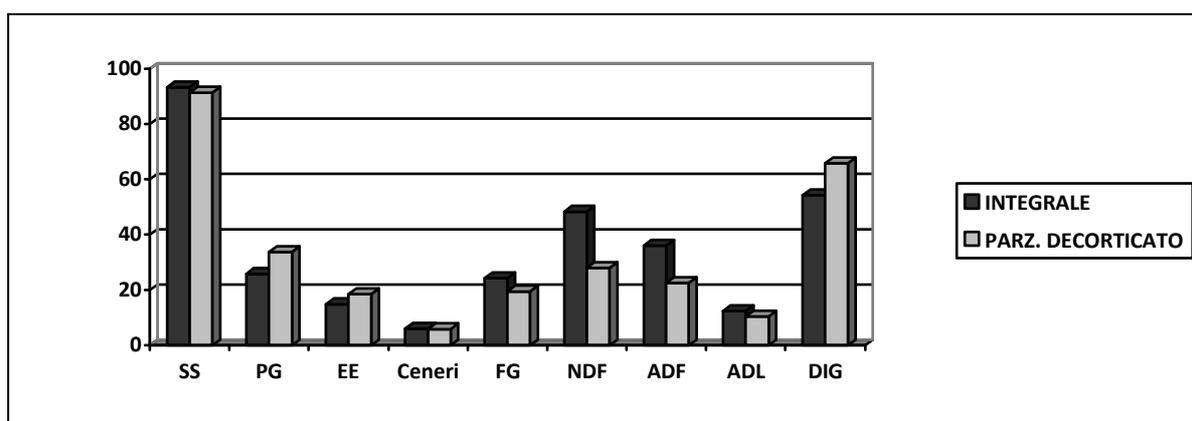


Figura 3 – Differenze tra la composizione chimica di pannello integrale e parzialmente decorticato estratto a 120°C.

I dati ottenuti dall'analisi chimica ci hanno permesso di calcolare, mediante apposite equazioni [11], l'energia digeribile e netta per i suini e il valore in energia netta espresso in

UF carne e latte per i bovini. I singoli dati sono stati sottoposti ad analisi statistica considerando sia l'effetto bussola e temperatura che il trattamento di decorticazione e non.

Tabella 5 – Composizione in % degli acidi grassi saturi in panelli ottenuti con bussole di diverso diametro.

| Bussola | C16:0 | C17:0 | C18:0 | C20:0 |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Media ± ES | Media ± ES | Media ± ES | Media ± ES |
| 10 mm | 4,86 ± 0,282 | 0,03 ± 0,005 | 2,34 ± 0,074 | 0,20 ± 0,025 |
| 13 mm | 5,83 ± 0,282 | 0,04 ± 0,005 | 2,46 ± 0,074 | 0,12 ± 0,025 |
| 15 mm | 5,48 ± 0,282 | 0,04 ± 0,005 | 2,35 ± 0,074 | 0,15 ± 0,025 |
| 17 mm | 5,97 ± 0,282 | 0,05 ± 0,005 | 2,33 ± 0,074 | 0,14 ± 0,025 |
| P | ns | ns | ns | ns |

Tabella 6 – Composizione in % degli acidi grassi insaturi in panelli ottenuti con bussole di diverso diametro (media ed errore standard).

| Bussola | C16:1 | C17:1 | C18:1 | C18:2 | C18:3 | C20:1 |
|---------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| | Media ± ES | Media ± ES | Media ± ES | Media ± ES | Media ± ES | Media ± ES |
| 10mm | 0,21 ± 0,019 | 0,04 ± 0,001 | 87,27 ± 0,229 | 4,55 ± 0,127 | 0,07 ± 0,008 | 0,20 ± 0,024 |
| 13mm | 0,20 ± 0,019 | 0,04 ± 0,001 | 81,91 ± 0,281 | 9,62 ± 0,156 | 0,08 ± 0,008 | 0,12 ± 0,024 |
| 15mm | 0,21 ± 0,019 | 0,04 ± 0,001 | 81,92 ± 0,229 | 9,56 ± 0,127 | 0,09 ± 0,008 | 0,15 ± 0,024 |
| 17mm | 0,23 ± 0,019 | 0,05 ± 0,001 | 81,61 ± 0,229 | 9,35 ± 0,127 | 0,09 ± 0,008 | 0,17 ± 0,024 |
| P | ns | ns | 0,0001 | 0,0001 | ns | ns |

Tabella 7 – Composizione in % degli acidi grassi saturi in panelli ottenuti con temperature diverse (media ed errore standard).

| Bussola | C16:0 | C17:0 | C18:0 | C20:0 |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Media ± ES | Media ± ES | Media ± ES | Media ± ES |
| 80 °C | 5,62 ± 0,324 | 0,04 ± 0,005 | 2,42 ± 0,062 | 0,17 ± 0,024 |
| 100 °C | 5,68 ± 0,324 | 0,04 ± 0,005 | 2,31 ± 0,062 | 0,13 ± 0,024 |
| 120 °C | 5,30 ± 0,324 | 0,04 ± 0,005 | 2,36 ± 0,062 | 0,16 ± 0,024 |
| P | ns | ns | ns | ns |

Tabella 8 – Composizione in % degli acidi grassi insaturi in panelli ottenuti con temperature diverse (media ed errore standard).

| Bussola | C16:1 | C17:1 | C18:1 | C18:2 | C18:3 | C20:1 |
|---------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| | Media ± ES | Media ± ES | Media ± ES | Media ± ES | Media ± ES | Media ± ES |
| 80 °C | 0,20 ± 0,015 | 0,04 ± 0,001 | 83,54 ± 1,650 | 7,81 ± 1,489 | 0,09 ± 0,007 | 0,17 ± 0,024 |
| 100 °C | 0,23 ± 0,015 | 0,04 ± 0,001 | 83,00 ± 1,435 | 8,34 ± 1,290 | 0,07 ± 0,007 | 0,14 ± 0,024 |
| 120 °C | 0,20 ± 0,015 | 0,04 ± 0,001 | 83,39 ± 1,435 | 8,21 ± 1,290 | 0,08 ± 0,007 | 0,17 ± 0,024 |
| P | ns | ns | ns | ns | ns | ns |

Nella tabella 9 le medie ottenute, considerando l'effetto bussola, evidenziano per tutti i valori di energia differenze significative che indicano valori migliori di energia digeribile, netta, UFC e UFL per il pannello ottenuto con bussola 17; diversamente la temperatura non evidenzia alcuna differenza tra i valori di energia calcolati. Il confronto tra i valori di energia calcolata per i panelli decorticati e non decorticati (tabella 10), mostra medie significativamente migliori per il pannello proveniente dalla lavorazione dei semi decorticati

indicando che questo trattamento porta ad una riduzione del contenuto in fibra e frazioni fibrose migliorando la digeribilità e quindi l'utilizzazione dell'energia.

Tabella 9 – Media ed errore standard dell'energia del pannello di girasole non decorticato considerando l'effetto bussola e temperatura

| Diametro Bussola | | | | |
|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| | 13 mm | 15 mm | 17 mm | P |
| | Media ± ES | Media ± ES | Media ± ES | |
| ED suini Mj/kg ss | 12,35 ± 0,1585 | 13,01 ± 0,1585 | 13,03 ± 0,1585 | 0,0085 |
| EN suini Mj/kg ss | 7,54 ± 0,1143 | 7,98 ± 0,1143 | 8,09 ± 0,1143 | 0,0540 |
| UFC n | 0,43 ± 0,0098 | 0,41 ± 0,0098 | 0,45 ± 0,0098 | 0,0071 |
| UFL n | 0,84 ± 0,0121 | 0,83 ± 0,0121 | 0,88 ± 0,0121 | 0,0086 |
| Temperatura | | | | |
| | 80°C | 100°C | 120°C | P |
| | Media ± ES | Media ± ES | Media ± ES | |
| ED suini Mj/kg ss | 12,66 ± 0,1899 | 12,88 ± 0,1899 | 12,86 ± 0,1899 | ns |
| EN suini Mj/kg ss | 7,81 ± 0,1393 | 7,98 ± 0,1393 | 7,82 ± 0,1393 | ns |
| UFC n | 0,43 ± 0,0110 | 0,44 ± 0,0110 | 0,41 ± 0,0110 | ns |
| UFL n | 0,85 ± 0,0133 | 0,87 ± 0,0133 | 0,82 ± 0,0133 | ns |

Tabella 10 – Confronto dell'energia calcolata del pannello di girasole integrale e decorticato (media ed errore standard).

| | Integrale | Decorticato | P |
|--------------------------|-------------------|--------------------|----------|
| | Media ± ES | Media ± ES | |
| ED suini Mj/kg ss | 12,8 ± 0,1003 | 16,30±0,1738 | 0,0001 |
| EN suini Mj/kg ss | 7,87 ± 0,0741 | 10,45±0,1284 | 0,0001 |
| UFC n | 0,42 ± 0,0061 | 0,59±0,0106 | 0,0001 |
| UFL n | 0,85 ± 0,0074 | 1,05±0,0128 | 0,0001 |

Conclusioni

Sulla base dei risultati ottenuti si può concludere che le modalità di estrazione considerate (diametro della bussola e temperatura) non evidenziano variazioni rispetto ai valori riportati in letteratura [9] e anche la conservabilità del pannello di girasole non sembra essere influenzata nel breve periodo.

Quindi la composizione chimica del pannello di girasole, ottenuta nel presente lavoro, confermano la possibilità di un suo impiego nella formulazione di razioni destinate ad animali di interesse zootecnico, sia monogastrici che ruminanti come già riportato da diversi autori [3], [5], [6], [7], [10].

La possibilità di effettuare il pretrattamento di decorticazione favorisce un miglioramento di alcune caratteristiche del pannello, come fibre e digeribilità, rendendolo pertanto più adatto alla preparazione delle diete per monogastrici. L'attuazione quindi di una scelta agronomica rivolta a favorire la filiera energetica, se convenientemente progettata, permetterebbe di ottenere un sottoprodotto, come il pannello di girasole, che potrebbe essere

utilizzato in alternativa alla soia, favorendo una migliore tracciabilità della formulazione delle diete e limitando i rischi di utilizzo di materie prime OGM nella filiera zootecnica.

Bibliografia

- [1] Srilatha K., Krishnakumari K. Proximate Composition and Protein Quality Evaluation of Recipes Containing Sunflower Cake. *Plant Foods for Human Nutrition*. **2003**, 58, 1–11.
- [2] Nagraj G. Oilseeds and their byproduct utilization report of short course on Recent developments in grain processing (4th 23rd Aug. **1997**) Centre of Advanced Studies Department of Foods and Nutrition, Andhra Pradesh Agricultural University, Hyderabad.
- [3] Trombetta M.F., Mattii S. Sunflower expeller vs soya meal in heavy pig production: performance and digestibility. *Proceeding of the ASPA 16 th Congress, Torino, June 28-30. Italian Journal of Animal Science*. **2005**, 4 suppl.2, 461-463.
- [4] MlayP.S., Pereka A., Phiri E.C., Balthazary S., Igusti J., Hvelplund T., Weisbjerg M.R., Madsen J. Feed value of selected tropical grasses, legumes and concentrates. *Veterinarski Arhiv*. **2006**, 76 (1), 53-63.
- [5] Trombetta M.F., Mattii S., Falaschini A. Sunflower cake in the diet of quarter horses in activity. *Italian Journal of Animal Science*. **2007**, 6, 165–173.
- [6] Talha E.E., Yagoub M. Sunflower Cake as a substitute for groundnut cake in commercial broiler chicks diets. *Pakistan Journal of Nutrition*. **2008**, 7 (6), 782-784.
- [7] Yagoub, M.Y., Talha, E.E.A. Effect of replacement of groundnut cake with decorticated sunflower cake on the performance of Sudanese desert lambs. *Pakistan Journal of Nutrition*. **2009**, 8, 46–48.
- [8] Martillotti F., Antongiovanni M., Rizzi L., Santi E., Bittante G. *Metodi di analisi per la valutazione degli alimenti d'impiego zootecnico*, **1987**, Ed. IPRA, Roma.
- [9] Piccioni M., Cevolani D., Rizzitelli N. *Dizionario degli alimenti per bestiame*. pp. 379-380. **1989**, Edagricole Edizione, Bologna.
- [10] Nagalakshmi D., Dhanalakshmi K., Himabindu D. Replacement of groundnut cake with sunflower and karanj seed cakes on performance, nutrient utilisation, immune response and carcass characteristics in Nellore lambs. *Small Ruminant Research*. **2011**, 97, 12–20.
- [11] Sauvant D., Perez J.M., Tran G. *Tables of composition and nutritional value of feed materials*.pp. 25-35; 43-55, INRA Editions, Wageningen Academic Publishers, **2002**.

VALORIZZAZIONE DEI SOTTOPRODOTTI DELLA FILIERA DEL BIODIESEL: LA TRASFORMAZIONE DI GLICEROLO AD ACROLEINA E ACIDO ACRILICO

Referente scientifico:

Fabrizio Cavani

Team di progetto:

Fabrizio Cavani, Alessandro Chieragato, Giuseppe Puglia

Dipartimento di Chimica Industriale "Toso Montanari", ALMA MATER STUDIORUM Università di Bologna, Viale Risorgimento 4, 40136 Bologna (Italy).

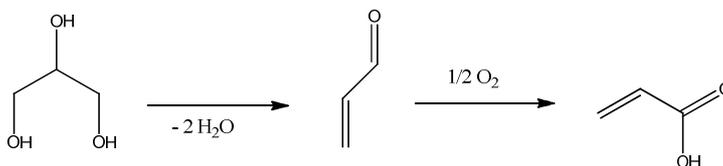
Uno dei problemi nella sintesi di biodiesel: la co-produzione di glicerolo

Il co-prodotto della reazione di transesterificazione dei trigliceridi di origine vegetale o animale con metanolo, processo finalizzato all'ottenimento di FAME (Fatty Acid Methyl Esters, componenti del biodiesel), è il glicerolo. L'incremento della produzione di biodiesel a partire dai primi anni '90 ha avuto una accelerazione dopo il 2000, causando un surplus di glicerolo e quindi abbassandone notevolmente il valore, con prezzi mediamente superiori ai 1000 €/tonn nel periodo 2003-2006, fino a valori inferiori a 200 €/tonn, valore minimo toccato nel 2007. Successivamente, il prezzo è tornato ad aumentare; attualmente il glicerolo per industria farmaceutica (ad elevata purezza) ha una quotazione compresa tra gli 800 e i 1100 €/tonn, quello a minor grado di purezza tra gli 600 e gli 800 €/tonn. Infatti, il glicerolo viene inizialmente estratto dalla miscela di reazione con acqua e successivamente concentrato, per ottenere glicerolo grezzo (80-90% in acqua), che viene poi purificato mediante trattamenti successivi per togliere impurezze quali ceneri (0.5-2%), composti organici diversi (1-2%), e residui del catalizzatore basico. Infine, la soluzione viene ulteriormente trattata mediante passaggio su resine a scambio ionico e distillazione per recuperare la frazione di metanolo ancora presente, e per ottenere glicerolo ad elevata purezza (99+%). Il mercato attuale del glicerolo è sostanzialmente basato su prodotti di nicchia, anche se ad elevata redditività (settori della cosmesi e medicinale); la vendita di glicerolo da parte dei produttori di biodiesel contribuisce alla redditività del processo stesso, per cui il crollo del valore di questo prodotto ha avuto effetti negativi sul margine operativo, ed è stata una delle cause che tra il 2007 e il 2010 ha portato alla fermata di numerosi impianti di produzione di biodiesel.

Tuttavia, una possibile soluzione al problema del surplus produttivo di questa molecola è rappresentato dalla identificazione di nuovi sbocchi, e quindi di nuove applicazioni. Un costo compreso tra 500 e 700 €/tonn da una parte potrebbe contribuire in maniera ragionevole all'economia del processo di produzione del biodiesel, e dall'altra renderebbe il glicerolo una materia prima interessante per la sintesi di chemicals, avente non solo caratteristiche di rinnovabilità, ma anche competitiva rispetto ai tradizionali building blocks ottenuti dal petrolio. Il punto chiave è quindi rappresentato dalla possibilità di trasformare il glicerolo a composti chimici aventi sbocchi di mercato molto più ampi di quelli attuali, per esempio, a monomeri. Tutto ciò ha contribuito ad accrescere l'interesse delle industrie e della comunità scientifica nei confronti delle possibili trasformazioni del glicerolo, mediante processi catalitici [1]. Esempi di processi attualmente studiati sono la reazione di eterificazione con isobutene per produrre tri-terbutilglicerolo, molecola usata come additivo alto-ottanico per benzine, e la idrogenolisi catalitica o enzimatica a 1,2-

propandiolo (molecola alternativa al glicol etilenico) e 1,3-propandiolo (monomero per una nuova classe di polimeri). Altri processi, pertinenti al settore dell'energia, sono il reforming in fase gas o in fase liquida a bassa temperatura a dare CO e H₂ (miscela eventualmente riconvertibile a metanolo, in modo da chiudere il ciclo sulla transesterificazione) o la ossidazione parziale catalitica, sempre a CO/H₂.

Il lavoro della nostra unità di ricerca nasce quindi dalla necessità di trovare nuove vie di valorizzazione del glicerolo. In particolare, ci siamo dedicati allo studio di catalizzatori per la disidratazione del glicerolo ad acroleina e per la sua trasformazione ad acido acrilico [2]. Infatti l'acroleina ha, come tale, un mercato abbastanza limitato, ma è l'intermedio per la produzione di acido acrilico (a sua volta monomero per la sintesi di fibre), la cui produzione attuale è pari a circa 4 106 tonn/anno. Il processo potrebbe quindi essere condotto in due stadi distinti, il primo finalizzato alla sintesi di acroleina ed il secondo alla sua ossidazione ad acido acrilico; in effetti, il secondo stadio è un processo realizzato a livello industriale già da molti anni. Tuttavia, è possibile immaginare un approccio alternativo, costituito dalla sintesi "one-pot", realizzata cioè con un unico catalizzatore avente caratteristiche di bifunzionalità, in grado cioè di catalizzare sia lo stadio di disidratazione, che quello di ossidazione.



Esistono diversi casi di sistemi catalitici "intrinsecamente bifunzionali", utilizzati a livello industriale; la difficoltà maggiore consiste nella preparazione di materiali che non solo siano in grado di catalizzare i due stadi, ma nel quale i centri attivi per ciascuno dei due stadi non catalizzino reazioni indesiderate nell'altro stadio. L'obiettivo della nostra unità di ricerca è stato lo studio di nuovi catalizzatori per la sintesi one-pot di acido acrilico da glicerolo. In conformità con quanto indicato nel progetto iniziale sono stati studiati i seguenti sistemi:

- Catalizzatori a base di eteropolicomposti di Keggin, sistemi intrinsecamente bifunzionali.
- Catalizzatori a base di ossido di zirconio solfata; si tratta di un sistema caratterizzato da forte acidità, ma che possiede anche gruppi solfato aventi caratteristiche ossidanti.
- Catalizzatori a base di ossidi misti di W, V e Nb. Questi sistemi sono stati sviluppati in collaborazione con l'Università Politecnica de Valencia (ES).

Metodologia di lavoro

Il lavoro svolto può essere così riassunto:

1. Preparazione, caratterizzazione ed utilizzo nella reazione di disidratazione ossidativa del glicerolo ad acido acrilico, di catalizzatori a base di eteropolicomposti di Keggin, contenenti P, Mo e V. I catalizzatori hanno dato rese basse sia nello stadio di disidratazione di glicerolo ad acroleina, sia nello stadio di ossidazione dell'acroleina ad acido acrilico.
2. Preparazione, caratterizzazione ed utilizzo nella reazione di disidratazione ossidativa del glicerolo di catalizzatori a base di ossido di zirconio, attivato mediante solfatazione. I catalizzatori hanno dato buone rese nel primo passaggio della reazione, ma sono

- soggetti a forti fenomeni di disattivazione. Lo studio ha portato ad una pubblicazione su una rivista scientifica a carattere internazionale.
3. Preparazione, caratterizzazione ed utilizzo nella reazione di disidratazione ossidativa del glicerolo di catalizzatori a base di ossidi misti di W, V e Nb. I catalizzatori hanno dato, tra tutti i sistemi studiati, le rese migliori in acido acrilico, anche se i valori ottenuti sono ancora lontani da un eventuale interesse per applicazione industriale. Lo studio ha portato ad una pubblicazioni su riviste scientifiche a carattere internazionale.

Risultati

Microimpianto da laboratorio: problematiche e soluzioni

Il problema iniziale di cui ci siamo occupati è la scelta delle condizioni per la conduzione delle prove catalitiche. La letteratura scientifica riporta numerosi esempi di ossidazioni del glicerolo con O₂, ma si tratta di reazioni condotte in fase liquida, a temperature inferiori a 100°C; si ottengono prodotti quali acido glicerico, tartronico o mesossalico; in tutti i casi, quindi, si ha il mantenimento di almeno un gruppo ossidrilico sulla molecola. Nel nostro caso, invece, poiché bisogna inizialmente disidratare il reagente ad acroleina (reazione endotermica e quindi favorita ad alta temperatura), è comunque necessario utilizzare temperature di reazione elevate, probabilmente superiori a quelle di ebollizione del glicerolo stesso (Teb del glicerolo puro 290°C). E' quindi ragionevole ipotizzare che si debba condurre la reazione in fase gas; questo non costituisce un problema per il secondo passaggio, l'ossidazione dell'acroleina ad acido acrilico, che viene condotto industrialmente in fase gas, a temperature superiori ai 300°C.

Il processo potrebbe utilizzare sia glicerolo puro che diluito in acqua. Nel primo caso ci troveremmo di fronte al problema di vaporizzare un liquido estremamente viscoso e con un calore di vaporizzazione che è circa il doppio di quello dell'acqua; questo non solo porterebbe ad un notevole aumento dei costi energetici, ma rischierebbe di degradare buona parte del glicerolo. Nel secondo caso, in presenza di elevate diluizioni dovremmo tenere conto della bassa produttività del processo e dei costi di vaporizzazione dell'acqua (componente inerte che non partecipa alla reazione). Se si tiene conto del fatto che il glicerolo è ottenuto dal processo di transesterificazione come soluzione acquosa diluita, e che deve poi subire processi di concentrazione (fino al 70-90% in peso), l'utilizzo diretto di una soluzione acquosa al 20% permetterebbe di integrare direttamente la sintesi di glicerolo con la sua trasformazione a valle. Il microimpianto da laboratorio utilizzato è costituito da tre zone: la zona di alimentazione, la zona di reazione, e la zona di raccolta e analisi. La soluzione di glicerolo (20% in peso in acqua) viene alimentata attraverso l'uso di una pompa ad infusione ad alta precisione che inietta il liquido in una linea in acciaio riscaldato (290°C) in cui avviene la vaporizzazione della miscela. La linea di alimentazione termina dentro il reattore in vetro, a pochi centimetri dal letto catalitico posto nella zona isoterma del forno riscaldante. Tale configurazione è stata motivata da problemi riscontrati nel momento in cui la soluzione veniva vaporizzata in una zona di pre-miscelazione calda, a monte del letto catalitico. Si otteneva infatti, nella zona di espansione e miscelazione dei gas, la condensazione di parte del glicerolo. In testa al reattore vengono alimentati anche ossigeno e elio in portate variabili controllate mediante regolatori di flusso.

In coda al reattore è collocato un sistema di abbattimento dei prodotti condensabili, costituito da due gorgogliatori in serie; il primo contiene acqua e il secondo acetone. In questo modo si ha la possibilità di assorbire completamente i prodotti condensabili della

reazione, e di analizzarli mediante gas-cromatografia (rivelatore FID, colonna OV-351, standard interno acido 1-pentanoico). I prodotti condensabili identificati sono idrossiacetone, propionaldeide, acetaldeide, acetone, alcol allilico, acido acetico, acido propionico, acroleina ed acido acrilico. I prodotti incondensabili sono CO e CO₂, che non vengono trattenuti dal sistema di abbattimento e vengono analizzati direttamente mediante campionamento on-line in gas-cromatografo (detector TCD, colonne Molsieve 5A plot fused silica e Silica Plot); con questo campionamento si analizza anche l'ossigeno non convertito. Abbiamo utilizzato le seguenti condizioni di reazione: alimentazione glicerolo/ossigeno/acqua/elio=2/4/40/54, quantità di catalizzatore, temperatura e tempo di contatto variabili. La concentrazione di ossigeno è stata calcolata in modo tale da non formare miscele potenzialmente infiammabili.

Poliossometallati con struttura di Keggin in forma acida

Catalizzatori particolarmente interessanti sono i poliossometallati, sistemi che rappresentano l'applicazione pratica del concetto di multifunzionalità intrinseca. Uno dei più comuni tipi di poliossoanione è il composto di Keggin, (PX₁₂O₄₀)³⁻ o (SiX₁₂O₄₀)⁴⁻. La struttura primaria dell'anione di Keggin è costituita da 12 atomi di metallo X⁶⁺ (solitamente, Mo o W) e dall'eteroatomo P⁵⁺ o Si⁴. Questi sistemi possiedono caratteristiche uniche di reattività; infatti sono sia forti acidi di Brønsted (nella forma non salificata, o parzialmente salificata), sia forti ossidanti. La forte acidità deriva dalla delocalizzazione della carica negativa nell'intera unità molecolare del poliossoanione, con conseguente indebolimento della interazione col protone, che è quindi facilmente cedibile. Una così elevata acidità può essere responsabile di reazioni secondarie indesiderate, quali la formazione di prodotti pesanti per reazioni di condensazione o oligomerizzazione. L'acidità può però essere controllata attraverso la parziale neutralizzazione dei protoni. Questi sistemi vengono studiati come catalizzatori di tipo acido, di ossidazione e come catalizzatori multifunzionali. Per esempio, vengono utilizzati industrialmente come catalizzatori per la ossidazione in fase gas di metacroleina ad acido metacrilico, e danno anche buone rese nella ossidazione di acroleina ad acido acrilico e nella ossidazione selettiva di propano ad acido acrilico. Hanno quindi potenzialmente tutte le caratteristiche per agire da sistemi intrinsecamente bifunzionali (acidi e ossidanti) nella forma acida, e come sistemi ossidanti (nella forma salificata) in combinazione con un catalizzatore acido. Sono stati preparati diversi eteropolicomposti sia in forma protonata che salificati con cesio. La sintesi degli eteropoliacidi contenenti vanadio viene fatta partendo da una soluzione di acido ortofosforico (Sigma-Aldrich purezza 85%) e ossido di molibdeno (MoO₃ Sigma-Aldrich 99,5%), in abbondante acqua distillata in modo da disciogliere completamente l'ossido di molibdeno. Pentossido di vanadio (V₂O₅ Sigma-Aldrich 99,5%) viene disciolto in una soluzione di acqua ossigenata al 3% a freddo, fino a completa dissoluzione. Una volta ottenute soluzioni limpide, si uniscono mantenendo elevata la temperatura (circa 90°C), fino ad ottenere un quantitativo di soluzione tale da poter essere posto in stufa a 105°C, fino a completa essiccazione. I sali di cesio sono ottenuti per precipitazione a partire da una soluzione dell'eteropoliacido con una soluzione di cesio carbonato. I composti sintetizzati sono stati caratterizzati mediante spettroscopia IR. Questa tecnica, in particolare, permette di confermare la formazione dell'anione di Keggin tramite le bande caratteristiche relative agli stretching dei legami P-O-Mo, Mo=O, Mo-Ob-Mo e Mo-Oc-Mo. I risultati delle prove condotte con l'eteropolicomposto avente composizione H₄PMo₁₁VO₄₀, in presenza di ossigeno, sono riportati in Figura 1. La reattività dell'eteropoliacido di Keggin ricorda per alcuni aspetti quella della zirconia

solfatata (vide infra), ma per altri si discosta nettamente da questa. Infatti, la conversione è molto alta anche a bassa temperatura, ma la selettività ad acroleina è bassa; il bilancio al C, a bassa temperatura, è molto basso, a causa della formazione di prodotti pesanti. Pertanto, le caratteristiche di acidità non sono tali da portare alla formazione del prodotto desiderato. L'andamento della conversione, con un minimo a 360°C, è certamente dovuto a fenomeni di disattivazione dovuti all'accumulo di prodotti pesanti sulla superficie del catalizzatore. Il successivo aumento di conversione è invece dovuto al contributo delle reazioni omogenee, che si sovrappone a quello del catalizzatore.

