

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA

FACOLTÀ DI AGRARIA

DOTTORATO DI RICERCA IN
SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE TROPICALI E SUBTROPICALI
XXIV ciclo: 2009-2012

MARCO DOZ

**Valutazione Agronomica di Ricino (*Ricinus communis*
L.) e Cardo (*Cynara cardunculus* L.) per la
Produzione di Biodiesel in Ambiente Mediterraneo**

—————
DISSERTAZIONE FINALE
—————

Coordinatore:
Chiar.mo Prof. S. L. Cosentino

Tutor:
Prof. O. Sortino

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	8
2 SITUAZIONE ENERGETICA TRA CRITICITÀ ED AZIONI RISOLUTIVE INTRAPRESE.....	11
2.1 L’impatto della crisi economica sul sistema energetico.....	12
2.2 L’impatto della crisi economica sulla questione ambientale.....	13
3. IL RUOLO DELLE ENERGIE RINNOVABILI.....	15
3.1 Lo scenario mondiale.....	17
3.2 Lo scenario europeo.....	21
3.2.1 La Direttiva FER del 2009.....	23
3.3 Lo scenario in Italia.....	25
3.4 Le rinnovabili a livello locale.....	27
4. LE AGROENERGIE.....	31
4.1 Definizione e classificazione delle biomasse.....	32
4.2 Classificazione delle colture da biomassa.....	35
4.3 Il comparto dei biocarburanti.....	36
5. IL BIODIESEL.....	41
5.1 La produzione mondiale di biodiesel.....	41
5.2 La produzione europea di biodiesel.....	42
5.3 La produzione di biodiesel a livello nazionale.....	44
5.4 Un nuovo elemento normativo: il criterio di sostenibilità per biocombustibili e biocarburanti.....	45
5.5 Verso una maggiore sostenibilità dei biocarburanti.....	48
5.6 Caratteristiche del biodiesel.....	49
5.7 I sottoprodotti di lavorazione.....	50
5.7.1 I sottoprodotti della lavorazione dell’olio.....	50
5.7.2 I sottoprodotti della transesterificazione.....	51
5.8 Utilizzi non energetici del biodiesel.....	53

6. RICINO (<i>Ricinus communis</i> L.) E CARDO (<i>Cynara cardunculus</i> L.) COME COLTURE ENERGETICHE A CICLO POLIENNALE.....	57
6.1 Generalità.....	57
6.2 Ricino (<i>Ricinus communis</i> L.).....	58
6.2.1 Origine e riferimenti storici.....	58
6.2.2 Diffusione e produzione.....	59
6.2.3 Caratteri morfologici.....	60
6.2.4 Esigenze.....	62
6.2.5 Tecnica colturale.....	64
6.2.5.1 Impianto.....	64
6.2.5.2 Irrigazione.....	65
6.2.5.3 Fertilizzazione.....	65
6.2.5.4 Raccolta.....	66
6.2.6 Utilizzi dell'olio e dei sottoprodotti.....	66
6.2.7 Caratteristiche dell'olio.....	68
6.2.8 Caratteristiche del biodiesel.....	69
6.3 Cardo (<i>Cynara cardunculus</i> L.).....	70
6.3.1 Generalità.....	71
6.3.2 Diffusione come coltura energetica.....	71
6.3.3 Caratteri morfologici e biologici.....	72
6.3.4 Esigenze.....	75
6.3.5 Rusticità ed adattabilità all'ambiente Mediterraneo.....	77
6.3.6 Tecnica colturale.....	79
6.3.6.1 Impianto.....	79
6.3.6.2 Irrigazione.....	80
6.3.6.3 Fertilizzazione.....	81
6.3.6.4 Controllo delle infestanti.....	82
6.3.6.5 Raccolta.....	82
6.3.7 Utilizzi possibili.....	86
6.3.8 Caratteristiche dell'olio.....	87
6.3.9 Caratteristiche del biodiesel.....	88

7. OBIETTIVI DELLA RICERCA SCIENTIFICA NELLO SVILUPPO DELLE COLTURE DEDICATE DA ENERGIA.....	90
8. SCOPO DELL'ATTIVITA' DI RICERCA.....	92
9. MATERIALI E METODI.....	94
9.1 <u>Prova A</u> : Effetti della riduzione degli input in <i>Ricinus communis</i> L. coltivato per produzione di biodiesel.....	95
9.2 <u>Prova B</u> : Caratterizzazione produttiva di differenti genotipi di <i>Ricinus communis</i> L. in relazione a diversi trattamenti di raccolta, coltivato per produzione di biodiesel.....	97
9.3 <u>Prova C</u> : Valutazione delle potenzialità produttive di <i>Cynara cardunculus</i> L. in relazione a differenti densità di semina, per produzione di biodiesel...	100
9.4 <u>Prova D</u> : Caratterizzazione produttiva di differenti genotipi di <i>Cynara cardunculus</i> L. per produzione di biodiesel.....	102
10. RISULTATI	104
10.1 Andamento termo-pluviometrico.....	104
10.2 <u>Prova A</u> : Effetti della riduzione degli input in <i>Ricinus communis</i> L. coltivato per produzione di biodiesel.....	107
10.2.1 Caratteri morfobiometrici.....	107
10.2.2 Caratteri produttivi.....	108
10.3 <u>Prova B</u> : Caratterizzazione produttiva di differenti genotipi di <i>Ricinus communis</i> L. in relazione a diversi trattamenti di raccolta, coltivato per produzione di biodiesel.....	119
10.3.1 Germinabilità ed energia germinativa.....	119
10.3.2 Caratteri morfobiometrici.....	120
10.3.3 Caratteri produttivi.....	121
10.4 <u>Prova C</u> : Valutazione delle potenzialità produttive di <i>Cynara cardunculus</i> L. in relazione a differenti densità di semina, per produzione di biodiesel.....	155
10.4.1 Caratteri morfobiometrici.....	155
10.4.2 Caratteri produttivi.....	156
10.5 <u>Prova D</u> : Caratterizzazione produttiva di differenti genotipi di <i>Cynara cardunculus</i> L. per produzione di biodiesel.....	177

10.5.1 Caratteri morfobiometrici.....	177
10.5.2 Caratteri produttivi.....	179
11. CONCLUSIONI.....	199
BIBLIOGRAFIA.....	202

«Or dunque, Signore, toglimi la vita,
perché meglio è per me morire che vivere!».

Ma il Signore gli rispose:

"Ti sembra giusto essere sdegnato così?".

Giona allora uscì dalla città e sostò a oriente di essa.

Si fece lì un riparo di frasche e vi si mise all'ombra
in attesa di vedere ciò che sarebbe avvenuto nella città.

Allora il Signore Dio fece crescere una pianta di ricino
al di sopra di Giona per fare ombra sulla sua testa
e liberarlo dal suo male.

Giona provò una grande gioia per quel ricino.»

[Libro di Giona cap. 4, 3-6]

1. INTRODUZIONE

I trend globali odierni di domanda e offerta di energia sono chiaramente insostenibili da un punto di vista ambientale, economico e sociale. Il settore energetico si trova ad affrontare quattro sfide principali: la minaccia di un cambiamento climatico con potenziali effetti distruttivi ed irreversibili, la riduzione progressiva della sicurezza degli approvvigionamenti, la crescita e volatilità dei prezzi dell'energia e la crescente domanda energetica nei Paesi in via di sviluppo. Non è esagerato affermare che uno sviluppo economico sostenibile sarà possibile solo se il mondo saprà garantire un'offerta di energia affidabile a prezzi accessibili ed effettuare una rapida trasformazione verso approvvigionamenti energetici a basso contenuto di carbonio, efficienti e rispettosi dell'ambiente. In particolare per quanto attiene al cambiamento climatico, nel Comunicato conclusivo del Meeting Ministeriale del 2009, i Ministri dei Paesi IEA (International Energy Agency) hanno notato che *“i costi di non-azione sono maggiori dei costi di azione”* e che *“gli scenari della IEA mostrano che le emissioni di gas effetto serra dovranno iniziare a diminuire significativamente entro i prossimi dieci-quindici anni”*. Essi hanno anche espresso l'intenzione di *“condividere con tutti gli altri Paesi l'obiettivo di ridurre almeno del 50% le emissioni globali al 2050”* e hanno riconosciuto l'obiettivo di *“ridurre le emissioni complessive di gas effetto serra dei Paesi sviluppati di almeno l'80% rispetto al 1990”*. Per raggiungere questi ambiziosi obiettivi occorrerà attuare una rivoluzione negli usi e nella produzione di energia e sviluppare un portfolio di tecnologie energetiche *low-carbon*, di cui le fonti rinnovabili costituiranno parte essenziale (AIE 2011).

In questo senso, nel corso degli ultimi decenni, le bioenergie – energie derivate da materia o biomassa organica – si sono affermate sempre più come un'alternativa valida alla produzione di calore, elettricità ed energia per autotrazione. La ricerca scientifica e tecnologica ha concentrato per la maggior parte l'interesse sui biocombustibili liquidi, in particolare bioetanolo e

biodiesel, l'impiego dei quali è stato ed è fortemente incentivato e promosso dalle azioni politiche e governative condotte su scala internazionale, comunitaria e nazionale (FAO 2009).

I principali fattori trainanti lo sviluppo di politiche di sostegno alla produzione e all'impiego dei biocarburanti riguardano:

- il cambiamento climatico: riduzione delle emissioni di CO₂;
- la sicurezza energetica: aumento della disponibilità e diversificazione delle fonti energetiche;
- lo sviluppo rurale: nuove applicazioni per i prodotti dell'agricoltura.

Il notevole incremento nella produzione di biocarburanti negli ultimi decenni, ha determinato la nascita e lo sviluppo di nuovi mercati, i cui reali e/o potenziali effetti sull'assetto socio-economico mondiale sono ad oggi solo in parte analizzati e messi in evidenza (Hazell e Pachauri, 2006). In Europa circa un terzo del consumo di energia primaria è associata al settore dei trasporti e, con esso, all'emissione di enormi quantità di gas inquinanti e ad effetto serra. Per tale motivo e per la pressoché totale dipendenza (pari al 98%, secondo il Commission White Paper "European Transport Policy For 2010") dal petrolio e dall'importazione, la Commissione Europea ha promulgato la Direttiva Biocarburanti (2003/30/EC, 08 Maggio 2003) che prevede il raggiungimento del 5,75% di biocarburanti al 2010, obiettivo che successivamente il Consiglio Europeo, nel marzo del 2007 ha innalzato al 10% al 2020. In quest'ottica, la sostituzione dei prodotti di derivazione petrolifera con quelli provenienti da risorse rinnovabili è particolarmente promettente, soprattutto per le sostanze grasse d'origine vegetale. Gli oli vegetali permettono, infatti, uno straordinario vantaggio ambientale rispetto ai combustibili fossili, grazie alla loro biodegradabilità.

Per tale ragione è prioritario orientare il sistema agricolo nazionale verso una riduzione delle produzioni eccedentarie, con l'introduzione, invece, di nuovi sistemi colturali, costituiti da specie alternative non alimentari da

avvicinare a quelle tradizionali, che potrebbero assumere un ruolo determinante sullo sviluppo economico e sulla sostenibilità delle risorse naturali. Queste colture *no-food*, infatti, oltre a fornire materie prime utilizzabili dal settore dei trasporti e dalle aziende agricole, come biocombustibili, potrebbero rappresentare nuove fonti di reddito per l'agricoltura nei territori svantaggiati e penalizzati da scelte colturali basate esclusivamente sui sussidi alla produzione.

In considerazione delle peculiari caratteristiche pedoclimatiche riscontrabili in Sicilia, così come in gran parte del Bacino Mediterraneo, con apporti idrici limitati e irregolarmente distribuiti durante l'arco dell'anno, tali da non garantire rese stabili nel tempo, diverse istituzioni di ricerca si sono orientate al reperimento ed alla valutazione di nuovo materiale vegetale, in alternativa alle colture oleaginose tradizionali, idoneo alla produzione di olio da destinare alla sintesi di biodiesel e che ben si adatti ad ambienti aridi e semi aridi tipici di quest'area. In questa tesi vengono riportati i risultati di ricerche condotte su due specie oleaginose promettenti, *Ricinus communis* e *Cynara cardunculus*, nell'ottica di un possibile futuro inserimento negli ordinamenti colturali del Sud Italia, al fine di valutare la potenzialità delle specie per la produzione di biodiesel in ambiente mediterraneo.

2. SITUAZIONE ENERGETICA TRA CRITICITÀ ED AZIONI RISOLUTIVE INTRAPRESE.

La crisi economica, iniziata nella seconda metà del 2008, sta determinando un forte rallentamento dell'economia mondiale e una fase recessiva delle economie occidentali (la peggiore dal 1929), i cui esiti finali sono tuttora molto incerti. I dati e le previsioni del Fondo Monetario Internazionale per il periodo 2008-2009 evidenziano tuttavia la diversa dinamica che potrebbe interessare le principali aree geopolitiche. Pur nella crisi, i paesi emergenti e quelli in via di sviluppo mostrano tassi di crescita ancora sostenuti rispetto alla diffusa recessione dei paesi più avanzati. Anche l'andamento della domanda di energia, la cui correlazione con la crescita economica dipende, come è noto, dalla fase di maturità economica di un paese, mostra sensibili differenze tra le aree geopolitiche. I paesi emergenti e quelli in via di sviluppo potrebbero vedere, pur nel rallentamento economico, una continuazione della crescita della domanda di energia in atto da anni (+3,7% all'anno nel periodo 1995-2008), trascinata in modo particolare dalla domanda di energia in India e in Cina (circa 5% e 6,5% all'anno nel periodo 1995-2008). Per i paesi OCSE, economicamente più maturi e con una crescita della domanda di energia storicamente più contenuta (1% in media annua tra il 1995 e il 2008), la crisi prefigura invece una flessione netta della domanda. Nonostante la fase di forte rallentamento generale, tra le fonti energetiche tradizionali il carbone si conferma come la risorsa prevalente e in maggiore crescita, in particolare in Asia (Cina e India) dove viene largamente impiegato tra l'altro nella generazione elettrica. Nei paesi OCSE si registra invece un ruolo ancora prevalente del petrolio, ormai destinato per la quasi totalità ai trasporti, mentre la fonte in maggior crescita nel periodo 1995-2008 risulta essere il gas naturale sempre più utilizzato anch'esso in elettro-generazione. Naturalmente, il tasso di crescita delle fonti energetiche tradizionali, che soddisfano ancora la quasi totalità della domanda di energia, appare comunque

modesto se confrontato con i tassi di crescita a due cifre registrati nel decennio in corso in molti paesi OCSE per alcune fonti rinnovabili, quali l'energia eolica e l'energia solare fotovoltaica. Tuttavia queste fonti soddisfano una parte ancora molto ridotta del fabbisogno.

2.1 L'impatto della crisi economica sul sistema energetico

Mentre gli esiti della crisi economica non sono ancora ben delineati e le alterne vicende dei prezzi petroliferi hanno di fatto destabilizzato un mercato da anni in crescita pressoché continua, l'impatto della crisi economica sul sistema energetico e sulla questione ambientale e climatica è oggetto di un acceso dibattito. L'obiettivo è valutare se al termine della crisi la domanda di energia e le emissioni riprenderanno a crescere secondo le proiezioni antecedenti alla crisi o se la crisi sarà in grado di cambiare le dinamiche di medio-lungo periodo. La crisi economica produce naturalmente una riduzione della domanda di energia e una conseguente riduzione dei prezzi e degli investimenti. Ciò da un lato riduce i consumi di fonti fossili e le conseguenti emissioni, dall'altro rende le fonti fossili più concorrenziali con le tecnologie per l'efficienza energetica e con le fonti rinnovabili e nucleare (tendenzialmente più costose), minando quindi quel processo di cambiamento del sistema energetico e di riduzione delle emissioni che era favorito dall'alto corso del prezzo dei fossili.

Affinché la crisi in atto possa determinare effetti strutturali di cambiamento verso un sistema energetico più sostenibile, sono necessari segnali di prezzo tali da indurre delle accelerazioni nella sostituzione dei fossili in primo luogo e del fattore energia in ultima istanza. Tali segnali possono soltanto in parte provenire dal mercato. Un ruolo fondamentale, a questo proposito, deve essere svolto dalle politiche energetiche e ambientali.

2.2 L'impatto della crisi economica sulla questione ambientale

L'impatto della crisi sulle emissioni di gas-serra dipenderà fondamentalmente dagli investimenti nelle diverse tipologie di tecnologie energetiche. Nel breve termine, la più ridotta crescita economica potrà determinare una flessione delle emissioni, una riduzione in termini assoluti nei paesi avanzati e una riduzione del tasso di crescita nei paesi emergenti.

Considerata la permanenza delle emissioni di gas-serra in atmosfera, la riduzione delle emissioni nel breve-termine può avere un beneficio ambientale diretto. L'impatto della crisi sulla crescita delle emissioni potrebbe essere quindi positivo nel breve termine, ma negativo nel lungo termine soprattutto riducendo l'accelerazione tecnologica verso le tecnologie low-carbon che veniva favorita dagli altri corsi del prezzo dei fossili. La crisi potrebbe ritardare gli investimenti in tali tecnologie a causa della minore necessità di riduzione delle emissioni nel breve-medio periodo, e determinare un rischio di lock-in del sistema energetico su investimenti e tecnologie non compatibili con gli obiettivi di mitigazione di lungo periodo, ma economicamente più attraenti nel breve termine. Queste circostanze potrebbero in definitiva determinare nel medio-lungo termine emissioni più alte di quelle previste negli scenari pre-crisi, soprattutto se al termine della fase recessiva i consumi energetici dovessero riprendere a ritmi sostenuti, cancellando i benefici di breve termine.

Recenti osservazioni indicano che le emissioni di gas serra e molti parametri di attinenza climatica stanno variando in prossimità del limite superiore della gamma di proiezioni IPCC. Molti dei principali indicatori del clima si stanno già muovendo al di là dei modelli di variabilità naturale finora sperimentati. Oltre alla concentrazione di CO₂ in atmosfera tali indicatori comprendono la temperatura media superficiale globale, il livello del mare, la temperatura globale degli oceani, l'estensione del ghiaccio nel mare artico, l'acidificazione degli oceani, la frequenza e intensità degli eventi climatici estremi. In presenza di una mancata riduzione delle emissioni, molte di queste

tendenze climatiche sono probabilmente destinate ad accelerare, portando a un crescente rischio di improvvisi o irreversibili cambiamenti climatici. Recenti osservazioni indicano che le società e gli ecosistemi sono estremamente vulnerabili anche a variazioni modeste di alcuni parametri climatici e che gli ecosistemi e la biodiversità nei paesi più poveri sono esposti a rischi maggiori. Aumenti di temperatura significativamente superiori ai 2°C, potrebbero causare gravi disagi sociali e ambientali fin oltre la fine del secolo. Al fine di ridurre il rischio, è necessario mettere in atto interventi rapidi ed efficaci per la mitigazione delle emissioni coordinati a livello mondiale e regionale. Un'attenuazione degli obiettivi previsti per il 2020 farebbe crescere il rischio di ripercussioni gravi ivi compreso il raggiungimento di *tipping points*, punti di non ritorno e renderebbe più difficile e costoso il raggiungimento degli obiettivi al 2050. Le condizioni necessarie per mettere in atto una effettiva politica di mitigazione sono la definizione di un prezzo della CO₂ credibile sul lungo termine e l'adozione di politiche che promuovano l'efficienza energetica e le tecnologie a basse emissioni di carbonio.

3. IL RUOLO DELLE ENERGIE RINNOVABILI

A livello globale, il mercato delle tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili (FER) rappresenta un comparto in forte ascesa con un volume di investimenti che ha superato i 160 miliardi di dollari nel 2008.

Nel settore delle energie rinnovabili si stima che siano attualmente occupati oltre 2 milioni di addetti in tutto il mondo e circa 400.000 nell'Unione Europea (Figura 3.1). Oltre la metà degli addetti in Europa si concentra nei settori eolico e fotovoltaico.