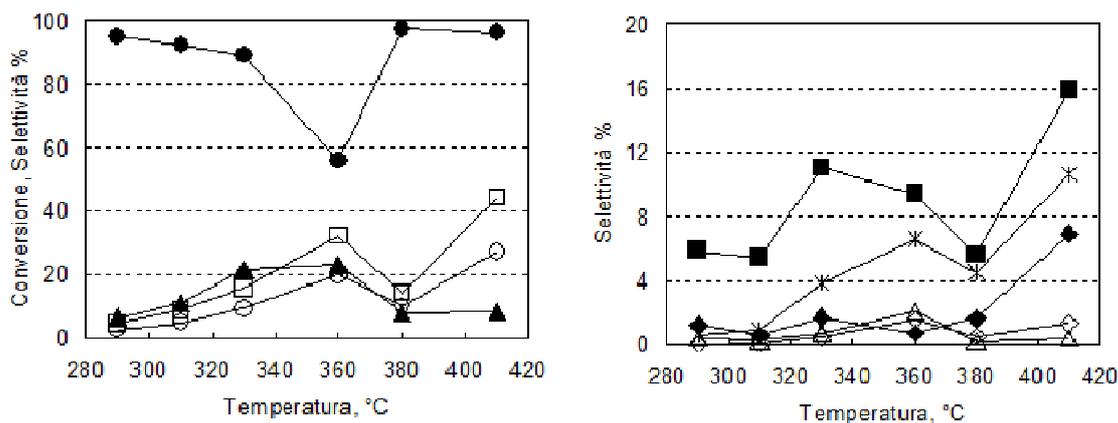


Figura 1: Effetto della temperatura sulla conversione del glicerolo e selettività nei prodotti con catalizzatore $H_4PMo_{11}VO_{40}$ e in presenza di O_2 ; alimentazione: glicerolo/ossigeno/acqua/elio=2/4/40/54 (rapporti molari). Simboli: ● conversione glicerolo; ■ selettività acroleina; * selettività acetaldeide; ○ selettività CO_2 ; □ selettività CO; ◆ selettività acido acetico; ▲ selettività "altri"; △ selettività idrossiacetone; ◇ selettività allil alcool; X selettività propionaldeide.

Le proprietà ossidanti dell'eteropolicomposto sono evidenti nella elevata selettività ad ossidi di carbonio, sia ad alta che a bassa temperatura. Tuttavia, non vi è traccia di acido acrilico; questo può essere dovuto o al fatto che la selettività ad acroleina (precursore della formazione di acido acrilico) è molto bassa, oppure al fatto che l'acroleina formata, invece di venire ossidata all'acido viene bruciata ad ossidi di carbonio.

Con l'eteropolicomposto salificato, $Cs_4PMo_{11}VO_{40}$, in presenza di ossigeno, la conversione ottenuta è molto alta, come nel caso del composto di Keggin in forma acida, ma rispetto a questo la disattivazione a temperatura intermedia è molto meno pronunciata. Altre differenze rispetto al composto acido sono: (a) un bilancio al C nettamente migliore a bassa temperatura, a indicare la minor formazione di composti pesanti; (b) una minor selettività ad acroleina, derivante dalla sostanziale assenza di acidità di Brønsted nel sale di cesio; (c) una selettività a CO_x pari a circa il 25%, a bassa temperatura, indice della presenza di proprietà ossidanti anche in condizioni di temperatura relativamente blande. In definitiva, gli eteropolicomposti come tali non sono catalizzatori adatti alla trasformazione di glicerolo. In forma acida, danno una selettività ad acroleina che è bassa a causa di una eccessiva acidità (con formazione prevalente di prodotti pesanti), mentre nella forma di sale di cesio la formazione di acroleina è quasi nulla, a causa della assenza di centri acidi. È quindi comunque necessaria la presenza di un componente catalitico che sia in grado di dare acroleina con selettività sufficiente. Si è pertanto deciso di proseguire il lavoro

studiando sistemi catalitici differenti, costituiti da ossido di zirconio attivato mediante solfatazione.

Ossido di Zr attivato mediante solfatazione

L'ossido di zirconio è spesso utilizzato in catalisi eterogenea come catalizzatore per reazioni di disidratazione, come ad esempio nella sintesi di alfa-olefine da alcoli. L'acidità di questo ossido può essere ulteriormente incrementata mediante funzionalizzazione della superficie, per esempio mediante formazione di gruppi solfato; si ottiene un ossido superacido, caratterizzato da costante di Hammett ($H_0 = -16$) inferiore a quella dei comuni acidi inorganici (H_2SO_4 100%, $H_0 = -12$). L'introduzione di gruppi solfato è utilizzato per generare centri acidi di Brønsted (altrimenti non presenti sulla superficie della zirconia, che ha caratteristiche di acidità di Lewis), e catalizzare reazioni quali l'isomerizzazione di idrocarburi, l'esterificazione, l'eterificazione, e altre ancora. In pratica, costituisce un metodo per eterogeneizzare l'acido solforico. I campioni sono stati preparati secondo il metodo della precipitazione, partendo dall'ossicloruro di zirconio $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$, basificando con una soluzione di ammonio idrato 10N e controllando il pH per mantenerlo tra 8 e 10. La soluzione è stata invecchiata per 20 ore a temperatura ambiente, filtrata e lavata per eliminare i cloruri. Il campione è poi stato essiccato a $110^\circ C$ per una notte, ed infine trattato termicamente in aria. Dopo trattamento termico a $650^\circ C$ si ottiene un ossido avente area superficiale pari a $85 m^2/g$. Un trattamento a $900^\circ C$ porta a ZrO_2 monoclina, avente area di $14 m^2/g$. Per introdurre i gruppi solfato si impregna la zirconia ad alta area con una soluzione di $(NH_4)_2SO_4$ in quantità tale da avere un contenuto finale di solfato pari al 4.4% in peso, e si calcina a $650^\circ C$ in aria per 3h.

Abbiamo eseguito prove di reattività sia con gli ossidi di zirconio tal quali (a bassa ed alta area superficiale), che con la zirconia solfatata, in assenza e in presenza di O_2 (i risultati di quest'ultima prova sono riportati in figura 2). Come esempio, vengono riportate le prove con zirconia a bassa area superficiale, in presenza di ossigeno. Il confronto tra le prove condotte in assenza di catalizzatore e quelle fatte con zirconia porta alle seguenti considerazioni:

1. In tutto l'intervallo di temperatura esaminato, la conversione del glicerolo ottenuta con la zirconia è superiore a quella raggiunta in assenza di catalizzatore, sia in presenza che in assenza di ossigeno. Pertanto, la zirconia agisce da catalizzatore per la trasformazione del reagente, ed il suo contributo si somma probabilmente a quello omogeneo.
2. Nella zona compresa tra 290 e $330^\circ C$, si ha una selettività ad "altri" prodotti che è inferiore rispetto a quella ottenuta senza catalizzatore; tale diminuzione è solo in minima parte compensata da un leggero aumento della selettività ad acroleina a $290^\circ C$; il bilancio al C è pertanto inferiore. A $330^\circ C$, in generale, il bilancio al C è molto basso.
3. Si osserva anche la formazione di idrossiacetone, uno dei prodotti ottenuti per monodisidratazione di glicerolo, con selettività superiori al 10%. Nelle prove condotte in assenza di catalizzatore tale prodotto era stato ottenuto con selettività inferiori al 3%.

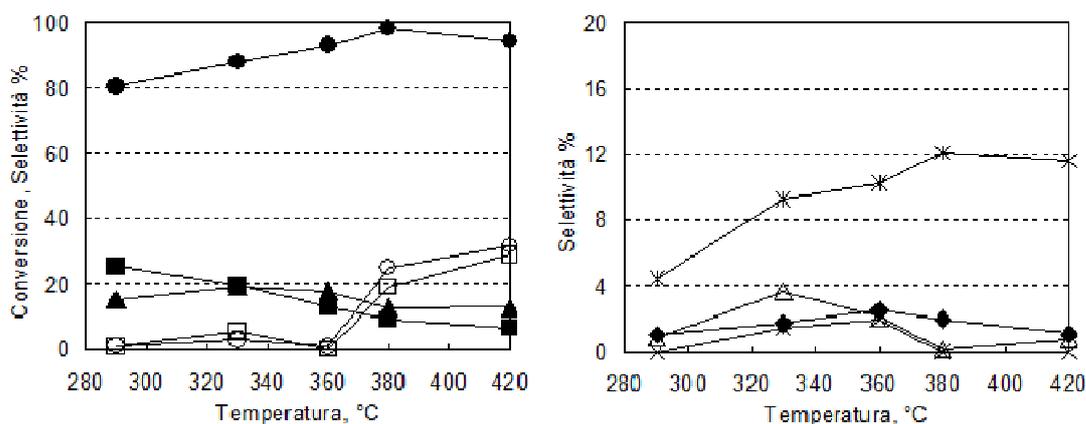


Figura 2: Effetto della temperatura sulla conversione del glicerolo e selettività nei prodotti con catalizzatore ZrO_2 solfatata in presenza di O_2 ; alimentazione: glicerolo/ossigeno/acqua/elio=2/4/40/54 (rapporti molari). Simboli: ● conversione glicerolo; ■ selettività acroleina; * selettività acetaldeide; ○ selettività CO_2 ; □ selettività CO; ◆ selettività acido acetico; ▲ selettività "altri"; △ selettività idrossiacetone; ◇ selettività allil alcool; × selettività propionaldeide.

E' possibile ipotizzare un ruolo della acidità di Lewis della zirconia nella formazione dei prodotti pesanti ma anche dei prodotti di disidratazione; l'interazione di vapor d'acqua con i siti di Lewis porta alla dissociazione della molecola d'acqua con generazione di gruppi Zr-OH sulla superficie, che possono agire da centri acidi di Brønsted di media forza.

I test catalitici effettuati su zirconia solfatata hanno evidenziato che la presenza di una forza acida di Brønsted maggiore ha notevoli implicazioni sulla conversione e sulla distribuzione dei prodotti. Sia in assenza che in presenza di ossigeno la conversione del glicerolo è superiore al 90% in tutto l'intervallo di temperatura esaminato. Il bilancio al C è in tutti i casi superiore al 50%, e ad alcune temperature superiore al 70%. Inoltre, si ha un chiaro aumento della selettività ad acroleina, e una selettività ad idrossiacetone inferiore a quella ottenuta con la zirconia tal quale; la selettività ad acroleina non è influenzata in modo rilevante dalla presenza di ossigeno. L'elevata selettività ad ossidi di carbonio osservata ad alta temperatura in presenza di ossigeno è riconducibile alle forti proprietà ossidanti del gruppo solfato in ossidi solfati. Anche la elevata selettività ad acetaldeide è riconducibile alla forza acida, in grado di catalizzare reazioni di cracking. Il leggero calo di conversione osservato ad alta temperatura può essere dovuto a fenomeni di disattivazione del catalizzatore, a causa del ricoprimento dei centri acidi da parte dei prodotti pesanti. I dati ottenuti confermano quindi che è necessario utilizzare temperature di reazione inferiori ai 330°C, per evitare la predominanza delle reazioni omogenee che portano alla formazione di prodotti pesanti o di ossidi di carbonio. Per temperature inferiori ai 330°C, le caratteristiche di acidità del catalizzatore influenzano il percorso di reazione e quindi le selettività nei prodotti. Il problema della formazione dei prodotti pesanti chiaramente condiziona i risultati (rese, selettività) della reazione. L'ipotesi fatta è che questi composti si formino principalmente da glicerolo, per reazione diretta; tuttavia, non si può escludere che anche l'acroleina possa dare luogo a reazioni di oligomerizzazione e formazione di prodotti pesanti, anche se di natura diversa da quelli ottenuti da glicerolo. Infine, sono state condotte prove utilizzando sia basso tempo di contatto che elevate velocità lineari, al fine di minimizzare il contributo delle reazioni indesiderate. In queste condizioni, sono stati ottenuti i risultati migliori: **selettività ad acroleina del 41%, con conversione del glicerolo**

pari al 50%; la selettività ad acido acrilico è inferiore all'1%. Tuttavia, il catalizzatore evidenzia una forte disattivazione. E' stato quindi condotto uno studio approfondito sul meccanismo di disattivazione del catalizzatore; i risultati non vengono qui riportati, in quanto descritti in dettaglio nell'articolo [3].

Bronzi di tungsteno a struttura esagonale, dopati con V

Gli ossidi di tungsteno con struttura esagonale denominati "bronzi" sono materiali che hanno suscitato un forte interesse scientifico negli ultimi 20-30 anni. Tali ossidi vengono utilizzati per applicazioni foto- ed elettro-chimiche, nell'industria metallurgica pesante ed in catalisi. In quest'ultimo ambito, i bronzi di tungsteno sono materiali molto interessanti per le loro proprietà acide, in particolare per la presenza di siti acidi di Brønsted sulla superficie del catalizzatore. Proprio tali siti acidi rappresentano i veri centri catalitici utili ad effettuare la disidratazione del glicerolo ad acido acrilico (primo step della reazione). Per quanto concerne la specifica disidratazione di questo polialcol, si è notato che questi catalizzatori presentano selettività molto bassa a sottoprodotti, rendendo tali sistemi molto interessanti soprattutto se paragonati con molti catalizzatori riscontrabili nella letteratura scientifica ed impiegati per i medesimi scopi.

I bronzi di tungsteno non presentano tuttavia nessuna proprietà redox. Al fine di introdurre all'interno del catalizzatore tali proprietà, indispensabili per effettuare l'ossidazione parziale dell'acroleina ad acido acrilico, si è pensato di drogare questi ossidi con vanadio. Tale elemento è infatti noto essere attivo in questo tipo di catalisi e viene tutt'ora impiegato industrialmente per l'ossidazione dell'acroleina (prodotta da propilene) ad acido acrilico. Tra i risultati più significativi ottenuti con questo tipo di catalizzatori, vi sono i test catalitici effettuati con un catalizzatore avente composizione $W_1V_{0.2}$. Con questo ossido, la conversione del glicerolo è sempre completa a tutte le temperature esaminate e la selettività a sottoprodotti (altri) non è mai superiore al 4%. Le selettività a CO e CO₂ sono comunque piuttosto significative e derivano da reazioni di ossidazione consecutive. Tra i sottoprodotti maggioritari (comunque inferiori al 5%) troviamo acetaldeide ed acido acetico, entrambe molecole che presentano comunque interesse economico. Ad ogni modo la selettività ad acido acrilico ed acroleina sono molto interessanti, con un massimo di selettività ad acido acrilico del 26% a 290°C.

Bronzi di tungsteno a struttura esagonale, dopati con Nb

Al fine di migliorare le prestazioni catalitiche dei sistemi studiati si è pensato di introdurre Nb nella struttura dei bronzi. Il Nb è infatti un dopante in grado di migliorare le proprietà acide dei catalizzatori [4-6] e quindi favorire la disidratazione del glicerolo ad acroleina (primo step della reazione). A causa della assenza di vanadio in questa categoria di catalizzatori, non è chiaramente possibile effettuare l'ossidazione dell'acroleina ad acido acrilico. L'unico obiettivo di questi test è quindi approfondire lo studio della disidratazione del glicerolo. Questo catalizzatore mostra alcune importanti differenze rispetto al bronzo di tungsteno non dopato [7-8]. Infatti, il trend della selettività ad acroleina in funzione della temperatura è simile per i due catalizzatori, ma la selettività ad acroleina a bassa temperatura è maggiore per il catalizzatore dopato (74% a 290°C e 64% a 310°C) rispetto al solo ossido di tungsteno (65% a 290°C e 49% a 310°C). Tuttavia, nelle condizioni utilizzate, il catalizzatore contenente niobio mostra una selettività a prodotti pesanti generalmente più importante. Il differente comportamento catalitico dei due sistemi può essere attribuito alla presenza del Nb⁵⁺, probabilmente responsabile della maggiore acidità del catalizzatore dopato.

Bronzi di tungsteno a struttura esagonale, dopati con V e Nb

Attraverso le numerose informazioni raccolte dai test catalitici effettuati, si è infine giunti allo studio di catalizzatori dopati sia con vanadio che con niobio, al fine di ottimizzare entrambi gli steps della reazione. Il catalizzatore W-V-Nb ha mostrato il comportamento catalitico più interessante; infatti si può evidenziare che il catalizzatore contenente anche niobio, rispetto a quello contenente solo vanadio presenta a bassa temperatura una selettività complessiva ad acido acrilico + acroleina maggiore (rispettivamente 33% e 45%). Questa differenza è principalmente dovuta alla maggiore selettività ad acroleina ottenuta grazie all'inserzione di Nb. Al fine di ricercare le migliori condizioni operative per il catalizzatore W-V-Nb, si è effettuato uno studio dell'influenza del tempo di contatto, alla temperatura di 290°C (fig. 3). A tempo di contatto nullo (assenza di catalizzatore) la conversione del glicerolo è bassa ed i prodotti prevalenti sono composti pesanti, generalmente chetali ottenuti dalla reazione tra glicerolo ed acroleina. A bassi tempi di contatto la conversione del glicerolo è comunque completa con conseguente decremento della selettività a composti pesanti, che invece torna ad aumentare a tempi di contatto superiori a 0,2 s. Tuttavia, il risultato più importante ottenuto da questo studio è evidenziato dall'andamento della **selettività ad acido acrilico, che mostra un massimo (33%)** a tempi di contatto inferiori (1,5 s) a quelli usati in precedenza (3,8 s).

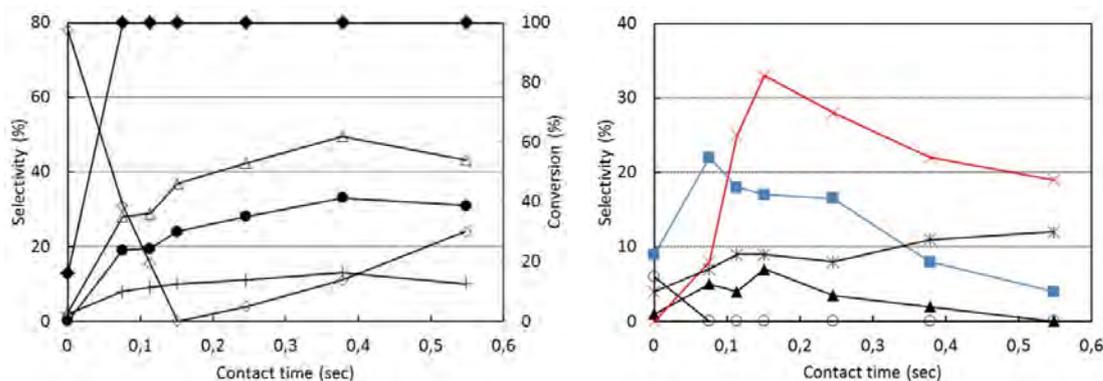


Fig. 3. Comportamento del catalizzatore **WVNb** in funzione del tempo di contatto. Composizione di alimentazione: 2 mol% glicerolo, 4 mol% ossigeno, 40 mol% acqua, and 54 mol% elio. Temperatura 290°C. Simboli: Conversione del glicerolo (◆), conversione dell'ossigeno (△), selettività ad acroleina (■), acido acrilico (×), acetaldeide (▲), acido acetico (*), CO (●), CO₂ (+), composti pesanti (◇), e idrossiacetone (○).

Si è infine effettuato un test di stabilità del catalizzatore nelle condizioni ottimali (290°C, tau 1.5 s), conducendo la reazione per quasi 100 ore. Nel tempo di reazione preso in considerazione, il catalizzatore W-V-Nb ha mostrato una buona stabilità con un calo della selettività ad acido acrilico di soli pochi punti percentuale. La selettività complessiva ad acroleina + acido acrilico rimane costante al 50% circa. Dato che la selettività ad acido acrilico del catalizzatore W-V-Nb è maggiore di quella ottenuta col sistema drogato con solo vanadio, e visto che tale valore di selettività è stato ottenuto a tempo di contatto più basso, si può concludere che la produttività del catalizzatore drogato con Nb e V è stata ampiamente migliorata (circa tre volte superiore) rispetto al sistema drogato con solo vanadio. I dati ottenuti sono stati oggetto di pubblicazione su una rivista scientifica a carattere internazionale [8].

Conclusioni

Nel tentativo di trovare nuove applicazioni industriali per il glicerolo, coprodotto della sintesi del biodiesel, si è studiata la produzione di acido acrilico tramite processo “one-pot”. Per effettuare tale sintesi si sono impiegati tre differenti tipologie di catalizzatori: i) eteropoliacidi con struttura kegggin, salificati con cesio e non salificati, ii) zirconia solfatata, iii) catalizzatori a base di ossidi di tungsteno con struttura esagonale, drogati con V e/o Nb. La prima tipologia di catalizzatori non sono catalizzatori adatti alla trasformazione di glicerolo; infatti, in forma acida, danno una selettività ad acroleina che è bassa a causa di una eccessiva acidità (con formazione prevalente di prodotti pesanti), mentre nella forma di sale di cesio la formazione di acroleina è quasi nulla, a causa della assenza di centri acidi. La zirconia solfata ha mostrato buona selettività ad acroleina (41%), con conversione del glicerolo pari al 50%, tuttavia la selettività ad acido acrilico è inferiore all'1%; inoltre, la performance catalitica è sempre accompagnata da importanti fenomeni di disattivazione del catalizzatore. I migliori risultati catalitici per la disidratazione ossidativa del glicerolo ad acido acrilico, sono stati ottenuti con sistemi tri-componente W-V-Nb in grado di dare selettività ad acido acrilico del 33% ed una selettività complessiva ad acroleina ed acido acrilico del 50%, a 290°C.

Bibliografia

- [1] Jerome F, Pouilloux Y, Barrault J, *ChemSusChem*, **2008**, 1, 586.
- [2] Katryniok B, Paul S, Capron M, Dumeignil F, *ChemSusChem* **2009**, 2, 719.
- [3] Cavani F, Guidetti S, Trevisanut C, Ghedini E, Signoretto M, *Applied Catalysis A*, **2011**, 267, 409.
- [4] P. Lauriol-Garbay J.M.M. Millet, S. Loridant, V. Bellière-Baca, P. Rey, *J. Catal.*, **2011**, 280 68–76.
- [5] S.-H. Chai, H.-P. Wang, Y. Liang, B.-Q. Xu, *J. Catal.* **2007**, 250, 342.
- [6] P. L. Garbey, G. Postole, S. Loridant, A. Auroux, V. B. Baca, P. Rey, J.M.M. Millet, *Appl. Catal. B*, **2011**, 106 94.
- [7] M. D. Soriano, P. Concepción, J. M. López Nieto, F. Cavani, S. Guidetti, and C. Trevisanut, *Green Chem.* **2011**, 13, 2954.
- [8] Chieragato, F. Basile, P. Concepción, S. Guidetti, G. Liosi, M. D. Soriano, C. Trevisanut, F. Cavani, and J. M. López Nieto, *Catal. Today* **2012**, 197, 58.

VALORIZZAZIONE DELLE GLICERINA MEDIANTE TRASFORMAZIONE INDUSTRIALE IN 1,3-PROPANDIOLO

Responsabile scientifico:

Fabio Fava

Team di progetto:

Fabio Fava, Lorenzo Bertin, Noura Raddadi

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e dei Materiali (DICAM), Alma Mater Studiorum, Università di Bologna – fabio.fava@unibo.it

Introduzione

A causa della sua disponibilità, basso costo e possibilità di subire riduzione chimica, il glicerolo è divenuta una attraente fonte di carbonio per la produzione di carburanti e molecole chimiche ridotte. Il crescente interesse a livello globale nei confronti della produzione di biodiesel ha comportato un aumento considerevole della produzione di glicerolo grezzo, che è un sottoprodotto del processo di produzione del biodiesel che può contenere diverse concentrazioni di glicerolo, acidi grassi liberi, saponi, metanolo ed altre impurità. Di conseguenza il glicerolo, sottoprodotto di altri processi di produzione dell'industria chimica, è recentemente divenuta una abbondante ed economica fonte di carbonio. Opportunità future per una ancor maggiore disponibilità di glicerolo sono dovute all'accumulo di alte concentrazioni di glicerolo in alcune specie di alghe. Recentemente sono stati sviluppati processi per la produzione microbica di 1,3-propandiole (1,3-PDO) da glicerolo che impiegano microrganismi quali *Clostridium beijerinckii*, *Clostridium saccharobutylicum*, *Klebsiella pneumoniae*. L'1,3-PDO prodotto per via biotecnologica impiegando glicerolo come substrato è stato soprattutto ottenuto in colture di cellule liberamente sospese, con basse rese ed alti volumi di reazione. Al fine di eliminare questi problemi è possibile valutare la possibilità di allestire processi a cellule immobilizzate. D'altra parte, pochi studi sono stati condotti in merito alla possibilità di impiegare cellule immobilizzate per la bioconversione di glicerolo in 1,3-PDO.

L'obiettivo del presente studio è investigare la possibilità di sviluppare un processo continuo per la produzione di 1,3-PDO da glicerolo con colture microbiche pure singolarmente impiegate in bioreattori in presenza di materiale per l'immobilizzazione cellulare quali filtri ceramici "Vukopor S10" (VUK) o schiume poliuretatiche (*polyurethane foam*, PUF), per incoraggiare la formazione di un biofilm batterico in reattori a letto fisso o fluidizzato. Gli organismi coinvolti nello studio sono *P. agglomerans*, *K. oxytoca* e *C. freundii*. L'effetto sia del tempo di ritenzione idraulica (*hydraulic retention time*, HRT) (12, 8, 4, and 2 h) e del materiale per l'immobilizzazione cellulare è stato investigato in reattori impaccati a letto fisso, più resistenti a fenomeni di wash-out per bassi valori di HRT.

L'effetto della concentrazione di glicerolo grezzo (10-144 g/L) è stato valutato in reattore a letto fluidizzato utilizzando *C. freundii* in quanto più adatto ai processi di immobilizzazione ad una concentrazione iniziale di glicerolo pari a circa 92 g/L.

Metodologia di lavoro

Culture microbiche, glicerolo crudo, terreno di coltura

I ceppi batterici in grado di biodegradare il glicerolo utilizzati in questo studio sono stati *Pantoea agglomerans* (DSM 30077), *Klebsiella oxytoca* (DSM 30103) e *Citrobacter*

freundii (DSM 15979). I microrganismi sono stati acquistati dalla DSMZ (Braunschweig, Germany), collezione microbica. Le colture liofilizzate sono state risospese come specificato dal fornitore (DSMZ) in terreno Nutrient Broth (NB) e incubate a 30°C fino a quando il medium non diventava torbido, risultato della crescita microbica. La crescita cellulare avveniva inoculando all'1% (v/v) il mezzo di coltura con i microrganismi attivi. Nella fermentazione la percentuale di inoculo saliva al 10% (v/v).

Il glicerolo grezzo, scarto della produzione di biodiesel, è stato preso in uno stabilimento di Torbali, Izmir, Turkey in un contenitore in plastica da 10 L. Per evitare contaminazioni microbiche, il substrato è stato mantenuto a 4°C prima dell'utilizzo. Il contenuto di glicerolo nello scarto del biodiesel è stato determinato tramite Cromatografia liquida ad alta pressione (HPLC) ed è risultato essere il 50% (w/v), il resto era soda caustica, sapone e tracce di sali. Originariamente all'interno dello scarto del biodiesel la percentuale di glicerolo era dell'80%, tuttavia per mantenere il prodotto liquido è stato diluito con acqua fino alla concentrazione finale del 50% (500 g L⁻¹). Questa soluzione è stata poi diluita fino alla concentrazione necessaria per la produzione di 1,3-PDO.

La composizione del mezzo di coltura (CM) in un litro di acqua distillata è la seguente: 5.72 g K₂HPO₄, 1.5 g KH₂PO₄, 2.0 g (NH₄)₂SO₄, 0.24 g MgSO₄•7H₂O, 1.0 g estratto di lievito (Merck), 0.5 mL FeSO₄•7H₂O (soluzione al 0.05 g/L) e 1.0 mL di soluzione di microelementi. La soluzione di microelementi conteneva ZnCl₂ (70 mg/L), MnCl₂•4H₂O (0.1 mg/L), H₃BO₃ (60 mg/L), CoCl₂•2H₂O (0.2 g/L), CuCl₂•2H₂O (20 mg/L), NiCl₂•6H₂O (25 mg/L), Na₂MoO₄•2H₂O (35 mg/L) e 0.9 mL/L HCl (37%).

L'alimentazione è stata preparata dissolvendo in 1 L di CM 40 g di glicerolo grezzo per entrambe i bioreattori a letto impaccato e un quantitativo incrementale approssimativo di 10, 20, 50, 70, 90, 100, 110, 144 g il reattore a letto fluidizzato (FBR). Il materiale di immobilizzazione è stato sterilizzato in autoclave (121°C, 1 atm, 30 min) e lasciato raffreddare prima dell'uso. I reattori sono stati inoculati al 10% (v/v) da coltura stock cresciuta in terreno TSB sterile. Gli effluenti di tutti i bioreattori venivano campionati per analizzare il contenuto di glicerolo residuo, 1,3-PDO e altri sotto prodotti come 2,3-butandiolo (2,3-BD), etanolo, acido succinico, acido lattico e acido acetico.

Reattori CSTR

Le colture sono state fatte crescere parallelamente in due fermentatori convenzionali aventi volume di lavoro di 2 L e riempiti con 1 L di terreno. *C. freundii* (DSM 15979) e *P. agglomerans* (DSM 30077) sono stati impiegati singolarmente come inoculo. In entrambe i reattori la temperatura è stata impostata e controllata a 30°C, e il pH a 7 con NaOH 2 M. La soluzione di NaOH e il terreno venivano alimentati in modo sincronizzato nel bioreattore e le loro portate erano controllate dal segnale del pH. La velocità di agitazione era settata a 150 rpm. Durante la fermentazione veniva diminuito il tempo di ritenzione idraulico HRT da 8 h a 4 h e infine a 2 h. Per ogni HRT venivano fatti 6 campionamenti. I fermentatori venivano inoculati con pre-colture cresciute 24 h in bottiglie da 250 ml contenenti 100 ml di terreno di crescita.

Reattori a letto impaccato

Vakopor S10 (VUK) e PUF sono i supporti utilizzati per riempire i bioreattori. I bioreattori presentano le seguenti caratteristiche tecniche: 30 cm di altezza, 4,5 cm diametro interno, e 280 ml di volume totale. Ogni bioreattore a letto impaccato è stato riempito con un solo tipo di supporto, dopo il riempimento il volume di lavoro dei bioreattori riempiti con Vakopor S10 (VUK) e PUF era rispettivamente di 230 e 240 mL. Prima di essere utilizzato il

materiale di immobilizzazione veniva lavato con acqua distillata e seccato in stufa a 105°C overnight. La temperatura in entrambe i bioreattori veniva mantenuta a 30°C con camicia riscaldante. Durante la fermentazione, quando necessario, il pH veniva corretto a 7 con NaOH 2 M.

Una soluzione di terreno sterile NB inocolata all'1% (v/v) da soluzione stock di microrganismi veniva fatta ricircolare in continuo all'interno dei reattori per 5 giorni ad una velocità di diluizione di 0.16 h⁻¹. La durata totale del processo era di 12 giorni, questo tempo comprendeva l'immobilizzazione e la fermentazione in 1,3-PDO. Durante la fermentazione il tempo di ritenzione idraulico variava nell'intervallo compreso tra 2 h e 8 h per entrambe i ceppi batterici (*P. agglomerans* and *C. freundii*). La produzione di 1,3-PDO in continuo partiva alla novantacinquesima ora del processo.

Reattori a letto fluidizzato (FBBR)

Il reattore FBBR in scala laboratorio era un cilindro di vetro a colonna, con un volume totale di 1 litro, un'altezza di 15 cm ed un diametro interno di 10 cm. Il volume operativo del bioreattore era di 300 mL, ed è stato riempito con cubi di schiuma di poliuretano usati come materiale per l'immobilizzazione, per un volume operativo di 320 mL. Il materiale di supporto è stato lavato con acqua deionizzata e messo in stufa a seccare a 105°C prima dell'uso. Il reattore è stato posto su un piatto riscaldante provvisto di agitazione magnetica (MR Hei-Standard) e di un sensore di temperatura EKT Hei-Con (Heidolph Instruments (Schwabach, Germany), i valori operativi settati rispettivamente a 150 rpm e 30°C. Durante gli esperimenti, il pH del brodo di fermentazione è stato aggiustato a 7.00 manualmente a secondo del bisogno, usando una soluzione di NaOH (2M).

Inizialmente, il reattore è stato inoculato con *P. agglomerans*. Ad ogni modo, dato che non è stata osservata alcuna produzione di 1,3-PDO, l'organismo è stato sostituito con *C. freundii* che è stato poi usato durante il resto dello studio. I microorganismi sono stati attivati a partire da colture su agar in TSB (Tryptic Soy Broth), poi incubate a 30°C per almeno 10 ore. La soluzione stock dell'inoculo è stata alimentata al reattore FBBR in condizioni di sterilità per almeno 2 giorni con un tasso di diluizione pari a 0.04 h⁻¹. La produzione fermentativa in continuo di 1,3-PDO ha avuto inizio alla 24esima ora del processo dopo la crescita, la quale è durata 48 ore.

Il reattore FBBR ha operato in modalità continua con un tempo di ritenzione idraulica (HRT) di 8 ore, e dato che nel precedente studio in batch [1] era stata ottenuta la completa fermentazione del glicerolo grezzo (20 g/L) in 24 ore, in questo esperimento la concentrazione iniziale è stata modificata dopo almeno 6 cicli (\geq ogni 2 giorni). Il processo di fermentazione con il reattore FBBR è stato condotto per un periodo di sperimentazione di almeno 2 mesi.

Metodi analitici

La densità ottica (OD) dei campioni sospesi raccolti dal bioreattore è stata misurata attraverso opportuna diluizione della coltura ad un'assorbanza compresa fra 0.1 e 0.8 a 620nm, usando un fotometro UV-VIS, modello Cary 100, della Varian Inc.

Il numero di CFU/mL è stato misurato piastrando su agar (TSA) a 37°C overnight; 100 μ L di brodo colturale sono stati posti in piastre Petri tramite tassi di diluizione compresi fra 10⁻⁵ e 10⁻⁸.

I campioni di coltura sono stati centrifugati a 7379g per 15 minuti in una centrifuga modello J2-HS (Beckman Inc., USA), il supernatante è stato filtrato usando filtri in acetato di cellulosa con una dimensione dei pori di almeno 0.22 μ m. Il filtrato ottenuto è stato

analizzato per determinare la concentrazione di glicerolo, 1,3-PDO, 2,3-BD, etanolo ed altri sottoprodotti quali gli acidi succinico, lattico ed acetico usando un sistema High-Performance Liquid Chromatography (HPLC, Agilent), equipaggiato con una colonna a scambio ionico del tipo Phenomenex Rezex RHM Monosaccharide (H+) 300 x 7.8 mm ed un detector ad indice di rifrazione Thermo Surveyor Refractive Index. La temperatura della colonna era 65°C, quella del detector 40°C ed il volume di iniezione 20 µL. Una soluzione concentrata di H₂SO₄ (5 mM) è stata usata come fase mobile, ad un flusso di 0.6 mL/min.

La concentrazione di composti organici è stata calcolata usando una curva di calibrazione ottenuta con soluzioni standard (>99.5 purezza, grado HPLC). Le concentrazioni dei composti organici al di sotto del limite inferiore di rilevamento pari a 0.01 g/L non sono state considerate nei calcoli finali.

La misura della quantità di solidi sospesi (TSS), dei solidi volatili (VSS) ed il pH è stata condotta in accordo con i Metodi Standard [2].

Il pH dei campioni è stato misurato usando uno strumento Thermo Orion Model 720A, Research Inc., Beverly, MA, USA) ed una sonda di pH modello 81-04.

Tutti i dati presentati sono la media di misure condotte almeno in triplo.

Alla fine degli esperimenti di fermentazione, la quantità di cellule sospese e di microorganismi immobilizzati sia sul supporto che sulle pareti del bioreattore sono stati valutati. Il materiale di impaccamento e le pareti interne del vetro del reattore sono state lavate con una soluzione buffer di potassio (pH 7.1) in modo da rimuovere gli organismi adesi alle superfici. Un processo di filtrazione (condotto ben due volte in serie) è stato applicato per evitare la raccolta di particelle rotte; inoltre, è stata adottata una sonicazione per 10 minuti per rimuovere ulteriormente la biomassa. Al fine di stimare la percentuale di cellule immobilizzate e sospese che hanno contribuito a portare avanti il processo, le analisi TSS e VSS sono state condotte rispettivamente sulla sospensione di lavaggio e sul liquido di fermentazione.

Risultati

Le curve di crescita su glicerolo di *Pantoea agglomerans* (DSM 30077), *Klebsiella oxytoca* (DSM 30103) e *C. freundii* (DSM 15979) sono state verificate in un primo momento in beuta, in condizioni "batch". Tutti i ceppi hanno mostrato una curva di crescita regolare, seguendo un periodo lag di 2 ore. La biomassa necessaria per l'inoculazione di ciascun letto impaccato e dei bioreattori è stata raccolta alla fine della fase di crescita logaritmica (ovvero dopo 14 ore).

Reattori a letto impaccato (packed bed biofilm reactors, PBBR)

L'efficienza del fenomeno di immobilizzazione cellulare in ogni condizione di crescita è stata valutata grazie alla misura della quantità di biomassa sospesa oppure adesa ai materiali di supporto (VUK e PUF).

Per quanto concerne *C. freundii*, i tassi di immobilizzazione su VUK sono risultati del 42% e del 51% negli esperimenti di produzione del 1,3-PDO e di inibizione del substrato, rispettivamente. *C. freundii* è stato anche immobilizzato su PUF e, in questo caso, si è raggiunta un'immobilizzazione del 53 % nel processo di produzione di 1,3-PDO.

Nelle prove di produzione del 1,3-PDO in presenza di *P. agglomerans* è stata invece raggiunta un'immobilizzazione del 56% o del 81%, crescendo la biomassa rispettivamente su Vukopor o su PUF. Un 40 % di biomassa immobilizzata è stato ottenuto negli esperimenti di inibizione da substrato.

K. oxytoca è stato immobilizzato solo su Vukopor, con un'immobilizzazione del 31%.

Sulla base dei dati riportati sopra, e mostrati nel grafico seguente (Fig. 1), si può dedurre che il processo di immobilizzazione su PUF è risultato migliore di quello su Vukopor, a parità di condizioni operative, quali temperatura, HRT e valori di pH.

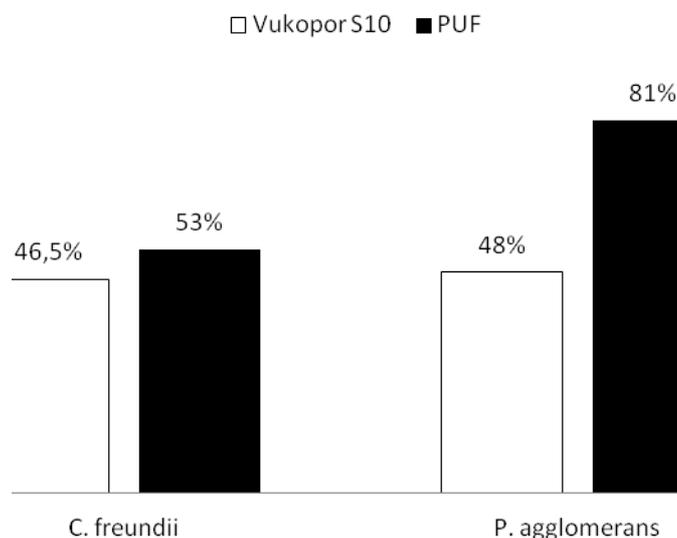


Figura 1: Percentuali dei tassi di immobilizzazione per *C. freundii* e *P. agglomerans* su Vukopor S10[®] e PUF, durante i processi di produzione di 1,3-PDO e di inibizione da substrato.

Le conte cellulari all'inizio della fermentazione durante l'esperimento di produzione di 1,3-PDO erano $1,03 \cdot 10^2$ e $3,50 \cdot 10^6$ per *C. freundii* su Vukopor S10[®] e PUF rispettivamente, $1,45 \cdot 10^2$ e $2,85 \cdot 10^2$ per *P. agglomerans* su Vukopor S10[®] e PUF, rispettivamente. La maggior parte di questi risultati mostra un andamento decrescente dall'inizio della fermentazione alla fine, un calo della concentrazione di cellule nel terreno di crescita che è indicativo della progressiva immobilizzazione dei microorganismi.

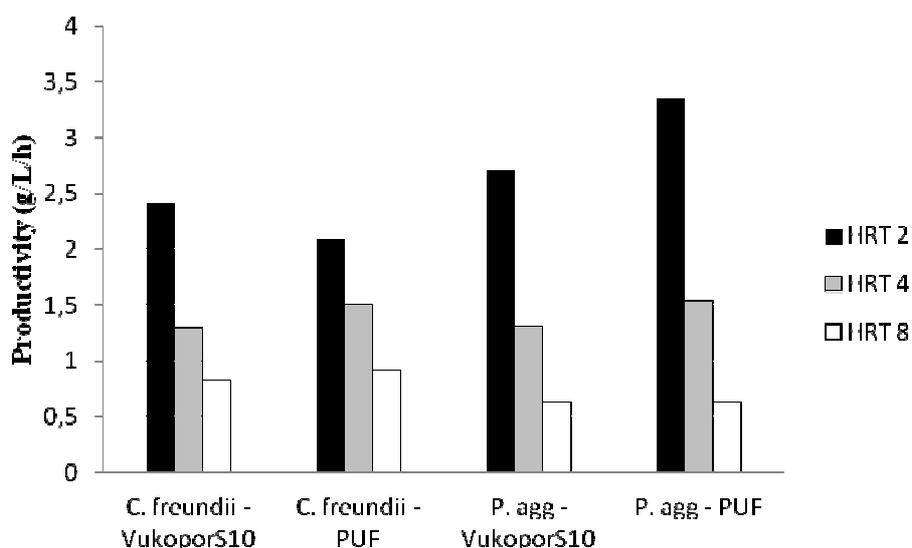


Figura 2: Produttività g/L/h per HRT 2,4,8 ore per *C. freundii* e *P. agglomerans* negli esperimenti di produzione di 1,3-PDO

Il grafico sopra (Fig. 2) mostra che un HRT di 2 ore ha consentito di ottenere una produzione più alta di 1,3-PDO in tutti i bioreattori impaccati con Vukopor S10[®] e PUF. Il

valore più alto, 3,35 g/L/h, è stato ottenuto nella prova di crescita di *P. agglomerans* su PUF, come materiale di supporto. Nonostante lavorare con HRT più bassi non abbia permesso di ottenere concentrazioni maggiori di 1,3-PDO, la produttività a minori HRT è risultata essere più alta. Il HRT è un importante parametro operativo che influisce direttamente sia sulla concentrazione del prodotto che sulla produttività. Brevi HRT hanno permesso un aumento della produttività di 1,3-PDO in tutti i casi in cui poteva essere considerato favorevole in termini di capitale e costi operazionali. Nel grafico seguente (Fig. 3) sono mostrate le concentrazioni medie di 1,3-PDO ottenute da ogni reattore in funzione del HRT.

Focalizzandosi sulla produzione di sotto-prodotti come l'acido acetico, l'acido succinico, l'acido lattico e il 2,3-Butandiolo, si può immediatamente notare che l'andamento di tali specie è apprezzabilmente lo stesso in tutti i bioreattori. Il 2,3-Butanediolo era il principale co-prodotto, come si può osservare nella Fig.3. Successivamente, l'acido acetico, il succinico e il 2,3-Butandiolo sono stati rilevati in concentrazioni sempre minori tramite analisi HPLC.

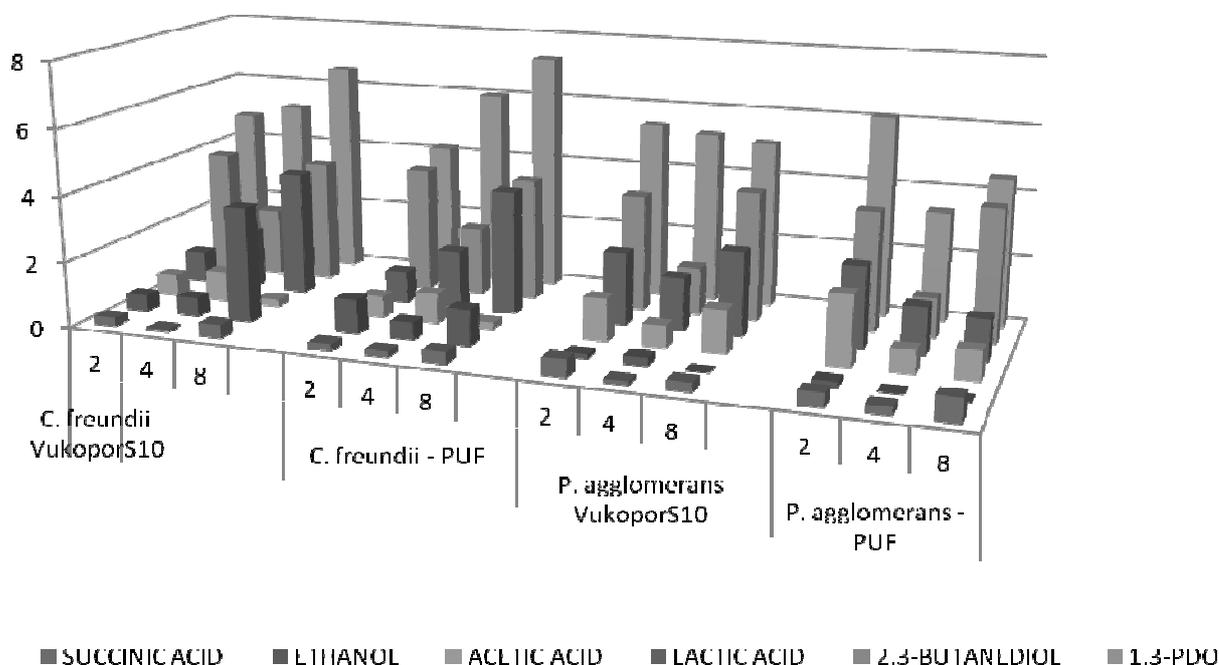


Figura 3: Concentrazioni (g/L) dei co-prodotti e del 1,3-PDO nei processi di produzione da *C. freundii* e *P. agglomerans*

La quantità di glicerolo convertita a 1,3-PDO (grammi di glicerolo per grammi di 1,3-PDO) è descritta come resa di 1,3-PDO. Come emerge in Fig. 4, le rese di 1,3-PDO variano tra 0.13 e 0.18 (g 1,3-PDO/g glicerolo), in accordo con i valori attesi teoricamente. In termini di co-prodotti, è stato osservato che i principali co-prodotti sono comuni acidi grassi volatili (acido acetico, acido lattico, acido succinico), 2,3-BD ed Etanolo.

L'utilizzo di un breve tempo di ritenzione idraulica (valori di HRT) risulta in minori rese molari di 1,3-PDO per tutti i bioreattori studiati. I microorganismi presenti non sono risultati in grado di consumare il glicerolo per brevi tempi di reazione, di conseguenza la produzione del composto principale (1,3-PDO) è risultata minore, con rese inferiori.

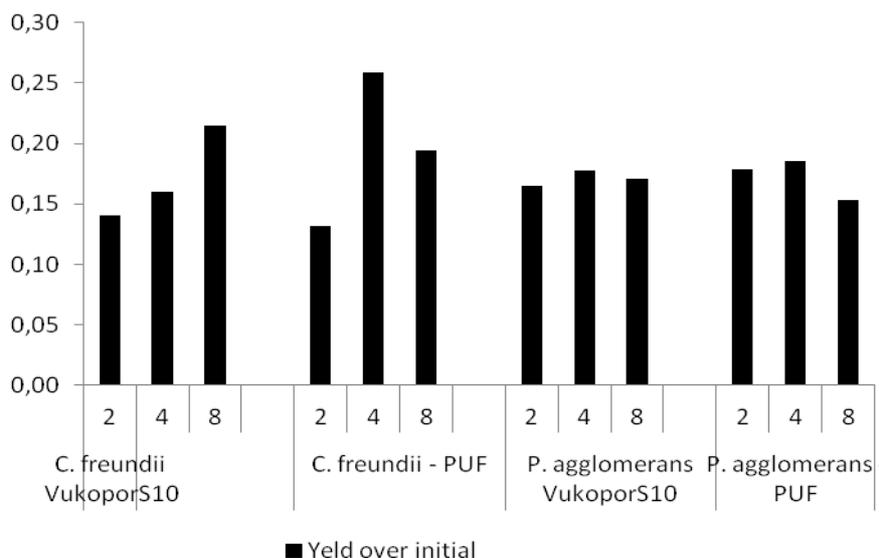


Figura 4: Resa per *C. freundii* e *P. agglomerans* nello studio di produzione del 1,3-PDO

Reattori a letto fluidizzato (Fluidised bed biofilm reactor, FBBR)

La formazione di un biofilm è stata osservata (ad occhio nudo) dopo aver alimentato il bioreattore con TSB per circa 48 h e la produzione del 1,3-PDO durante la fermentazione in continuo iniziava entro le prime 24h del processo. La Figura 5 (a, b, c, d, e) mostra gli andamenti dei principali parametri indagati contro le quantità sempre maggiori di glicerolo applicate nel periodo seguente la crescita del microorganismo *C. freundii*. È stato infatti considerato come tempo iniziale del processo fermentativo quello in cui il FBBR è stato alimentato con il mezzo della fermentazione.

L'aumento della quantità di glicerolo introdotta nel reattore ha portato ad un aumento della concentrazione di glicerolo residuo (Fig. 5a). L'andamento della produzione di 1,3-PDO mostrava un graduale aumento fino a valori al di sopra di 10 g/L, con un picco di concentrazione più alto di 17 g PDO/L misurato quando l'iniziale quantitativo di glicerolo era fra i 90 e i 100 g/L (Fig. 5a). La percentuale di glicerolo fermentato era più del 90% all'inizio dell'esperimento, poi, diminuiva gradualmente fino a percentuali inferiori al 25%, quando le concentrazioni iniziali di glicerolo raggiungevano valori superiori i 100 g/L.

I co-prodotti di fermentazione considerate, formati durante il processo nel FBBR (Fig. 5.b), erano acido lattico, acido acetico, acido succinico, 2,3-BD ed Etanolo. I maggiori accumuli di tali co-prodotti, sono stati raggiunti nel seguente ordine decrescente a partire da 2,3-BD, acido lattico e acido acetico con concentrazioni finali di 4, 2 e 1 g/L, rispettivamente. La concentrazione di acido succinico ed etanolo era sempre trascurabile (valori inferiori a 1 g/L).

L'iniziale concentrazione di glicerolo attorno a 90-100 g/L risultava in più alte produzioni di 1,3-PDO (Fig.5c) che era del 2.2 g_{PDO} (L/h).

Durante l'esperimento i parametri di OD e conta cellulare sono stati misurati nella miscela di fermentazione (Fig. 5.d) ed il confronto degli andamenti ottenuti indica anche una buona correlazione tra i due tipi di misura. Fatta eccezione per i valori di 109 e 112 g/L di iniziale concentrazione di glicerolo, come la concentrazione iniziale di glicerolo veniva aumentata, il numero di cellule sospese diminuiva nel reattore (dati non mostrati); dopo il processo di immobilizzazione, i microorganismi trovati erano la metà o concentrazioni

ancora inferiori rispetto agli inoculi. Tale comportamento è in accordo con i significanti quantitativi di biomassa immobilizzata rilevata sia sui supporti ceramici, che sulle pareti del bio-reattore.