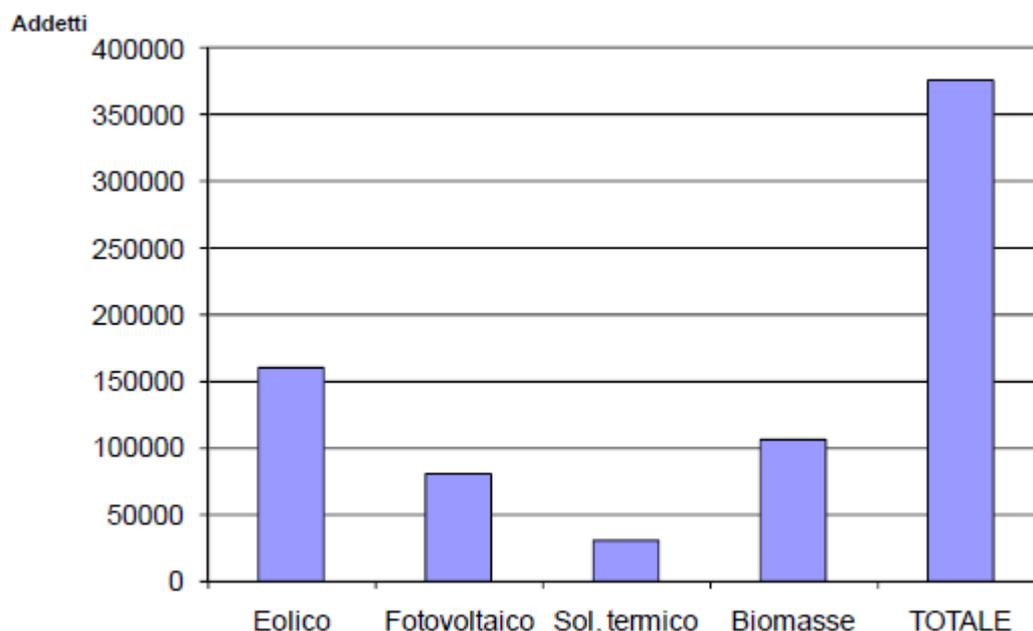


Figura 3.1 - Unione Europea: occupati nel settore delle energie rinnovabili (fonte WWF, 2007).

Nei prossimi anni la crescita del comparto potrebbe portare a un fatturato complessivo di 280 miliardi di dollari al 2020, sostenuta dagli obiettivi di politica energetica fissati dall'Unione Europea e all'amministrazione Obama negli Stati Uniti (fig. 3.2).

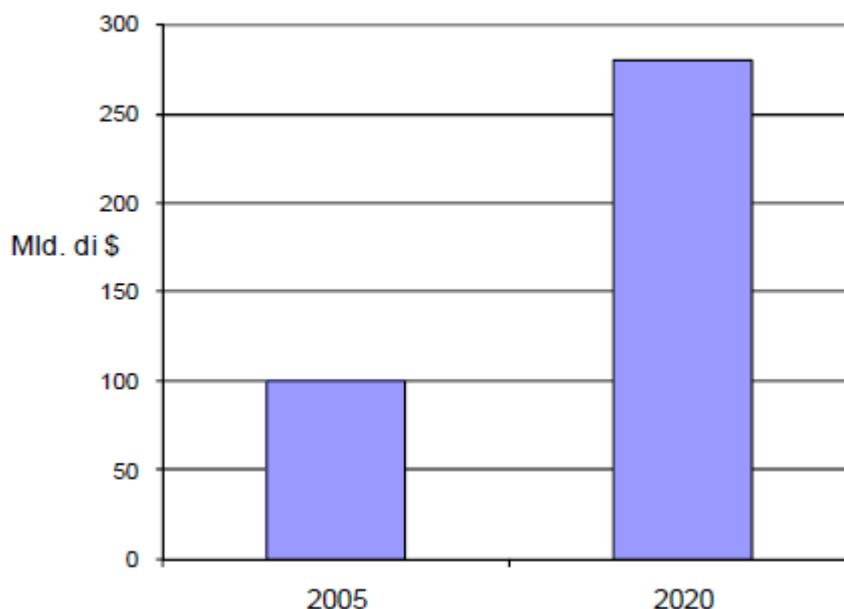


Figura 3.2 - Mercato mondiale delle tecnologie per le fonti rinnovabili. 2005-2020 (fonte: Green Inc., Kate Galbraith, "In Europe, Wind and Solar Feel Financial Crisis").

L'espansione del settore costituisce quindi un'opportunità di sviluppo industriale basato sulla crescita di attività e prodotti innovativi, a forte intensità di capitale e con un rilevante impatto occupazionale. In Italia si è assistito negli ultimi anni a una forte crescita della capacità produttiva degli impianti da fonti rinnovabili, soprattutto per quanto concerne le tecnologie eolica e fotovoltaica (Tabella 3.1).

	2004	2005	2006	2007	2008	Incremento medio annuo (%)
Idrica	17056	17356	17412	17458	17623	1%
Eolica	1131	1639	1908	2714	3537	33%
Fotovoltaica	7	7	7	87	431	385%
Geotermica	681	711	711	711	711	1%
Biomassa e RSU	1347	1195	1256	1337	1555	4%
Totale	20222	20908	21294	22307	23857	4%

Tabella 3.1 - Potenza efficiente lorda degli impianti da fonte rinnovabile in Italia (GW).

3.1 Lo scenario mondiale

L'incidenza delle diverse fonti energetiche sull'offerta mondiale totale di energia primaria nel 2007, equivalente a 12.026 Mtep (Renewables Information 2009 - International Energy Agency), è stata del 34% per il petrolio, del 26,4% per il carbone, del 20,9% per il gas naturale, del 5,9% per l'energia nucleare e del 12,4% per le fonti energetiche rinnovabili. Queste ultime hanno consentito di produrre complessivamente 1.492 Mtep di energia primaria, di cui la quota più grande derivante dall'uso di biomassa solida, pari al 9,3% dell'offerta mondiale ed al 73% del totale da rinnovabili. L'idroelettrico e la geotermia sono rispettivamente la seconda e la terza fonte energetica di tipo rinnovabile in termini di apporto energetico, con quote nel 2007 rispettivamente di 2,2% e 0,4% dell'offerta mondiale totale di energia primaria e di 17,7% e 3,3% dell'intera offerta da fonti rinnovabili (ENEA 2010).

Il solare, l'eolico e l'energia mareomotrice incidono sul totale dell'offerta di energia primaria globale con una quota pari a 0,2% ed una pari a 1,6% su quella costituita dalle sole rinnovabili. L'eolico, nonostante gli attuali livelli di produzione ancora ridotti, ha avuto dal 1990 al 2007 un tasso medio annuo di crescita dell'offerta pari al 25%, mostrando il più forte scostamento rispetto a quello di crescita media annua dell'offerta mondiale di energia primaria da fonti rinnovabili nello stesso periodo, che è invece pari ad 1,7% (figura 1.3). Seguono il segmento composto da biomassa liquida, rifiuti urbani e biogas e quello composto da solare fotovoltaico e solare termico, con tassi di crescita media annua dal 1990 al 2007 pari rispettivamente a 10,4% ed a 9,8%. Il settore geotermico e quello idroelettrico mostrano invece dei tassi di crescita media annua più ridotti ed equivalenti rispettivamente a 2,2% ed a 2,1%. La biomassa solida, finora la principale fonte di tipo rinnovabile per la produzione di energia primaria, mostra nel periodo considerato un tasso di crescita medio annuo pari ad 1,2%, inferiore a quello medio annuo di crescita dell'offerta di energia primaria da rinnovabili ed anche il più basso tra tutte le

fonti considerate. I principali Paesi produttori di biomassa solida sono quelli in via di sviluppo od emergenti, con una quota pari ad 85,9% della produzione totale. L'Asia da sola contribuisce per il 30,9% e l'Africa per il 27,1% del totale, mentre i Paesi OECD (cioè quelli maggiormente industrializzati aderenti all'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico) partecipano alla produzione mondiale da biomassa con una quota ben più inferiore, pari al 14,1%. Nel complesso, la crescita delle fonti energetiche rinnovabili dal 1990 al 2007 è avvenuta ad un tasso medio annuo (1,7%) di poco al di sotto di quello dell'offerta mondiale di energia primaria (1,9%, barra TPES in figura 3.3) (ENEA 2010).

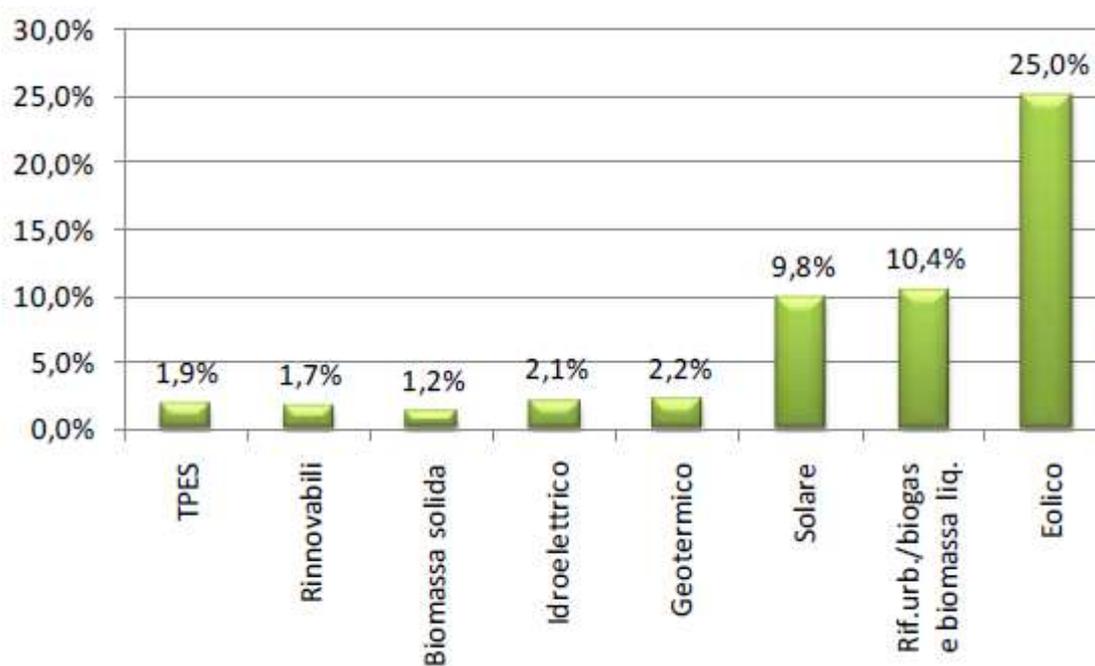


Figura 3.3 – Tassi di crescita medi annui dell'offerta mondiale di energia da fonti energetiche rinnovabili dal 1990 al 2007 (valori percentuali) (fonte: IEA – Renewables Information 2009).

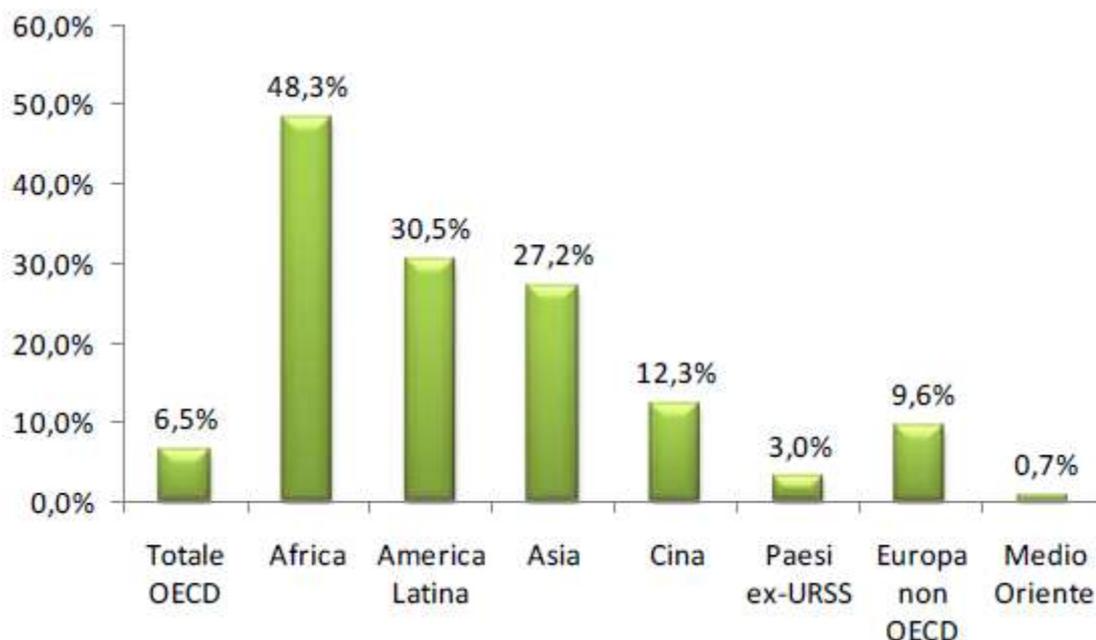


Figura 3.4 – Offerta di energia da fonti energetiche rinnovabili nel 2007: quote per area (fonte: IEA – Renewables Information 2009).

Nel 2007 le fonti energetiche rinnovabili rappresentavano solo il 6,5% della fornitura totale di energia proveniente dai Paesi OECD (figura 3.4). Se si considera solamente la produzione mondiale proveniente dall'eolico, dal solare e dalle tecnologie di sfruttamento delle maree, tutte quante definite le “nuove” energie rinnovabili, la quota dei Paesi OECD sale invece al 68,8%. Nei Paesi non-OECD la quota di energia generata da fonti rinnovabili rispetto al totale dell'offerta energetica è del 18,3% e cresce fino al 48,3% se si considera solamente L'Africa. La quota di incidenza delle fonti rinnovabili sull'offerta totale di energia in America Latina ed Asia è rispettivamente del 30,5% e del 27,2% (figura 3.4).

Per quanto riguarda i consumi per settore nel 2007 di energia da fonti rinnovabili, solamente il 24,4% nel mondo è destinato alla produzione di energia elettrica, mentre questa quota sale oltre il 50% se si considerano i soli Paesi OECD. I settori residenziale, commerciale e pubblico sono i più grandi utilizzatori di energia generata da fonti rinnovabili nel mondo con una quota del 52,3% del totale, mentre il settore industriale ne consuma il 12,3%.

Con riferimento alla produzione mondiale di energia elettrica nel 2007, la quota prodotta da fonti rinnovabili corrisponde al 17,9% della produzione totale che è invece basata essenzialmente sul carbone per il 41,6% ed in discreta parte anche sul gas per il 20,9%. Seguono il nucleare con il 13,8% ed il petrolio con il 5,7%. La quota di energia elettrica generata da fonti energetiche rinnovabili sul totale della produzione mondiale è diminuita rispetto al decennio precedente essenzialmente a causa della limitata crescita dell'idroelettrico nei Paesi OECD. Questa quota nel 1990 era del 19,5% (ENEA 2010).

Complessivamente il tasso medio annuo di crescita della produzione mondiale di energia elettrica dal 1990 è del 3,1%, che scende al 2,6% nel caso della produzione di energia elettrica dalle sole fonti rinnovabili. L'energia elettrica generata da fonti rinnovabili viene essenzialmente prodotta attraverso il settore idroelettrico, con una quota pari all'87% del totale da rinnovabili e corrispondente al 15,6% della produzione mondiale di energia elettrica nel 2007. In tale anno, a livello mondiale, solo una ridotta parte di energia elettrica è stata prodotta attraverso le altre fonti rinnovabili, tra queste essenzialmente il solare, l'eolico ed il geotermico, con una quota complessiva dell'1,2% della produzione mondiale. Hanno inciso per un totale dell'1,1% rispetto alla produzione mondiale di energia elettrica nel 2007 le rinnovabili combustibili ed i rifiuti, tra cui anche la biomassa solida.

Dalla metà degli anni 90, si è assistito ad una maggiore crescita della produzione totale di energia elettrica nei Paesi non-OECD rispetto ai Paesi OECD, compresa quella generata da fonti rinnovabili. I tassi medi annui di crescita dal 1990 della produzione di energia elettrica "verde" per i Paesi non-OECD e quelli OECD sono rispettivamente pari a 3,9% ed a 1,3%. Nel futuro è possibile che questo maggiore aumento della produzione di energia elettrica dei Paesi non-OECD rispetto a quelli OECD permanga, sia per i quantitativi complessivamente generati e sia per quelli provenienti dalle sole fonti energetiche rinnovabili (ENEA 2010).

3.2 Lo scenario europeo

La quantità di energia rinnovabile consumata nei Paesi dell'Unione Europea raggiunge nel 2008 quota 147,7 Mtep, aumentando di 9,2 Mtep rispetto all'anno precedente. La quota da rinnovabili dei consumi di energia primaria sale a 8,2% nel 2008 dal 7,7% nel 2007. Il Paese che ha contribuito maggiormente a questo incremento è l'Italia con 2,6 Mtep in più rispetto al 2007, grazie al forte aumento della produzione dei settori biomassa solida e biocarburanti, oltre al considerevole contributo dell'idroelettrico. Segue la Francia, con un aumento di 2,1 Mtep attribuibile al settore idroelettrico e ai biocarburanti, mentre al terzo posto è il Regno Unito con 0,7 Mtep aggiuntivi, derivanti principalmente dai biocarburanti. Osservando il contributo dei singoli settori all'aumento di produzione di energia rinnovabile Nell'Unione Europea, quello della biomassa solida è il principale responsabile con una crescita di 2,9 Mtep, di cui gran parte attribuibile alla produzione italiana (+1,3 Mtep). Seguono i settori dei biocarburanti con 2,6 Mtep in più, l'idroelettrico (+1,4 Mtep) e l'eolico (+ 1,2 Mtep). Osservando l'incidenza in termini percentuali che le singole fonti hanno avuto sul totale dell'energia primaria rinnovabile consumata nel 2008, si nota chiaramente la netta prevalenza della biomassa con una quota del 66,1%, che non evidenzia variazioni rispetto all'anno precedente.

La seconda fonte in termini di rilevanza sui consumi di energia rinnovabile è l'idroelettrico con una quota del 21,2%, leggermente in calo rispetto all'anno precedente (21,6%). Segue l'eolico, che nel 2008 ha raggiunto quota 6,9% (era 6,5% nel 2007), il geotermico, di poco in diminuzione con il 4,7% (4,9% nel 2007), ed il solare (termico e fotovoltaico) con una quota pari a 1,2% dei consumi totali che, seppur in netta inferiorità rispetto alle altre fonti rinnovabili, mostra una leggera crescita rispetto al 2007 (0,9%). Nonostante l'aumento dei consumi totali di energia primaria da fonti rinnovabili, il target europeo di incrementare al 12% la loro quota rispetto ai

consumi totali di energia entro il 2010 non verrà probabilmente raggiunto (Euroobserver Report, 2009).

Con riferimento alla quantità di energia elettrica prodotta dai Paesi dell'Unione Europea durante il 2008 attraverso l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, si evidenzia un aumento del 7,9% rispetto al 2007 che è riconducibile essenzialmente a Paesi quali Italia (+10,2 TWh) e Francia (+9 TWh). L'incremento complessivo nel 2008 corrisponde a circa 40,9 TWh in più e ad un totale di energia elettrica prodotta da fonti "verdi" pari a 558,4 TWh rispetto ai 517,5 TWh dell'anno prima. L'aumento più consistente è avvenuto nel settore idroelettrico con 18,4 TWh prodotti in più nel 2008, seguito dall'eolico con un aumento di 13,6 TWh. Il settore della biomassa ha permesso di produrre ulteriori 5,8 TWh rispetto all'anno precedente, di cui 5 da biomassa solida ed infine il solare con 3,2 TWh in più. I pesi in termini percentuali che le singole fonti rinnovabili hanno avuto nel 2008, relativamente alla produzione totale di energia elettrica dei Paesi UE, variano notevolmente tra loro. L'idroelettrico nel 2008 è stato ancora il settore dominante con una quota dell'energia elettrica prodotta pari al 59,5% del totale, in calo peraltro rispetto al 2007 (60,6%). La seconda fonte rinnovabile per la produzione di energia elettrica nei Paesi UE è l'eolico con una quota, leggermente in aumento rispetto all'anno precedente, pari a 21,1%. Segue il settore delle biomasse, di poco in calo sul 2007 con il 17,1%, il solare con l'1,3%, pari a quasi il doppio della quota del 2007 e, infine, il settore geotermico con una percentuale dell'1%, rimasta essenzialmente identica a quella del 2007.

In conclusione nel 2008 i 27 Paesi UE mostrano collettivamente un livello di penetrazione delle fonti rinnovabili sui consumi di energia elettrica pari al 16,4% del totale (15,3% nel 2007) distando ancora 4,6 punti percentuali dall'obiettivo (Euroobserver Report, 2009).