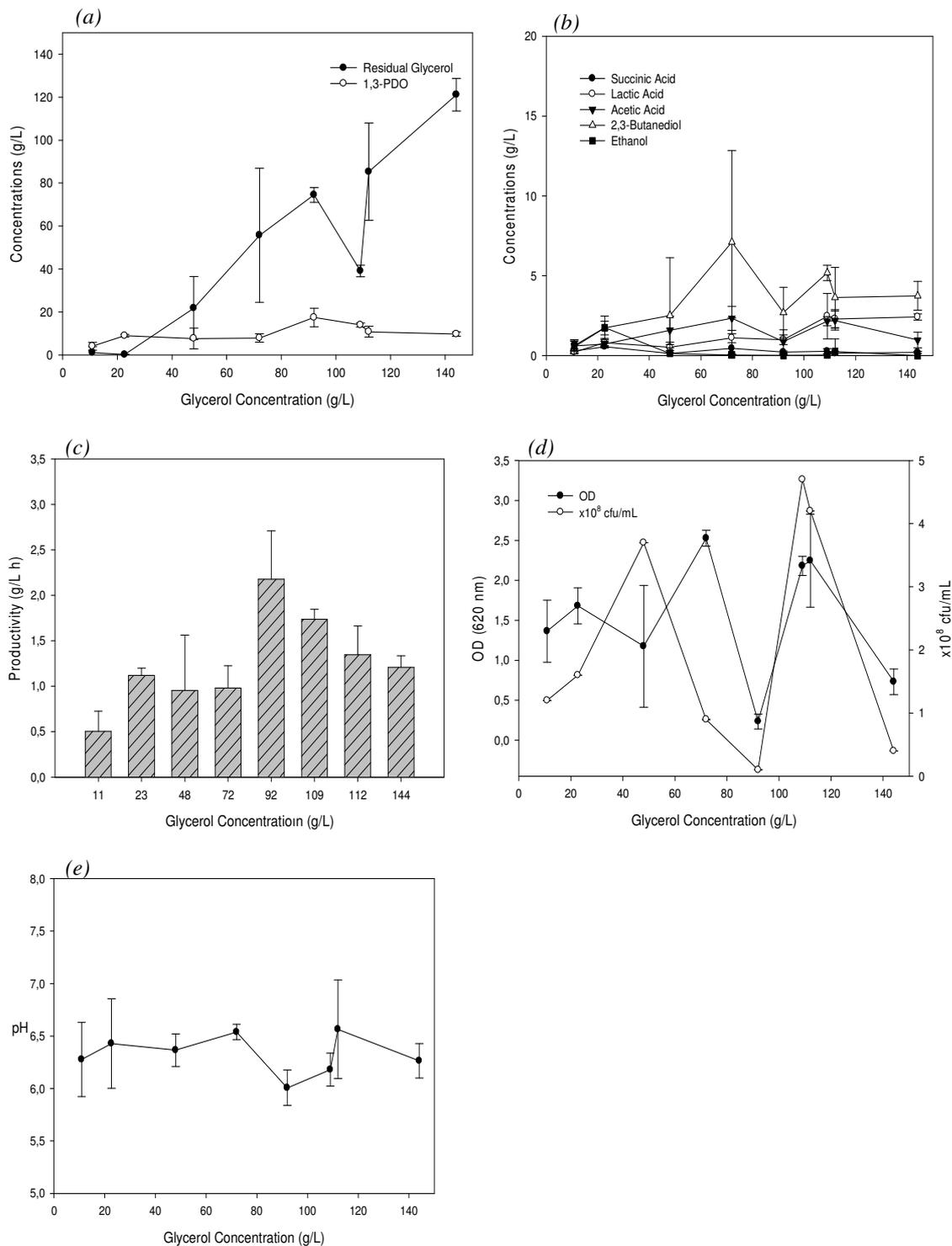


Figura 5: Andamenti dei principali parametri misurati per *C. freundii* nel FBBR durante la fermentazione: produzione di 1,3-PDO e concentrazione di glicerolo residuo (a); concentrazione dei co-prodotti (b); produttività dei bioreattori (c); paragone degli OD e valori delle conte su piastra (d); valori di pH (e).

Le percentuali di immobilizzazione stimate sulla totale quantità di biomassa nel sistema era del 67% e in particolare il contenuto di cellule sospese e immobilizzate era di 51.3 mg_{VSS} e 103 mg_{VSS}, rispettivamente.

Grazie al costante monitoraggio del pH del mezzo di fermentazione, l'andamento del pH nel FBBR appare stabile (Fig. 5e) con valori tra 6.0 e 6.4.

Compatibilmente con il limitato volume di fermentazione del reattore in scala da laboratorio, si può concludere che il processo di immobilizzazione è stato portato avanti con successo all'interno del FBBR. Il processo fermentativo ad opera del microorganismo *C. freundii* nel FBBR è stato il più efficiente comparato ai processi nei PBBR.

Discussione

Lo studio ha dimostrato che l'HRT è un parametro chiave nell'ottimizzazione di processi sia a cellule liberamente sospese sia a cellule immobilizzate dedicati alla bioconversione di glicerolo in 1,3-PDO. Nella presente ricerca, un valore di HRT pari a 2 h è stato il migliore in termini di produttività (velocità specifica di produzione, g/L/h). Inoltre, l'immobilizzazione cellulare ha permesso una maggiore robustezza e ha favorito la produzione di 1,3-PDO. In conclusione, la produzione continua di 1,3-PDO con cellule immobilizzate sembra una soluzione possibile, e il glicerolo grezzo può essere utilizzato senza alcun pretrattamento.

Nelle condizioni di esercizio testate, lo studio con il reattore FBBR ha dimostrato che la produttività in 1,3-PDO cresce al crescere del carico organico alimentato, mentre è stata osservata una concentrazione iniziale di glicerolo soglia (100 g/L) al di sopra della quale la produzione di glicerolo sembra decrescere gradualmente.

La produttività del processo condotto in reattore FBBR con *C. freundii* è stata comparabile con quelle misurate nei reattori PBBR impaccati con PUV e VUK quando operanti per bassi valori di HRT (2 e 4 h). Diversamente, quando i tre reattori a cellule immobilizzate hanno operato con HRT pari ad 8 h, la più alta efficienza di produzione di 1,3-PDO è stata raggiunta in FBBR.

Compatibilmente col basso volume del reattore su scala di laboratorio, può essere concluso che il processo a cellule immobilizzate è stato condotto con risultati soddisfacenti anche in FBBR e in tal caso la generazione di biofilm batterico ottenuta con *C. freundii* è stata più efficiente che non nei reattori di tipo PBBR.

Bibliografia

- [1] S. Casali, M. Gungormusler, L. Bertin, F. Fava, N. Azbar (2012). Development of a biofilm technology for the production of 1,3-propanediol (1,3-PDO) from crude glycerol. *BIOCHEM. ENG. J.* 64:84-90 (doi:10.1016/j.bej.2011.11.012)
- [2] APHA, AWWA, WEF, 2005 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st edn., Washington, DC, USA.

VALORIZZAZIONE DEI RESIDUI COLTURALI E DEL PANNELLO DI BRASSICACEAE MEDIANTE TRASFORMAZIONE INDUSTRIALE IN MOLECOLE BIOATTIVE

Responsabile scientifico:

Laura Bardi

Team di progetto:

Laura Bardi, Fulvia Rosso, Francesca Zoppellari

C.R.A.-RPS Centro di ricerca per lo Studio delle Relazioni Pianta/Suolo, Gruppo di ricerca di Torino - e-mail laura.bardi@entecra.it

Introduzione

Nell'ambito del sottoprogetto "Valorizzazione Industriale", il ruolo dell'U.O. CRA-RPS è consistito nella valorizzazione dei residui colturali e dei pannelli di *Brassicaceae* tramite estrazione di molecole bioattive come fitostimolanti: i brassinosteroidi. Gli obiettivi specifici previsti nel progetto consistono nell'ottimizzazione della tecnica di estrazione e nella valutazione delle rese ottenibili dalle varie matrici, nella formulazione di un prodotto da utilizzare come fitostimolante e nella valutazione della sua attività su colture erbacee annuali.

I brassinosteroidi sono steroidi vegetali con funzione ormonale e sono quindi, all'interno delle piante, dei regolatori della crescita e dello sviluppo. Vennero riscontrati per la prima volta nel 1979 nel polline di *Brassica napus* e ad oggi si contano più di 70 composti con medesime caratteristiche funzionali ascrivibili al gruppo dei brassinosteroidi ^[1].

Tali composti sono chimicamente formati da 25, 26 e 27 atomi di carbonio e sono costituiti da una catena laterale e da una parte ciclica costituita da due anelli e un gruppo steroideo (Figura 1). In tali parti della molecola risiedono le maggiori diversità strutturali tra i diversi brassinosteroidi e di conseguenza a tali differenze corrispondono diversità di carattere funzionale ^[1].

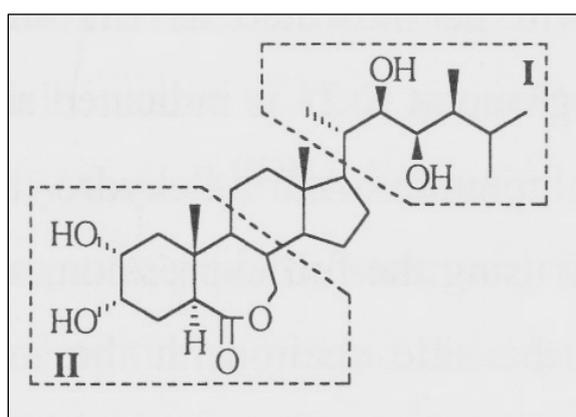


Figura 1. Struttura chimica del Brassinolide da polline di *Brassica Napus*.

L'azione dei brassinosteroidi endogeni, all'interno della pianta, è riconducibile principalmente ad una funzione regolatoria della crescita e dello sviluppo, mentre a livello

molecolare sono responsabili di cambiamenti nell'espressione genica, nel metabolismo proteico e nel trasporto di membrana ^[2].

A livello esogeno, vengono impiegati sia a livello sperimentale che come prodotti commerciali al fine di migliorare le produzioni agricole in termini di resa: ne è stato difatti evidenziato l'effetto positivo sull'allungamento del fusto, sulla divisione cellulare, sulla differenziazione dei tessuti vascolari, sull'aumento dell'espansione fogliare, sulla germinazione dei semi e sulla tolleranza a stress biotici e abiotici ^[1, 2, 3, 4]. Tali esperimenti sono stati condotti su un'ampia gamma di varietà di piante di interesse agronomico, quali: cereali, legumi, patate, tabacco, mais, cotone ^[1, 5].

I brassinosteroidi sono largamente diffusi nel regno vegetale; sono stati riscontrati in tutte le gimnosperme, nelle monocotiledoni, dicotiledoni e nelle alghe. Sono presenti nei tessuti vegetali in quantità variabili da 10 ng a 100 µg per chilogrammo di materiale vegetale, e sono biologicamente attivi a bassissime concentrazioni ^[1].

Le concentrazioni variano in funzione della specie vegetale, dell'età della pianta e dei tessuti e sono maggiori nei tessuti giovani e con funzione riproduttiva rispetto a quelli vegetativi. I quantitativi maggiori sono stati riscontrati nel polline, nei semi e anche nelle galle prodotte dalle punture di insetti, mentre le concentrazioni sono ridotte nei fusti, nei rami e nelle foglie delle piante ^[1].

Gli obiettivi del presente lavoro sono stati la caratterizzazione del contenuto in brassinosteroidi dei residui di coltivazione e di lavorazione di *Brassica carinata* e colza nella filiera di produzione di biodiesel, la messa a punto di un sistema di estrazione efficiente e rapido, la formulazione e la valutazione di un preparato commercializzabile come fitostimolante di origine esclusivamente naturale.

Metodologia di lavoro

L'attività, nella prima fase del progetto, è stata focalizzata sulla messa a punto del processo di estrazione dei brassinosteroidi dai semi, dalla paglia e dai pannelli di estrazione di *Brassicaceae* destinate alla produzione di biodiesel: *Brassica carinata* e colza. Successivamente sono state allestite prove sperimentali su colture annuali per testare l'efficienza fitostimolante degli estratti sulla produzione di biomassa.

Inizialmente è stato effettuato uno studio bibliografico sui brassinosteroidi, in particolare sulle caratteristiche biochimiche, sui principali metodi di estrazione, purificazione e identificazione e sui metodi per determinare l'attività biologica dei brassinosteroidi come sostanze promotrici della crescita vegetale ^[1, 2]. Il protocollo di riferimento, tra le varie metodologie di estrazione esistenti ^[6, 7], è quello descritto da Gamoh *et. al.* ^[8, 9, 10]. Tale procedura analitica prevede:

- omogeneizzazione del campione mediante macinatura,
- doppia estrazione della frazione lipidica con metanolo e etilacetato per 2 settimane,
- partizione tra acqua/etilacetato, metanolo/esano e etilacetato/ sodio idrogeno carbonato,
- purificazione dell'estratto finale mediante cromatografia su colonna con gel di silice.

L'estratto purificato è stato sia testato per verificarne l'attività biologica, sia analizzato in HPLC per l'identificazione, dove possibile, e la quantificazione dei brassinosteroidi presenti.

Il test di attività biologica degli estratti di *Brassica carinata* e colza è stato effettuato col metodo del Wheat Leaf-unrolling Test ^[11]. Il metodo prevede di testare l'estratto vegetale su foglioline recise di *Triticum aestivum* cresciuto in assenza di luce per 6 giorni. Le foglioline vengono incubate per 24 ore a 30°C con una certa quantità di estratto disciolto il

1ml di soluzione salina e successivamente se ne determina lo srotolamento mediante un calibro.

L'analisi in HPLC è stata eseguita sui campioni di estratti derivatizzati con acido dansilammino(fenil) boronico, reagente fluorogenico specifico per i brassinosteroidi. Tale procedura consente la determinazione di brassinolidi presenti in tracce mediante l'utilizzo dell'HPLC con detector fluorimetrico. L'analisi cromatografica è stata eseguita alle seguenti condizioni: colonna Supelcosil C18, temperatura colonna 45°C, fase mobile aceto nitrile:acqua (80:20), flusso 1.0 mL/min, lunghezza d'onda di eccitazione: 345 nm, lunghezza d'onda di emissione: 515 nm.

Successivamente è stata messa a punto una procedura di estrazione semplificata e abbreviata, confrontando poi i risultati con quelli ottenuti applicando il metodo precedente desunto dalla bibliografia. L'efficienza di estrazione è stata testata sia mediante analisi in HPLC che con Wheat Leaf-unrolling Test.

Sono state quindi effettuate diverse estrazioni, su elevati quantitativi di materiale vegetale, al fine di ottenere un quantitativo di brassinosteroidi sufficiente per la formulazione di un composto da testare come fitostimolante su colture orticole. Le prove sono state effettuate su due essenze vegetali annuali scelte per poter verificare sia la produzione in biomassa verde sia la produzione in seme delle piante: il fagiolo cannellino nano e la lattuga quattro stagioni rossa. Le prove sono state condotte in fitocelle con regolazione del fotoperiodo (16 ore di luce e 8 ore di buio) e della temperatura (25°C di giorno e 18 °C di notte). Le piante sono state seminate in vasi delle dimensioni di 12X60 cm, in numero di 5 piante per ogni vaso; per ogni essenza vegetale, sono state allestite sette tesi: un bianco, 3 tesi con trattamento fogliare a diverse concentrazioni di estratto attivo e 3 tesi trattate a livello radicale con diverse concentrazioni di estratto, per un totale di 14 vasi.

I trattamenti sono stati effettuati con diverse concentrazioni di olio estratto da panelli di brassica: 0, 25, 50 e 100 µL per litro di acqua (corrispondenti a 8.8, 17.6 e 35.2 µg di brassinosteroidi) . A tali soluzioni è stato aggiunto un coadiuvante per aumentare la biodisponibilità dei brassinosteroidi.

Le applicazioni sono state effettuate con due modalità: per via fogliare, spruzzando la superficie fogliare fino a inizio sgocciolamento delle foglie e per via radicale, e mediante iniezioni a livello radicale (10 ml per pianta). Le piante sono state sottoposte ai trattamenti all'emissione delle prime lamine fogliari, dopo 7 giorni e dopo 12 giorni.

Il substrato utilizzato aveva un contenuto in carbonio organico del 30%, acidi umici e fulvici del 7%, rapporto C/N inferiore a 40. La fertilizzazione è stata effettuata apportando N, P, e K pari a 40 kg/ha N, 50 kg/ha P₂O₅ e 120 kg/ha di K. L'apporto di macronutrienti è stato effettuato in due momenti per il fagiolo; all'espansione delle prime due foglie con una forma ammoniacale di azoto, e all'inizio della formazione dei primordi fiorali con una forma nitrica di azoto. I dati della produzione di lattuga sono stati analizzati statisticamente mediante analisi della varianza.

Risultati

L'analisi cromatografica ha evidenziato la presenza di sette picchi riferibili a composti della classe dei brassinosteroidi (Tabella 1). Due di tali composti sono stati identificati e quantificati mediante l'utilizzo di standard esistenti in commercio: l' 22(S), 23(S)-homobrassinolide e l'epibrassinolide (Figura 2). Gli altri cinque picchi, non identificati ma sicuramente appartenenti alla classe dei brassinosteroidi vista la specificità della derivatizzazione, sono stati quantificati sulla base della retta di taratura dell'epibrassinolide.

Tabella 1. Tempi di ritenzione dei picchi riscontrati all'analisi cromatografica.

| Brassinosteroidi | Tempo di ritenzione (min) |
|------------------|---------------------------|
| PICCO 1 | 4.1 |
| PICCO2 | 5.0 |
| PICCO 3 | 5.8 |
| Homobrassinolide | 6.3 |
| PICCO 5 | 7.4 |
| Epibrassinolide | 7.8 |
| PICCO7 | 10.4 |

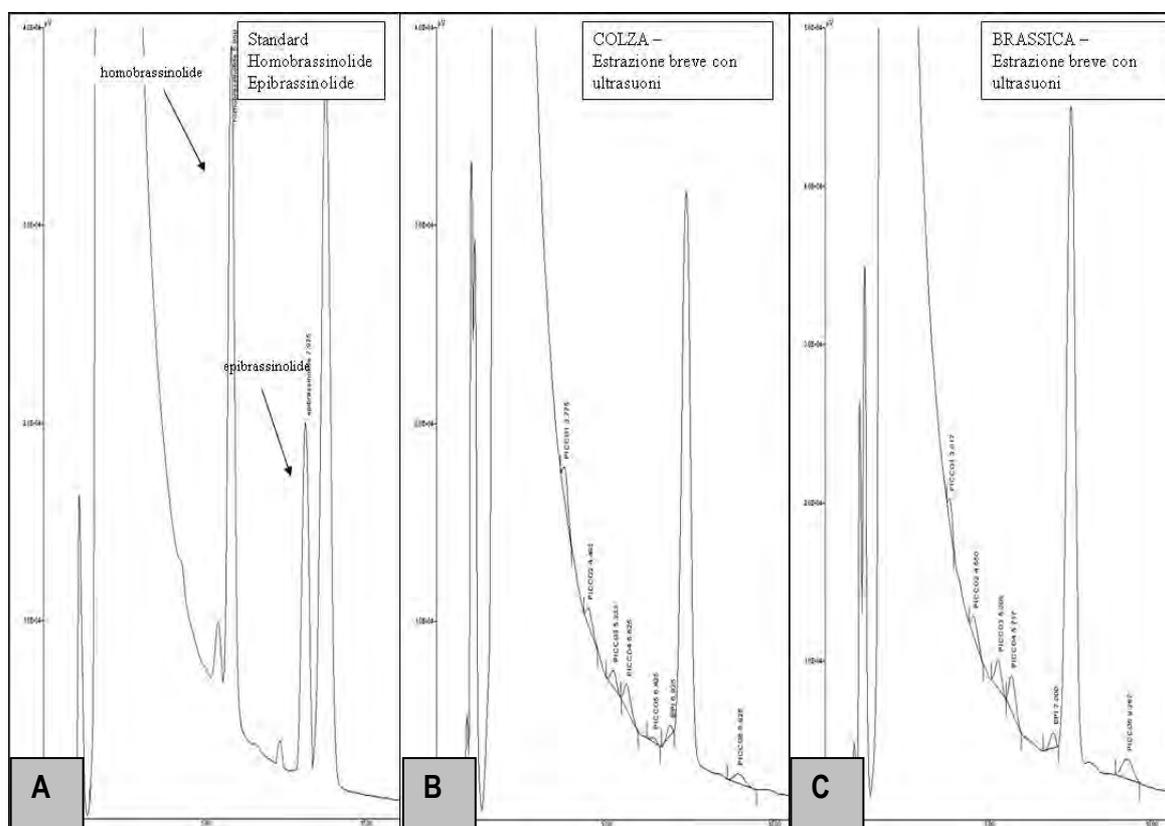


Figura 2. (A) Analisi cromatografica di una miscela degli standard (22(S), 23(S)-homobrassinolide e epibrassinolide). (B) Cromatogramma di un estratto di pannelli di Colza. (C) Cromatogramma di un estratto di pannelli di Brassica carinata.

L'analisi dei diversi residui (semi, paglia e pannelli delle due specie vegetali) (Figura 3) ha evidenziato un maggior contenuto in brassinosteroidi totali nei semi di *Brassica carinata*, in accordo con quanto riportato in bibliografia [1]. Si è osservato che i residui colturali e i pannelli contengono ancora elevati quantitativi di tali sostanze, anche maggiori rispetto a quelli attesi. Infatti il confronto del contenuto in brassinosteroidi dei semi e dei pannelli di *Brassica carinata* indica che più della metà dei brassinosteroidi presenti nei semi restano nel pannello dopo l'estrazione dell'olio.

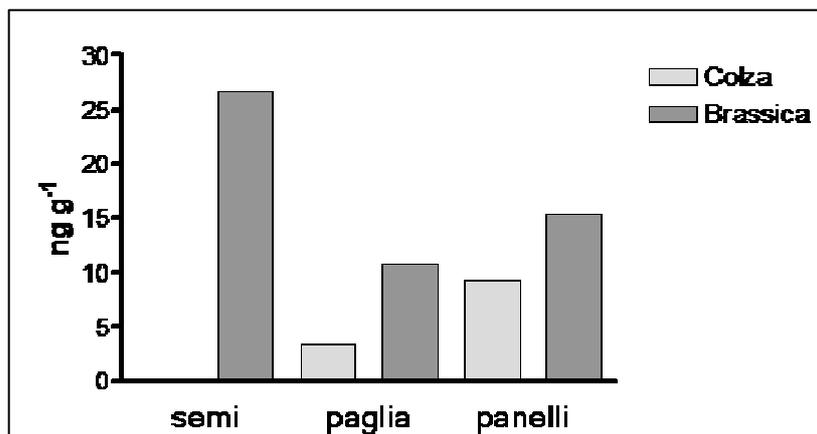


Figura 3. Concentrazioni totali di brassinosteroidi presenti nei semi, nella paglia e nei panelli di *Brassica carinata* e colza.

Gli estratti vegetali sono stati quindi analizzati con il Wheat Leaf-unrolling Test per verificarne l'attività biologica, utilizzando una soluzione standard di epibrassinolide a concentrazione nota come riferimento. In figura 4 viene mostrato l'*unrolling* o srotolamento delle foglioline di grano sottoposte a diverse concentrazioni di estratti di *Brassica carinata* e colza e incubate in 1 mL di soluzione salina al buio. Si è evidenziato un andamento di attività crescente fino ad una determinata concentrazione (diversa per i due estratti), seguita da una decrescita.

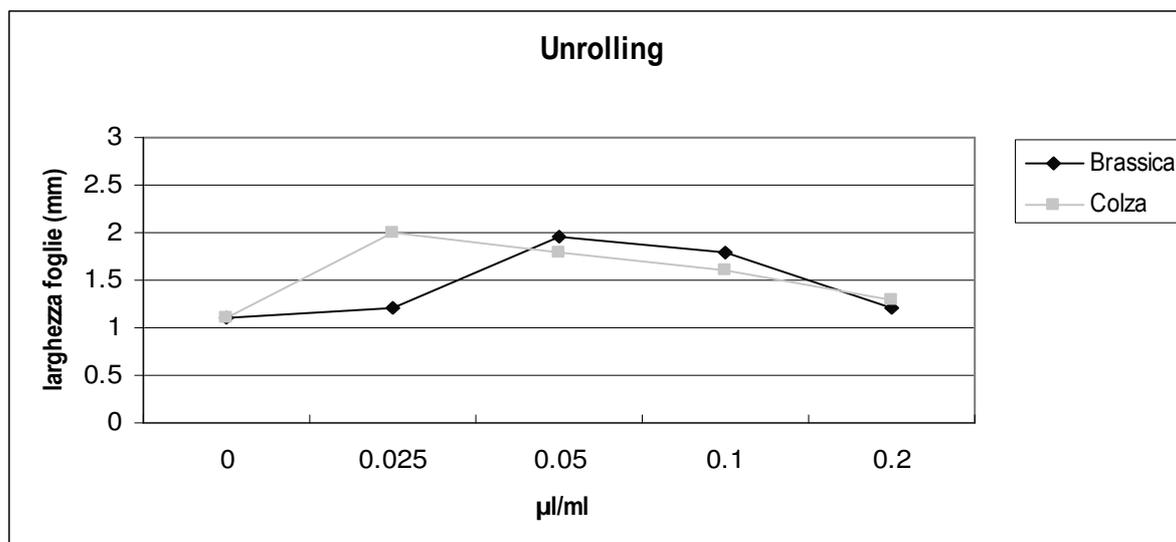


Figura 4. *Unrolling*, o srotolamento, misurato in mm, delle foglioline di grano sottoposte a diverse concentrazioni di estratto di *Brassica carinata* e colza.

Per spiegare tali andamenti si può ipotizzare la presenza negli estratti di altre sostanze la cui concentrazione crescente potrebbe esercitare un'azione inibente.

La messa a punto di una tecnica di estrazione rapida ed efficiente è stata effettuata utilizzando i panelli di *Brassica carinata* e di colza; in Figura 5 vengono riportati i risultati ottenuti con colza.

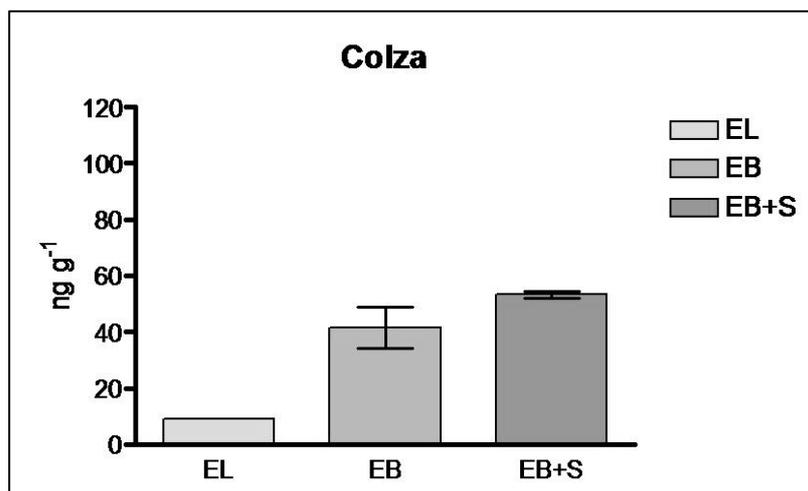


Figura 5. Concentrazioni di brassinosteroidi totali estratti da pannelli di colza con diverse tecniche di estrazione (analisi HPLC); EL tecnica di riferimento; EB tecnica abbreviata; EB+S tecnica abbreviata e migliorata.

È stato ottenuto un significativo aumento dell'efficienza e della resa di estrazione rispetto alla tecnica di riferimento da bibliografia, con una riduzione da 2 settimane a 2 giorni dei tempi di lavorazione. È stato anche rilevato un maggior contenuto di brassinosteroidi di *Brassica carinata* rispetto alla colza.

L'analisi dell'attività biologica degli estratti col metodo del Wheat Leaf-unrolling Test (Figure 6 e 7) ha dato risultati comparabili con quelli ottenuti mediante analisi cromatografica ed ha anche confermato il differente contenuto in brassinosteroidi di *Brassica carinata* e colza. Tuttavia rispetto all'analisi quantitativa in HPLC, il test di attività biologica sembra sovrastimare la concentrazione in brassinosteroidi; tale risultato potrebbe essere dovuto alla presenza negli estratti di altre sostanze, come ad esempio altri ormoni, che stimolano la crescita vegetale. Infatti la metodologia estrattiva non è specifica per i brassinosteroidi, e il Leaf-unrolling Test fornisce un'indicazione dell'attività biologica complessiva dell'estratto, mentre l'analisi cromatografica previa derivatizzazione è specifica per i brassinosteroidi.

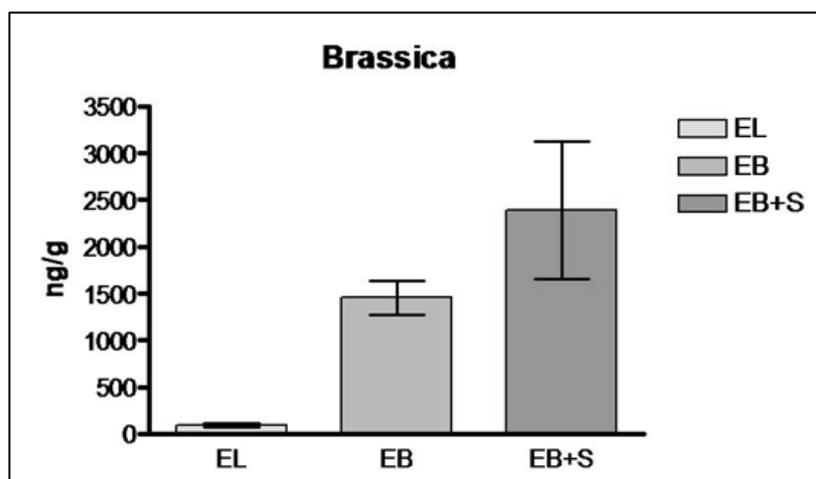


Figura 6. Concentrazioni di brassinosteroidi totali estratti da pannelli di *Brassica carinata* con diverse tecniche di estrazione (analisi LUT); EL tecnica di riferimento; EB tecnica abbreviata; EB+S tecnica abbreviata e migliorata.

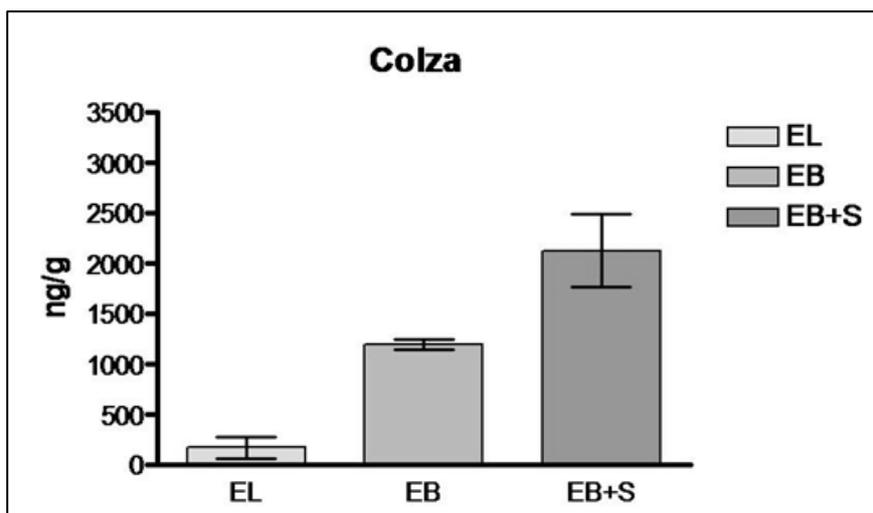


Figura 7. Concentrazioni di brassinosteroidi totali estratti da pannelli di colza con diverse tecniche di estrazione (analisi LUT); EL tecnica di riferimento; EB tecnica abbreviata; EB+S tecnica abbreviata e migliorata.

Per la messa a punto di un formulato commerciale fitostimolante è stata effettuata un'estrazione massiva dai pannelli di *Brassica carinata*. Da un chilogrammo di materiale vegetale è stato possibile ottenere 2,5g di estratto. Tale estratto è stato analizzato in HPLC, ed il contenuto in brassinosteroidi è risultato pari a 141 μg per g di olio estratto.

L'estratto è stato utilizzato nelle prove in fitocella (Figure 8, 9, 10), come precedentemente descritto. A circa un mese dalla semina le piante di fagiolo mostravano uno stadio di avanzamento maggiore nella tesi del trattamento fogliare con la soluzione a maggior concentrazione di estratto attivo (100 $\mu\text{l/l}$) rispetto al bianco: in questa tesi le piante si trovavano in stadio di fioritura, mentre quelle del controllo presentavano i primi abbozzi dei primordi fiorali e le altre tesi erano in fase di pre-fioritura. Successivamente si è dovuta abbandonare la prova su fagiolo a causa di un attacco di fitopatogeni.



Figura 8. Prove sul fagiolo in fitocella



Figura 9. Trattamento fogliare del fagiolo lattuga.



Figura 10. Trattamento radicale della lattuga.

Il trattamento a livello radicale in lattuga evidenziava uno sviluppo fogliare maggiore; il peso fresco della parte epigea delle piante presentava valori significativamente più alti nei trattamenti a 50 e a 100 $\mu\text{L/L}$ (T50, T100) se confrontati con il bianco (T0) (Figura 11). Il numero di foglie (Figura 12) mostrava un andamento analogo al peso fresco, con un maggior numero nelle tesi T50 e T100. Il peso secco della frazione epigea (Figura 13) risultava essere significativamente maggiore nelle T50 e T100, mentre il contenuto idrico (Figura 14) non mostrava differenze significative tra le tesi.

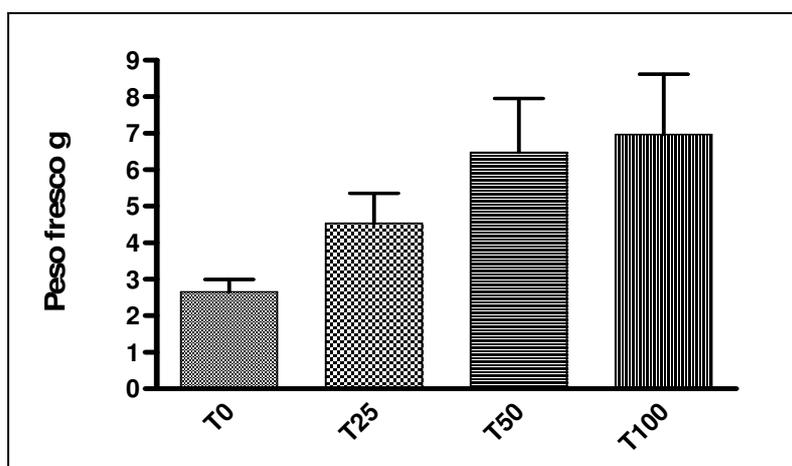


Figura 11. Peso fresco delle piante di lattuga trattate a livello radicale con diverse concentrazioni di estratto attivo; 0,25,50,100 $\mu\text{L/L}$

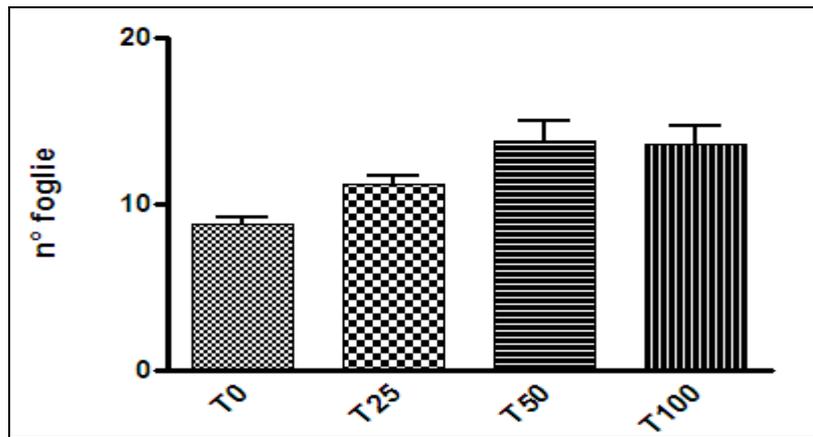


Figura 12. Numero di foglie di lattuga trattata a livello radicale con diverse concentrazioni di estratto attivo; 0,25,50,100 $\mu\text{L/L}$

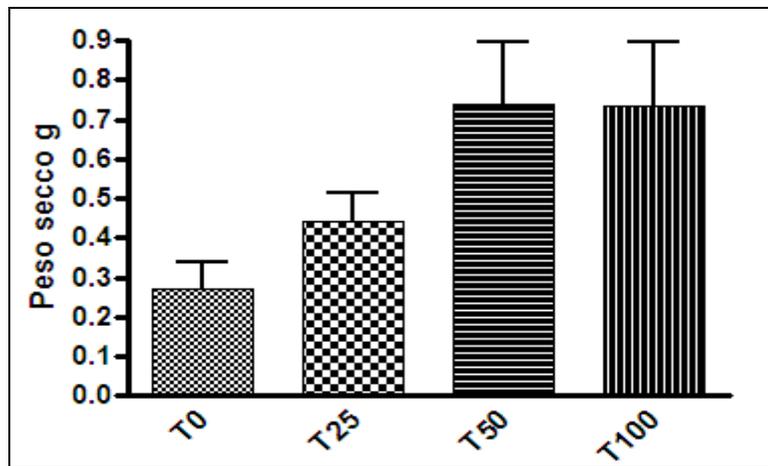


Figura 13. Peso secco delle piante di lattuga trattate a livello radicale con diverse concentrazioni di estratto attivo; 0,25,50,100 $\mu\text{L/L}$

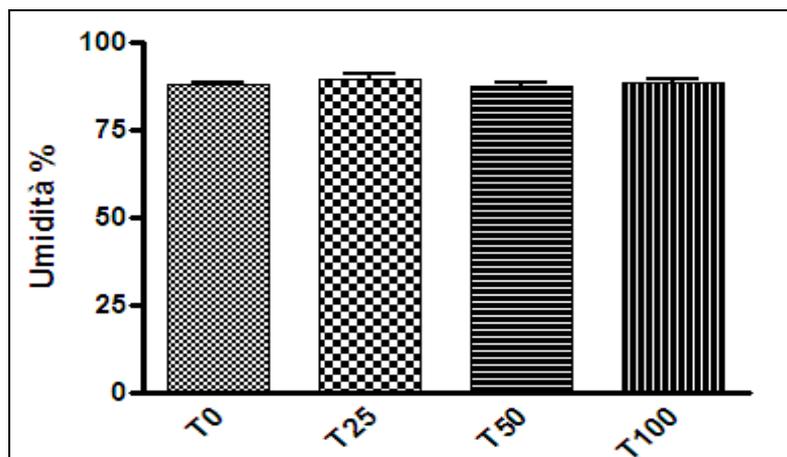


Figura 14. Contenuto idrico di foglie di lattuga trattata a livello radicale con diverse concentrazioni di estratto attivo; 0,25,50,100 $\mu\text{L/L}$

Nelle tesi trattate a livello fogliare il peso fresco mostrava valori significativamente più alti nei trattamenti a 25 e a 100 $\mu\text{L/L}$ (T25, T100) se confrontati con il bianco (T0). I trattamenti T25, 50, e 100 non mostravano differenze significative tra loro. La T50 non è risultata significativamente differente dal bianco (Figura 15). Il numero di foglie mostrava un andamento analogo al peso fresco con un valore significativamente maggiore nelle tesi T25 e T100 (Figura 16). Il peso secco della parte epigea (Figura 17) risultava essere significativamente maggiore nelle T25 e T100 rispetto al bianco, mentre il contenuto idrico (Figura 18) non mostrava differenze significative tra le tesi.

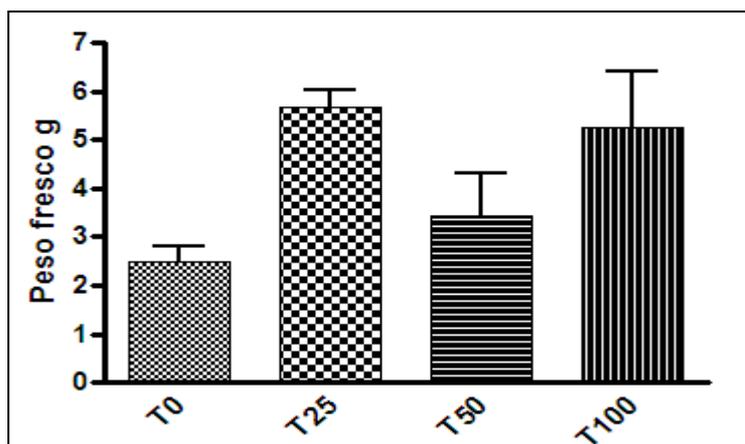


Figura 15. Peso fresco delle piante di lattuga trattate a livello fogliare con diverse concentrazioni di estratto attivo; 0,25,50,100 $\mu\text{L/L}$

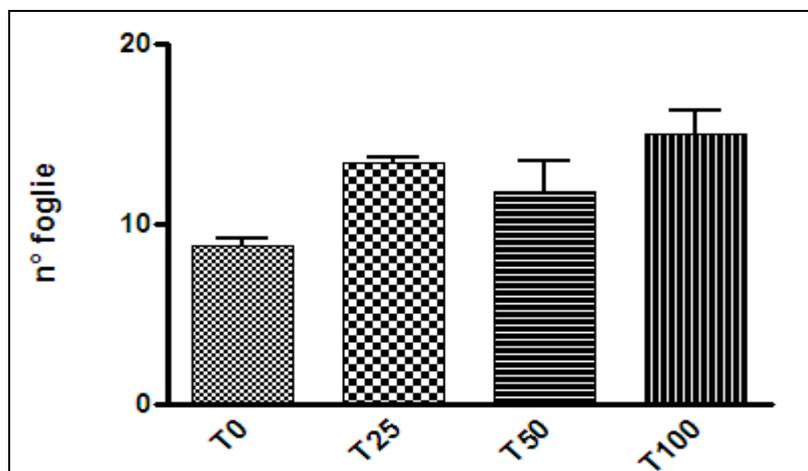


Figura 16. Numero di foglie di lattuga trattate a livello fogliare con diverse concentrazioni di estratto attivo; 0,25,50,100 $\mu\text{L/L}$

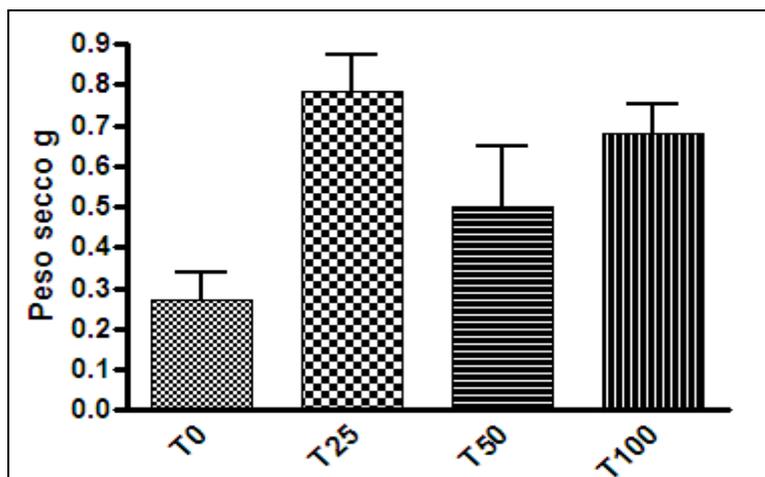


Figura 17. Peso secco delle piante di lattuga trattate a livello fogliare con diverse concentrazioni di estratto attivo; 0,25,50,100 $\mu\text{L/L}$

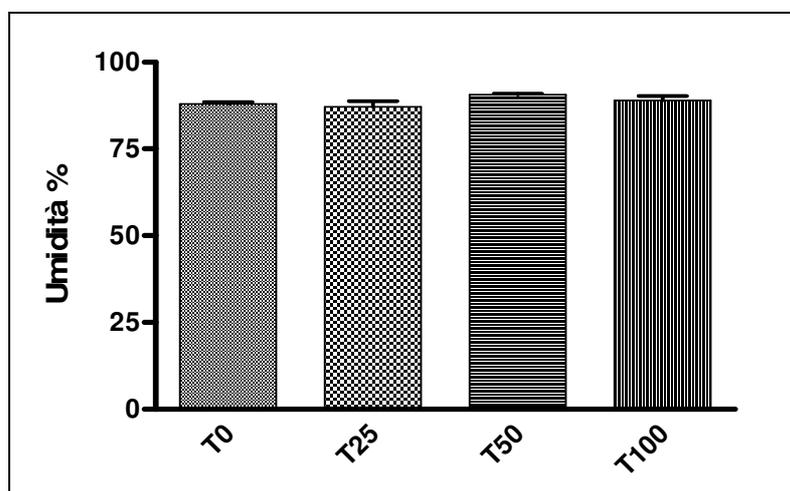


Figura 18. Contenuto idrico delle foglie di lattuga trattate a livello fogliare con diverse concentrazioni di estratto attivo; 0,25,50,100 $\mu\text{L/L}$

Conclusioni

Sia gli scarti colturali che i pannelli di *Brassica carinata* e colza si sono dimostrati materiali ricchi in brassinosteroidi, e quindi potenzialmente utili come substrati di estrazione di tali composti ai fini della preparazione di un prodotto commerciale fitostimolante.

E' stato messo a punto un metodo di estrazione che consente di ridurre drasticamente i tempi di processamento (da 15 a 2 giorni) e di incrementare le rese di estrazione. Gli estratti utilizzati in forma di formulato, in cui la biodisponibilità dei principi attivi veniva incrementata dall'aggiunta di un coadiuvante, hanno evidenziato un effetto fitostimolante degli estratti nei trattamenti sia fogliari che radicali, con effetto particolarmente interessante per questi ultimi. Tali risultati possono essere proposti per la produzione di un formulato commerciale fitostimolante a composizione esclusivamente naturale, il cui rilievo è ulteriormente valorizzato dal valore aggiunto apportato nel complesso della filiera bioenergetica per la produzione di biodiesel, trattandosi di un prodotto ottenuto da scarti.

Bibliografia

- [1] Khripach V.A., Zhabinskii V.N., de Groot A.E., Brassinosteroids a new class of plant hormones. 1999 Accademic press.
- [2] Sakurai A. , Fujioka S. *Plant Growth Regul.* 1993, 13, 147-159.
- [3] Neeven B.T., Amany M.A. *Archives of Agronomy and Soil Science.* 2010, 56, 649-669.
- [4] Mona E.E., Samera O.B., Ibrahim S.A. *Aus. J. Basic App. Sc.* 2011, 5, 58-65.
- [5] Brosa C. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 1999, 34, 339-358.
- [6] Fujioka S. , Noguchi T., Yokota T., Takatsuto S., Yoshida S. *Phytochemistry.* 1998, 48, 595–599.
- [7] Shimada K., Mitamura K., Higashi T. *J Chromatogr. A.* 2001, 1935, 141–172.
- [8] Gamoh K., Okamoto N., Takatsuto S. *Analytica Chimica Acta.* 1990, 228, 101–105.
- [9] Gamoh K., Omote K., Okamoto N., Takatsuto S. *J. Chromatogr.* 1989, 469, 424-428.
- [10] Gamoh K., Takatsuto S. *J Chromatogr. A.* 1994, 658, 17–25.
- [11] Wada K., Kondo H., Marumo S. *Agric Biol Chem.* 1985, 49, 2249–2251.

VALORIZZAZIONE ENERGETICA DEI SOTTOPRODOTTI DELLA FILIERA DEL BIODIESEL

Responsabile scientifico:

Giovanni Riva

Team di progetto:

Giovanni Riva, Fabrizio Corinaldesi, Carla De Carolis, Daniele Duca, Ester Foppa Pedretti, Marco Giustozzi, Chiara Mengarelli, Angela Palumbo, Andrea Pizzi, Giorgio Rossini, Giuseppe Toscano, Elio Zerbini

Dipartimento di Scienza Agrarie, Alimentari ed Ambientali (D3A), Università Politecnica delle Marche – g.riva@univpm.it

Introduzione

La presente UO s’inserisce all’interno del Progetto per studiare la possibile valorizzazione dei sottoprodotti della filiera del biodiesel da un punto di vista energetico. L’UO funge anche da supporto agli altri SP per la fornitura di materiali.

Obiettivo generale è quello di sviluppare metodologie e indicazioni per il recupero energetico dei sottoprodotti dell’intera filiera e facilitare la realizzazione pratica di centri di trasformazione di piccola/media taglia.

Andando nello specifico, gli obiettivi prefissati nell’ambito dell’intero Progetto sono i seguenti:

1. quadro generale sull’utilizzo energetico dei sottoprodotti attraverso un survey, con particolare riferimento a residui cellulosici e pannelli grassi, residui della decorticazione e prima raffinazione dell’olio, residui e sottoprodotti della transesterificazione;
2. costituzione di un database con le caratteristiche chimico-fisiche dei vari sottoprodotti studiati durante il progetto;
3. linee-guida per l’estrazione e la prima raffinazione dell’olio, che garantisca un compromesso tra qualità dei sottoprodotti e qualità dell’olio;
4. studio del processo di decorticazione per l’ottenimento di pannello grasso di elevato valore per utilizzo zootecnico, con fornitura dello stesso al SP “Valorizzazione Zootecnica”;
5. studio della torrefazione di residui lignocellulosici (paglie e pannelli) e valutazione delle caratteristiche dei torrefatti per un loro impiego energetico;
6. valutazione delle rese di transesterificazione ottenibili impiegando come materia prima gli oli estratti nell’ambito del Progetto;
7. produzione di pellet e bricchette ottenuti da residui, in particolare ligno-cellulosici, forniti dal SP “Materie Prime”;
8. trasformazione dei prodotti agricoli messi a disposizione dal SP “Materie Prime” per ottenere la massa di sottoprodotti (di qualità costante e controllata) necessari per gli altri Sottoprogetti.

Tenendo in considerazione l’evoluzione scientifica e politica in materia, ci si è dovuti focalizzare su aspetti specifici di interesse, evitando di duplicare sperimentazioni già effettuate. In quest’ottica, data la copiosa letteratura che si è sviluppata negli ultimi anni sul trattamento e l’utilizzo di glicerina e acque di lavaggio del biodiesel, si è deciso di concentrare e approfondire lo studio delle caratteristiche energetiche dei residui di

coltivazione delle specie coltivate nell'ambito del progetto e sui processi che possono avere un riscontro positivo in termini di filiere locali come, ad esempio, l'introduzione della fase di decorticazione e lo studio del processo di torrefazione dei residui di filiera, attività non previste specificatamente nel programma originale.

Metodologia di lavoro

La metodologia di lavoro impiegata è descritta di seguito, suddivisa in base agli obiettivi precedentemente elencati.

Quadro generale sull'utilizzo energetico dei sottoprodotti

La ricerca degli studi effettuati sull'utilizzo di sottoprodotti e residui della filiera di produzione di biodiesel è stata condotta attraverso i maggiori portali scientifici utilizzati in ambito accademico, quali www.sciencedirect.com, www.sciencemag.org, www.springerlink.com, www.interscience.wiley.com. La ricerca ha riguardato tutti gli utilizzi più o meno diffusi o sperimentali, di questi materiali.

Come previsto dal Progetto, la ricerca verrà completata e aggiornata nel terzo anno di attività.

Database con le caratteristiche chimico-fisiche dei vari sottoprodotti

E' stato aggiornato il database (in seguito DB), in formato Excel, relativo alla caratterizzazione energetica dei vari sottoprodotti forniti dal SP "Materie Prime" nell'ambito del primo anno di attività e si stanno attualmente inserendo i risultati delle analisi relative al secondo anno. Nel DB sono stati inseriti anche i risultati delle analisi di caratterizzazione energetica svolte sui sottoprodotti del processo di estrazione (panelli grassi), decorticazione (tegumenti) e torrefatti (panelli e paglie), studiati nell'ambito di questo Sottoprogetto. In aggiunta, per poter operare dei confronti, nel DB sono stati riportati anche altri risultati relativi a residui ligno-cellulosici non prodotti nell'ambito del progetto ma già a disposizione dell'Area di Ingegneria Agraria del Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali dell'Università Politecnica delle Marche.

In sintesi i materiali residuali e i sottoprodotti relativi al progetto inseriti nel database sono:

- paglie di colza, brassica e girasole;
- pannelli di colza, brassica e girasole;
- tegumenti di girasole
- torrefatti di paglie e pannelli.

Di seguito è riportata la suddivisione delle analisi effettuate sui materiali e i cui risultati si trovano attualmente nel DB.

Analisi svolte su tutti i campioni di paglia e pannello forniti o prodotti nel primo anno

- Umidità;
- Ceneri;
- Potere Calorifico Superiore;
- Potere Calorifico Inferiore;
- Carbonio;
- Idrogeno;
- Azoto;
- Ossigeno;

Analisi svolte su alcuni campioni rappresentativi

- Elementi chimici (As, Cd, Cr, Cu, Hg, K, Na, Mn, Ni, Pb, Zn, Na, K, Ca, Mg, P, Cl, S);
- Fusibilità delle ceneri;
- Analisi termogravimetrica - TGA;

Nel corso del terzo anno il DB verrà completato con i risultati delle analisi svolte sui materiali forniti o prodotti nel terzo anno di attività.

Linee-guida per l'estrazione e la prima raffinazione dell'olio

Le prove oggetto di studio sono state effettuate presso il Laboratorio Pesante dell'Area di Ingegneria Agraria del Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali dell'Università Politecnica delle Marche.

La sperimentazione ha riguardato in particolare lo studio dell'estrazione della componente lipidica di semi di diverse specie di oleaginose come riportato in tabella 1. Il seme di girasole decorticato in particolare è stato prodotto direttamente dal seme integrale impiegando una decorticatrice descritta al capitolo successivo. Lo studio del processo di estrazione su piccola scala e dei sottoprodotti e residui ottenibili, risulta ancora attuale in quanto non necessariamente il prodotto in uscita, l'olio vegetale, deve rappresentare una materia prima per la produzione di biodiesel, ma può essere destinato ad altri impieghi.

Tabella 1 - Specie di semi oleaginosi utilizzati

| Specie | Nome Comune | Tipo di seme |
|-----------------------------|--------------------|-------------------------|
| Helianthus annuus L. | Girasole | Integrale e Decorticato |
| Brassica napus L. | Colza | Integrale |
| Brassica carinata A. Braun. | Brassica | Integrale |

Sulle diverse tipologie di semi sono state svolte prove sperimentali di estrazione meccanica con una pressa continua per mettere in evidenza l'influenza della temperatura e della pressione (in base al diametro di uscita del pannello) sul processo di estrazione stesso. Infine, utilizzando le impostazioni della spremitrice migliori per ogni specie, è stata eseguita una prova di estrazione meccanica di semi di diverse varietà delle specie in questione per ottenere un confronto varietale.

Pressa meccanica continua

Per lo studio del processo di estrazione è stata impiegata una spremitrice meccanica a ciclo continuo per semi oleosi prodotta dalla ditta Bracco s.r.l della serie "Coter 205". La spremitrice, come mostra il disegno in figura 1, è composta da un gruppo motore di potenza 2 kW, una tramoggia per l'alimentazione e una parte cilindrica orizzontale, contenente una coclea, che presenta una griglia traforata per la fuoriuscita dell'olio grezzo dai semi e termina in un ulteriore cilindro con un foro centrale che permette la formazione e la fuoriuscita del pannello.

All'interno di quest'ultimo cilindro si inserisce una capsula, o bussola, che conferisce il diametro finale al pannello generato dal residuo della spremitura del seme e che determina la pressione di spremitura. A bussola di diametro minore corrisponde la massima pressione di estrazione che non è però determinabile sperimentalmente. La pressione in termini assoluti dipende dall'interazione bussola-materiale e l'ottimizzazione del processo consiste proprio nel determinarne la migliore configurazione.