3.2.1 La Direttiva FER del 2009

I punti maggiormente innovativi introdotti dalla Direttiva riguardano la scelta e la divisione tra i Paesi membri dell'obiettivo europeo del 20% al 2020, il ruolo della garanzia d'origine come base per la creazione di un mercato europeo delle fonti rinnovabili ed il sotto-obiettivo di contributo delle fonti rinnovabili nel settore dei trasporti.

Divisione degli oneri ed obiettivi nazionali

L'adozione di un target europeo di contributo delle fonti rinnovabili al 20% entro il 2020 è declinato nella nuova Direttiva con alcune novità rispetto all'impianto precedente di promozione delle FER.

- Innanzitutto l'obiettivo di sviluppo è trasposto negli stati nazionali sul totale dei consumi energetici e non più soltanto nel settore elettrico, come in precedenza in base alla Direttiva 77/2001. Questo ne aumenta la complessità ma anche l'efficacia rendendo l'obiettivo direttamente collegato alle politiche nazionali di efficienza energetica.

- Il target nazionale non è più indicativo ma vincolante, anche se la violazione degli obiettivi da parte degli Stati membri non si traduce in un meccanismo sanzionatorio automatico ma nella discrezionalità della Commissione di aprire una procedura d'infrazione.

- All'interno del target complessivo è inserito un sotto-obiettivo vincolante di promozione delle rinnovabili nel settore dei trasporti corrispondente al 10%.

- Il target complessivo è assegnato ai singoli Stati membri con una metodologia di divisione degli oneri che non è basata sui potenziali fisico-economici di sviluppo ma in base ad un principio duplice di uguale onere per ciascun Paese da un lato e di solidarietà economica dall'altro.

- Il target viene monitorato attraverso la predisposizione di piani d'azione nazionali verificati dalla Commissione.

La nuova Direttiva 2009/28/CE rappresenta una tappa del percorso di integrazione sopra accennato. Assegnare un obiettivo per il totale delle fonti rinnovabili in tutti i settori permette da un lato di inglobare in un unico testo normativo l'aggiornamento della Direttiva 77/2001 per la promozione delle rinnovabili nei mercati interni di energia elettrica e della Direttiva 30/2003 sulla promozione dei biocombustibili ed altre fonti alternative nel settore dei trasporti, dall'altro di estendere la promozione di rinnovabili nel settore del calore e del raffreddamento sino ad ora, di fatto, prive di un indirizzo quadro a livello comunitario. Gli obiettivi percentuali inevitabilmente interagiscono con le dinamiche di consumi e dunque si intersecano con le politiche di risparmio energetico. Una sfida ulteriore.

Presentare ed approvare una simile Direttiva, che evidentemente tocca molteplici interessi in un testo unico, è indice di autorevolezza e capacità di governo da parte di Bruxelles. Tuttavia la trasposizione delle Direttive negli ordinamenti degli Stati Nazionali incontrerà in diversi casi ostacoli di non facile soluzione e previsione a seconda dei livelli di indipendenza, convinzione e conoscenza da parte dei diversi Governi.

La scelta di un obiettivo vincolante, pur privo di un meccanismo sanzionatorio automatico, è un ulteriore segno di un rafforzamento della politica della Commissione. Nel dibattito l'Europa ha rigettato senza troppa esitazione la proposta italiana di revisione degli obiettivi al 2014. Già nel 2001, in occasione dei lavori per la Direttiva 77/2001, era stata proposta l'adozione di un obiettivo vincolante in percentuale sul consumo interno lordo di energia elettrica ma il testo finale veniva approvato con l'inclusione di obiettivi unicamente indicativi, lasciando ad una futura valutazione l'opportunità di rendere più vincolante il rispetto dei target. In occasione della valutazione dei risultati della Direttiva 77/2001, la Commissione ha tracciato un bilancio del progresso degli Stati membri in relazione agli obiettivi. La conclusione è stata che gli sforzi in atto in Europa sembrano essere in grado di garantire una penetrazione delle fonti rinnovabili al 19% del consumo interno

lordo del sistema elettrico a fronte di un obiettivo indicativo del 21% e di un punto di partenza nel 1997 del 12,9%. La valutazione della Commissione, pur constatando uno sviluppo delle FER inferiore alle attese, è una chiara conferma dell'utilità di fissare degli obiettivi quantitativi quale elemento strutturale per orientare le politiche dei diversi Stati membri. Con la nuova Direttiva l'obbligo è posto al 20% del consumo lordo finale di energia dell'Unione Europea e comprende un obiettivo minimo di copertura da fonti rinnovabili nel settore dei trasporti, prevalentemente biocombustibili, del 10%. Mentre per quest'ultimo target si prevede un eguale onere percentuale per ciascun Paese membro, per la suddivisione degli obiettivi complessivi di sviluppo delle FER la Commissione Europea ha proposto una metodologia specifica.

3.3 Lo scenario in Italia

Nel 2008 le fonti rinnovabili di energia hanno contribuito complessivamente al consumo interno lordo (CIL) italiano per una percentuale di poco superiore al 9,6%. In tabella 1.2 viene esplicitato il contributo energetico delle diverse fonti rinnovabili in termini di equivalente fossile sostituito. Complessivamente nel 2008 si è avuto un aumento della produzione da fonti rinnovabili in Italia del 18% (+2.860 ktep) circa rispetto a quella del 2007 (15.641 ktep).

Tabella 3.1 – Energia da rinnovabili in equivalente fossile sostituito (ktep) (ENEA).

Fonti energetiche	2000	2005	2006	2007	2008
Idroelettrica ¹	9.725	7.935	8.139	7.219	9.157
Eolica	124	515	654	888	1.069
Solare fotovoltaico	4	7	11	26	99
Solare termico	11	21	29	39	56
Geotermia	1.248	1.384	1.429	1.438	1.427
Rifiuti ²	461	1.501	1.672	1.734	1.784
Legna ed assimilati ³	2.344	3.153	3.328	3.710	3.883
Biocombustibili	95	172	155	174	567
Biogas	162	343	383	415	459
Totale	14.173	15.033	15.798	15.641	18.501
di cui non tradizionali ⁴	2.046	4.556	4.964	5.334	6.210

1 Solo energia elettrica da apporti naturali valutata a 2200 kcal/kWh.

2 Inclusa la parte organica.

3 Non include risultato indagine ENEA sul consumo di legna da ardere nelle abitazioni.

4 Eolico, solare, rifiuti, legna (esclusa la legna da ardere), biocombustibili, biogas.

* Dati provvisori.

Si noti come l'incremento percentualmente più significativo, pur restando su valori assoluti molto bassi, provenga da fonti non tradizionali quali l'eolico, il fotovoltaico, i rifiuti e le biomasse (legna, biocombustibili, biogas) che passano, sul totale delle rinnovabili, da poco più del 14% del 2000 al 34% del 2008. Un esame del contributo energetico, in termini di ktep di energia primaria sostituita, fornito negli ultimi cinque anni da alcune tipologie di fonti rinnovabili evidenzia gli andamenti che seguono:

- l'idroelettrico, che fornisce la quota più rilevante, è caratterizzato da una forte fluttuazione da attribuire a fattori di criticità;

- la geotermia mostra un contributo relativamente costante, che nel periodo considerato oscilla intorno a 1,4 Mtep;

- per quanto riguarda le altre rinnovabili, si evidenzia nel 2008 il buon incremento della produzione eolica (+20%) e la sorprendente crescita dei biocombustibili (+227%). Meno marcati invece gli aumenti di biomassa

legnosa (+5%) che si attesta su valori ancora lontani da quelli tipici dei Paesi europei, dei rifiuti (+3%) e dei biogas (+11%);

- molto bene inoltre le produzioni da fonti solari quali il solare termico (+44%) e il fotovoltaico (quasi quattro volte rispetto al 2007).

3.4 Le rinnovabili a livello locale

I dati 2000-2008 sulla produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili consentono di analizzare la dinamica di sviluppo nelle singole regioni. Si coglie la crescita della produzione da fonte eolica, concentrata quasi esclusivamente (98,4% nel 2008) nelle regioni meridionali e si evidenzia lo sviluppo significativo della generazione elettrica con biomasse in modo diffuso un po' in tutto il Paese (+209% nel Nord, +248% nel Centro e +820% nel Sud). Il consolidamento del ruolo della generazione da fonte geotermoelettrica riguarda esclusivamente la Toscana. La tabella 1.3 riporta i dati corrispondenti con l'analisi del peso della produzione 2000-2008 ripartito tra le regioni, la variazione della produzione in termini assoluti e percentuali, e la copertura del Consumo Interno Lordo espressa in termini percentuali. I dati mostrano una forte crescita (+141%) nelle regioni meridionali che porta ad un aumento del peso nella produzione nazionale dall'8 al 17%. Rilevante per le regioni settentrionali, la diminuzione del peso nella produzione nazionale, che passa da circa tre quarti a due terzi. Relativamente stabile la produzione e il ruolo delle regioni del Centro, dove l'aumento della produzione geotermoelettrica in Toscana ha controbilanciato la riduzione dell'idroelettrico nell'area. La Lombardia mantiene il ruolo di principale produttrice di energia elettrica da fonti rinnovabili con una quota di circa un quinto della produzione nazionale, seguita da Trentino Alto Adige, Toscana e Piemonte, che nel 2008 hanno, ciascuna, un peso tra il 16 e il 10% della produzione nazionale. Val

d'Aosta e Veneto hanno un peso della produzione tra il 10 e il 5%, mentre tutte le altre regioni hanno un peso inferiore al 4%. Gli incrementi più significativi si sono registrati nelle regioni meridionali: Sicilia (+1112%), che ha più che decuplicato la propria produzione, Puglia (+564%), Molise (+244%), Sardegna (+230%), Basilicata (+171%), e Calabria (+124%). Sempre significativi gli incrementi registrati in Campania (+79%) ed Emilia Romagna (+65%). Valori di crescita inferiori al 27% nelle altre regioni, con valori negativi in tre regioni in cui ha prevalso il calo dell'idroelettrico. A livello nazionale la quota di Consumo Interno Lordo di energia elettrica coperto da fonti rinnovabili, che nel 2000 era al 16,1%, nel 2008 è passata al 16,7%: al Nord il valore è calato dal 21,8 al 20,5%. Al centro un calo più contenuto: dal 15,6 al 15,1%; mentre al Sud si è avuto un raddoppio dal 4,9 al 10,1%. Al vertice si trovano le due piccole regioni alpine, con valori oltre il 200% in Val d'Aosta, e oltre il 100% in Trentino Alto Adige. Nel 2008, Toscana, Calabria, Molise, Abruzzo e Piemonte si collocano oltre il 20%; e Basilicata, Umbria, Friuli, Veneto e Lombardia oltre il 10%. La produzione idroelettrica nel 2008 ha fatto registrare un calo di 2,7 TWh, rispetto al 2000: una riduzione del 6,2%, che è superiore a quella delle regioni del Nord (-4,5%), più marcato il calo nel Sud (-10%) e molto più marcato nelle regioni del Centro (-18,6%).

	Produzione 2000 e ripartizione % tra le regioni		Produzione 2008 e ripartizione % tra le regioni		2000-2008 variazione della produzione		% CIL coperto da rinnovabili 2000 e 2008	
	(GWh)	(%)	(GWh)	(%)	(GWh)	(%)	2000	2008
Piemonte	6.444	12,5	6.095	10,2	-349	-5,4	22,4	20,3
Val d'Aosta	2.841	5,5	2.850	4,8	9	0,3	276,4	235,2
Lombardia	11.585	22,5	12.777	21,4	1192	10,3	17,2	17,5
Trentino AA	10.354	20,1	9.355	15,7	-999	-9,6	180,1	135,6
Veneto	4.189	8,1	4.513	7,6	324	7,7	13,6	13,1
Friuli VG	1.564	3,0	1.980	3,3	416	26,6	16,5	17,7
Liguria	267	0,5	332	0,6	65	24,2	3,5	4,2
Emilia R.	1.251	2,4	2.062	3,5	811	64,8	4,9	6,8
Toscana	5.545	10,8	6.465	10,8	920	16,6	26,6	28,3
Umbria	1.612	3,1	1.225	2,1	-387	-24,0	27,3	18,8
Marche	507	1,0	575	1,0	68	13,4	7,2	7,2
Lazio	1.182	2,3	1.307	2,2	125	10,6	5,2	5,0
Abruzzo	1.577	3,1	1.583	2,7	6	0,4	24,1	20,7
Molise	148	0,3	510	0,9	362	244,5	10,6	28,3
Campania	827	1,6	1.478	2,5	651	78,7	4,5	7,0
Puglia	328	0,6	2.180	3,6	1852	564,5	1,8	9,9
Basilicata	196	0,4	532	0,9	336	171,2	7,5	17,2
Calabria	714	1,4	1.601	2,7	887	124,2	12,4	22,6
Sicilia	99	0,2	1.201	2,0	1102	1112,6	0,5	5,0
Sardegna	335	0,6	1.104	1,8	769	229,6	2,9	7,9
NORD	38.495	74,7	39.962	66,9	1467	3,8	21,8	20,5
CENTRO	8.846	17,2	9.571	16,0	725	8,2	15,6	15,1
SUD	4.224	8,2	10.187	17,1	5963	141,2	4,9	10,1
ITALIA	51.565	100,0	59.720	100,0	8155	15,8	16,1	16,6

Tabella 3.2 – Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili nelle regioni italiane (fonte: elaborazioni REF).

La produzione di energia elettrica tramite impianti alimentati da biomasse è quasi quadruplicata dal 2000 al 2008, come è possibile vedere dalla figura 3.3, passando da poco meno di 2 TWh a poco più di 7,5 TWh. Il peso della produzione dal 2000 al 2008 ha visto una riduzione del ruolo delle regioni settentrionali, che è passato dal 75,7% al 59,7%, il Centro ha mantenuto il proprio peso intorno all'11%, mentre è più che raddoppiato il ruolo delle regioni meridionali passando dal 12,8% al 30,1%. La Lombardia è la regione con la più importante produzione: ha mantenuto dal 2000 al 2007 la prima posizione con circa un terzo della generazione da biomasse a livello nazionale. Seguono l'Emilia Romagna con peso del 14,7%, e la Calabria con la Puglia all'11% nel 2008. Contribuiscono con valori tra il 6 e il 4% Veneto, Lazio e Piemonte, mentre si collocano con valori inferiori al 4% tutte le altre tredici regioni.

Gli incrementi più significativi della produzione dal 2000 al 2008, dopo la Lombardia (+1,6 TWh), si sono registrati in Calabria (quasi +0,8 TWh) e in Emilia Romagna e Puglia con (+0,7 TWh). Significativi anche gli incrementi in altre nove regioni che oscillano tra i 50 e i 300 GWh annui in più nel 2008 rispetto al 2000. Un quadro che conferma quanto già osservato, circa l'omogeneità sotto il profilo territoriale nel rilevante sviluppo della produzione di energia elettrica da biomasse nel periodo considerato. Tale incremento si è distribuito per il 54% nelle regioni settentrionali, per il 10% nelle quattro regioni del Centro e per il restante 36% nell'area del Sud.

4. LE AGROENERGIE

Il comparto delle agroenergie è peculiare rispetto all'intero settore delle FER. Innanzitutto, a differenza delle altre rinnovabili, queste tecnologie prevedono l'impiego di combustibili, con una serie di vantaggi e svantaggi rispetto alle altre fonti. Tra i primi vi è sicuramente la continuità produttiva e la possibilità di stoccaggio, impossibili per eolico e solare. Gli svantaggi sono dati, invece, dalla possibile criticità del *fuel procurement*, soprattutto per gli impianti di maggiore taglia e non integrati. In ogni caso, il *fuel risk* è ridotto rispetto alle tradizionali fonti fossili, sia perché parte del feedstock è di provenienza nazionale, sia perché il mix di possibili combustibili è assai più diversificato.

La produzione di agroenergie può consentire un'integrazione tra produzione agricola e generazione di energia, grazie anche al riutilizzo dei sottoprodotti. Questa integrabilità con le produzioni agricole consente, più di altre fonti, di avere una connotazione locale degli impianti, che sono in gran parte medio-piccoli. Il comparto assume, quindi, il carattere di generazione distribuita, con una marcata vicinanza al territorio. Per questa ragione le agroenergie in Italia possono essere considerate, più di altre FER, una vera e propria filiera.

Il settore ha anche significative ricadute occupazionali per il nostro Paese. Si stima che gli addetti siano complessivamente circa 25.000; il solo comparto del biogas occuperebbe circa 3.500 addetti, che raddoppiano considerando l'indotto agricolo (Althesys, 2011).

Le caratteristiche impiantistiche e i volumi di biomassa necessari favoriscono naturalmente le installazioni di piccola e media taglia rispetto alle grandi centrali. Le ragioni risiedono non solo nella complessità e negli impatti, anche ambientali, degli approvvigionamenti di combustibile, ma anche nella accettabilità sociale degli insediamenti. Se da un lato questo riduce le economie di scala, dall'altro favorisce il ricorso ad una filiera più corta,

riducendo i costi economici ed ambientali di trasporto e permettendo una effettiva integrazione tra produzione energetica ed attività agricole.

Inoltre, a differenza di altre FER, le bioenergie aiutano anche a gestire in maniera più efficiente alcuni residui agricoli e industriali, valorizzando i sottoprodotti, sia in termini di energia che in termini, in alcuni casi, di fertilizzanti. Ciò assicura nuove fonti di introiti per le aziende agricole e agroalimentari e permette loro di differenziare le proprie attività senza sacrificare eccessivamente le risorse destinate al core business.

4.1 Definizione e classificazione delle biomasse

“Biomassa” è un termine che riunisce una grande quantità di materiali, di natura estremamente eterogenea. In forma generale, si definisce biomassa tutto ciò che possiede matrice organica e che deriva da processo di organicazione fotosintetica della CO₂, con esclusione delle plastiche e dei materiali fossili (Foti e Cosentino, 2001). La biomassa utilizzabile ai fini energetici consiste in tutti quei materiali organici che possono essere utilizzati direttamente come combustibili, ovvero trasformati in altre sostanze (solide, liquide o gassose) di più facile utilizzo, negli impianti di conversione. Altre forme di biomassa possono, inoltre, essere costituite dai residui delle coltivazioni destinate all'alimentazione umana o animale (paglia), o piante espressamente coltivate per scopi energetici. Le più importanti tipologie di biomassa sono residui forestali, scarti dell'industria di trasformazione del legno (trucioli, segatura, ecc.), scarti delle aziende zootecniche, scarti mercatali e rifiuti solidi urbani (Foti e Cosentino, 2001).

La direttiva 2003/30/CE per la promozione delle agroenergie definisce “biomassa” “la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti urbani e industriali”. Con il termine biomassa si intendono in particolare sostanze di

origine biologica: materiali e residui di origine agricola e forestale, prodotti secondari e scarti dell'industria agro-alimentare, i reflui di origine zootecnica, ma anche i rifiuti urbani (in cui la frazione organica raggiunge mediamente il 40% in peso), le alghe e molte specie vegetali utilizzate per la depurazione di liquami organici. In base all'origine si può suddividere in Naturale, Residuale o Dedicata.

La classificazione merceologica delle biomasse è regolamentata dal decreto del presidente del consiglio dei ministri dell'8 marzo 2002:

- a) Materiale vegetale prodotto da coltivazioni dedicate;
- b) Materiale vegetale prodotto dal trattamento esclusivamente meccanico di coltivazioni agricole non dedicate;
- c) Materiale vegetale prodotto da interventi selvicolturali, da manutenzione forestali e da potatura;
- d) Materiale vegetale prodotto dalla lavorazione esclusivamente meccanica del legno vergine e cascami di legno vergine, granulati e cascami di sughero vergine, tondelli, non contaminati da inquinanti, aventi le caratteristiche previste per la commercializzazione e l'impiego;
- e) Materiale vegetale prodotto dalla lavorazione esclusivamente meccanica dei prodotti agricoli, avente le caratteristiche previste per la commercializzazione e l'impiego.

Come si evince dalla classificazione sopra riportata al termine "biomassa" vengono ascritte diverse tipologie di materiale. Per quanto riguarda la biomassa ottenuta da colture dedicate queste possono essere arboree o erbacee. Vengono definite colture erbacee da energia le specie vegetali coltivate a ciclo annuale o poliennale, il cui prodotto, in genere definito biomassa, direttamente o indirettamente sottoposto a processi di trasformazione industriale, sia in grado di fornire energia attraverso processi di combustione (Foti *et al.*, 2001).

La biomassa è ampiamente disponibile ovunque e rappresenta una risorsa locale, pulita e rinnovabile. Fra le fonti rinnovabili, le biomasse rappresentano una delle soluzioni più interessanti nella ricerca di nuove risorse energetiche rinnovabili, nel breve-medio periodo, per almeno tre ragioni:

- possibilità di produrre energia con investimenti relativamente modesti;
- costituire un'alternativa alle colture tradizionali non in grado di reggere la concorrenza di un mercato ormai globalizzato;
- immagazzinare quantità rilevanti di carbonio nel suolo (e quindi usufruire dei *certificati verdi*, cioè bonus economici scaturiti dal Protocollo di Kyoto). Ad esempio, relativamente a quest'ultimo punto, è stato mostrato che, dopo 5 anni di impianto di Panicum (*Panicum v.*), circa il 25% del carbonio presente nel terreno proveniva dalla coltura, che lo aveva sottratto all'atmosfera attraverso la fotosintesi (Garten & Wüllschleger, 2000).

La maggior parte delle biomasse presenti sulla Terra è di origine vegetale, infatti solo circa il 10% è di origine animale. L'attenzione da parte della ricerca nell'impiego di tale materia prima è rivolta pertanto alla biomassa di origine vegetale. La biomassa vegetale viene prodotta sfruttando l'energia solare mediante il processo di fotosintesi clorofilliana ed è disponibile in varie forme: foreste, colture, residui dell'industria agroalimentare e agroindustriale, o dalla componente organica proveniente dalla raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani (RSU). Le biomasse costituiscono una delle più importanti risorse a disposizione dell'uomo come fonte rinnovabile di alimenti, energia e materie prime. L'importanza del loro sfruttamento è dovuta soprattutto alle emissioni di CO₂ nette evitabili dal momento che questo gas (noto per gli effetti serra) viene riassorbito per generare attraverso la fotosintesi nuova biomassa. A tal proposito intervengono gli obiettivi di sviluppo della bioenergia che si inquadrano nell'ottica di soddisfare gli impegni

internazionali assunti dall'Italia nell'ambito della Conferenza di Kyoto per le emissioni di gas serra.

4.2 Classificazione delle colture da biomassa

Le specie utilizzabili per la produzione di biomassa devono avere come principale valenza agronomica un elevato tasso di crescita, non essendo richieste altre particolari caratteristiche qualitative del prodotto. E' consigliabile orientarsi negli ambienti mediterranei verso quelle specie che manifestino particolare adattabilità e tollerabilità alle varie situazioni sia pedoclimatiche che biologiche (resistenza ai vari infestanti, parassiti, agenti patogeni) che possono ridurre l'efficienza produttiva. Per questo motivo si ritiene che specie autoctone possano garantire meglio di altre i risultati attesi.

Le colture da biomassa vengono convenzionalmente divise in tre filiere:

- **ligno-cellulosica**, di cui fanno parte le colture da biomassa e i residui delle coltivazioni;
- **colture da biocombustibili** che si suddivide in colture oleaginose, come colza e girasole, e colture zuccherine, come la canna da zucchero;
- **biogas**, che si ottiene dalla fermentazione dei residui di origine animale o delle sostanze organiche, presenti nelle tonnellate di immondizia ammassate all'interno delle discariche (Iaboni e De Stefanis, 2003).

Le biomasse idonee alla trasformazione energetica, sia che essa avvenga utilizzando direttamente la biomassa o previa trasformazione della stessa in un combustibile solido, liquido o gassoso, possono essere inoltre suddivise per comparto di provenienza nei seguenti settori:

- **Comparto forestale e agroforestale:** residui delle operazioni selvicolturali o delle attività agroforestale, utilizzazione di boschi cedui, ecc.;
- **Comparto agricolo:** residui colturali provenienti dall'attività agricola e dalle *colture dedicate* di specie lignocellulosiche, piante oleaginose (per l'estrazione di oli e la loro trasformazione in biodiesel), piante alcoligene (per la produzione di bioetanolo);
 - **Comparto zootecnico:** reflui zootecnici per la produzione di biogas;
 - **Comparto industriale:** residui provenienti dalle industrie del legno o dei prodotti in legno e dell'industria della carta, nonché residui dell'industria agroalimentare;
 - **Rifiuti urbani:** residui delle operazioni di manutenzione del verde pubblico e frazione umida di rifiuti solidi urbani.

4.3 Il comparto dei biocarburanti

La direttiva 2003/30 CE recepita in Italia dalla d.lgs. del 30 maggio 2005 n. 188 ed attuata tramite la legge Nazionale n. 81 del 11.03.2006, suddivide i biocarburanti nelle seguenti diverse tipologie:

- *biodiesel*, estere metilico ricavato da un olio vegetale o animale, di tipo diesel ;
- *bioetanolo*, etanolo ricavato dalla biomassa e/o dalla parte biodegradabile dei rifiuti;
- *biogas*, gas combustibile o miscela di vari gas combustibili prodotti durante la fermentazione batterica in anaerobiosi dei residui organici animali o vegetali;

- *biometanolo*, metanolo ricavato dalla biomassa;
- *biodimetiletere*, etere dimetilico ricavato dalla bio massa;
- *bio-ETBE*, etil-ter-butil-etere prodotto partendo da bioetanolo, la percentuale in volume considerata biocarburante è del 47%.
- *bio-MTBE*, metil-ter-butil-etere prodotto partendo biometanolo, in cui la percentuale in volume considerata biocarburante è del 36%.
- *biocarburanti sintetici*, idrocarburi sintetici o miscele di idrocarburi sintetici prodotti a partire dalla biomassa;
- *bioidrogeno*, idrogeno ricavato dalla biomassa;
- *olio vegetale puro*, olio vegetale prodotto piante oleaginose mediante pressione, estrazione, o processi analoghi, grezzo o raffinato ma chimicamente non modificato.

Con biocarburante si intende un carburante liquido o gassoso utilizzato nei trasporti, ottenuto generalmente da biomasse; peraltro, esistono anche altri carburanti, diversi dai biocarburanti, originati da fonti energetiche rinnovabili differenti dalle biomasse. I biocarburanti si possono suddividere in tre sottocategorie a seconda del feedstock utilizzato:

- biocarburanti di *prima generazione*: ottenuti a partire da piante alimentari. Sono ad esempio biocarburanti di prima generazione l'etanolo ottenuto dal grano, il biodiesel ottenuto da oli vegetali grezzi, e comunque tutti i biocarburanti derivanti da coltivazioni food o feed (ovvero colture alimentari o per mangimi animali);
- biocarburanti di *seconda generazione*: derivati da materie prime non alimentari. Ovvero piante ligno-cellulosiche, che grazie ai processi di seconda generazione possono essere separate. La cellulosa può essere fermentata in alcol allo stesso

modo dei biofuel di prima generazione. Sono biocarburanti di seconda generazione quelli ottenuti da colture energetiche ligno-cellulosiche (ad esempio miscanto, arundo, switchgrass), gli scarti vegetali di diversa origine e l'olio da frittura esausto;

- biocarburanti di *terza generazione*: biocarburanti ottenuti dalla coltivazione su larga scala di microrganismi, come le alghe unicellulari, previa processi di estrazione dell'olio da esse prodotto.

Nella scelta tra tutti i biocarburanti definiti tali a livello europeo, in Italia si propende principalmente, attraverso precise disposizioni normative, ad impiegare il bioetanolo, il biodiesel, il bio-ETBE e il bioidrogeno; questi vengono analizzati specificatamente di seguito.

Il bioetanolo è un alcool (etilico) ottenuto mediante un processo di fermentazione di diversi prodotti agricoli ricchi di carboidrati e zuccheri quali i cereali (mais, sorgo, frumento, orzo), le colture zuccherine (bietola e canna da zucchero), frutta, patata e vinacce o in alternativa ottenuto da biomasse di tipo cellulosico, cioè dalla gran parte dei prodotti o sottoprodotti delle coltivazioni (in questo caso viene definito bioetanolo di seconda generazione). Il processo di produzione del bioetanolo genera, a seconda della materia prima agricola utilizzata, diversi sottoprodotti con valenza economica, destinabili a seconda dei casi alla mangimistica, alla cogenerazione, o riutilizzati all'interno del processo stesso. In Italia le colture utilizzabili per la produzione in massa di bio-etanolo sono il mais, la barbabietola da zucchero e il frumento; a tali prodotti corrisponde un numero ampio di catene produttive, che si diversificano nella fase successiva di raffinazione della biomassa sia per l'utilizzo del calore di processo in impianti convenzionali o combinati, sia soprattutto per l'impiego dei sottoprodotti in differenti settori di uso finale. La catena produttiva da canna da zucchero, molto diffusa in Brasile, sarebbe da preferire alle altre, ma non è praticabile alle nostre latitudini. L'etanolo ha un potere calorifico inferiore (PCI) di 27 MJ/kg (valore di riferimento indicato

nell'Allegato III "Contenuto energetico dei carburanti per autotrazione" della Direttiva 2009/28/CE) rispetto ai 43 MJ/kg circa della benzina, e una densità di 794kg/m³ contro i circa 750 kg/m³ della benzina. I consumi volumetrici sono più alti in relazione al minor contenuto energetico, anche se tale effetto è parzialmente attenuato da una migliore combustione del carburante biologico, conseguente al suo maggior numero ottanico. Le miscele vengono indicate con una E seguita da un numero che indica la percentuale in volume del biocarburante.

L'ETBE (etil-ter-butil-etero) è ottenuto dalla reazione degli alcoli etilico (etanolo) e isobutilico e viene utilizzato come additivo antidetonante nei motori a benzina; l'isobutano può provenire dai processi di cracking petrolifero o dal gas butano o naturale, di cui l'Italia ha già una certa disponibilità; inoltre gli impianti di produzione e distribuzione dell'ETBE necessitano solamente di lievi modifiche nel convertire quelli già esistenti per l'MTBE, l'analogo prodotto con metanolo di origine fossile, finora maggiormente utilizzato. L'ETBE possiede un elevato numero di ottano, ha un potere calorifico inferiore più alto rispetto all'etanolo, pari a 36 MJ/kg, e una densità di 750 kg/m³ come la benzina. L'elemento che maggiormente può interessare è la quota parte fossile, la quale è fortemente legata alle emissioni inquinanti rilasciate nell'intero ciclo di vita dei combustibili; le migliori soluzioni si hanno con la produzione da canna da zucchero, l'impiego di biomasse lignocellulosiche o paglia e con la produzione di ETBE. Ciò è anche visibile in figura 2 dove sono riportate le emissioni nette equivalenti di CO₂ in cicli FTW riportate ad un'unità di combustibile utilizzato, pesate secondo i GWP (global warming potential) dell'IPCC (1 per CO₂, 23 per CH₄, 296 per N₂O). È stato anche evidenziato il dato relativo al cosiddetto credito di emissioni, che rappresenta la quantità di CO₂ assorbita durante la crescita della biomassa di origine e che, essendo un valore da sottrarre nel bilancio complessivo dei gas climalteranti rilasciati all'ambiente, chiarisce ulteriormente la migliore sostenibilità ambientale dei biocarburanti.

Il biodiesel è un biocombustibile prodotto attraverso processi chimici in cui un olio vegetale è fatto reagire in eccesso di alcool metilico o etilico: la reazione è detta esterificazione. Gli oli vegetali sono ottenibili da piante oleaginose di diversa natura e provenienza: per le regioni a clima più temperato che caratterizzano l'Europa e l'Italia, i prodotti agricoli più interessanti sono la colza, il girasole e la soia (proteoleaginosa coltivata per le proteine e, con il residuo, olio per biodiesel). Nella filiera di produzione si hanno parecchi sottoprodotti derivati, i più importanti costituiti dal residuo della spremitura (detto pannello) e dalla glicerina prodotta durante il processo di esterificazione: il pannello è un alimento ricco di proteine e viene usato come foraggio; la glicerina potrebbe in principio essere bruciata per fornire energia al processo, ma viene impiegata come prodotto chimico per il maggior valore. Nel futuro la glicerina potrebbe essere anche usata come un sostituto per l'alcool ed i glicoli nella fabbricazione per esempio di vernici, resine e anticongelanti. Nel capitolo successivo si porrà l'attenzione su diversi aspetti riguardanti il biodiesel, a cui si rimanda.

5. IL BIODIESEL

5.1. La produzione mondiale di biodiesel

La produzione mondiale di biodiesel, nel 2009 si è attestata a 12 milioni di tonnellate, di cui 7,5 in Europa, 1,5 milioni in USA, 1,2 in Argentina, 0,9 in Brasile, 0,9 nel resto del mondo. L'Europa è quindi il leader mondiale nella produzione di biodiesel. Nell'ambito europeo Germania, Francia e Italia sono i maggiori produttori di biodiesel (Germania 2,8 milioni di tonnellate, Francia 1,8 e Italia 0,60) (Euroobserver 2009). La figura 5.1 illustra l'evoluzione delle produzioni di biocarburanti in Europa nel periodo 2000-2009.

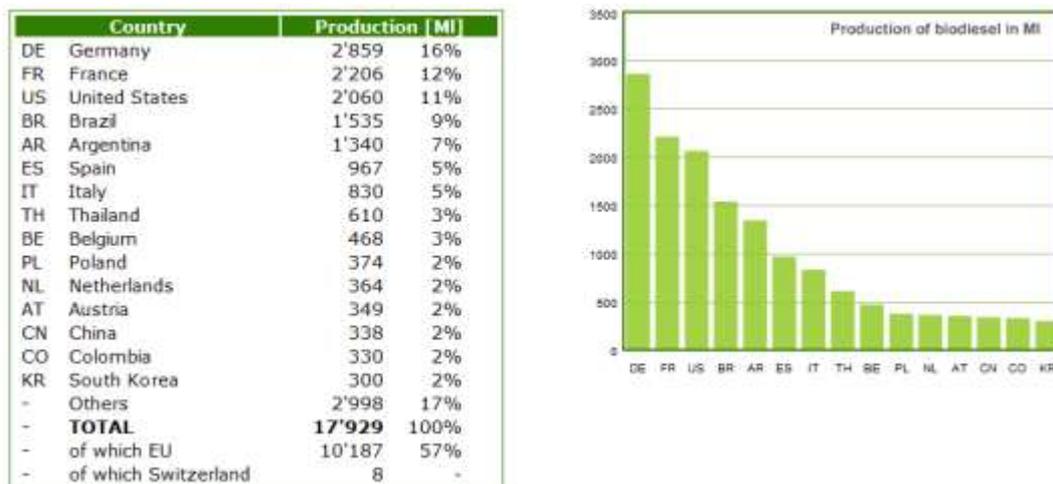


Fig.5.1 Produzione di biodiesel nel 2009.

5.2 La produzione europea di biodiesel

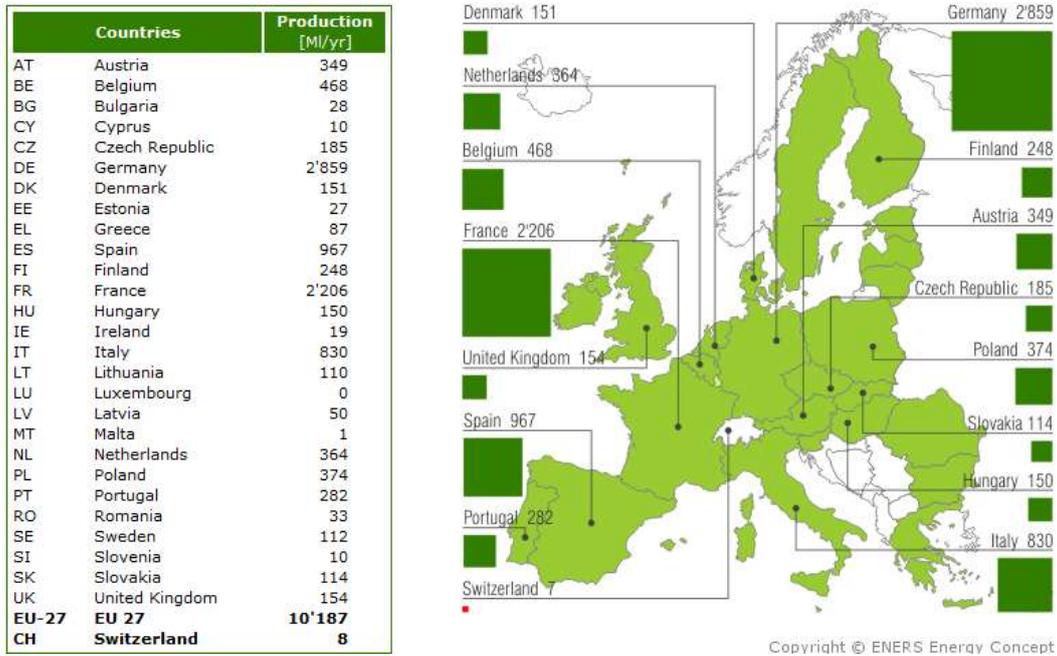


Fig.5.2 Produzione europea di biodiesel nel 2009.

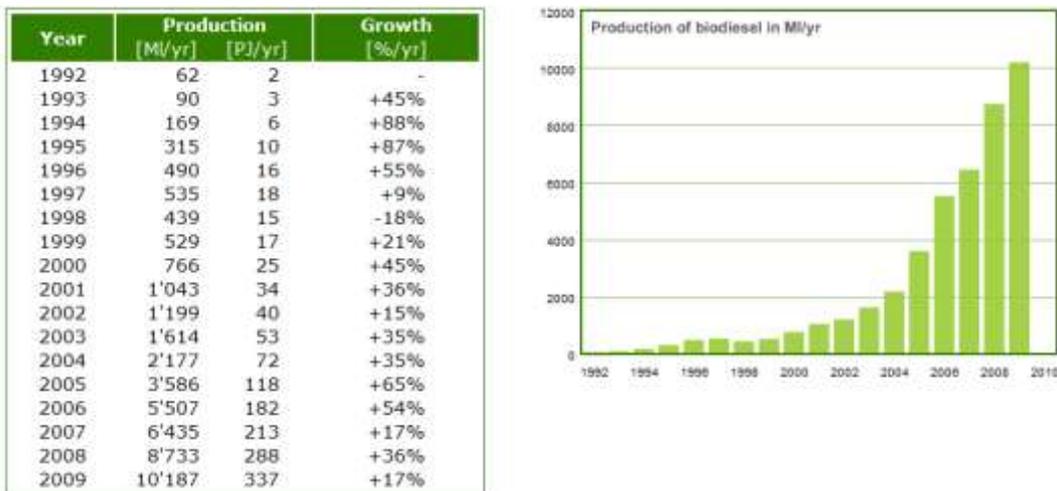


Fig.5.3 Evoluzione della produzione di biodiesel nell'EU-27.

Con quasi 10 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio (Mtep), il consumo di biocarburanti nel 2009 ha rappresentato una quota del 4% dei consumi totali di carburanti per il trasporto nell'Unione Europea.

Secondo EurObserv'ER, nel 2009 vi è stato un consumo di 12 Mtep nel 2008, 1,9 Mtep in più rispetto al 2008. La quota di biocarburanti sui consumi totali di carburanti per il trasporto è incrementata solo di 0,7 punti nel 2009, e ha raggiunto il 4% (considerando che il consumo europeo di carburanti per il trasporto su strada è rimasto stabile tra il 2008 e il 2009). L'Unione Europea ha pertanto solo un anno ancora per raggiungere i 2,45 punti percentuali richiesti. Deve essere precisato che l'obiettivo della direttiva sui biocarburanti rimane valido fino al primo gennaio 2012, nonostante l'adozione della nuova direttiva sulle energie rinnovabili che fissa nuovi obiettivi per il 2020. I dati sul consumo mostrati in tabella 5.1 sono stati raccolti da EurObserv'ER e forniti, principalmente, dagli enti statistici degli Stati membri dell'Unione Europea, i ministeri dell'energia e le agenzie per l'energia. Con una crescita del 18,7% tra il 2008 e il 2009, il consumo di biocarburanti nell'Unione Europea è incrementato ancora, tuttavia a un tasso più basso rispetto all'anno precedente. Il consumo di biocarburanti è cresciuto del 45,7% tra il 2006 e il 2007 (da 5.376 ktep a 7.834 ktep) , del 70,9% tra il 2005 e il 2006 (da 3.146 ktep a 5.376 ktep) e del 28,5% tra il 2007 e il 2008. I dati per il 2005, il 2006 e il 2007 inclusi nella stima sono forniti da Eurostat.