Per le prove si sono utilizzate bussole di diverso diametro per studiare le configurazioni più idonee per ciascuna specie vegetale: 8, 10, 13, 15 e 17 mm (Figura 2).

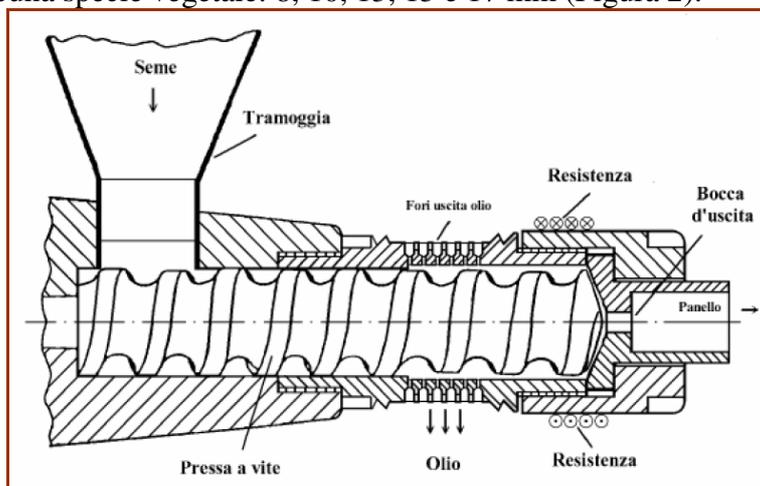


Figura 1 - Spremitrice meccanica continua



Figura 2 - Bussole di diverso diametro

Prove di estrazione meccanica

Sono state condotte con la pressa meccanica una serie di prove di estrazione sui diversi campioni di seme. In particolare si sono svolte ripetizioni per evidenziare l'influenza sul processo di estrazione di temperatura e pressione variando il diametro della bussola all'uscita del pannello.

Le prove di ottimizzazione del processo di estrazione sono state effettuate utilizzando una singola varietà di seme per ogni specie. Nella sperimentazione si sono utilizzati set di tre bussole di diverso diametro per ogni materiale di partenza come riportato in tabella 2. La scelta si è basata su prove preliminari che hanno evidenziato il diverso comportamento dei materiali sottoposti a estrazione e che rende impossibile l'estrazione al di sotto di certi diametri della bussola (pressioni più elevate), specifici per ciascun materiale. I tre livelli analizzati per singola specie partono dal primo diametro utile (il minore dei tre), che consente la spremitura e includono i due livelli crescenti successivi.

Tabella 2 - Bussole utilizzate nelle prove di estrazione meccanica per variare la pressione di esercizio (+ corrisponde alla pressione minima; +++ alla massima)

| Seme | Diametro bussola (mm) e pressione | | | | |
|----------------------|-----------------------------------|-----|-----|----|----|
| | 8 | 10 | 13 | 15 | 17 |
| Girasole integrale | | | +++ | ++ | + |
| Girasole decorticato | +++ | ++ | + | | |
| Colza | | +++ | ++ | + | |
| Brassica | | +++ | ++ | + | |

Secondo il piano sperimentale, per ciascuna bussola sono state eseguite estrazioni meccaniche a tre diversi livelli di temperatura (tabella 3).

Tabella 3 - Temperature di riferimento per le prove di estrazione

| | 1 | 2 | 3 |
|--------------------------|-------|--------|--------|
| T _{RIFERIMENTO} | 80 °C | 100 °C | 120 °C |

Per mantenere le temperature a 100 e 120°C sono stati richiesti input energetici esterni mentre 80°C si raggiungono naturalmente per effetto dell'attrito che si genera all'interno della pressa. Per ogni singola ipotesi sono state effettuate tre ripetizioni.

Dopo aver individuato i migliori parametri di funzionamento del processo di estrazione per ciascuna specie studiata, sono state svolte una serie di prove varietali sui campioni forniti dalla U.O Materie Prime. In particolare sono state testate:

- 38 varietà di colza;
- 18 varietà di girasole;
- 4 varietà di brassica carinata.

Per le prove varietali sono state impiegate le seguenti impostazioni ottimizzate per specie:

- bussola da 17 mm per il seme di girasole integrale;
- bussola da 13 mm per colza e brassica.

Non sono stati impiegati input energetici per aumentare la temperatura di estrazione, che si è mantenuta in ogni caso a circa 80°C, per considerazioni sulla qualità del prodotto in uscita e di sostenibilità energetica, in quanto il lieve miglioramento delle performance conseguente all'aumento della temperatura di estrazione non giustifica l'aumento dei costi energetici associati.

Oltre all'analisi del pannello di estrazione, anche i campioni di olio prodotti per ciascuna specie sono stati analizzati per valutarne la qualità anche in funzione dei successivi trattamenti di prima raffinazione.

Prima raffinazione

Si tratta di interventi finalizzati alla rimozione delle sostanze estranee (proteine, gomme, resine, fosfatidi, chetoni, aldeidi) che possono essere presenti sia in sospensione che in soluzione e che possono avere influenza negativa in generale sulla combustione dell'olio o sul processo di transesterificazione.

Con la centrifugazione si possono eliminare i residui di acqua e la maggior parte delle impurità. La filtrazione, attuata con filtropresse, in base al filtro adottato è in grado di trattenere tutte le sostanze in sospensione al di sopra di un certo diametro. La degommazione consente di rimuovere in generale lipidi polari idratibili e non idratibili.

Nello specifico, per quanto riguarda l'analisi delle gomme presenti negli oli prodotti con l'estrazione meccanica, sono state svolte analisi del contenuto in fosforo. Questo elemento, comunemente utilizzato come indicatore della presenza di tali composti, è stato determinato utilizzando la metodica prevista nelle specifiche degli oli e dei biocarburanti (biodiesel compreso) che consiste nell'utilizzo dello spettrometro ad assorbimento atomico (ICP – OES, figura 3) opportunamente calibrato con standard appositi per liquidi organici (CONOSTAN 21+K).

La scarsa presenza di fosforo negli oli prodotti, al di sotto dei limiti previsti nella normativa del biodiesel, rende di fatto superfluo e praticamente inutile lo studio previsto

sul processo di degommazione semplificata in piccoli impianti perché semplicemente non necessario vista l'elevata qualità dell'olio estratto meccanicamente. Contestualmente alla valutazione del fosforo, sono stati determinati anche i contenuti di sodio (Na), potassio (K), calcio (Ca) e magnesio (Mg).



Figura 3 – Spettrometro impiegato per la determinazione di P, Na, K, Mg, Ca.

Nell'ambito dei processi semplificati di raffinazione è possibile inserire anche una eventuale deacidificazione svolta con metodiche semplificate. Anche in quest'ottica, l'acidità e il contenuto d'acqua degli oli estratti sono stati misurati e tali parametri sono risultati molto contenuti tanto da escludere l'opportunità di effettuare dei trattamenti correttivi e da permettere la produzione diretta di biodiesel seppur con opportuni accorgimenti. Resta da considerare comunque che, come riportato nelle "Premesse generali" di questa relazione, la produzione locale di biodiesel a partire da oli vegetali a loro volta prodotti nello stesso ambito, risulta oramai poco attuale e difficilmente attuabile per diversi motivi che esulano dalla fattibilità tecnica. Ci si è quindi concentrati sullo studio, più attuale, del processo di estrazione, valutando in particolare l'inserimento di una fase precedente di decorticazione e i relativi prodotti e sottoprodotti, focalizzandosi sulla qualità del pannello a fini zootecnici e sulle caratteristiche energetiche del tegumento.

Studio del processo di decorticazione

La sperimentazione è stata effettuata presso il Laboratorio Pesante dell'Area di Ingegneria Agraria del Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali dell'Università Politecnica delle Marche ed ha riguardato la produzione di seme parzialmente decorticato idoneo ad alimentare una pressa meccanica per la produzione di olio vegetale con ottenimento di pannello di girasole decorticato come sottoprodotto. Questo al fine di collocare più agevolmente tutti gli output di filiera, ottimizzandola e rendendola più realizzabile. Dai risultati di altre U.O., il pannello di girasole decorticato risulta avere infatti

una qualità superiore soprattutto in ambito zootecnico e può essere più facilmente collocato e valorizzato economicamente.

I test sono stati svolti con una semplice decorticatrice ad impatto ed hanno riguardato l'ottimizzazione della macchina per l'ottenimento di un prodotto idoneo ad essere poi estratto meccanicamente. Le presse meccaniche richiedono infatti un materiale che presenti sempre un certo contenuto di tegumenti per funzionare correttamente e permettere una corretta ed efficiente estrazione dell'olio. Questo avviene a causa della funzione di drenaggio svolta proprio dai tegumenti.

Decorticatrice

La decorticatrice utilizzata nella sperimentazione (Figura 4) è fornita dalla ditta "Namad Tecnologie Alimentari", ha una potenza installata di 1,5 kW (alimentazione 220 V) e dimensioni contenute (60x62x32 cm). Il principio di funzionamento della macchina è "ad impatto" e permette diverse regolazioni che consentono di variare l'intensità degli urti a cui il seme è sottoposto e l'entità della separazione dei tegumenti dai semi decorticati in uscita. L'impatto determina la separazione del tegumento esterno che viene separato dal seme decorticato attraverso un sistema di aspirazione regolabile.

Il macchinario è tecnologicamente poco complesso e in pratica riproduce su piccola scala sistemi semplici di capacità molto più elevata effettivamente inseribili in filiere reali.



Figura 4 – Decorticatrice impiegata

Prove di decorticazione

Sono state condotte una serie di prove di decorticazione su campioni di seme di girasole. Si è mirato al raggiungimento della maggior resa di decorticazione, intesa come rapporto in peso fra il prodotto in uscita e il seme in ingresso al processo. Questo è motivato dal fatto che in questo contesto tale operazione non mira all'ottenimento di seme completamente decorticato ma è necessario, come sottolineato in precedenza, che una parte consistente del tegumento rimanga nel prodotto in uscita. Lo studio si è quindi focalizzato sull'individuazione delle regolazioni ottimali a tale fine minimizzando le perdite di prodotto utile (rottture, farinette).

I parametri che sono stati variati sono stati sostanzialmente due:

- sezione della zona di aspirazione del seme (una regolazione a monte dell'aspirazione che regola la velocità di alimentazione);
- perdite di carico del sistema di separazione del tegumento (due regolazioni a monte e a valle del sistema che regolano l'intensità del processo di separazione).

Dopo aver individuato le regolazioni che consentivano di ottenere la maggiore resa di decorticazione, è stato valutato il contenuto residuo di tegumenti nel prodotto in uscita. Sul tegumento separato, data la sua rilevanza in termini di massa in gioco, sono poi state svolte analisi di caratterizzazione energetica.

Studio della torrefazione dei residui lignocellulosici

La torrefazione è un processo che mira in primis al miglioramento delle qualità energetiche del materiale e in generale ad una standardizzazione delle sue proprietà chimico-fisiche, auspicabile per diversi motivi (stoccaggio, conservazione, movimentazione, etc.). Lo studio dell'applicazione di tale processo a materiali residuali attualmente richiama molta attenzione dal mondo scientifico e industriale ed è quindi apparso opportuno effettuare una sperimentazione specifica sui materiali prodotti nell'ambito del progetto.

Con il processo di torrefazione la biomassa viene sottoposta a temperature elevate in presenza di un'atmosfera a concentrazione ridotta o nulla di ossigeno. Il calore determina la rottura dei legami chimici delle molecole organiche (cellulosa, emicellulosa e lignina) modificandone la struttura o determinando la formazione di composti volatili. Attualmente, nel campo dei biocombustibili solidi, il processo viene condotto generalmente in assenza di ossigeno, a pressione atmosferica e a temperature dell'ordine dei 200 – 300°C.

Il processo di torrefazione determina sul legno, e in generale su tutti i prodotti a base lignocellulosica, cambiamenti molto interessanti ai fini della combustione:

- la riduzione dell'umidità;
- l'aumento della densità energetica;
- la forte diminuzione dell'igroscopicità;
- la modifica delle proprietà meccaniche (> porosità, > fragilità, < resistenza meccanica) con conseguente miglioramento della macinabilità.

Sono queste alcune delle principali modifiche che avvengono con la torrefazione e che avvicinano le caratteristiche del prodotto torrefatto a quelle dei combustibili solidi tradizionali.

In virtù di queste migliori proprietà energetico-meccaniche (rispetto al prodotto tal quale di origine) con la torrefazione si possono configurare una serie di vantaggi:

- miglioramento della fase di conservazione/stoccaggio delle biomasse per la maggiore stabilizzazione biologica e i minori volumi in gioco;
- possibilità di densificare il materiale mediante pellettizzazione (con un consumo energetico minore rispetto alla pellettizzazione diretta);
- possibilità di mescolare il prodotto torrefatto al carbone fossile per l'alimentazione di impianti energetici (co-combustione);
- significativo aumento complessivo del potere calorifico inferiore (es. su matrice legnosa si passa da 17-19 a 18-23 MJ kg⁻¹ su base secca).

Nel corso del processo di torrefazione giocano un ruolo importante gli aspetti dei bilanci di massa e di energia. Le trasformazioni termochimiche a carico della biomassa di partenza comportano, attraverso la produzione di volatili, una perdita di materia solida che può raggiungere valori anche del 30% in peso. La perdita di questa componente determina inevitabilmente anche una perdita di energia di circa un 10-15% del contenuto energetico totale presente nel combustibile di partenza. La minore perdita di energia, rispetto alla perdita di massa, è dovuta al fatto che avviene principalmente a carico di ossigeno e in parte di idrogeno per la perdita di gruppi –OH. La perdita di tali gruppi funzionali, nel

legno in particolare, ma in generale in tutte le matrici lignocellulosiche, è anche responsabile del minore assorbimento di umidità, e quindi della minore igroscopicità dei torrefatti rispetto al materiale non trattato.

Reattore

I test di torrefazione sono stati condotti presso il Laboratorio Biomasse, nel D3A dell'Università Politecnica delle Marche, utilizzando un dispositivo (reattore 4575 HT/HP, Parr – Figura 5) capace di processare quantità relativamente piccole di campione (comprese tra 5 e 20 g) e di programmare e monitorare in dettaglio gli andamenti termici.



Figura 5 – Reattore utilizzato per i test di torrefazione

Prove di torrefazione

Essendo le biomasse oggetto di questo studio piuttosto eterogenee, si è ritenuto importante preparare adeguatamente i campioni da sottoporre ai test di torrefazione. Nello specifico, i materiali sono stati stabilizzati in stufa a 45°C, per un tempo compreso tra 24 e 48 ore, e poi macinati mediante mulino a coltelli dotato di griglia da 2-4 mm. Successivamente si è intervenuti con un'ulteriore macinazione con mulino da laboratorio (mod. A11 Basic, IKA). Il campione è stato quindi setacciato per mezzo di vagli (Test Sieve 200 mm x 25 mm, Retsch) con diametro delle maglie rispettivamente di 1,0 mm e 250 µm. Per i test di torrefazione al reattore è stata selezionata la frazione di dimensione compresa tra i 250 µm ed 1,0 mm.

I materiali utilizzati nella sperimentazione sono stati:

- paglia di colza;
- stocchi di girasole;
- pannello di girasole.

Per ogni test sono stati impiegati circa 10 g di materiale opportunamente preparato. Il campione è stato posto nell'apposito vessel e quindi posizionato nella camera di reazione del reattore. All'inizio di ogni prova è stato introdotto e mantenuto nella camera stessa un flusso costante di azoto per eliminare l'aria e creare un'atmosfera inerte. In seguito il reattore è stato riscaldato rispettando le temperature ed i tempi previsti nei piani sperimentali riportati in tabella 4 e stabiliti, per ciascun materiale, sulla base del relativo profilo termogravimetrico ottenuto dall'elaborazione dei risultati delle analisi TGA. Al termine di ogni test, il reattore è stato raffreddato ed il campione torrefatto è stato prima pesato, per il calcolo della resa, e successivamente caratterizzato.

Tabella 4 - Condizioni operative di torrefazione adottate per i diversi materiali trattati. Per ogni test sono state condotte due ripetizioni

| Paglia di colza | | Stocchi di girasole | | Pannello di girasole | |
|-----------------|------------|---------------------|------------|----------------------|------------|
| Temp. (°C) | Time (min) | Temp. (°C) | Time (min) | Temp. (°C) | Time (min) |
| 210 | 30 | 195 | 30 | 200 | 30 |
| | 60 | | 60 | | 60 |
| 230 | 30 | 215 | 30 | 230 | 30 |
| | 60 | | 60 | | 60 |
| 250 | 30 | 235 | 30 | 260 | 30 |
| | 60 | | 60 | | 60 |

Transesterificazione degli oli estratti meccanicamente

Nonostante la considerazione di base che la produzione di biodiesel in piccoli impianti non può essere più considerata un'alternativa percorribile, si è deciso comunque di effettuare una parte dell'attività di studio sul processo di transesterificazione prevista dal progetto per verificare comunque l'attitudine degli oli estratti per la produzione di biodiesel.

Al contrario, sulla purificazione e il riutilizzo delle acque residue dal processo di raffinazione industriale del biodiesel, come definito in precedenza, in questi ultimi anni c'è stata una intensa produzione scientifica. Un ulteriore lavoro in quest'ambito, peraltro senza alcuna possibilità di implementazione dei risultati a livello locale, sarebbe del tutto inappropriato.

Reattore di transesterificazione

I test sono stati svolti presso il Laboratorio Biomasse, nel Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali dell'Università Politecnica delle Marche, impiegando un reattore apposito, dotato di sistemi di regolazione e monitoraggio dei parametri di processo.

L'impianto consiste di una struttura completamente in acciaio caratterizzato da una volumetria di 10 litri totali e consente l'esecuzione in batch di reazioni con controllo di temperatura e pressione. Il sistema è dotato di una serie di elementi per il controllo della reazione, per il prelievo delle sostanze presenti nella camera di reazione e per la sicurezza degli operatori addetti al suo utilizzo. In particolare il reattore è dotato di:

- sistema di controllo della pressione;
- sistema di controllo della temperatura di reazione, per temperature fino a 120° C;
- sistema di riscaldamento;
- sistema di carico del prodotto provvisto di valvola a tre vie;
- serbatoio ausiliario per caricare alcol e catalizzatore (per evitare rischi per gli operatori e perdita di sostanze);
- sistema di ricircolo a velocità controllabile che consente il rimescolamento continuo dei reagenti;
- pompa di ricircolo peristaltica con sistema di controllo della portata (variabile da 0 a 54 l/h, in grado di determinare circa 0-10 ricambi orari nel reattore);
- sistema di scarico dei prodotti mediante valvola a tre vie;
- sistemi di prelievo ausiliari per prelevare campioni durante lo svolgimento delle prove senza dover spegnere la pompa (per evitare di influire sull'andamento della reazione);
- sistema per il recupero dell'alcol mediante condensazione.

Il sistema è in grado di eseguire un ciclo completo di reazione in batch per un tempo prestabilito dall'operatore. L'utilizzo del reattore prevede una serie di operazioni principali:

- fase di settaggio di regolazione pressostato e termostato;
- settaggio delle valvole di ingresso-uscita sostanze dal reattore;
- carico dell'olio utilizzato;
- accensione sistema di termoregolazione;
- regolazione e accensione della pompa di ricircolo;
- accensione del condensatore a ricadere;
- carico della miscela alcol-catalizzatore;
- mantenimento reazione a temperatura;
- interruzione della reazione mediante spegnimento della pompa;
- scarico del prodotto.

Prove di transesterificazione degli oli vegetali estratti

Sono state eseguite prove sui diversi oli vegetali prodotti con l'estrazione meccanica dei semi forniti dal SP "Materie Prime". I materiali di partenza utilizzati sono stati quindi:

- olio di girasole;
- olio di colza;
- olio di brassica carinata;
- olio di cardo.

Le condizioni operative di temperatura (60°C) impiegate nelle prove rappresentano le più usate in letteratura scientifica. Come catalizzatore è stato impiegato il KOH (1% m/m) in modo da ottenere acque di lavaggio prive di sodio e quindi più facilmente recuperabili per usi agronomici. L'alcool impiegato come reagente è il metanolo in rapporto molare 6:1 rispetto all'olio. Il biodiesel prodotto è stato analizzato per valutare la resa in metilesteri in relazione al materiale di partenza impiegato. Le analisi hanno riguardato sia il contenuto di metilesteri prodotti che i quantitativi residui di mono-, di- e trigliceridi, intermedi di reazione.

Linee –guida per la produzione di pellet o bricchette ottenuti da residui della filiera

Nel corso del secondo anno di attività sono stati condotti dei test di pellettizzazione in particolare dei residui di decorticazione del seme di girasole. Questa attività risulta rilevante vista la consistenza quantitativa del materiale che è circa il 30% del peso del seme trattato nel processo di decorticazione e quindi una sua valorizzazione può essere utile in ottica di filiera. Per i test di pellettizzazione è stata impiegata una pellettizzatrice presente presso il Laboratorio Pesante dell'Area di Ingegneria Agraria del Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali dell'Università Politecnica delle Marche. Nel corso del terzo anno, nell'ambito del Progetto, il CREAR (Centro Ricerca Energie Alternative Rinnovabili) sta conducendo una serie di prove di bricchettazione su tutte le tipologie di materiali residuali ligno-cellulosici prodotti e forniti dal SP Valorizzazione Energetica.

Pellettizzatrice

La pressa cubettatrice CLM 200 (Figura 6) usata nel corso della sperimentazione è dotata di una potenza di 15 kW ed una capacità operativa di 50-80 kg/ora in dipendenza della tipologia del materiale utilizzato.



Figura 6 – Pellettizzatrice a trafila cilindrica verticale impiegata nei test

Il processo di pellettizzazione (Figura 7) consiste nella pressatura del materiale attraverso una trafila forata (Figura 8) che crea dei cilindretti più o meno compressi, normalmente dimensionati con diametri variabili da 2 a 12 mm (6 nei test) e altezza media da 12 a 18 mm.

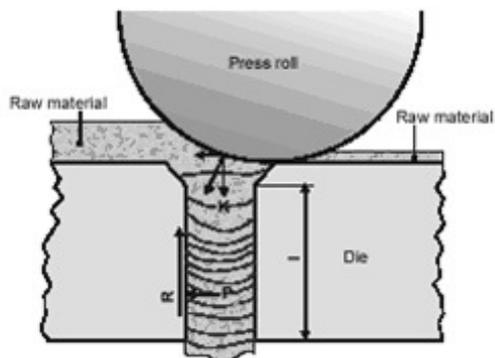


Figura 7 – Formazione del pellet (Fonte: Kytö and Äijälä 1981 – modificato)

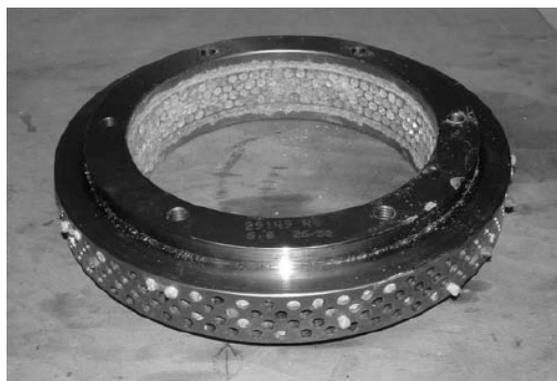


Figura 8 – Trafila impiegata nello studio

La macchina pellettizzatrice impiegata è del tipo a trafila cilindrica verticale (per disposizione e forma della trafila all'interno del telaio) con rulli di pressione interni alla trafila. Lo schiacciamento della biomassa avviene quindi sulla superficie interna, tramite l'azione di due rulli mobili zigrinati montati su un supporto concentrico ed indipendente dal moto della trafila. Tramite un sistema a forcella i rulli percorrono il diametro interno della trafila in contro-rotazione rispetto al moto dell'utensile. La marcata zigrinatura sulla

superficie cilindrica esterna dei rulli di pressione ha la funzione di aumentare l'attrito che si crea tra rullo e biomassa durante la fase di schiacciamento, al fine di impedire che il materiale da estrudere scivoli al di fuori della zona di pressione. La distanza tra la trafilatura e il rullo influenza non solo la qualità del prodotto ma anche la quantità di energia richiesta e l'usura della macchina. L'estruso viene tranciato ad opera di coltelli fissi che agiscono sulla superficie esterna della trafilatura, mentre l'espulsione avviene per caduta libera nella tramoggia di scarico.

Il materiale da pellettizzare deve essere preventivamente sminuzzato finemente, omogeneizzato e condizionato per avere un prodotto finito di caratteristiche idonee ad essere immesso nel mercato. Per effettuare la riduzione di pezzatura dei residui è stato impiegato un mulino macinatore a martelli della ditta Molinari, di potenza 4 kW e dotato di griglie per l'ottenimento di pezzature fino a 2 mm di diametro.

Bricchettatrice

Tutte le attività di bricchettazione condotte dal CREAR sono state effettuate utilizzando una macchina bricchettatrice a vite, la GCB15 (Figura 9) Biomass Briquetting Machine della Anyang General International Co., Ltd, di capacità pari a circa 120 kg/h e potenza 15 kW.



Figura 9 - Bricchettatrice GCB15: Vista frontale del quadro elettrico (sx) e particolare della tramoggia (dx)

Prove di pellettizzazione

Le prove svolte sui tegumenti di girasole ottenuti come residui del processo di decorticazione hanno previsto una prima fase di condizionamento del materiale caratterizzato da un'umidità molto bassa, poco compatibile col processo di pellettizzazione. Tale parametro è stato quindi portato al 13%. Data la pezzatura già molto contenuta non si è proceduto ad una ulteriore riduzione in mulino anche nell'ottica di un possibile risparmio energetico del processo.

Le sessioni di produzione del pellet sono articolate sostanzialmente nelle seguenti fasi:

- fase di riscaldamento;
- fase di produzione di pellet;
- fase di pulizia della macchina.

Con fase di riscaldamento si identifica la parte iniziale della sessione di pellettizzazione ed è molto importante perché permette alla macchina di arrivare gradualmente alle temperature di esercizio; la sua durata è di circa 40 minuti e viene effettuata alimentando la

pellettatrice con una miscela di materiali (segatura di abete e semi di girasole) idonea per lubrificare le parti meccaniche e quindi facilitare il processo di estrusione del materiale introdotto nella fase iniziale di accensione, quando le parti meccaniche che compongono la pressa sono ancora fredde. Alla fase di riscaldamento segue quella di produzione vera e propria del pellet. Il materiale, sotto forma di segatura, viene introdotto nella tramoggia della pellettizzatrice, convogliato attraverso la coclea di alimentazione alla zona in cui agiscono i rulli che dirigono il materiale all'interno dei fori della trafilatura dove si ha la formazione del pellet. La temperatura del pellet in uscita dalla pressa si presenta piuttosto elevata a causa delle elevate forze di attrito che si sviluppano durante il processo di estrusione. La fase di pulizia finale è necessaria per evitare inquinamenti tra una prova e la successiva.

Prove di bricchettatura

Le prove di bricchettatura comportano l'individuazione della serie di settaggi della macchina più idonei per ciascuna tipologia di materiale. Le biomasse testate, tutte caratterizzate da umidità molto contenuta e compatibile col processo, sono state (Figura 10):

- paglia di cardo;
- paglia di colza;
- paglia di brassica;
- stocchi di girasole;
- calatidi di girasole;
- tegumenti di girasole.