Il consumo di biodiesel è incrementato da 5.899 ktep a 7.900 ktep tra il 2007 e il 2008, equivalente a un aumento del 33,9%. Il consumo di bioetanolo è salito allo stesso tempo da 1.201 ktep a 1.766 ktep, equivalente a un incremento del 47,1%. Il consumo degli altri biocarburanti tuttavia (olio vegetale quasi esclusivamente) è calato del 45,9%. Il rallentamento della crescita europea nel 2008 è parzialmente spiegabile con la significativa riduzione del consumo di biocarburanti in Germania (a causa della diminuzione degli incentivi statali), considerando che negli anni precedenti questo Paese ha largamente contribuito alla forte crescita dei consumi nell'Unione Europea. La ripartizione dei consumi di biocarburanti per il trasporto è ancora largamente a favore del consumo di biodiesel che

rappresenta il 79,5% del totale, rispetto al 19,3% del bioetanolo e al 0,9% dell'olio vegetale.

Paese	2008	2009*
Germania	2 819	2 539
Francia	1 815	1 959
Spagna	207	859
Italia	595	737
Belgio	277	416
Polonia	275	332
Paesi Bassi	101	323
Austria	213	310
Portogallo	268	250
Danimarca/Svezia	231	233
Finlandia	85	220
Repubblica Ceca	104	164
Regno Unito	192	137
Ungheria	105	133
Slovacchia	146	101
Lituania	66	98
Grecia	107	77
Lettonia	30	44
Romania	65	29
Bulgaria	11	25
Estonia	0	24
Irlanda**	24	17
Cipro	9	9
Slovenia	9	9
Malta	1	1
Lussemburgo	0	0
Total UE 27	7 755	9 046

*Stima. **I dati per l'Irlanda includono la produzione di idro-diesel. Soggetto a un margine d'errore del 5%.
Fonte: EBB 2010.

Tab. 5.1 Produzione di biodiesel nell'Unione Europea nel 2008 e 2009 (in migliaia di tonnellate).

5.3 La produzione di biodiesel a livello nazionale

Nel 2010 in Italia si registra una produzione totale di biodiesel pari a 731.844 tonnellate, a fronte di una capacità produttiva globale di più di 2.000.000 di tonnellate. Gli occupati nel settore industriale del biodiesel risultano 356, con un fatturato di 1.272.000.000 euro.

ANNO 2010				
CAPACITA' PRODUTTIVA	PRODUZIONE	IMPORTAZIONI	ESPORTAZIONI	IMMISSIONI IN CONSUMO
Tonn.	Tonn.	Tonn.	Tonn.	Tonn.
2.145.916	731.844	639.684	107.956	1.321.139

ANNO 2010	
DIPENDENTI Numero	FATTURATO Euro
356	1.272.912.796

ANNO 2009					
CAPACITA' PRODUTTIVA	PRODUZIONE	IMPORTAZIONI	ESPORTAZIONI	IMMISSIONI IN CONSUMO	DIPENDENTI
Tonn.	Tonn.	Tonn.	Tonn.	Tonn.	Numero
2.127.194	795.118	463.390	88.670	1.185.573	364

Tab.5.2 Statistiche nazionali sul biodiesel. (fonte: ENEA 2011).

5.4 Un nuovo elemento normativo: il criterio di sostenibilità per biocombustibili e biocarburanti.

La nuova direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio Europeo sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili mira a stabilire un nuovo quadro, più generale, di promozione delle fonti rinnovabili nell'UE, andando a sostituire la precedente direttiva sui biocarburanti (Direttiva 2003/30). Riguardo all'obiettivo per i trasporti, la nuova direttiva sulle energie rinnovabili ha introdotto un nuovo vocabolo sostituendo il termine "biocarburanti" con "energie rinnovabili". Entro il 2020, il 10% del consumo energetico per il trasporto stradale e ferroviario dovrebbe essere soddisfatto attraverso energie rinnovabili (e non più attraverso i soli biocarburanti). Questo nuovo obiettivo nasce da un compromesso tra coloro che desiderano

incrementare la quota di biocarburanti al 10% e coloro che sostengono che tale tasso di incorporazione sarebbe dannoso per l'ambiente e porterebbe a un'inevitabile competizione con i terreni destinati alla produzione di alimenti. Il legislatore ha pertanto aperto le porte ad altri settori delle rinnovabili (eolico, solare, idroelettrico, ecc.) prendendo in considerazione l'elettricità prodotta da fonti rinnovabili nei consumi dei veicoli elettrici (come treni, metropolitane, tram e macchine elettriche). Gli Stati membri dell'Unione possono quindi scegliere, ai fini del raggiungimento dei loro obiettivi, tra la distribuzione dei consumi di biocarburanti e la produzione di elettricità da rinnovabili per i trasporti. Rimane da vedere in che proporzione e a quale tasso i veicoli elettrici rimpiazzeranno i veicoli alimentati a calore.

Un aspetto importante della nuova direttiva è l'estensione dell'obiettivo della precedente legislazione sulle fonti rinnovabili dall'elettricità al riscaldamento/ raffreddamento e ai trasporti, settori in cui vi è in teoria un elevato potenziale di applicazioni tecnologiche e prodotti energetici basati sulle biomasse, per i quali nello stesso tempo sta emergendo una crescente evidenza di problematiche ambientali. Onde evitare indesiderati impatti ambientali indiretti, l'art 17 della direttiva introduce precisi criteri di sostenibilità limitatamente ai bioliquidi e ai biocarburanti, cioè forme energetiche liquide, mentre tali criteri non si applicano alle biomasse solide (usate in impianti di combustione sia nel settore elettrico che del riscaldamento). Bioliquidi e biocarburanti che non rispettino i criteri di sostenibilità non possono essere conteggiati né ai fini del rispetto dell'obiettivo, né ai fini della fruizione di eventuali agevolazioni fiscali. I criteri di sostenibilità sono sostanzialmente tre:

Criterio di risparmio di gas serra. Fino al 2017 biocarburanti e bioliquidi devono provare di fornire un risparmio di gas serra almeno del 35% rispetto ai combustibili fossili considerando un'ottica di ciclo di vita. Dopo il 2017, questa soglia potrà essere innalzata al 50% per le installazioni esistenti e

al 60% per le nuove installazioni. Ai fini del rispetto di questo criterio, i fornitori potranno utilizzare o i valori standard di risparmio emissivo forniti nell'allegato V della direttiva, oppure fornire calcoli specifici adoperando la metodologia indicata nella parte C del medesimo all'allegato. Di fatto, comunque, le soglie di risparmio emissivo individuate dalla direttiva sono rispettate dai principali tipi di biocarburanti e bioliquidi utilizzando i valori standard.

Criterio di tutela delle aree ad elevata biodiversità. I biocarburanti e i bioliquidi non devono essere prodotti da materie prime ottenute su terreni che presentano un elevato contenuto di biodiversità, e precisamente le foreste non toccate da attività umana, le aree designate per la protezione della natura, le praterie ad elevata biodiversità e le aree con elevato numero di specie a rischio. Tuttavia, le aree proibite costituiscono un insieme ristretto, per cui vi è il concreto rischio che le coltivazioni di materie prime siano realizzate a scapito della biodiversità in aree che meriterebbero comunque una conservazione.

Criterio di tutela delle aree ad elevato contenuto di carbonio. Al fine di prevenire il rilascio in atmosfera di elevati quantitativi di anidride carbonica dalle aree convertite per la coltivazione delle materie prime (cosiddetti "cambiamenti diretti dell'uso del suolo"), i biocarburanti e i bioliquidi non possono essere prodotti da materie prime ottenute da terreni ad elevato contenuto di carbonio, e precisamente le foreste con una copertura almeno del 30%, le zone umide e, in misura molto limitata, le torbiere (peatlands). Anche in questo caso, la definizione delle aree vietate riguarda un insieme ristretto, per cui vi è il rischio che le coltivazioni di materie prime determinino elevate emissioni dovute ai cambiamenti diretti di uso del suolo (fermi restando i vincoli derivanti dalle soglie di risparmio minimo di gas serra nel ciclo di vita,

al cui rispetto concorrono anche i valori di emissione dei cambiamenti d'uso del suolo).

5.5 Verso una maggiore sostenibilità dei biocarburanti.

La Commissione Europea ha messo a punto un sistema per la certificazione dei biocarburanti sostenibili. Il 10 giugno 2010 la Commissione Europea ha adottato il pacchetto di misure che dovrebbero aiutare le imprese e gli Stati membri a implementare la Direttiva sulle Energie rinnovabili. Queste si focalizzano in particolare sui criteri di sostenibilità dei biocarburanti e su quello che conviene fare al fine di assicurare il solo utilizzo dei biocarburanti sostenibili:

- Certificati per biocarburanti sostenibili: la Commissione incoraggia l'industria, i Governi e le ONG a istituire "sistemi volontari" per certificare la sostenibilità dei biocarburanti e spiega quali standard devono essere rispettati per ottenere il riconoscimento della UE. Uno dei criteri principali è che i sistemi di certificazione devono avvalersi di revisori indipendenti che esaminino l'intera catena di produzione, dall'agricoltore e dallo stabilimento al commerciante fino al distributore che fornisce la benzina o il carburante diesel alla stazione di servizio. In base agli standard fissati dalla Commissione, la procedura di revisione deve essere affidabile e non lasciare margine per eventuali frodi.

- Proteggere la natura incontaminata: la Commissione spiega che i biocarburanti non dovrebbero essere ottenuti da materie prime provenienti da foreste tropicali o da aree deforestate di recente, da torbiere drenate, zone umide o aree a elevata biodiversità e indica in che modo valutare questo elemento. Chiarisce inoltre che la conversione di una foresta in una piantagione di palme da olio sarebbe in contrasto con i requisiti di sostenibilità.

• Promuovere solo i biocarburanti che consentono elevati risparmi di gas serra: la Commissione ribadisce che gli Stati membri devono rispettare gli obiettivi nazionali vincolanti in materia di energie rinnovabili e che solo i biocarburanti che consentono di risparmiare grandi quantità di gas a effetto serra valgono ai fini degli obiettivi nazionali; è spiegato inoltre come viene effettuato il calcolo. I biocarburanti devono consentire un risparmio di gas a effetto serra rispetto a i combustibili fossili del 35%, che salirà al 50% nel 2017 e al 60% (per i biocarburanti prodotti da nuovi impianti) nel 2018 (Commissione Europea 2010).

5.6. Caratteristiche del biodiesel

Il Biodiesel (FAME: Fatty Acid Methyl Esters) è per definizione un estere (composto organico prodotto dalla reazione di condensazione tra un alcool con un acido carbossilico) metilico, derivante dalla reazione di transesterificazione con metanolo di oli vegetali o grassi animali in catalisi alcalina. Attualmente le caratteristiche tecniche del metilestere (Biodiesel) sono definite dalla normativa UNI, ma un notevole impegno è stato profuso a livello europeo (CEN) al fine di individuare quali siano effettivamente le caratteristiche del biodiesel tenendo anche conto che il prodotto usato in centrali termiche (riscaldamento) può avere caratteristiche leggermente differenti da quello utilizzato nei motori diesel (autotrazione).

Le caratteristiche del metilestere di olio vegetale sono sensibilmente differenti da quelle dell'olio grezzo di partenza in quanto il processo di transesterificazione modifica profondamente le proprietà del prodotto.

5.7 I sottoprodotti di lavorazione

5.7.1 I sottoprodotti della lavorazione dell'olio

I co-prodotti della lavorazione dei semi oleosi sono:

- *Gusci e tegumenti* costituiscono il primo sottoprodotto della lavorazione dei semi oleosi. E' noto che soia e colza hanno un tegumento che rappresenta il 10-15% del seme, mentre il guscio del seme di girasole varia dal 20 al 50%. Dato che i gusci e i tegumenti sono costituiti soprattutto da materiali cellulosici e ligninici essi si prestano a parecchie utilizzazioni: preparazione di pellettati da incorporare nei mangimi per ruminanti e conigli, preparazione di pannelli e pressati per imballaggi, ottenimento di biomasse microbiche previa idrolisi acida o enzimatica della cellulosa, produzione di furfurolo per distillazione in ambiente acido, produzione di energia a mezzo di processi fisico-chimici e microbiologici.
- *Panello*, formato dai residui del seme dopo la spremitura meccanica. Ha un contenuto di sostanza grassa superiore all'8%, arriva anche al 10-15%; esso contiene inoltre acidi grassi, alcune vitamine liposolubili ed elevato valore energetico. Presenta lo svantaggio della difficile conservazione dovuta alla potenziale formazione di perossidi (irrancidimento);
- *Farina di estrazione*, residuo dei trattamenti chimici di estrazione. Ha un contenuto in materia grassa molto basso (1-2%), dovuto al processo di estrazione, molto più efficiente di quello meccanico. Non è un alimento completo ma ha il vantaggio di conservarsi bene. Per quanto riguarda la farina di colza è necessario coltivare varietà 00 (senza glucosinolati). La CEE e l'Italia in particolare, importa gran parte delle farine di estrazione di colza e

girasole impiegate per i mangimi. Entrambi vengono impiegati come alimenti zootecnici: se interessa solamente il contenuto proteico, la scelta va alla farina di estrazione; si preferisce il pannello, invece, se ai protidi si desidera associare un elevato valore energetico. Il contenuto di sostanza grassa influenza ovviamente il valore calorico del sottoprodotto che di conseguenza deve essere impiegato in quantità differenti. Il pannello infatti ha un valore calorico superiore del 7-15% rispetto alle farine che sono caratterizzate dal basso apporto di acidi grassi nella dieta dell'animale. L'utilizzo per l'alimentazione bovina di sottoprodotti provenienti da differenti lavorazioni o da diverse specie vegetali può influenzare le caratteristiche del latte e dei derivati in quanto cambiano le caratteristiche del grasso; ad esempio il burro si presenta molto molle se si utilizzano derivati del girasole, normale invece con i derivati del cotone, secco e duro utilizzando derivati del cocco. Si parla, poi, di pannelli e/o farine decorticati (o non), a seconda che si sia ricorso o meno alla decorticatura (processo meccanico che elimina il pericarpo del seme, componente ricco di cellulosa e scarso di materia grassa). Sulla classificazione del pannello influisce anche il metodo meccanico di spremitura: con le presse a vite si producono "expellers" (scaglie di colore bruno con contenuto di olio del 5-12%); con le presse a cilindri, invece, "schilfers".

5.7.2 I sottoprodotti della transesterificazione

Glicerina. Il sottoprodotto principale della trasformazione dell'olio in biodiesel, ottenuto dal processo di transesterificazione, è la glicerina (prodotto commerciale contenente almento il 95% di composto puro) o glicerolo (composto puro denominato anche 1,2,3-triossi-n-propano). La glicerina è ottenuta in soluzione acquosa al 12-18% in cui è presente anche una piccola

frazione di acidi grassi che normalmente vengono eliminati con acido cloridrico. In seguito, attraverso una fase di concentrazione si ottiene "glicerina grezza" con un contenuto in acqua del 80-88% più altre impurità: ceneri (0.5-2%) e materia organica (1-2%). Queste ultime si eliminano con un procedimento di purificazione ad alta temperatura (200°C) a base di resine a scambio ionico.

La glicerina grezza viene quindi:

- *separata* per sedimentazione;
- *neutralizzata* con una quantità opportuna di acido (cloridrico o fosforico) per eliminare il catalizzatore;
- *distillata* per recuperare la frazione di metanolo ancora presente.

La raffinazione della soluzione acquosa a base di glicerina ha a sua volta altri sotto-prodotti: il fosforo, utilizzabile nella preparazione di fertilizzanti, una fase oleosa utilizzabile come combustibile al pari degli oli pesanti ed acqua di rifiuto.

Utilizzazione della glicerina. La glicerina si utilizza nell'industria farmaceutica come solvente e come supporto umido nella produzione di pastiglie. Nell'industria del tabacco viene utilizzata per preservare il prodotto dall'essiccazione. Nell'industria alimentare viene utilizzata per la produzione di sciroppi, bibite, prodotti da forno, conservazione della frutta e degli ortaggi. Condensata con acidi (normalmente acido acetico), è utilizzata per produrre resine utilizzate nell'industria degli adesivi, delle plastiche e delle vernici. Un importante estere della glicerina inorganica è la trinitroglicerina utilizzata nella preparazione degli esplosivi. Viene utilizzata anche in agricoltura come additivo per impiego fitoiatrico e per la produzione di imballaggi per piante e spray, nell'industria tessile e in quella del cuoio, nei processi galvanici come

agente protettore delle superfici metalliche. Un'utilizzazione alternativa della soluzione acquosa, che ovviamente non comporta costi di raffinazione, è l'utilizzazione nell'alimentazione zootecnica. Può essere utilizzata come combustibile negli impianti di riscaldamento. Nei laboratori può servire da terreno di coltura per procedimenti biologici. Nell'industria cosmetica la glicerina è un'importante materia prima per la produzione di sapone inoltre, non manifestando effetti di tossicità e di allergicità, si presta per la preparazione di numerosi prodotti cosmetici: dentifrici, creme, ecc. Nel settore dell'allevamento animale è utilizzata come integratore alimentare nella dieta del suino (al 5%). Anche la soluzione acquosa, che ovviamente non comporta costi di raffinazione, può essere utilizzata nell'alimentazione zootecnica.

5.8 Utilizzi non energetici del biodiesel

L'uso degli oli vegetali e dei loro esteri per fini non energetici è molto vasto e non ancora completamente studiato. Di seguito sono descritte alcune possibili strade non energetiche già percorse o ancora da percorrere, alcune delle quali risultanti da uno studio americano sulle possibili, e sostenibili, utilizzazioni degli esteri dell'olio di soia eseguito per il National Biodiesel Board (Ahmed et al. 1997). Se non diversamente specificato, in questa sezione non si parla in maniera specifica del biodiesel ma degli esteri di oli vegetali in genere.

Adesivi: Gli esteri di oli vegetali possono rientrare nella composizione di numerosi adesivi anche se il settore è molto specializzato e difficilmente (almeno negli Stati Uniti) potrebbe richiedere prodotti di questo tipo. Viceversa appare più probabile un loro utilizzo come solventi per adesivi. In

ogni caso gli esteri possono essere utilizzati come reagenti nel processo produttivo degli adesivi o componenti per produrre adesivi.

Agrochimica: Nel settore agrochimico gli acidi grassi vegetali più che i loro esteri possono essere utilizzati come componenti di insetticidi per migliorare l'efficacia del principio attivo e diminuirne la fitotossicità. Possono fungere anche come vettori di fitofarmaci in modo da consentirne un migliore dosaggio.

Inchiostri: Un'utilizzazione molto specifica degli esteri la si potrebbe avere nel settore degli inchiostri. Possono agire come vettori del pigmento, come leganti o per conferire particolari caratteristiche all'inchiostro.

Industria farmaceutica: Le proprietà emollienti degli esteri di acidi grassi vegetali, dovute alla loro struttura con una testa idrofila e una idrofoba, consentono diverse applicazioni nel campo della cosmesi. Possono anche essere utilizzati come vettori a lento rilascio per medicinali, così come componenti di cere aventi la medesima funzione.

Lubrificanti: Un potenziale campo di impiego degli oli vegetali è quello dei lubrificanti e dei fluidi per circuiti idraulici. Le loro proprietà chimico-fisiche, infatti, sono tali da consentire, già oggi e con problemi minimi, la lubrificazione di: motori a due tempi, catene (incluse quelle delle motoseghe) e cremagliere. Altre applicazioni riguardano: circuiti idraulici, ammortizzatori, filtrazione dell'aria, produzione di grassi per usi vari e tante altre utenze. Si tratta, quindi, di utilizzazioni caratterizzate da basse o medie temperature di esercizio. I lubrificanti sono costituiti da un composto base di origine fossile (derivato dal petrolio) e da un pacchetto di additivi che conferiscono lubricità, minore corrosività e maggiore stabilità termica. Gli esteri di oli vegetali possono essere utilizzati come composto base (sostituendo i derivati del petrolio) e avendo una maggiore lubrificazione e quindi consentendo di eliminare o ridurre parte degli additivi. Possono inoltre rientrare nella formulazione

degli additivi per aumentare la lubricità, la viscosità o la compatibilità fra gli stessi additivi. Possono inoltre essere utilizzati nell'industria della lavorazione dei metalli come lubrificanti e liquidi antiusura degli utensili. In effetti, gli oli vegetali sono poco resistenti alle alte temperature - per via della loro elevata ossidabilità - e solo recentemente è stato possibile ottenere prodotti in grado di lavorare a 80 °C sufficientemente a lungo (come richiesto da alcuni impianti idraulici). A livello sperimentale, tuttavia, si stanno già utilizzando dei lubrificanti adatti per motori sovralimentati ed è già possibile pensare a veicoli (di qualsiasi tipo) completamente riforniti con fluidi origine agricola. Nel raggiungere questi risultati, si sta dimostrando di primaria importanza, come per gli oli minerali, l'impiego di opportuni additivi la cui definitiva messa a punto richiederà notevoli investimenti. Anche in materia di impatto ambientale e misure antiinquinamento questi prodotti presentano notevoli vantaggi: gli oli della Binol, per citare un caso, sono biodegradabili al 100% in appena 21 giorni e in Austria è vietato l'uso di olio minerale per le motoseghe (nel 1992 se ne consumarono circa 11.000 tonnellate). Altro aspetto da considerare è la bassa pericolosità (in termini di reazioni allergiche e di cancerogenità) di questi composti per chiunque li maneggi. Inoltre gli oli vegetali, costituiti da lunghe catene di acidi grassi, hanno minore capacità di corrosione dei metalli e sono meno aggressivi rispetto ai corrispondenti oli minerali.

Nastri magnetici: Un'applicazione molto specializzata degli esteri in qualità di solventi è quella relativa alla produzione dei nastri magnetici per registrazioni video e audio.

Plastiche e plastificanti: I plastificanti sono additivi utilizzati per modificare la fluidità delle plastiche durante la loro lavorazione e per aumentare la flessibilità dei polimeri. Come tali gli esteri di acidi grassi possono trovare impiego nella fabbricazione degli pneumatici, come additivi

nella stabilizzazione degli elastomeri, come componenti biodegradabili delle plastiche.

Solventi: Il biodiesel si è dimostrato un efficace prodotto se utilizzato come solvente per la pulizia di ugelli e di parti metalliche, per eliminare tracce di adesivi e per rimuovere vernici. Alcuni esteri sono stati utilizzati come solventi anche nell'industria elettronica. Le caratteristiche chimiche e fisiche del biodiesel possono però influenzarne le funzioni se utilizzato come solvente. Ad esempio la sua bassa volatilità lo rende poco efficace contro i residui oleosi anche se esistono alcuni solventi a bassa volatilità come il d-limonene. L'elevato Flash Point invece lo rende un solvente molto più sicuro rispetto ai comuni solventi organici alogenati.

Tensioattivi: Gli esteri di oli vegetali hanno numerose applicazioni come tensioattivi. Alcuni ad esempio sono utilizzati per preparare emulsioni acqua in olio ad uso alimentare, cosmetico o chimico; altri sono utilizzati nell'industria chimica per produrre fitofarmaci e erbicidi, e più in generale per creare e stabilizzare sospensioni

6. RICINO (*Ricinus communis* L.) E CARDO (*Cynara cardunculus* L.) COME COLTURE ENERGETICHE A CICLO POLIENNALE.

6.1 Generalità

Le specie poliennali da energia, pur essendo meno flessibili delle annuali nell'organizzazione aziendale, risultano interessanti per i bassi costi di gestione. Infatti, se si eccettua il primo anno dove si presentano costi elevati per le spese d'impianto, la minima presenza di interventi colturali negli anni successivi, rende bassi i costi complessivi di gestione. Tale minor richiesta di lavorazioni, dovuta alla rusticità di queste specie, si traduce anche in un minor impatto ambientale e, se coltivate in terreni marginali, una difesa dall'erosione del suolo.

Le due specie oggetto di studio nella presente tesi sono state scelte per aver dimostrato negli ultimi decenni grandi potenzialità come colture energetiche. Tali potenzialità possono essere individuate, per entrambe le specie, nei punti seguenti:

- Non entrano in competizione nella destinazione d'uso della terra con le colture alimentari, in quanto sono capaci di adattamento pedoclimatico a zone marginali;
 - Richiedono bassi input agronomici pur fornendo buone produzioni, grazie alla loro spiccata rusticità;
 - Consentono una diversificazione produttiva in quanto forniscono diversi prodotti utili commerciabili;
 - Sono contraddistinte da un elevato potenziale di sequestro di carbonio dall'atmosfera e da un bilancio energetico particolarmente positivo in quanto possono venire coltivate a ciclo poliennale;
 - Possiedono un potenziale genetico ancora inesplorato, non avendo ricevuto un approfondito lavoro di miglioramento genetico ed essendo spesso selezionate allo stato spontaneo.

6.2 RICINO (*Ricinus communis* L.)

Il ricino è una pianta normalmente coltivata per la produzione di olio (Whitson 1992) ed a scopi ornamentali (Hogan 1992). La specie afferisce alla famiglia delle Euphorbiaceae e attualmente risulta spontanea e coltivata in tutte le regioni della fascia tropicale e subtropicale (Scholz V. *et al.*, 2009). Il ricino è l'unica specie del suo genere dalla quale si siano via via differenziate le seguenti varietà botaniche: *major*, *minor* o *microcarpus*, *viridis*, *sanguineus*, *inermis*. Viene comunemente chiamato “Palma Christi” oppure “Mano di Cristo”, per la forma palmata e le dimensioni delle lamine fogliari (Barajas Forero C. L., 2005). La pianta del ricino è facilmente coltivabile e resistente alla siccità, ciò la rende particolarmente adatta per la coltivazione estensiva in regioni aride e semi-aride. Recenti studi hanno portato ad un interessante miglioramento genetico principalmente incrementando il suo contenuto in olio e selezionando varietà a taglia bassa, meglio rispondenti alle esigenze di una raccolta meccanica. La capacità di sequestro di carbonio di un ettaro di ricino equivale a 34,6 t all'anno.

6.2.1 Origine e riferimenti storici

Il ricino è originario dell'Africa (Barajas Forero C. L., 2005), probabilmente dell'Etiopia (Van Der Vossen *et al.*, 2001). Il seme del ricino fu utilizzato per secoli e vi sono evidenti indizi della sua coltivazione fino a 4000 anni A.C. (Weiss, 2000). Viene nominato da Erodoto che lo chiama *Kiki* ed annota che veniva molto utilizzato dagli egiziani, nelle cui tombe fu anche ritrovato. Nel periodo in cui Erodoto scrisse, sembra che il ricino fosse già stato introdotto in Grecia (IV sec. A.C.), dove viene ancora oggi coltivato chiamandolo con il medesimo nome. Il *Kikajon* del Libro di Giona (Bibbia), tradotto in “zucca”, è ritenuto essere proprio il ricino. Plinio scrisse circa il ricino, nel I secolo D.C., riferendo delle sue proprietà purgative. Numerose

fonti riportano l'uso del ricino come medicinale nel primo periodo Medievale: si riporta che veniva coltivato da Alberto Magno, Vescovo di Ratisbona, nella metà del XIII secolo, ma successivamente la sua coltivazione andò diminuendo. Continuò ad essere usato come pianta ornamentale, finché nel XVIII secolo in Europa fu coltivato come pianta medicinale, anche se in piccoli appezzamenti, visto che gran parte del seme necessario veniva importato dalla Giamaica. La nascita del nome inglese "castor" risale proprio al periodo delle colture giamaicane, dove sembra sia stato chiamato *Agnus Castus*, pur non avendo alcuna somiglianza con la specie sud europea *Vitex agnus-castus*.

6.2.2 Diffusione e produzione

Gran parte della suddetta superficie si trova in Asia, in particolare in India con 640.000 ha ed una resa unitaria di 1,27 t ha⁻¹ (fig. 6.1). I paesi europei dove la coltura ha maggiore importanza sono la Romania e la Jugoslavia, con rese variabili dai 5 ai 13 q ha⁻¹. In Russia esso occupa una superficie di 180.000 ha. La sua coltivazione si spinge anche nelle zone temperate fino alla latitudine di 42-43°, in ambienti ad estate calda, come l'Italia. La produzione mondiale di semi di Ricino ammonta a circa 1 milione di tonnellate all'anno (FAO, 2007).

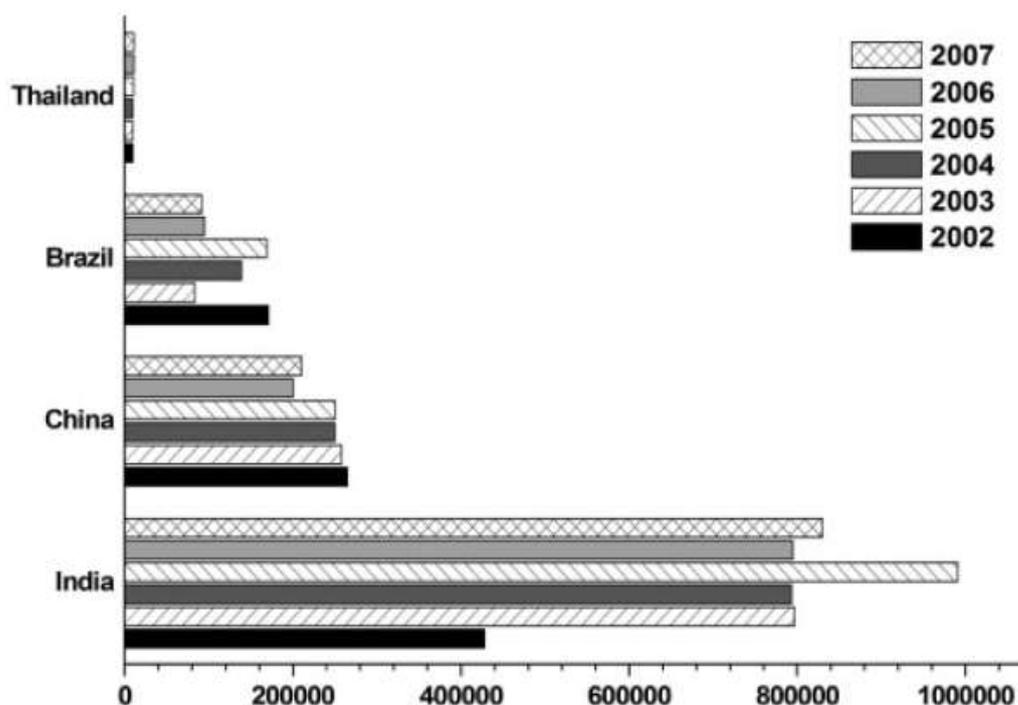


Fig 6.1 Principali Paesi produttori di seme di ricino (Mutlu1 H. and A. R. Meier1 M., 2, 2009)

6.2.3 Caratteri morfologici

Negli ambienti tropicali e subtropicali è quello di arbusto perennante. I tipi coltivati negli ambienti temperati sono invece piante erbacee a ciclo annuale. Le varietà attualmente coltivate hanno una statura di 60-120 cm, al primo anno, per poi raggiungere diversi metri di altezza negli anni successivi, in coltura poliennale. (Scholz V. et Nogueira da Silva J., 2009).

Le foglie sono alterne, ad eccezione del primo nodo dove ve ne sono inserite due opposte, espanse, peltate, palmato-lobate con 5-11 lobi e nervature prominenti nella pagina inferiore, dotate di ghiandole nettariifere alla base della lamina e del picciolo. Il colore è normalmente verde. Il lungo picciolo è inserito presso il centro della lamina fogliare inferiore. Alcune varietà ornamentali hanno le foglie con la faccia inferiore ed il picciolo colorati di rosso.

Il fusto principale termina con un'infiorescenza. Una volta formatasi l'infiorescenza principale, dal primo nodo sottostante, inizia la formazione in successione simpodiale delle ramificazioni. Ogni ramo termina con un racemo secondario al di sotto del quale possono originarsi nuove ramificazioni portanti a loro volta racemi terminali.

L'infiorescenza è un racemo di tipo monoico con i fiori maschili inseriti nella parte bassa e i femminili nella parte alta. I fiori femminili sono a petali con un calice caduco di 3-5 sepali. L'ovario è supero triloculare con tre stili lobosi di colore variabile dal rosso al giallo e con superfici papillate. I fiori maschili sono costituiti da numerosi stami ramificati, ciascuno dei quali termina con una piccola antera gialla che a maturità deisce liberando il polline, dopo di che i fiori maschili cadono. La pianta diviene sessualmente matura già nel primo anno dopo la semina. (Van der Vossen *et al.*, 2001; Weiss *et al.*, 2000; Parsons, WT and Cuthbertson, 2001; Bossard *et al.*, 2000). La fioritura avviene particolarmente presto, i primi fiori possono schiudersi anche dopo 40-70 giorni dalla semina. Il ricino spontaneo africano fiorisce dopo 140 giorni dalla semina, mentre nelle varietà a taglia bassa l'antesi si verifica dopo 140 giorni. La fioritura avviene in estate nelle zone temperate, ma risulta continua negli ambienti tropicali e subtropicali.

L'impollinazione anemofila favorisce l'allogamia. Avvenuta l'allegagione inizia lo sviluppo del frutto che in circa 45 giorni raggiunge la maturazione fisiologica, dopo di che occorrono altri 25 giorni per arrivare alla maturazione di raccolta. Il frutto è una capsula tricocca spinosa o liscia che contiene tre semi ovoidali, dotati di una cruncola di colore bianco, arancio, rosso o bruno. Le dimensioni dei semi variano da 7 a 25 mm di lunghezza e da 5 a 15 mm di larghezza. I semi contengono 40-60% di olio, 20% di sostanze albuminoidi, cellulosa, gomma, resine, Sali, oltre a una glicoproteina, la ricina, e ad un alcaloide, la ricinina, altamente tossici. I semi possono presentare una dormienza di alcuni mesi oppure anche di diversi anni (Weber, 2003; Bossard *et al.*, 2000). Una pianta di dimensioni intorno agli 8 m di diametro della

chioma può produrre all'incirca 150.000 semi, mentre una pianta di piccola taglia (circa 1m di diametro della chioma) uò produrre all'incirca 1500 semi (Bossard, CC, JM Randall, and MC Hoshovsky, 2000). In alcune varietà spontanee le capsule, una volta giunte ad essiccazione sul racemo, subiscono una totale deiscenza. Queste capsule possono venire disseminate dal vento o anche da forti piogge distribuendo i semi in un largo raggio. L'acqua è uno dei principali agenti di disseminazione del ricino spontaneo (Weiss, 2000; Richardson *et al.*, 1997).

L'apparato radicale è di tipo fittonante e può arrivare a notevole profondità. Il fusto è eretto e cavo, di lunghezza variabile da 60 cm a oltre 5 m, più o meno ramificato, suddiviso in nodi ed internodi.

L'olio ottenuto dal seme contiene l'acido ricinoleico che altera la mucosa intestinale e provoca grosse perdite di acqua ed elettroliti (sali minerali) per cui svolge un'azione purgativa intensa ed irritante. La ricina, presente nella pianta e nei semi, è una tossina pericolosa che può provocare gravi intossicazioni

6.2.4 Esigenze

Nelle aree geografiche caratterizzate da climi temperati, al fine di ottenere una regolare maturazione ed una elevata percentuale di olio nei semi, il ricino deve essere coltivato in ambienti ben soleggiati e ubicati ad altitudini moderate. Il ricino è specie rustica, capace di adattarsi a diverse condizioni pedoclimatiche (D.S. Ogunniyi, 2005).

Temperatura. Il ricino può essere coltivato dai 40°S ai 52°N, il principale fattore limitante è rappresentato dalle temperature rigide (Van Der Vossen *et al.*, 2001). Il seme germina in 7-14 giorni con temperature del suolo di 16-17°C a 10 cm di profondità. L'optimum per la crescita si ha con temperature comprese tra 20 e 26°C. La temperatura ottimale per la fioritura è compresa tra 24 e 26°C. Temperature inferiori a 15°C riducono notevolmente

la vitalità del polline. Temperature intorno a 40°C possono provocare il disseccamento del fiore. Quanto più calda è la zona, maggiore è la produttività delle piante e la percentuale di olio nei semi, che può raggiungere un massimo del 62-63%. L'olio, però, ottenuto in ambienti temperati è di migliore qualità.

Luce. Nelle zone di origine è pianta a giorno lungo; nei nostri ambienti è neutrodiurna.

Esigenze pedologiche. E' dotata di grande adattabilità ai vari tipi di terreno, teme soltanto i terreni asfittici e i forti ristagni di umidità nelle prime fasi di sviluppo (Van der Vossen *et al.*, 2001; Weiss *et al.*, 2000). E' potenzialmente in grado di valorizzare ambienti marginali. Predilige terreni con reazione acida da pH 6,5 fino a 6; è mediamente resistente alla salinità (J. C. Dagar *et al.*, 2005; Sèrvulo *et al.*, 2008).

Esigenze idriche. Il ricino cresce dalle zone umide dei tropici alle zone aride del subtropico (precipitazioni ideali 750–1000 mm) e può essere coltivato anche nell'Europa Meridionale. (Scholz V. et Nogueira da Silva J., 2009). Consuma mediamente 400 litri di acqua per kg di s.s. formata. Buoni livelli di umidità del terreno sono necessari per ottenere una germinazione in tempi ottimali (7-14 giorni). Le piogge della tarda estate e dell'autunno favoriscono la ripresa vegetativa della pianta e l'emissione di nuovi racemi, causando problemi alla raccolta. In condizioni selvatiche il ricino è in grado di adattarsi a lunghi periodi di siccità e a condizioni di aridità del suolo (Barajas Forero C. L., 2005).

Esigenze nutrizionali. La pianta richiede per ogni 100 kg di seme prodotto 7 kg di N, 7 kg di K₂O e 2,5 kg di P₂O₅. Con una produzione di 1,8 t di seme (interrando i residui colturali) vengono sottratti al terreno 60 kg di N, 10 kg di K₂O, 10 kg di P₂O₅, 6kg di MgO e 5 kg di CaO. I fabbisogni nutrizionali della pianta sono più elevati nella fase di formazione delle capsule (fine fioritura-maturazione fisiologica) e raggiungono 3,5 kg ha⁻¹ d⁻¹ di K₂O, e poco meno della metà sia di N che di P₂O₅.

6.2.5 Tecnica colturale

Per mancanza di informazioni riguardo la tecnica colturale in ciclo poliennale, di seguito verranno descritte le pratiche agronomiche relative alla coltivazione del ricino in ciclo annuale. Il presente lavoro, nella parte sperimentale, proporrà invece il primo metodo di coltivazione, maggiormente adatto alla produzione energetica.

6.2.5.1 Impianto

Il ricino occupa il posto del rinnovo. Si effettuerà un'aratura leggera a 20-30 cm. La semina cadrà fra aprile e maggio e la raccolta fra settembre ed ottobre. La profondità di semina è di 7-9 cm. Nell'impianto è consigliabile adottate, fra fila e fila, una distanza di 90-100 cm e sulla fila di 40 cm, con investimento di circa 40.000-60.000 piante/ha. La semina si effettua in aprile a 20°C (bisogna prima immergere i semi nell'acqua per 24h).

Alcuni risultati (Sortino O. *et al.*, 1997) hanno messo in evidenza la validità delle semina nel periodo autunno-vernino, con la possibilità di conseguire rese in seme più elevate, anche del 50-60%, rispetto a quelle ottenibili con le tradizionali semine primaverili. Inoltre il precondizionamento osmotico del seme con PEG (polietilenglicole), promovendone la germinazione e l'energia germinativa, possa ridurre i rischi che la semina in epoca anticipata comporta in termini di scarso soddisfacimento delle esigenze termiche della coltura in fase di emergenza, garantendo produzioni di oltre il 30% superiori a quelle del testimone anche continuando per il significativo contributo dei racemi secondari.

6.2.5.2 Irrigazione

Da una prova condotta in Sicilia da Copani et al. nel 1988 basatasi sul confronto tra prefissati interventi irrigui in corrispondenza delle fenofasi e la restituzione del 50% dell'ETm durante l'intero ciclo colturale, è emerso un incremento del consumo di acqua da 1.700 a 3200 m³/ha, ma anche un incremento della resa del 50% rispetto alla resa della coltura irrigata senza la restituzione. Un analogo risultato è stato ottenuto al termine di due differenti prove realizzate nelle Marche (Laureti e Fedeli, 1995; Laureti e Marras, 1995) in cui sono state confrontate colture irrigue differenziate in base al criterio della restituzione dell'ETm secondo prefissati coefficienti colturali e di restituzione idrica: la resa ottenuta è stata proporzionale all'aumento del volume stagionale d'irrigazione.