I test sono caratterizzati da una prima fase di settaggio del macchinario a cui segue la prova di produzione delle bricchette.



Figura 10. Prove di bricchettatura di paglia di cardo.

Trasformazione dei prodotti agricoli in sottoprodotti per altri sottoprogetti

Durante il secondo anno di attività sono state fornite le materie prime ai sottoprogetti che ne hanno fatto richiesta. In particolare si è svolta un'intensa attività di decorticazione e spremitura del seme di girasole parzialmente decorticato per fornire pannello di qualità costante al SP "Valorizzazione Zootecnica".

Risultati

Anche i risultati sono stati suddivisi in base ai vari obiettivi previsti dal progetto.

Survey sull'utilizzo energetico dei sottoprodotti

Analizzando il materiale presente in letteratura si può delineare, in linea generale, un panorama piuttosto vario in cui i sottoprodotti della filiera del biodiesel vengono valorizzati non solo da un punto di vista energetico, ma anche in ambito chimico-industriale e zootecnico.

Godono infatti di una valorizzazione di tipo chimico-industriale alcuni sottoprodotti del girasole (soprattutto calatidi e stocchi): diversi studi sono stati condotti sulle proprietà delle pectine di girasole, che hanno un basso grado di metilazione, il che li rende gel a bassa concentrazione di zucchero e possono quindi trovare applicazione nell'industria alimentare per la produzione di alimenti a basso contenuto calorico. Rispetto alle pectine disponibili in commercio, le pectine naturali di girasole possono formare gel solidi all'interno di un ampio intervallo di pH [1]; secondo altri studi gli stocchi di girasole risultano essere dei buoni adsorbenti per la rimozione di diversi ioni metallici negli effluenti di acque reflue [2] nonché per la rimozione di alcuni coloranti delle tinture effluenti dalle acque di reflue del settore tessile [3]. I pannelli di girasole, ovvero il residuo solido del seme al termine dell'estrazione meccanica dell'olio, sono stati studiati per una loro valorizzazione chimico-industriale, estraendo ed isolandone le proteine per la produzione di films plastici biodegradabili [4].

Anche le farine di brassicacee possono avere una loro valorizzazione chimico-industriale, in particolar modo nella preparazione di isolati proteici attraverso estrazione alcalina e precipitazione a pH basso [5] e nella produzione di biocidi.

La valorizzazione zootecnica dei sottoprodotti della filiera del biodiesel interessa diverse colture: alcuni studi sono stati rivolti all'utilizzo della paglia di senape (*Brassica campestris*) come fonte di alimentazione per ruminanti e, in particolare, alle applicazioni di questo residuo di campo combinato con altre sostanze o microrganismi [6]; sono stati studiati anche gli effetti della sostituzione, nella dieta, di pannello di arachide con pannello di semi di girasole decorticati, sulle performance di pulcini di pollo [7]; la sostituzione della farina di arachide con farina di girasole decorticato, nella dieta di agnelli del deserto sudanese, non comporta effetti significativi sul peso finale dell'animale, sull'aumento e sull'efficienza di conversione energetica della razione alimentare. Dunque la farina di girasole può essere un valido sostituto per quella di arachide nella dieta di questa razza ovina [8].

È stato effettuato anche uno studio [9] volto alla valorizzazione dei sottoprodotti del girasole in ambito ittico e riguardante l'utilizzo di pannello di girasole decorticato (povero in fibre) e non (ricco in fibre) sulla dieta degli avannotti di Tilapia (*Oreochromis niloticus*), genere di pesci appartenente alla famiglia dei Ciclidi che vivono in acque tropicali in Africa, Sud America e Asia, in completa sostituzione delle farine di pesce o in miscela con

le stesse, al fine di creare una razione alimentare la più equilibrata possibile e soprattutto maggiormente economica.

Per la valorizzazione agronomica dei sottoprodotti tra gli studi rilevati si annovera l'utilizzo dei tessuti delle foglie macerate delle Brassicacee per l'estrazione di isotiocianato, molecola dalla spiccata attività fungicida. L'applicazione pratica è stata testata con successo contro *Fusarium sambucinum* [10].

Per quanto riguarda infine la valorizzazione energetica dei sottoprodotti della filiera del biodiesel, in materia è stato realizzato uno studio sul comportamento pirolitico dei residui di girasole (tegumenti) a temperature fra 300 e 600 °C. Gli esperimenti sono stati eseguiti su di un campione vincolato all'interno di un reattore sotto pressione atmosferica ed elio. Le rese dei prodotti derivati dalla pirolisi sono state determinate in funzione della temperatura. L'esperimento ha dimostrato che la massima resa in gas è di circa 53% in peso, ottenuta a 500 °C, mentre la massima resa in olio è circa il 21% in peso, ottenuta a 400 °C [11].

Anche colza e soia vengono nominati in letteratura, con la valorizzazione energetica del pannello (residuo dell'estrazione dell'olio) da cui viene prodotto biochar, ovvero carbone creato a seguito di pirolisi della biomassa.

La ricerca di ulteriori studi ed approfondimenti relativamente alla valorizzazione dei sottoprodotti della filiera del biodiesel continuerà anche nell'ultimo anno come previsto dal progetto.

Database con le caratteristiche chimico-fisiche dei vari sottoprodotti

Durante il secondo anno il DB è stato aggiornato con i risultati delle analisi di caratterizzazione energetica svolte sui materiali prodotti nel primo anno di sperimentazione. Un estratto del DB, che consente di apprezzarne la strutturazione, è riportato in figura 11.



The screenshot shows the 'EXTRAVALORE.IT' database interface. At the top, there is a search bar and a navigation menu with options: 'elenco materiali utilizzati', 'caratteristiche materiali utili', and 'Database'. Below this is a table with the following columns: MATERIALE, VARIETA', DITTA PRODUTTRICE, CENER (% s.s.), PCS (kcal/kg s.s.), PCI (kcal/kg s.s.), CARBON (% s.s.), IDROGEN (% s.s.), and AZOTO (% s.s.). The table lists 20 different types of rapeseed straw (colza, paglia) from various suppliers and varieties, with their corresponding chemical and physical characteristics.

| MATERIALE | VARIETA' | DITTA PRODUTTRICE | CENER % s.s. | PCS kcal/kg s.s. | PCI kcal/kg s.s. | CARBON % s.s. | IDROGEN % s.s. | AZOTO % s.s. |
|---------------|------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|------------------|-------------------|-----------------|
| colza, paglia | KUTIBA | ISEA | 8,9 | 4.295 | 3.994 | 45,1 | 5,9 | 0,9 |
| colza, paglia | ILIA | ISEA | 8,4 | 4.307 | 4.029 | 43,4 | 5,5 | 0,8 |
| colza, paglia | VECTRA | CARLAIMPORT SEMENTI | 7,7 | 4.283 | 3.987 | 44,1 | 5,8 | 0,7 |
| colza, paglia | BELANA | CARLAIMPORT SEMENTI | 8,1 | 4.254 | 3.973 | 42,6 | 5,5 | 0,9 |
| colza, paglia | ARTOGA | LIMAGRAIN | 6,7 | 4.278 | 3.987 | 42,8 | 5,7 | 0,8 |
| colza, paglia | SAVANNAH | LIMAGRAIN | 9,4 | 4.223 | 3.936 | 43,8 | 5,7 | 0,8 |
| colza, paglia | ALBATROS | LIMAGRAIN | 7,5 | 4.327 | 4.032 | 45,1 | 5,8 | 0,7 |
| colza, paglia | DC2949 | MAISADOUR | 9,1 | 4.231 | 3.918 | 46,6 | 6,2 | 0,8 |
| colza, paglia | TOCCATA | MAISADOUR | 9,3 | 4.171 | 3.884 | 44,3 | 5,7 | 0,7 |
| colza, paglia | OSPREY | MAISADOUR | 8 | 4.233 | 3.941 | 45,5 | 5,8 | 0,8 |
| colza, paglia | EXCALIBUR | DEKALB | 8,7 | 4.173 | 3.887 | 43,5 | 5,6 | 0,8 |
| colza, paglia | DK EXPOWER | DEKALB | 8,7 | 4.215 | 3.917 | 44,6 | 5,9 | 0,8 |
| colza, paglia | ECARLATE | SEMFOR | 10,8 | 4.084 | 3.792 | 44,6 | 5,8 | 0,8 |
| colza, paglia | FREGAT | SEMFOR | 8,5 | 4.204 | 3.902 | 45,8 | 6,0 | 0,8 |
| colza, paglia | PR46W10 | PIONEER | 9,2 | 4.136 | 3.856 | 43,8 | 5,5 | 0,8 |
| colza, paglia | PR46W14 | PIONEER | 8,9 | 4.139 | 3.853 | 45,3 | 5,7 | 0,8 |
| colza, paglia | PRIMUS | SIS | 8,1 | 4.178 | 3.901 | 43,2 | 5,5 | 0,8 |
| colza, paglia | PULSAR | SIS | 8,1 | 4.187 | 3.906 | 44,7 | 5,5 | 0,8 |

Figura 11 – Estratto del database Extravalore

Il DB finale permetterà di fornire indicazioni utili per valutare l'attitudine dei diversi materiali residuali ad un impiego energetico.

Linee-guida per l'estrazione e la prima raffinazione dell'olio

Si riportano di seguito i risultati più significativi ottenuti dalle prove sperimentali di estrazione meccanica e prima raffinazione.

Estrazione

In figura 12 sono riportati i grafici relativi ai risultati delle prove di estrazione svolte per individuare le migliori condizioni operative di funzionamento della pressa per ciascuna specie studiata. I grafici mostrano come varia la capacità operativa in termini di olio filtrato nell'unità di tempo (1 h) al variare dei parametri considerati (temperatura e bussola/pressione).

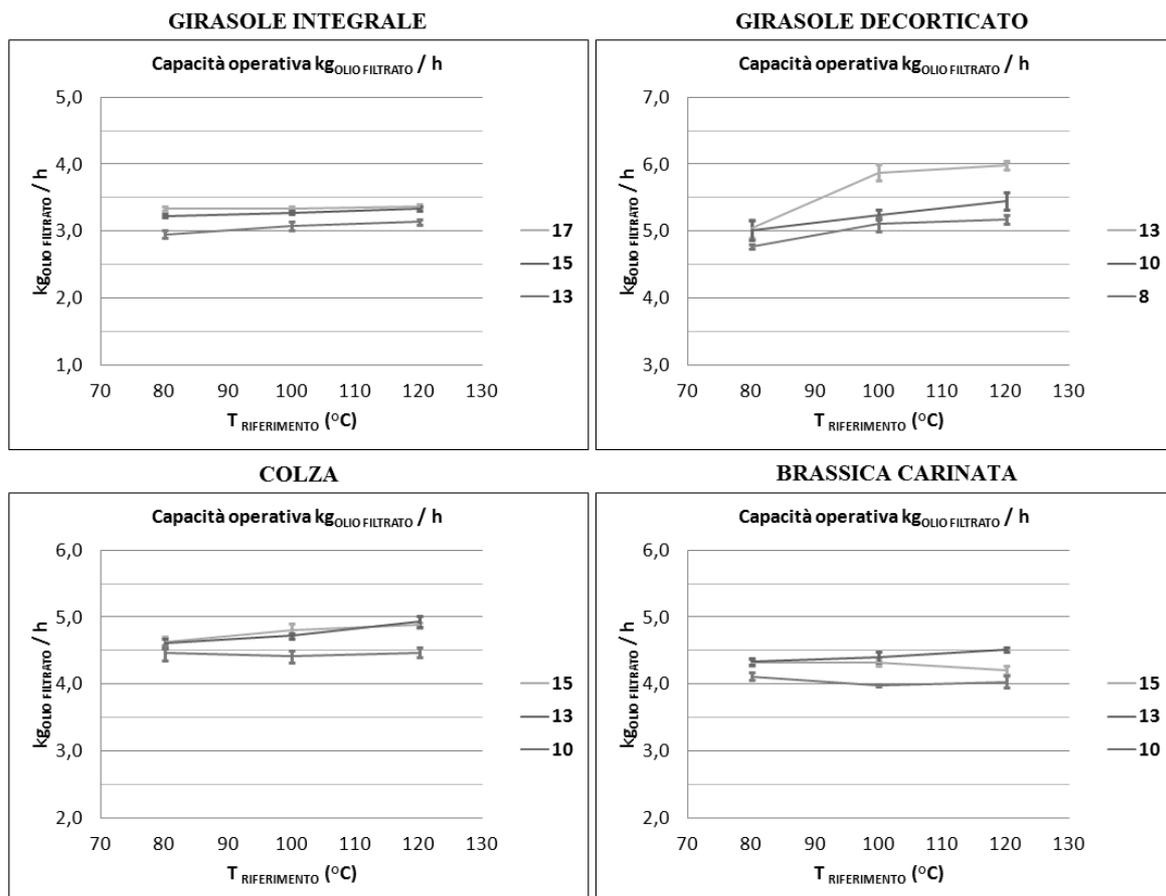


Figura 12 - Capacità operative al variare di temperatura (T) e diametro della bussola

Si nota come, in generale, se la bussola è piccola (massima pressione) la capacità operativa tenda a diminuire per tutti i materiali studiati. La temperatura di 80°C viene raggiunta naturalmente a causa dell'attrito generato all'interno della pressa, quindi senza ulteriori input energetici. L'aumento di temperatura determina una lieve accelerazione del processo, ma non è tale da suggerire l'effettuazione di un riscaldamento esterno su scala reale. Tale riscaldamento infatti necessita di ulteriori input energetici e quindi costi associati.

Il girasole parzialmente decorticato risulta più sensibile alla variazione del diametro della bussola (e quindi della pressione) rispetto agli altri materiali testati dotati di tutto il tegumento anche se le variazioni di capacità operativa risultano comunque contenute.

In generale, con bussola di maggior diametro, a cui corrisponde la minor pressione di estrazione, si ha una velocizzazione del processo. La variazione della temperatura invece non determina una risposta lineare. Il fatto di avere un'estrazione più veloce non significa tuttavia un'estrazione migliore.

Confrontando i risultati migliori relativi ai diversi materiali testati e alla temperatura di 80°C è possibile operare un confronto dell'efficienza di estrazione. La figura 13 evidenzia che in termini di efficienza di estrazione le migliori performance si ottengono col seme di girasole parzialmente decorticato dove si riesce ad estrarre il 90% dell'olio potenzialmente presente nel materiale in ingresso alla pressa. Ciò è dovuto, in primis al maggior contenuto di olio nel materiale che in generale, a parità di materiale, determina un aumento dell'efficienza di estrazione, e in seconda analisi al fatto che il seme di girasole parzialmente decorticato, poco studiato in letteratura, mostra un comportamento positivo rispetto all'estrazione meccanica continua.

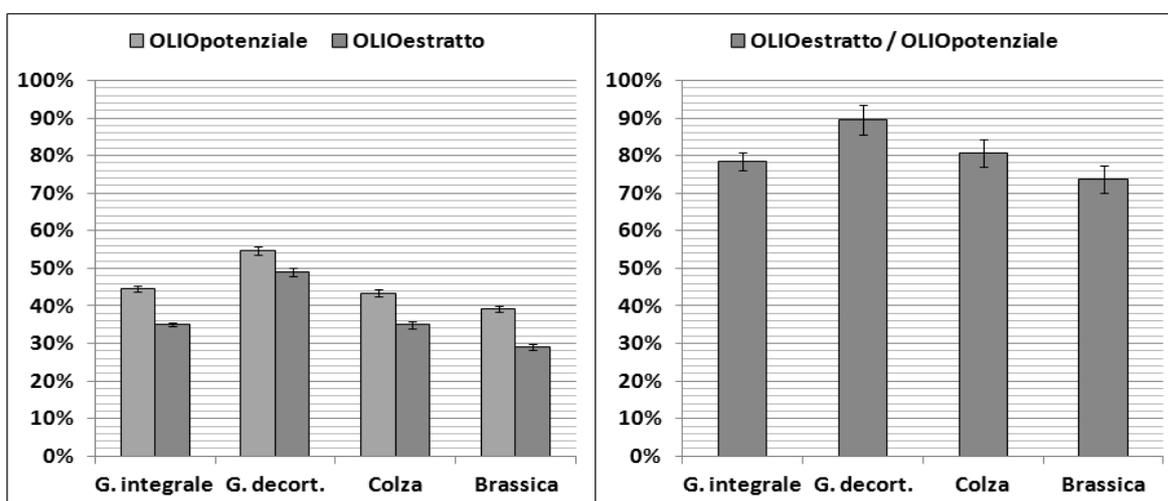


Figura 13 - Confronto tra olio estratto e olio potenziale nei diversi materiali

Le prove di estrazione delle diverse varietà di girasole, colza e brassica carinata, hanno permesso di evidenziare le migliori varietà in termini di olio filtrato ottenibile dalla spremitura meccanica (Figure 14, 15, 16). Nelle figure sono riportate non solo le percentuali di olio filtrato ottenibile ma anche quelle del pannello grasso, dei residui di decantazione dell'olio e dell'acqua contenuta nei semi. I semi sono stati prodotti nel primo anno di sperimentazione dal SP "Materie Prime" e sono relativi alla località di Osimo.

Le 18 varietà di girasole (Figura 14) hanno mostrato una certa differenza in termini di resa di estrazione di circa dieci punti percentuali. Le differenze riscontrate nella resa di estrazione meccanica dipendono principalmente dal diverso contenuto in olio del seme in ingresso all'estrazione ma possono dipendere anche da differenze nella conformazione dei semi. Incrociando i risultati ottenuti con quelli del SP "Materie Prime", relativi alla produzione dei semi impiegati in termini di resa ad ettaro e contenuto di olio potenziale, è possibile valutare l'effettivo valore delle singole varietà in termini di olio estratto ad ettaro. Doriana, LG55.57HO e MAS 88.OL risultano le varietà più produttive (più di 1,1 t/ha di olio ottenibile), caratterizzate da elevate rese di campo e di estrazione.

Le 38 varietà di colza (Figura 15) mostrano una variabilità in termini di resa di estrazione di circa sei punti percentuali, quindi più contenuta rispetto al girasole.

Incrociando i risultati ottenuti con quelli del SP "Materie Prime", le varietà più produttive in termini di olio estratto ad ettaro non sono le migliori dal punto di vista della resa di

estrazione ma si collocano in posizioni intermedie. Le migliori performance assolute in termini quantitativi sono state infatti quelle delle varietà DK EXPOWER e HORNET (oltre 1,1 t/ha di olio, gli stessi livelli delle migliori varietà di girasole).

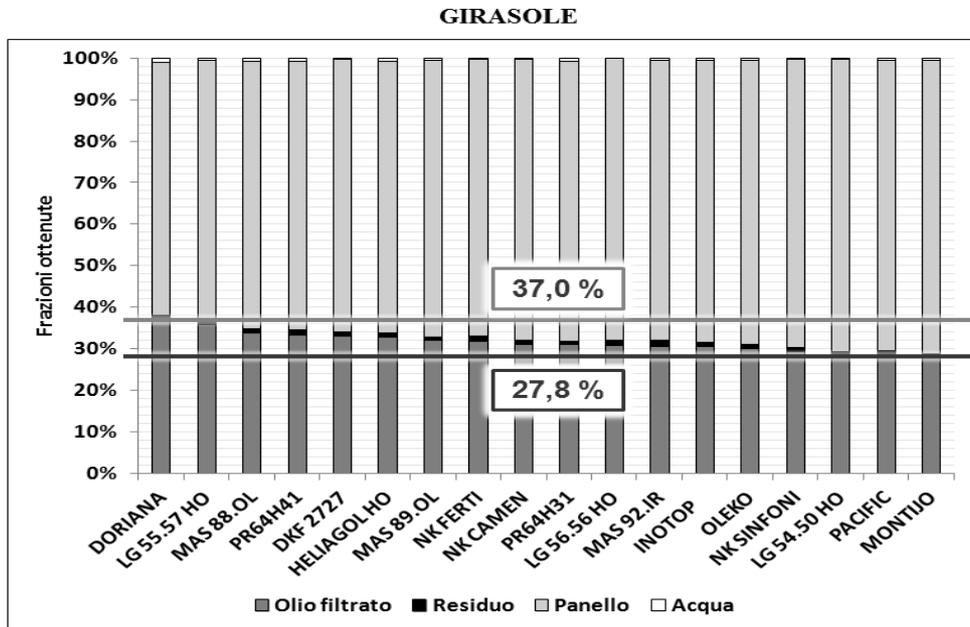


Figura 14 - Confronto varietale di girasole

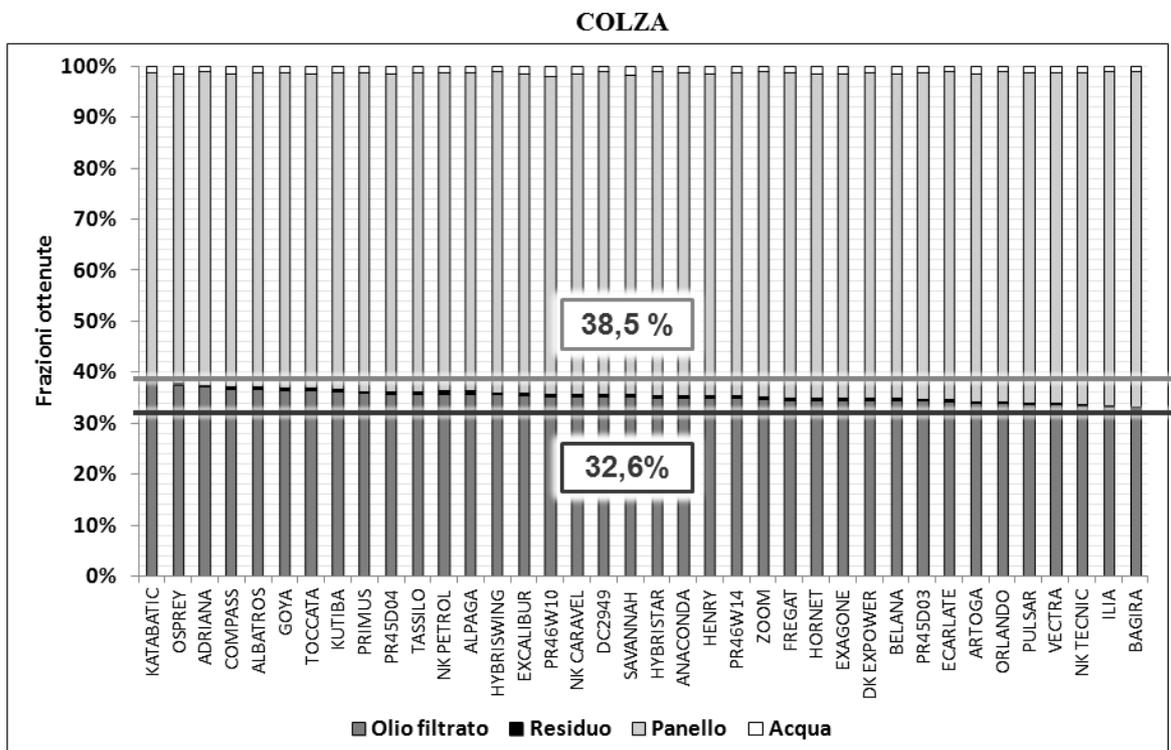


Figura 15 - Confronto varietale in colza

Le 4 varietà di Brassica carinata (Figura 16) mostrano una variabilità in termini di resa di estrazione di circa tre punti percentuali, ma in termini generali i valori sono molto più bassi di quelli ottenuti con colza e girasole. Considerando anche i risultati ottenuti dal SP “Materie Prime”, la varietà più produttiva in termini di olio estratto ad ettaro risulta CT 180.

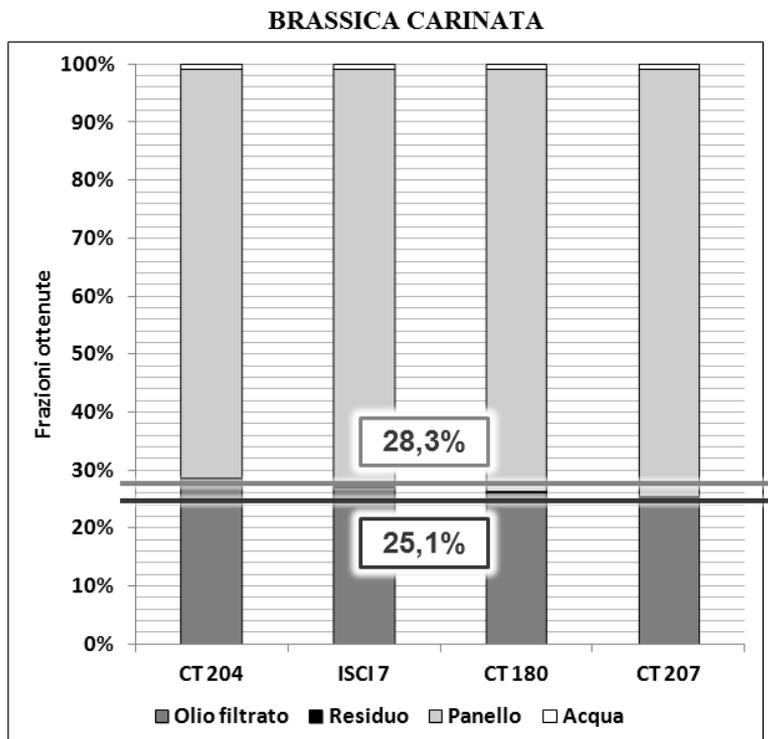


Figura 16 - Confronto varietale in brassica carinata

Prima raffinazione

Per quanto riguarda l'opportunità di effettuare una eventuale raffinazione dell'olio, questa dipende dalla qualità di partenza del prodotto estratto, soprattutto per quanto riguarda la presenza di fosforo, acidità libera e acqua. I risultati delle analisi di questi parametri compiute sugli oli estratti meccanicamente nell'ambito del Progetto hanno mostrato una qualità elevata del prodotto e la non necessità di procedere ad interventi di prima raffinazione. L'acidità infatti risulta sempre ampiamente al di sotto di 1 mg KOH/g (il massimo è 0,8 per l'olio di colza), il contenuto d'acqua è sempre inferiore a 650 mg/kg e il contenuto di P (tabella 5) è già al di sotto dei limiti previsti nella normativa del biodiesel (10 mg/kg). Come riportato in precedenza un processo di raffinazione semplificata in questo caso non è necessario vista l'elevata qualità dell'olio estratto meccanicamente. In tabella 5 sono riportati anche i contenuti di Na, K, Ca e Mg determinati contestualmente al P.

Tabella 5 - Contenuto di fosforo e di altri elementi nei diversi materiali

| Materiale | P (mg/kg) | Na + K (mg/kg) | Ca + Mg (mg/kg) |
|------------------------------|-----------|----------------|-----------------|
| Olio di girasole integrale | 7 | 4 | 5 |
| Olio di girasole decorticato | 7 | 7 | 9 |
| Olio di colza | 7 | 3 | 13 |
| Olio di Brassica Carinata | 5 | 3 | 10 |

Tali risultati confermano l'importanza dello studio svolto sul processo di estrazione meccanica che consente di ottenere non solo un prodotto valido in termini quantitativi ma anche qualitativi.