6.2.5.3 Fertilizzazione

Per quanto riguarda la concimazione il ricino richiede un'elevata quantità di letame variabile dai 400 ai 500 q/ha, ancora concimi minerali in presemina ed in copertura. Occorrono infatti 4-5 q.li di perfosfato minerale, 2 q.li di fosfato ammonico e 2 q.li di solfato potassico. Ottimi risultati danno anche i concimi complessi sia binari che ternari più efficaci e nello stesso tempo più economici dei concimi minerali semplici. È particolarmente esigente in potassio e azoto, meno in fosforo. Si ritiene che una coltura normale asporti dal suolo, per quintale di seme sgusciato prodotto, circa 5,5 kg di N, 3,0 kg di P₂O₅ e 6,5 kg di K₂O. . Una normale concimazione richiede la somministrazione di kg 150 circa di N, 100-120 di P₂O₅ e 80-100 di K₂O. Il ricino richiede un apporto di fertilizzanti con il seguente rapporto N-P-K: 150 kg di N, 100-120 kg di P₂O₅ e 80-100 kg di K₂O.

Soil Organic Matter	Nitrogen Application Rate
%	lb/acre
< 2	100
2–4.9	80
5–10	60
> 10	40

Tabella 6.1 Dosi di N raccomandate per la coltivazione del ricino, in base al contenuto in sostanza organica del suolo.

6.2.5.4 Raccolta

La raccolta del ricino risulta abbastanza difficoltosa. La maturazione dei semi è scalare. Se si sceglie la raccolta manuale i racemi sono selezionati e tagliati manualmente. A causa della continua maturazione dei racemi si rendono necessarie fino a 5 raccolte l'anno. In caso di raccolta meccanica le piante vengono prima defogliate (Scholz V. et Nogueira da Silva J., 2009). Una normale coltura può fornire rese di 25-30 q/ha di seme.

6.2.6 Utilizzi dell'olio e dei sottoprodotti

Nonostante l'olio di ricino abbia una notevole tossicità, i suoi campi di utilizzo sono più vasti della maggioranza degli altri oli vegetali. L'olio viene impiegato nell'ottenimento di molti prodotti chimici industriali grazie alla sua unica struttura di composizione. Infatti quest'olio è uno di quegli oli vegetali che ha trovato utilizzo in differenti processi dell'industria chimica. Trova utilizzo come materia prima per vernici, inchiostri, lubrificanti, saponi, e una vasta gamma di altri prodotti (Quipeng *et al.*, 1990; Kirk-Othmer, 1979;

Yeganeh and Mehdizadeh, 2004; Heiss, 1960; Lyon and Garret, 1973; Yeadon *et al.*, 1959; Trevino and Trumbo, 2002; Somani *et al.*, 2003; Patel and Suthar, 1988; Xie and Guo, 2002; Ehrlich *et al.*, 1959; Ogunniyi *et al.*, 1996; Ogunniyi *et al.*, 1996; Vasishtha *et al.*, 1990; Das *et al.*, 1989; Kula *et al.*, 1994; Brydson, 1975; Saunders, 1988; Kovaly, 1982; Kirk-Othmer, 1979).

La produzione di olio di ricino genera due importanti sottoprodotti, il pannello di estrazione e i residui delle capsule e dei racemi. Per ogni tonnellata d'olio si producono 1,31 t di residui e 1,13 t di pannello disoleato. Il più importante sottoprodotto è costituito dal pannello, ricco in N e in P (Lima *et al.*, 2011), che trova il suo principale utilizzo come fertilizzante (Severino, 2005; Gupta *et al.*, 2004; Udeshi, 2004). Il contenuto in N del pannello di ricino (7,54%) è simile al pannello di cotone (8,21%) (Vaughn *et al.*, 2010). Il pannello di estrazione dell'olio può anche venire usato, previa detossificazione, come integratore proteico nella dieta di alcuni ruminanti (Vieira *et al.*, 2010; Oliveira *et al.*, 2010; Kirk-Othmer, 1979; Weiss, 1971; Gardener, 1960; Horton and Williams, 1989; Woodend, 1993; Ghandi *et al.*, 1994).

	Jatropha	Neem	Moringa	Trisperma	Castor	Candlenut
Protein	59.1 (0.50)	47.7 (1.03)	68.6 (0.22)	38.7 (0.78)	56.8 (1.28)	61.7 (0.62)
NDF	10.1 (1.38)	9.7 (0.48)	11.5 (1.50)	20.4 (0.83)	47.0 (0.11)	9.0 (1.18)
ADF	7.8 (0.47)	9.4 (0.23)	7.6 (0.14)	19.7 (0.95)	40.3 (0.13)	7.9 (0.45)
Hemicelluloses ^a	2.3	0.3	3.9	0.7	6.8	1.1
Cellulose ^b	6.1	7.0	5.0	14.7	6.5	5.9
Lignin	1.7 (0.11)	2.4 (0.08)	2.6 (0.09)	5.0 (0.34)	33.8 (0.81)	2.0 (0.17)
Ash	11.7 (0.29)	8.2 (0.09)	6.1 (0.04)	10.1 (0.02)	6.7 (0.10)	10.3 (0.01)

Mean of two determinations. Standard deviation shown in parentheses.
a Estimated as difference between NDF and ADF.
b Estimated as difference between ADF and lignin.

Tabella 6.2 Composizione chimica del pannello di ricino, % (w/w) (Fonte: C. Martin et al., 2010).

	Jatropha	Neem	Moringa	Trisperma	Castor	Candlenut
Cellulose ^a	16.9 (0.30)	30.0 (1.03)	29.1 (0.57)	14.6 (0.65)	8.1 (0.60)	10.7 (0.01)
Xylan ^a	16.2 (0.44)	24.7 (0.22)	9.1 (0.14)	9.0 (0.15)	10.4 (0.66)	10.2 (0.10)
Arabinan ^a	1.7 (0.07)	1.4 (0.03)	1.6 (0.16)	0.0 (0.00)	1.8 (0.48)	0.5 (0.08)
Acetyl groups ^a	2.0 (0.12)	4.3 (0.21)	0.6 (0.21)	1.1 (0.02)	0.6 (0.26)	0.8 (0.04)
Klason lignin ^a	45.5 (0.74)	24.6 (0.12)	39.3 (0.94)	62.9 (0.41)	45.2 (0.28)	51.6 (0.52)
Unidentified ^a	5.5	7.5	1.0	6.5	23.8	13.9
Protein ^b	7.5 (0.46)	6.0 (0.16)	15.2 (0.22)	3.7 (0.03)	6.2 (0.22)	2.3 (0.09)
Ash ^b	4.7 (0.04)	1.5 (0.00)	4.1 (0.15)	2.2 (0.05)	3.9 (0.10)	10.0 (0.39)

Standard deviation shown in parentheses.
a Mean of three determinations.
b Mean of two determinations.
c Calculated as difference between 100% and the sum of the other components.

Tabella 6.3 Composizione chimica dei residui di capsule e racemi, % (w/w) (Fonte: C. Martin et al., 2010).

6.2.7 Caratteristiche dell'olio

Così come gli altri oli vegetali anche l'olio di ricino è composto da trigliceridi di diversi acidi grassi e circa il 10% di glicerina. Gli acidi grassi presenti sono approssimativamente 80-90% ricinoleico, 3-6% linoleico, 2-4% oleico e 1-5% acidi grassi saturi. L'alto contenuto in acido ricinoleico comporta una grande poliedricità di utilizzi dell'olio (Scholz V. et Nogueira da Silva J., 2009).

Fatty acid	Molecular formula	Percentage [%] [19]
Palmitic	$C_{16}H_{32}O_2$	0.8– 1.1
Stearic	$C_{18}H_{36}O_2$	0.7– 1.0
Oleic	$C_{18}H_{34}O_2$	2.2– 3.3
Linoleic	$C_{18}H_{32}O_2$	4.1– 4.7
Linolenic	$C_{18}H_{30}O_2$	0.5– 0.7
Ricinoleic	$C_{18}H_{34}O_3$	87.7–90.4

Tabella 6.4 Composizione acidica dell'olio di ricino (Fonte: C. Martin et al., 2010).

Properties contents	Unit	Rape oil According to DIN 51605 [28]	Castor oil According to various sources [8]
Density (15 °C)	$kg\ m^{-3}$	900-930	950-974
Flash point according to P.-M.	°C	> 220	229-260
Kinematic viscosity (40 °C)	$mm^2\ s^{-1}$	< 36	240-300
Net calorific value	$MJ\ kg^{-1}$	> 36.0	37.2-39.5
Flammability (cetane number)	-	> 39	42
Coke residues	%	< 0.40	0.22
Iodine number	$g\ 100\ g^{-1}$	95-125	82-90
Sulphur content	$mg\ kg^{-1}$	< 10	10
Total impurities	$mg\ kg^{-1}$	< 24	ca. 10
Neutralisation value	$mg\ KOH\ g^{-1}$	< 2.0	1.0-4.0
Oxidation resistance (110 °C)	H	> 6.0	95
Phosphorous content	$mg\ kg^{-1}$	< 12	< 4
Total content of Mg und Ca	$mg\ kg^{-1}$	< 20	-
Ash content	%	< 0.01	< 0.01
Water content	%	< 0.075	0.15-0.30

Tabella 6.5 Confronto fra le proprietà fisiche di combustione negli oli di colza e ricino (Fonte: C. Martin et al., 2010).

A causa dell'alta presenza di acido ricinoleico, l'olio risulta particolarmente viscoso (Fig. 6.2) oltre che velenoso a causa della presenza di ricina e ricinina. La tossicità risulta un fattore positivo nella competizione d'uso dell'olio stesso, tra usi alimentari ed usi industriali. L'olio ha inoltre una buona stabilità e conservabilità (D.S. Ogunniyi, 2005).

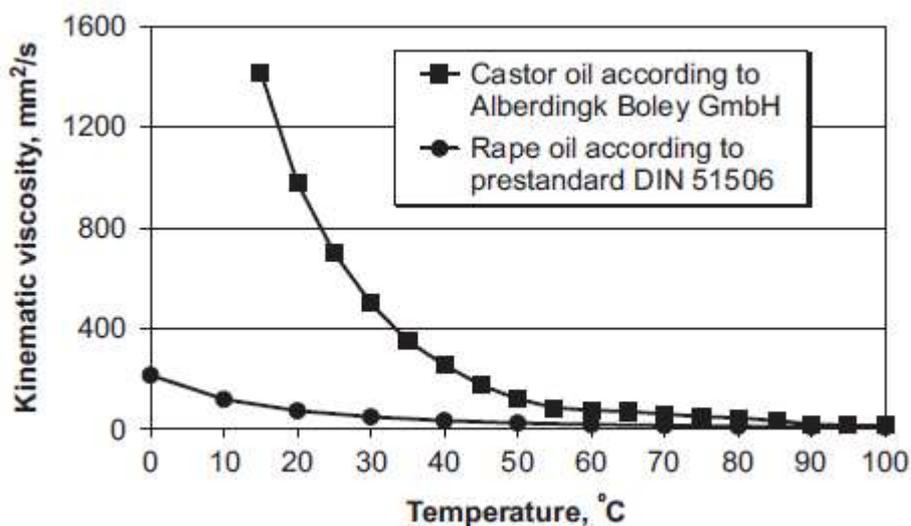


Fig 6.2 Confronto tra viscosità cinematica in risposta alla temperatura, negli oli di colza e ricino (Fonte: C. Martin et al., 2010).

Properties	Cold-pressed oil	Solvent-extracted oil	Dehydrated oil
Specific gravity	0.961–0.963	0.957–0.963	0.926–0.937
Acid value	3	10	6
Iodine value (W_{ij})	82–88	80–88	125–145
Saponification value	179–185	177–182	185–188

Tabella 6.6 Caratteristiche dell'olio di ricino in base ai diversi metodi di estrazione (Fonte: D.S. Ogunniyi, 2005).

6.2.8 Caratteristiche del biodiesel

Il biodiesel proveniente da olio di ricino risulta avere delle pregevoli caratteristiche che lo rendono adatto ad essere impiegato come biocombustibile (Barajas Forero C. L., 2005), tuttavia presenta anche

un'elevata viscosità e densità. Presenta inoltre un'elevata stabilità all'ossidazione e quindi è adatto ad una più lunga capacità di stoccaggio; una maggiore capacità lubrificante.

Properties	Units	Petroleum diesel	B10	B20	B100
Sp. Gr.		0.8610	0.8643	0.8703	0.9268
Density	kg/m ³	861.0	864.3	870.3	926.8
Kinematic viscosity	mm ² /s	3.81	4.54	4.97	15.98
Flash point	°C	68.3	85.3	88.7	190.7
Heating value	kJ/kg	47216.4	44427.6	44780.4	37900.8
Copper strip corrosion		1 a	1 a	1 a	1 b
Carbon residue	% masa	0	0.009	0.007	0.037
Cloud point	°C		- 5	- 7	- 23
Pour point	°C	- 6	- 26	- 30	- 45

Tabella 6.7 Proprietà chimiche del biodiesel proveniente da olio di ricino miscelato al diesel minerale in diverse proporzioni (Fonte: Barajas Forero C. L., 2005).

Esters profile		m/m%
Methyl palmitate	C16:0	1.25
Methyl stearate	C18:0	1.31
Methyl oleate	C18:1	3.81
Methyl linoleate	C18:2	5.27
Methyl linolenate	C18:3	0.81
Methyl arachnidate	C20:0	0.05
Methyl eicosenoate	C20:1	0.38
Methyl behenate	C22:0	0.01
Methyl eructate	C22:1	0.01
Methyl ricinoleate	C18:1 OH	87.10

Tabella. 6.8 Composizione chimica del biodiesel di ricino (Fonte: Laureano et al., 2010).

6.3 CARDO (*Cynara cardunculus* L.)

L'importanza del cardo come pianta energetica da biomassa ormai è consolidata; al fine di un utilizzo più completo della coltura oggi giorno si tende a porre l'attenzione anche alla sua produzione di olio (di cui gli acheni sono ricchi), con il possibile impiego per la produzione di biodiesel. In tal modo è possibile ottenere superiori finalità produttive, sfruttando la capacità di arido-resistenza soprattutto negli ambienti con scarse risorse idriche.

6.3.1 Generalità

Il cardo, originario del Bacino del Mediterraneo, è pianta poliennale a ciclo fotosintetico C3, appartiene alla famiglia delle Asteraceae, sottofamiglia tubifloreae, genere *Cynara*; a questo genere si attribuisce la specie *Cynara cardunculus*, che comprende tre varietà botaniche: il α *C. cardunculus* *silvestris* Lamb. (carciofo selvatico), il β *C. cardunculus* *scolymus* (carciofo coltivato) e il γ *C. cardunculus* *altilis* DC (cardo coltivato). E' una specie originaria del bacino del Mediterraneo dove sono anche presenti almeno altri sei specie: il *C. syriaca* Boiss, il *C. cornigera* (Lindely) = *C. sibthorpiana* Boiss., il *C. algarbiensis* Cosson, il *C. baltica* (Sprengel) Pau = *C. alba* Boiss., il *C. humilis* L. ed il *C. cyrenaica* Maire e Weiller (Rottenberg e Zohary 1996). In base a studi citogenetici e iso-enzimatici è stato evidenziato che il *Cynara cardunculus* var. *silvestris* è progenitore sia del carciofo che del cardo coltivato. Le forme spontanee e coltivate di *Cynara cardunculus* sono infatti inter-incrociabili e gli ibridi ottenuti completamente fertili (Rottenberg e Zohary 1996; Rottenberg *et al.*, 1996). Il cardo selvatico è attualmente diffuso soprattutto in Sicilia, Sardegna, Corsica e su molte isole minore: popolazioni sono state individuate anche nella maremma Toscana e nel Teramense.

6.3.2 Diffusione come coltura energetica

Gli studi relative alle potenzialità del cardo come coltura energetica risalgono agli scorsi anni ottanta in Spagna, su iniziativa del “Agroenergy Group of the Polytechnic - University of Madrid”. Le ricerche sul *Cynara* furono poi condotte in diversi Paesi europei, supportati dalla Commissione Europea, in una serie di programmi R&D. Furono svolte importanti prove per valutarne le potenzialità produttive per biomassa, adattamento a pratiche di raccolta meccanica, utilizzo nell'alimentazione del bestiame e per produzione

di carta. Grande interesse verso questa coltura fu dovuto soprattutto per la sua caratteristica di adattamento a condizioni pedoclimatiche difficili, permettendo così la coltivazione anche su terreni marginali e con il solo apporto idrico delle piogge autunno-primaverili, in accordo con i requisiti richiesti dall'Europa per le colture energetiche. Per fini industriali, *C. cardunculus* viene coltivato seguendo i canoni di gestione di una tipica piantagione perenne condotta senza apporti idrici (*dry farming*). La biomassa aerea prodotta durante il ciclo colturale viene raccolta a scadenza annuale, in estate (Fernández, 2004).

6.3.3 Caratteri morfologici e biologici

È una coltura perenne, erbacea, annuale in coltura, coltivata attualmente nel Bacino del Mediterraneo, dove trova condizioni ottimali per il suo accrescimento. Per quanto riguarda il suo ciclo vitale, il cardo viene seminato in estate, germoglia in autunno, passa l'inverno come rosetta (stadio in cui risulta massima la resistenza al freddo) e sviluppa lo scapo florale in primavera. In estate, a causa delle scarse precipitazioni e delle elevate temperature, si ha l'arresto vegetativo dell'apparato aereo ed il suo disseccamento. Contemporaneamente, nella zona ipogea, il potente apparato radicale sopravvive in stato di dormienza. La vegetazione riprende con le prime piogge autunnali sviluppando nuove foglie, dalle gemme latenti alla base del fusto, ed ha inizio un nuovo ciclo vitale. Il cardo è da considerarsi pianta perenne, sebbene esistano colture annuali o poliennali (5-6 anni).

La pianta di cardo è costituita da un grosso organo sotterraneo rizomatoso di riserva (ceppaia) da cui si dipartono 3-5 radici carnose del diametro talvolta maggiore a 2 cm, che possono raggiungere oltre il metro di profondità (fino a 7 metri secondo Fernandez, 2006), permettendo alla pianta di sopravvivere in condizioni di carenza idrica, essendo capace di esplorare senza problemi gli orizzonti profondi del suolo più ricchi di umidità. In autunno le gemme radicali producono una nuova rosetta di foglie mentre in primavera si ha la fioritura con il disseccamento dei fiori stessi in estate.

La plantula produce nel primo anno di vita un profondo fittone, la rosetta basale di foglie e, successivamente, lo scapo florale con i capolini. Le foglie a rosetta muoiono generalmente alla prima estate e ricrescono nei periodi più piovosi. Dalla radice principale si sviluppano le radici secondarie orizzontalmente, a diverse profondità.

Il fusto inizialmente di consistenza erbacea, durante l'accrescimento assume una consistenza semi-legnosa; presenta sezione circolare di diametro fino a 8-10 cm, può raggiungere un'altezza talvolta superiore a 100-250 cm e si ramifica allorché la pianta entra nella fase riproduttiva (fioritura); robusto, striato in senso longitudinale e fornito di foglie alterne. Durante il primo anno di vita il fusto si sviluppa normalmente per 1 metro, per poi raggiungere 1,5 e 2,5 metri l'anno successivo (Fernández, 2004). Il fusto principale e le sue ramificazioni portano, in posizione terminale, le infiorescenze. Gli steli fiorali disseccano dopo la fioritura e possono rimanere eretti per diversi mesi così come i vecchi fiori, che possono persistere per lungo tempo.

Le foglie, che costituiscono la parte edibile, sono portate su internodi molto ravvicinati in particolare nella parte basale del fusto e fanno assumere alla pianta un aspetto cespuglioso, sono lobate o pennatosette, caratterizzate da una grossa nervatura centrale, abbastanza spessa, che nella parte di attacco abbraccia parzialmente il fusto. Le foglie più adulte possono raggiungere una lunghezza superiore al metro; la lamina fogliare è di color verde-grigiastro per la presenza di numerosissimi peli, in particolare nella parte inferiore. Alcune cultivar presentano talvolta vere e proprie spine ai margini della grossa nervatura centrale e nei punti di attacco, su di essa, dei setti della lamina fogliare (V.V.Bianco, 1990). La spinosità delle foglie è una caratteristica della specie, oltre che della varietà, ed è regolata da una coppia di geni complementari dominanti per l'assenza di spine (Foury, 1969). L'eterofilia è presente con consistenza differente in relazione alle varietà. Le foglie sottostanti il capolino sono lanceolate e a lamina intera. Le prime foglie dei carducci sono anch'esse spesso a lamina intera, specialmente nelle varietà

precoci, nelle quali l'eterofillia è una caratteristica significativa, contrariamente alle varietà tardive, le quali si possono considerare a media o lieve eterofillia (Jannaccone, 1969; Dellacecca *et al.*, 1976). Le foglie della rosetta, invece, sono peziolate, larghe (oltre 50 x 35 cm), subcoriacee, profondamente fessurate, mentre quelle del fusto sono alterne e sessili. Nell'ambito delle varietà molto precoci, spesso si osserva la comparsa di piante tardive, caratterizzate da foglie a margine seghettato, in conseguenza di mutazioni chimeriche (Marzi, 1989). Il portamento della pianta determinato dalla diversa angolazione di attacco delle foglie sul fusto, può essere espanso o assurgente (Dellacecca *et al.*, 1976).

I fiori, ermafroditi, tubulosi, vengono detti "flosculi". Questi, sono riuniti in una infiorescenza a capolino detta anche "calatide", di forma tendenzialmente ovale o conica. I capolini sono di forma, numero e grandezza diverse a seconda delle specie e della varietà. Possono superare anche i 400 grammi cadauno ed essere presenti sulla pianta in numero di 20-30 o anche 60 (più numerosi rispetto al carciofo). Sono portati singolarmente, hanno un diametro di 3-8 cm e possono presentare una corolla di diversa colorazione (blu, lilla fino a glauca). L'infiorescenza comprende una parte basale, il ricettacolo carnoso, sul quale sono inseriti i fiori. Inframmezzati ai fiori sono presenti sul talamo numerose setole bianche e traslucide, il cosiddetto "pappo". Sul ricettacolo si inseriscono le brattee o squame involucri, a disposizione embricata l'una sull'altra, le più interne tenere e carnose, quelle più esterne consistenti e fibrose, di colore verde, violetto o brunastro. La presenza di spine all'apice delle brattee è una caratteristica legata alla specie e alla varietà, così come la colorazione delle brattee interne e di quelle esterne (Mauromicale, 1987; Marzi, 1989; Foti e Mauromicale, 1994). Il ricettacolo tende a diventare convesso durante la schiusura dei fiori. L'emissione dei capolini è scalare e la durata del periodo di fioritura può essere molto ampia o alquanto ridotta, in funzione della precocità. La fioritura è proterandra. La fertilità del polline dura sino a tre, quattro giorni dopo l'antesi, lo stigma

diventa recettivo in un periodo di tempo variabile, a seconda delle specie e della varietà tra i 4-5 e gli 8 giorni dopo l'antesi, quando cioè il polline dello stesso fiore ha perso la facoltà di germinazione (Foury, 1967). La fioritura si ha generalmente tra aprile e giugno. La morfologia florale ed il meccanismo di antesi impediscono normalmente l'autoimpollinazione, per cui la fecondazione avviene normalmente per opera degli insetti bottinatori (Foury, 1967 ; Bozzini e Iachelli, 1973; Pinzauti *et al.*, 1981).

Il frutto, impropriamente chiamato seme, è un achenio tetragono-costato (cipsele), di forma oblunga lievemente ricurva, un po' depressa, di colore grigiastro scuro e screziato e talvolta punteggiato o striato dal nero al verde scuro (che misura intorno agli 8 mm per 3 mm), unito al calice trasformato in pappo setoloso (che misura fino a 40 mm in lunghezza e 30 mm di diametro), per favorire la disseminazione. I "semi" di colore più scuro sono quelli formati più precocemente nelle parti periferiche del talamo (capolino); sono più pesanti e presentano migliore germinabilità. Il peso dei mille acheni può oscillare tra i 20 e i 50 g a seconda della varietà; 1 g ne contiene 20-30.

6.3.4 Esigenze

Il cardo è pianta rustica e presenta caratteristiche tali da consentire l'allevamento a "zero input", cioè senza apporti idrici durante tutto il suo ciclo. I taxa appartenenti a *C. cardunculus* richiedono un decorso termico mite senza eccessi termici e una sufficiente umidità, per cui il loro ciclo biologico naturale, nelle condizioni di clima del bacino del Mediterraneo, si svolge nel periodo autunno-primaverile.

Recenti studi condotti sulla biologia di popolazioni siciliane di cardo selvatico hanno mostrato una buona tolleranza di questo a condizioni di stress idrico e salino durante le fasi di germinazione degli acheni (Raccuia *et al.*,

2004a). Nel complesso *C. cardunculus* L. presenta una spiccata adattabilità all'ambiente mediterraneo, la quale si concretizza fundamentalmente in una stagione di crescita, che coincide con il periodo in cui si hanno i maggiori apporti idrici naturali, e con l'accumulo nelle radici di sostanze di riserva in grado di sostenere la riattivazione vegetativa, dopo la quiescenza estiva.

Il cardo è una specie termofila anche se nel periodo invernale tollera senza problemi temperature anche di -5°C ; temperature ancora inferiori (fino a -10°C) apportano di norma danni limitati alle foglie senza compromettere la vitalità degli organi sotterranei utili per il ricaccio primaverile. La soglia termica inferiore di crescita del carciofo, determinata attraverso ricerche poliennali, è stata fissata tra 7 e 9°C (Basnikzi *et al.*, 1981). Il carciofo resiste abbastanza bene sino a temperature di 0°C , mostrando alle più basse temperature lievi danni da freddo sul capolino con distacco della cuticola delle brattee, da 0°C a -4°C i danni da freddo diventano più gravi per l'infiorescenza (Mauromicale, 1981); da -4 a -7°C vengono danneggiate le foglie. Al di sotto di -7°C tutta la vegetazione è colpita, mentre a partire da -10°C possono essere compromesse anche le gemme del fusto rizoatoso (Bianco, 1990). Temperature medie giornaliere intorno o non superiori a 24°C durante la fase di transizione dell'apice da vegetativo a riproduttivo, favoriscono la comparsa di capolini atrofici (Morone, Fortunato *et al.*, 1981) con capolini già formati le suddette temperature accelerano notevolmente l'accrescimento del complesso infiorescenziale, la comparsa di brattee violente interne, l'indurimento delle brattee e in generale il rapido decadimento della qualità, dei capolini (Bianco e Delacecca, 1982). La germinazione dei semi (acheni) trova l'optimum fra 15 e 20°C ; a 10°C è notevolmente rallentata, mentre a 35°C e al buio si notano anomalie morfologiche delle radichette. La luce sembra inibire la germinazione con diversa intensità fra le cultivar; a 35°C , in presenza di luce i semi, non germinano affatto (Basnikzi, 1981). Le temperature ottimali per l'accrescimento della pianta sembrano essere $12-14^{\circ}\text{C}$ durante la notte a $20-22^{\circ}\text{C}$ durante il giorno. La plantula di poche settimane

fino allo stadio di rosetta con almeno quattro foglie risulta però sensibile alle gelate, ed è per questo che la semina va di norma effettuata in modo da garantire almeno 1-2 mesi di sviluppo vegetativo prima dell'arrivo delle basse temperature. Seppur tendenzialmente termofilo il cardo sembra evidenziare una temperatura ottimale per la crescita che si aggira intorno ai 14-18°C. E' una specie microterma con esigenze termiche tra 5-40°C, che presenta spiccate caratteristiche di arido-resistenza.

Il fotoperiodo specialmente nelle cultivar che necessitano del freddo per la formazione del capolino, gioca un ruolo importante ma ancora non del tutto chiaro. Il fotoperiodo influenza inoltre sia il numero che la lunghezza delle foglie prodotte (Basniki, 1981). Man mano che le condizioni induttive si allontanano dall'optimum, il numero di foglie necessarie per consentire la formazioni del capolino aumenta (Foti e La Malfa, 1981).

Dal punto di vista delle esigenze pedologiche il cardo rifugge i terreni in cui vi è un forte rischio di ristagno idrico e i suoli poco profondi, mentre dal punto di vista granulometrico si adatta bene a una vasta gamma di terreni, da quelli argillosi ma ben strutturati, a quelli sciolti; predilige comunque i suoli calcarei, profondi e permeabili e tollera pH oscillanti da subacidi a subalcalini. La combinazione ideale è data da un suolo caratterizzato da una buona riserva idrica accumulata con le precipitazioni invernali tale da consentire un regolare sviluppo primaverile-estivo della coltura specialmente durante il primo anno dell'impianto. Il vigoroso sviluppo della parte epigea e dell'apparato radicale perennante, infine, rendono il cardo particolarmente indicato in ambienti a rischio di erosione. Risulta essere una pianta molto rustica che ben si adatta ad areali con scarse risorse idriche e nutritive e difficili da valorizzare.

6.3.5 Rusticità ed adattabilità all'ambiente Mediterraneo

Numerose specie e varietà oggi coltivate nei paesi del Bacino del Mediterraneo sono il risultato di un adattamento mesoxerofitico, sono cioè in

grado di mantenere l'equilibrio idrico, limitando il rilascio di acqua nell'atmosfera, a mezzo di dispositivi morfologici e fisiologici.

Tra gli adattamenti *morfologici* ricordiamo ad esempio quelli che interessano: la riduzione della superficie traspirante e delle dimensioni delle cellule, la riduzione delle dimensioni degli stomi, l'aumento del numero dei peli, l'ispessimento della cuticola.

Gli adattamenti *di tipo fisiologico* riguardano la regolazione della resistenza stomatica e della pressione osmotica dei succhi cellulari, delle membrane cellulari. Alcune specie riescono, invece, a completare il loro ciclo biologico prima che si determinano condizioni di deficit idrico evitando in tal modo l'avversità. Un esempio di adattamento alle condizioni di stress ambientale è, infatti, rappresentato dalla precocità di fioritura e di maturazione comune a molti dei biotipi oggi coltivati.

Un altro esempio di adattamento alle condizioni ambientali che si riscontra in ambiente Mediterraneo è la "dormienza", termine con cui viene indicato il rallentamento dell'attività biologica durante i periodi sfavorevoli e la ripresa dei livelli normali soltanto quando vengono a ristabilirsi le condizioni ambientali favorevoli. Questo tipo di adattamento biologico si riscontra prevalentemente nelle specie perenni. Le piante del genere *Cynara*, che nel nostro ambiente interrompono l'attività vegetativa nei mesi estivi per riprenderla dopo le prime piogge autunnali, oppure, nel caso di coltivazione in irriguo dopo una irrigazione (riattivazione della carciofaia), sono un tipico esempio di adattamento all'ambiente mediterraneo.

6.3.6 Tecnica colturale

6.3.6.1 Impianto

La lavorazione principale del terreno non differisce da quella prevista per le comuni colture cerealicole e/o industriali. Trattandosi di una specie poliennale, in taluni casi, in funzione del tipo del terreno e del posto occupato nell'avvicendamento, può essere opportuno effettuare un'aratura a 30 cm; analogo risultato può essere raggiunto impiegando un ripuntatore. La preparazione del letto di semina viene di norma realizzata con una o più erpicature.

La densità di impianto va stabilita soprattutto in funzione della disponibilità di acqua, sulla quale è possibile fare affidamento. A fronte di un investimento ottimale medio di 15.000 piante ha⁻¹ conviene ridurre la densità fino a 10.000 nel caso in cui la riserva idrica del suolo sia sistematicamente modesta. Per contro, la densità d'impianto può essere aumentata fino a circa 20.000 piante ha⁻¹ in terreni sufficientemente freschi e profondi.

Per la semina, se l'operazione viene eseguita a file con l'impiego delle normali seminatrici di precisione opportunamente regolate sia per la distanza interfilare (da 75 cm ad 1 m) che sulla fila (da 5 a 10 cm), sono indicativamente necessari dai 3 ai 5 kg ha⁻¹ di seme. La profondità di semina deve attenersi ai 2 – 4 cm (Fernández, 2004). Alcune esperienze condotte in Spagna suggeriscono anche la semina “a postarelle” con la deposizione di 2 o 3 semi per volta. Il tempo necessario per la germinazione è di 4-5 settimane. In ogni caso è possibile intervenire successivamente con una o più sarchiature quando le plantule hanno raggiunto uno sviluppo accettabile.

Sempre dalla stessa sperimentazione condotta nella penisola iberica emerge che in fase di impianto della coltura, al fine di facilitare l'esecuzione dei trattamenti di controllo fitosanitario, è opportuno prevedere dei corridoi non seminati di circa 2,5 metri di larghezza ogni 30-50 metri, così da

permettere il passaggio delle macchine operatrici anche dopo che si è sviluppata la coltura senza arrecare danni alle piante

L'epoca di semina è abbastanza diversificata in rapporto agli ambienti agro-pedoclimatici considerati. E' infatti possibile effettuarla sia nel periodo autunnale che in quello primaverile. Nel primo caso viene eseguita nel mese di settembre o, comunque, non appena si verificano quelle condizioni di temperatura e umidità che consentono alla pianta di accrescersi assai velocemente e di raggiungere uno sviluppo tale da resistere alle prime gelate (fase di rosetta). Nelle condizioni in cui il rischio di gelate precoci risulta elevato, è consigliabile rimandare la semina alla primavera successiva, indicativamente nel mese di marzo. Alcune prove sperimentali condotte nel nostro meridione in merito alla scelta dell'epoca di semina, hanno quasi sempre evidenziato una migliore risposta iniziale della coltura alla semina autunnale rispetto a quella primaverile; le differenze produttive registrate tendono comunque a diminuire dal terzo anno in avanti.

Il terreno dev'essere ricco, largamente dotato di materia organica, di medio impasto o leggermente tendente al sabbioso od al compatto. Terreni buoni sono naturalmente gli alluvionali, quelli provenienti da rocce vulcaniche, se corretti con laute letamazioni.

La profondità del terreno è condizione importante perché il Cardo possiede una robusta radice a fittone, che dà vita ad un abbondante complesso radicale.

6.3.6.2 Irrigazione

Per la coltivazione industriale, il Cardo è coltivato senza apporti idrici artificiali, sfruttando unicamente le precipitazioni invernali. Dal punto di vista delle esigenze idriche, infatti, il cardo presenta un ciclo vegetativo adatto al clima mediterraneo, pur riuscendo a prosperare anche con regimi idrici di tipo

xerico. In alcune ricerche condotte in ambienti particolarmente siccitosi della Spagna, è stata registrata una piccola produzione ($2 \text{ t ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$) perfino con precipitazioni medie annue intorno a 200 mm. La WUE (Water Use Efficiency) calcolata per il cardo non risulta comunque particolarmente elevata rispetto ad altre specie da biomassa (come, ad esempio, il sorgo o il miscanto) essendo pari a circa 1 kg di s.s. per ogni 1.000 kg di acqua traspirata. In linea generale, secondo i suggerimenti degli autori spagnoli, per un sufficiente sviluppo del cardo da biomassa le precipitazioni medie disponibili non devono in ogni caso essere inferiori a $400\text{-}450 \text{ mm anno}^{-1}$.

6.3.6.3 Fertilizzazione

Dato che il cardo è una coltura che produce una notevole quantità di biomassa, le asportazioni di nutrienti da parte della coltura sono piuttosto elevate, tanto che, nella bibliografia internazionale, viene considerata indispensabile un'adeguata fertilizzazione di base, calcolata in funzione delle asportazioni presunte, della produttività della coltura nell'ambiente considerato e della dotazione naturale del suolo. In linea di massima, appare opportuno interrare all'impianto circa $100\text{-}120 \text{ kg ha}^{-1}$ di N, $60\text{-}70 \text{ kg ha}^{-1}$ di P_2O_5 e $100\text{-}150 \text{ kg ha}^{-1}$ di K_2O . Al fine di garantire l'interramento in profondità del fertilizzante – che l'ampio e vigoroso apparato radicale del cardo riesce a sfruttare – è opportuno che la concimazione di fondo preceda la lavorazione principale del terreno.

Per quanto riguarda gli anni successivi al primo risulta necessario intervenire per ricostituire le riserve nutritive del terreno sottratte attraverso l'asportazione annuale della biomassa aerea. La quantità di elementi da apportare va stimata in funzione della biomassa asportata nella raccolta. Studi condotti in Spagna consigliano una quantità di fertilizzanti pari a 12,6 kg di N, 3,5 kg di P_2O_5 e 20,8 kg di K_2O per ogni tonnellata di biomassa raccolta (Fernández et al., 2002). Gli apporti di concimi fosfo-potassici sono da

effettuarsi nel periodo autunnale subito dopo la raccolta della biomassa, mentre l'azoto va comunque distribuito al momento della ripresa vegetativa a fine inverno o inizio primavera.

6.3.6.4 Controllo delle infestanti

La sensibilità alla competizione con le infestanti si verifica soltanto nell'anno di impianto; successivamente, una volta raggiunto lo sviluppo completo della coltura, l'apparato aereo garantisce una copertura pressoché completa del terreno tale da inibire lo sviluppo delle malerbe.

6.3.6.5 Raccolta

La produzione di una coltivazione di Cardo dipende in gran misura dalla disponibilità di acqua in primavera e dalla durata del suo accrescimento attivo (ovvero se la semina è stata effettuata in autunno o in primavera). Se la semina è stata effettuata in autunno, il tallo sarà, comunque, ancora corto (non più di un metro) e poco ramificato. In questo caso si può effettuare la raccolta dei semi con una mietitrebbiatrice da cereali o da girasole, ottenendo un rendimento che può risultare inferiore ai 500 kg ha⁻¹. Nel caso in cui, invece, la semina sia stata effettuata in primavera, durante il primo anno di vita la pianta non riesce a sviluppare lo scapo florale in tempo per la raccolta estiva.

Al termine del primo ciclo di crescita, la produzione risulta essere piuttosto bassa, questo perché la strategia biologica del *C. cardunculus* è quella di sviluppare prima l'esteso apparato radicale. Nei cicli successivi il raccolto si incrementa, soprattutto in funzione delle condizioni climatiche (Fernández, 2002).

La raccolta deve essere effettuata dopo il completamento del ciclo di sviluppo della coltura, ma prima della dispersione dei semi. Il ottimale per eseguire la raccolta dovrebbe avvenire quando la biomassa è disseccata (<15% di umidità) ed i semi sono maturi. In Italia Meridionale ciò si verifica tra la fine di luglio e la prima metà di settembre.

Vi sono risultati discordanti sia rispetto alla produttività totale ed annua della coltura sia alla durata dell'impianto: secondo alcune esperienze condotte nel nord del Paese questa sembra decrescere dal primo anno in avanti, mentre in altri casi, nelle esperienze condotte nel Centro e nel Sud d'Italia, la produttività della coltura è risultata elevata nei primi anni dopo quello di impianto e si deprime sensibilmente soltanto a partire dal sesto anno. Sul piano della resa media annua di sostanza secca, gli autori spagnoli suggeriscono di stimare come valore prudenziale quello di circa 20 t ha⁻¹ anno. Da alcune prove sperimentali condotte in Toscana sembrano risultare valori leggermente inferiori (dalle 16 alle 14,1 t ha⁻¹ anno⁻¹ registrate in terreni franco-limosi), mentre in Sicilia sono state ottenute rese medie annuali variabili tra 11 e 15 t ha⁻¹ anno⁻¹. Solo in terreni particolarmente fertili, al secondo e/o al terzo anno di età delle colture, sono state raggiunte anche da noi produzioni di punta di 21 t ha⁻¹ anno⁻¹. Nel primo anno, come abbiamo detto, la produzione ottenuta è bassa, ma già al secondo anno questa si incrementa attestandosi attorno alle 15 – 20 t ha⁻¹, compatibilmente alle condizioni meteorologiche. Produzioni di 30 t ha⁻¹ sono state raggiunte e vengono riportate in molti casi (Dalianis et al., 1994, 1996; Foti et al., 1999). Per quanto riguarda i semi il cardo produce 2 – 3 t ha⁻¹ di semi, che aumentano se agli apporti idrici invernali si aggiungono gli interventi irrigui.

Il *Cynara* fornisce nella raccolta estiva tre diversi prodotti dai quali ricavare materie prime per usi non alimentari. Nell'infruttescenza, il capolino, si trovano già tutti i prodotti che l'intera pianta fornisce: semi oleosi e pappi dagli acheni e biomassa dalla parte rimanente; il resto della pianta (parte epigea) è qualificabile come *biomassa* (Fedrizzi M. e Pansini L., 2006).

È possibile ipotizzare diverse soluzioni di meccanizzazione, dalla raccolta alla produzione di energia:

- 1) raccolta in campo dell'intera pianta senza separazione;
- 2) come sopra con