Studio del processo di decorticazione

I test di decorticazione condotti hanno mostrato come, modificando le regolazioni della macchina riducendo l'efficienza del sistema di estrazione dei tegumenti, sia possibile ottenere un seme parzialmente decorticato pari anche al 75% del seme in ingresso al processo. In queste condizioni si ottiene la separazione dell'80% dei tegumenti presenti nel materiale di partenza (ciò in pratica equivale a dire che in uscita otteniamo quattro semi decorticati su cinque) evitando nel contempo una perdita eccessiva di prodotto utile rappresentato da frammenti di seme e farinette (che contengono olio) che altrimenti verrebbero separate assieme ai tegumenti. Il tegumento residuo risulta, come detto, utile per il successivo processo di estrazione meccanica.

I risultati delle analisi di caratterizzazione energetica dei tegumenti sono riportate in tabella 6.

Tabella 6 – Caratterizzazione energetica dei tegumenti di girasole, residuo del processo di decorticazione.

| Parametro | Unità di misura | Risultato | Metodo |
|------------------|------------------------|------------------|---------------|
| Umidità | % | 6,7 | CEN/TS 14774 |
| Ceneri | % | 3,6 | CEN/TS 14775 |
| PCS | kJ/kg | 20768 | CEN/TS 14918 |
| PCI | kJ/kg | 19330 | CEN/TS 14918 |
| Carbonio | % | 50,76 | CEN/TS 15104 |
| Idrogeno | % | 6,78 | CEN/TS 15104 |
| Azoto | % | 1,48 | CEN/TS 15104 |

I risultati ottenuti mostrano delle discrete qualità di questo materiale per un uso energetico, anche diretto in impianti di medie dimensioni.

Per le caratteristiche del pannello di girasole parzialmente decorticato e la sua elevata qualità in funzione di un utilizzo in ambito zootecnico si rimanda all'attività svolta dal SP "Valorizzazione Zootecnica".

Torrefazione dei residui lignocellulosici

Di seguito sono elencati i risultati dei test di torrefazione. Per ciascun materiale sottoposto al processo vengono riportate alcune caratteristiche (PCS, PCI, C, H, N, O, ceneri) prima e dopo il trattamento termico, nonché degli indici di resa in massa ed energia relativi a ciascuna tesi. Per studiare il comportamento dei diversi materiali in torrefazione infatti sono stati determinati i seguenti indici di processo:

Resa in massa (R_m): indice percentuale che si ottiene dal rapporto della massa di materiale torrefatto (M_{tor}) sulla massa di biomassa iniziale (M_{biom}); rappresenta la quantità di sostanza persa a seguito della degradazione termica e successiva volatilizzazione della sostanza organica.

$$R_m = \frac{M_{tor}}{M_{biom}} \cdot 100 \quad (\%)$$

Indice di concentrazione energetica (I_{ce}): si ottiene dal rapporto tra potere calorifico inferiore del torrefatto (PCI_{tor}) e potere calorifico inferiore della biomassa di partenza (PCI_{biom}); questo indice esprime la “densificazione energetica” del materiale sottoposto al processo di torrefazione.

$$I_{ce} = \frac{PCI_{tor}}{PCI_{biom}}$$

Resa energetica (R_e): esprime il prodotto della resa in massa per l’indice di concentrazione energetica e viene espresso in percentuale. Questo indice fornisce informazioni sulla quantità di energia persa dal materiale a seguito della torrefazione.

$$R_e = R_m \cdot I_{ce} \quad (\%)$$

Tutti i valori ed i risultati relativi allo studio del processo di torrefazione sono espressi su base secca e al netto del contenuto in ceneri (dry-ash free, “daf”).

I risultati del trattamento di torrefazione del residuo colturale della colza sono riportati nella tabella 7. Condizioni di torrefazione più spinte determinano un aumento del contenuto in carbonio, una riduzione del contenuto di ossigeno, un aumento del potere calorifico (PCS e PCI) e dell’indice di concentrazione energetica (I_{ce}) associato inevitabilmente ad una diminuzione della resa in massa (R_m) e della resa energetica (R_e). La prima raggiunge valori di poco superiori al 60% mentre la seconda si attesta intorno all’85%.

I risultati della caratterizzazione dei prodotti torrefatti degli stocchi di girasole sono riportati, insieme alle rese di processo, nella tabella 8. Mentre il potere calorifico e l’indice di concentrazione energetica evidenziano un aumento, la resa in massa e la resa energetica confermano il classico andamento decrescente, attestandosi alle condizioni più critiche su valori rispettivamente di 60% e 80%.

Tabella 7 - Paglia di colza - Analisi dei prodotti torrefatti

| T | t | Rm | Re | Ice | PCS | PCI | C | H | N | O | H/C | O/C | Ceneri |
|-----|-----|-------|-------|------|------------------------------|------------------------------|-------|------|------|-------|------|------|--------|
| °C | min | % daf | | | MJ × kg ⁻¹ daf | MJ × kg ⁻¹ daf | % daf | | | | | | % s.s. |
| - | - | 100 | 100 | 1,00 | 19,3 | 18,0 | 48,71 | 6,22 | 0,93 | 44,15 | 1,52 | 0,68 | 7,51 |
| 210 | 30 | 87,86 | 99,00 | 1,13 | 21,6 | 20,3 | 52,62 | 6,57 | 1,06 | 39,77 | 1,49 | 0,57 | 9,15 |
| 210 | 60 | 80,05 | 95,35 | 1,19 | 22,8 | 21,4 | 54,76 | 6,47 | 0,86 | 37,91 | 1,41 | 0,52 | 10,20 |
| 230 | 30 | 75,09 | 91,77 | 1,22 | 23,4 | 22,0 | 57,10 | 6,58 | 0,98 | 35,35 | 1,37 | 0,46 | 10,25 |
| 230 | 60 | 72,81 | 89,96 | 1,24 | 23,6 | 22,2 | 57,42 | 6,56 | 1,06 | 34,98 | 1,36 | 0,46 | 10,90 |
| 250 | 30 | 65,34 | 87,06 | 1,33 | 25,3 | 24,0 | 60,75 | 6,51 | 0,96 | 31,80 | 1,28 | 0,40 | 12,60 |
| 250 | 60 | 60,94 | 84,32 | 1,38 | 26,2 | 24,9 | 62,18 | 6,43 | 1,00 | 30,39 | 1,23 | 0,37 | 13,10 |

Tabella 8 - Stocchi di girasole - Analisi dei prodotti torrefatti

| T | t | Rm | Re | Ice | PCS | PCI | C | H | N | O | H/C | O/C | Ceneri |
|-----|-----|-------|-------|------|------------------------------|------------------------------|-------|------|------|-------|------|------|--------|
| °C | min | % daf | | | MJ × kg ⁻¹ daf | MJ × kg ⁻¹ daf | % daf | | | | | | % s.s. |
| - | - | 100 | 100 | 1,00 | 18,8 | 17,7 | 47,31 | 5,64 | 1,09 | 45,96 | 1,42 | 0,73 | 11,57 |
| 195 | 30 | 87,01 | 94,65 | 1,09 | 20,4 | 19,2 | 51,44 | 5,83 | 1,19 | 41,56 | 1,35 | 0,61 | 13,90 |
| 195 | 60 | 85,58 | 93,16 | 1,09 | 20,5 | 19,2 | 51,09 | 6,20 | 1,21 | 41,51 | 1,45 | 0,62 | 13,50 |
| 215 | 30 | 76,69 | 89,26 | 1,16 | 21,8 | 20,5 | 52,52 | 6,07 | 1,33 | 40,09 | 1,38 | 0,58 | 14,80 |
| 215 | 60 | 74,10 | 88,32 | 1,19 | 22,3 | 21,0 | 55,49 | 6,28 | 1,26 | 36,98 | 1,35 | 0,50 | 16,45 |
| 235 | 30 | 69,55 | 85,72 | 1,23 | 23,0 | 21,8 | 55,17 | 6,00 | 1,30 | 37,54 | 1,30 | 0,51 | 16,70 |
| 235 | 60 | 60,44 | 80,10 | 1,33 | 24,6 | 23,4 | 58,25 | 5,67 | 1,37 | 34,72 | 1,16 | 0,45 | 17,80 |

Tabella 9 - Pannello di girasole - Analisi dei prodotti torrefatti

| T | t | Rm | Re | Ice | PCS | PCI | C | H | N | O | H/C | O/C | Ceneri |
|-----|-----|-------|-------|------|------------------------------|------------------------------|-------|------|------|-------|------|------|--------|
| °C | min | % daf | | | MJ × kg ⁻¹ daf | MJ × kg ⁻¹ daf | % daf | | | | | | % s.s. |
| - | - | 100 | 100 | 1,00 | 23,7 | 22,1 | 55,17 | 7,80 | 3,47 | 33,56 | 1,68 | 0,46 | 4,71 |
| 200 | 30 | 91,70 | 98,87 | 1,08 | 25,3 | 23,8 | 58,19 | 7,39 | 4,29 | 30,15 | 1,52 | 0,39 | 5,15 |
| 200 | 60 | 90,69 | 97,08 | 1,07 | 25,2 | 23,7 | 59,16 | 7,55 | 3,70 | 29,59 | 1,52 | 0,38 | 5,20 |
| 230 | 30 | 81,09 | 92,20 | 1,14 | 26,7 | 25,1 | 63,92 | 7,58 | 4,55 | 23,96 | 1,41 | 0,28 | 5,90 |
| 230 | 60 | 78,18 | 92,41 | 1,18 | 27,7 | 26,1 | 63,74 | 7,62 | 4,08 | 24,57 | 1,42 | 0,29 | 5,80 |
| 260 | 30 | 71,97 | 89,88 | 1,25 | 29,1 | 27,6 | 67,69 | 7,53 | 4,89 | 19,90 | 1,33 | 0,22 | 6,40 |
| 260 | 60 | 64,08 | 85,27 | 1,33 | 31,0 | 29,4 | 71,48 | 7,64 | 4,75 | 16,14 | 1,28 | 0,17 | 7,30 |

La tabella 9 infine mostra i risultati ottenuti dall'analisi dei torrefatti del pannello di girasole: analogamente a quanto osservato per le altre biomasse, anche in questo caso una torrefazione più spinta, come temperatura e/o tempo di torrefazione, porta ad un incremento nel contenuto di carbonio e del potere calorifico e, parallelamente, ad una riduzione della resa in massa ed della resa energetica.

Il trattamento di torrefazione determina in tutte le biomasse modifiche a livello della struttura organica. In tutti i casi studiati si osserva, infatti, un incremento della concentrazione di carbonio (C) associato ad una diminuzione del contenuto di ossigeno (O). La concentrazione di idrogeno (H), invece, oscilla senza mostrare un andamento ben definibile. Complessivamente la struttura dei torrefatti tende ad assumere quindi una composizione che, all'aumentare della severità del processo stesso, assomiglia sempre di più a quella di combustibili solidi tradizionali (es. struttura idrocarburica del carbone fossile). Anche le proprietà tendono gradualmente ad avvicinarsi a quelle di un combustibile standard. Il pannello di girasole e i rispettivi torrefatti tendono a presentare contenuti energetici maggiori degli altri materiali studiati per la presenza di sostanza grassa residua dal processo di estrazione meccanica.

Valutazione delle rese di transesterificazione

I risultati relativi a questa attività sono riportati in tabella 10 dove, per ogni tipologia di olio, sono indicati gli andamenti delle concentrazioni di metilesteri, monogliceridi, digliceridi e trigliceridi in funzione del tempo di reazione.

Tabella 10 - Risultati dei test di esterificazione degli oli prodotti

| Materia prima | Tempo di reazione (h) | Metilesteri (%) | Monogliceridi (%) | Digliceridi (%) | Trigliceridi (%) |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------|-----------------|------------------|
| Olio di girasole | 1 | 97,15 | 0,82 | 0,22 | 0,81 |
| | 2 | 98,02 | 0,64 | 0,17 | 0,17 |
| | 3 | 98,13 | 0,63 | 0,12 | 0,12 |
| | 4 | 98,31 | 0,60 | 0,09 | 0,00 |
| | 5 | 98,32 | 0,59 | 0,09 | 0,00 |
| | 6 | 98,30 | 0,62 | 0,08 | 0,00 |
| Olio di girasole decorticato | 1 | 97,92 | 0,65 | 0,23 | 0,20 |
| | 2 | 98,13 | 0,64 | 0,19 | 0,04 |
| | 3 | 98,22 | 0,60 | 0,12 | 0,06 |
| | 4 | 98,27 | 0,62 | 0,11 | 0,00 |
| | 5 | 98,28 | 0,63 | 0,09 | 0,00 |
| | 6 | 98,26 | 0,67 | 0,07 | 0,00 |
| Olio di colza | 1 | 96,89 | 0,72 | 0,32 | 1,07 |
| | 2 | 97,95 | 0,64 | 0,18 | 0,23 |
| | 3 | 98,14 | 0,62 | 0,13 | 0,11 |
| | 4 | 98,28 | 0,63 | 0,09 | 0,00 |
| | 5 | 98,32 | 0,58 | 0,10 | 0,00 |
| | 6 | 98,33 | 0,59 | 0,08 | 0,00 |
| Olio di brassica | 1 | 97,97 | 0,66 | 0,22 | 0,15 |
| | 2 | 98,16 | 0,63 | 0,18 | 0,03 |
| | 3 | 98,24 | 0,61 | 0,13 | 0,02 |
| | 4 | 98,29 | 0,61 | 0,10 | 0,00 |
| | 5 | 98,31 | 0,59 | 0,08 | 0,02 |
| | 6 | 98,30 | 0,63 | 0,07 | 0,00 |
| Olio di cardo | 1 | 97,45 | 0,68 | 0,32 | 0,55 |
| | 2 | 98,08 | 0,66 | 0,17 | 0,09 |
| | 3 | 98,20 | 0,63 | 0,12 | 0,05 |
| | 4 | 98,29 | 0,63 | 0,08 | 0,00 |
| | 5 | 98,31 | 0,61 | 0,08 | 0,00 |
| | 6 | 98,32 | 0,60 | 0,08 | 0,00 |

In generale i risultati rispecchiano l'ottima qualità degli oli estratti meccanicamente, caratterizzati come detto da acidità libera e contenuti di acqua molto limitati. Queste caratteristiche determinano delle rese in biodiesel molto alte già dopo un'ora di reazione, senza dover ricorrere a preventivi trattamenti di raffinazione dell'olio. L'acidità infatti viene ampiamente neutralizzata dal catalizzatore in eccesso e il basso livello di acqua previene una significativa formazione di saponi.

Linee-guida per la produzione di pellet o bricchette ottenuti da residui cellulosici di campo

Le prove di pellettizzazione svolte solo sui tegumenti di seme di girasole hanno evidenziato (Figura 17) una scarsa attitudine di questi ultimi ad essere pellettizzati. Si valuterà la possibilità di effettuare test con tegumenti ulteriormente ridotti di pezzatura.



Figura 17. Pellet ottenuto dai tegumenti di girasole

Le prove di bricchettatura svolte hanno evidenziato problematiche di settaggio del macchinario variabili in funzione del materiale testato. Pur non disponendo ancora dei risultati di caratterizzazione delle bricchette ottenute è possibile affermare che i residui che possono essere bricchettati più agevolmente tra quelli testati sono la paglia di colza e gli stocchi di girasole. Indicazioni più puntuali saranno disponibili solo alla fine del Progetto.

Discussione

Le attività da svolgere nell'ambito del Progetto avevano come obiettivo la valorizzazione dei sottoprodotti o residui della filiera di produzione di biocarburanti in particolare in ottica di produzioni locali. Pur essendo venuta meno negli ultimi anni la prospettiva concreta di una tale filiera, resta valido e attuale in generale il tema della valorizzazione di residui e sottoprodotti, su cui la politica europea punta in modo deciso. Avendo concentrato principalmente le attività su residui e sottoprodotti della prima parte della filiera del biodiesel, comune ad altre filiere non necessariamente a finalità energetiche, di fatto i risultati ottenuti appaiono concreti e possono fornire indicazioni utili anche nel contesto attuale.

Le analisi di caratterizzazione svolte nell'ambito dello sviluppo del database dei materiali possono fornire ad esempio un supporto per valutare un possibile utilizzo di residui o sottoprodotti (paglie, stocchi, pannelli, tegumenti, etc.) direttamente o indirettamente (tramite pretrattamenti) in applicazioni non solo energetiche. La conoscenza del materiale infatti permette di effettuare delle scelte più consapevoli del migliore utilizzo. In generale tutti i residui colturali studiati possono essere impiegati a fini energetici in impianti di combustione in grado di gestire gli elevati quantitativi di ceneri contenute nei materiali. I residui della coltivazione del girasole sono risultati i più scadenti in tal senso con contenuti di ceneri ampiamente al di sopra del 10% e poteri calorifici sempre più bassi rispetto agli altri residui studiati, mentre la paglia di brassica carinata è risultata la migliore. I pannelli di

estrazione hanno dei buoni poteri calorifici e potrebbero essere impiegati anch'essi in impianti di combustione anche se in questo modo la loro valorizzazione risulterebbe limitata se comparata con un possibile impiego zootecnico. Nel caso di utilizzo in combustione dei pannelli inoltre il contenuto di azoto relativamente elevato potrebbe creare problemi per la formazione di ossidi di azoto.

Delle indicazioni ancora più approfondite sull'opportunità di destinare i singoli materiali ad una determinata applicazione potranno essere fornite al termine dello sviluppo del database, quando si disporrà dei dati relativi ai tre anni di attività.

Già al termine del secondo anno di attività, nell'ambito dello studio dei processi di filiera, sono state fornite delle indicazioni importanti soprattutto per il processo di estrazione, in termini di ottimizzazione dei processi e valutazione della qualità dei prodotti. Sono stati individuati i migliori parametri operativi per la conduzione dell'estrazione con le varie tipologie di seme utilizzate. L'olio vegetale estratto è risultato di buona qualità per tutte le specie considerate, tanto da non rendere in pratica necessario lo sviluppo di sistemi di prima raffinazione. Anche le prove di esterificazione con KOH hanno evidenziato l'ottima qualità degli oli di partenza. Molto interessanti appaiono i risultati dell'inserimento di un semplice processo di decorticazione nella filiera di produzione dell'olio, sia in termini quantitativi che qualitativi. Purtroppo non si può dire lo stesso per la produzione di pellet dai tegumenti di girasole, residuo della decorticazione, che non presenta caratteristiche soddisfacenti. I tegumenti comunque possono essere valorizzati energeticamente alla pari dei residui di coltivazione. I risultati delle prove di torrefazione infine dimostrano come i vari materiali testati rispondano a questo processo termico, migliorando le proprie qualità, risultando più gestibili e utilizzabili.

Tenendo in considerazione le attività svolte da questo e da altri Sottoprogetti, i prodotti che si ottengono (olio, pannello di semi parzialmente decorticati, tegumenti), a prescindere dalle finalità, potrebbero avere più collocazioni: energetica, zootecnica, agronomica, chimica.

In base ai risultati ottenuti si possono già proporre degli esempi di filiera da girasole integrale e da girasole decorticato per operare un confronto.

Considerando, ad esempio, 100 ha e una resa di 2,5 t/ha di seme, si ottengono 87 t di olio e 162 t di pannello (Figura 18). Si può ipotizzare che l'olio possa essere utilizzato in un cogeneratore producendo 764 MWh tra termico e elettrico mentre il pannello potrebbe essere impiegato per l'alimentazione dei bovini all'ingrasso nella misura evidenziata dal SP "Valorizzazione Zootecnica".

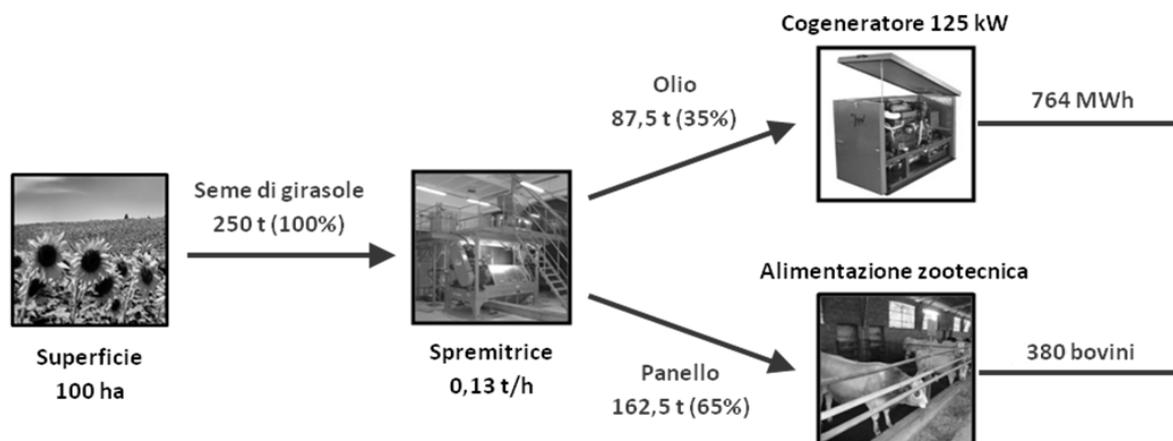


Figura 18 - Esempio di filiera da girasole integrale

Nel caso di filiera che preveda la decorticazione del seme (Figura 19), se si parte da un'analogha superficie e si considera una decorticazione parziale che dia come output un prudenziale 70% del seme in ingresso (perfettamente in linea con i risultati dei test effettuati nella sperimentazione), l'olio prodotto risulta lo stesso del caso precedente (87,5 t) e pertanto con la decorticazione non si perde olio, il prodotto principale. Ovviamente si ha un quantitativo di pannello inferiore (87 t contro le 162 della filiera precedente) ma di maggior qualità e quindi più facilmente collocabile.

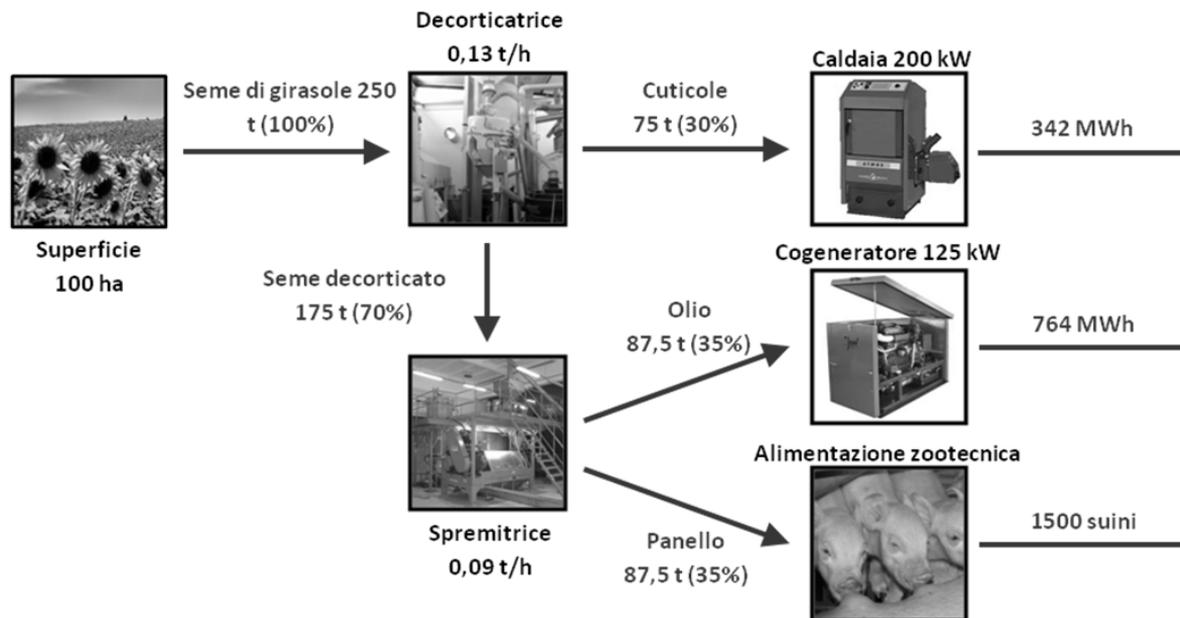


Figura 19 - Esempio di filiera da girasole decorticato

Elemento discriminante delle due filiere è quindi il pannello di estrazione. Il pannello decorticato per il suo basso contenuto in fibra grezza (ed elevato contenuto proteico) può risultare molto interessante per l'alimentazione dei suini, che sono dei monogastrici. Se si prende in considerazione la sperimentazione sui suini effettuata nell'ambito del SP "Valorizzazione Zootecnica", sostituendo completamente la farina di estrazione di soia, con 87,5 t di pannello parzialmente decorticato possono essere alimentati circa 1500 suini.

Bibliografia

- [1] Marechal V., L. Rigal "Characterization of by-products of sunflower culture – commercial applications for stalks and heads." *Industrial Crops and Products* 1999, 10(3): 185-200.
- [2] Sun G., W. Shi "Sunflower Stalks as Adsorbents for the Removal of Metal Ions from Wastewater." *Industrial & Engineering Chemistry Research* 1998, 37(4): 1324-1328.
- [3] Sun G., X. Xu "Sunflower Stalks as Adsorbents for Color Removal from Textile Wastewater." *Industrial & Engineering Chemistry Research* 1997, 36(3): 808-812.
- [4] F. Ayhllon-Meixueiro, C. V.-G., F. Silvestre "Biodegradable Films from Isolate of Sunflower (*Helianthus annuus*) Proteins." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2000, 48(7): 3032–3036.

- [5] Pedroche J., M. M. Yust, et al. "Brassica carinata protein isolates: chemical composition, protein characterization and improvement of functional properties by protein hydrolysis." *Food Chemistry* 2004, 88(3): 337-346.
- [6] Tripathi, M. K., A. S. Mishra, et al. (2008). "Selection of white-rot basidiomycetes for bioconversion of mustard (*Brassica campestris*) straw under solid-state fermentation into energy substrate for rumen micro-organism." *Letters in Applied Microbiology* 46(3): 364-370
- [7] Talha E. E. Abbas, Y. M. Y. (2008). "Sunflower Cake as a Substitute for Groundnut Cake in Commercial Broiler Chicks Diets." *Pakistan Journal of Nutrition* 7(6): 782-784.
- [8] Yagoub M. Yagoub, T. E. E. A. (2009). "Effect of Replacement of Groundnut Cakes with Decorticated Sunflower Cake on the Performance of Sudanese Desert Lambs." *Pakistan Journal of Nutrition* 8(1): 46-48.
- [9] Maina, J G., R M. Beames, et al. (2002). "Digestibility and feeding value of some feed ingredients fed to tilapia *Oreochromis niloticus* (L.)." *Aquaculture Research* 33(11): 853-862.
- [10] Hilary S. Mayton, C. O., Steven F. Vaughn, Rosemary Loria (1996). "Correlation of Fungicidal Activity of Brassica species with Allyl Isothiocyanate Production in Macerated Leaf Tissue." *APS Journals, Phytopathology* 86(3): 267-271.
- [11] Zabaniotou, A. A., E. K. Kantarelis, et al. (2008). "Sunflower shells utilization for energetic purposes in an integrated approach of energy crops: Laboratory study pyrolysis and kinetics." *Bioresource Technology* 99(8): 3174-3181.

Con il patrocinio di:



In collaborazione con:



Partner del progetto EXTRAVALORE:

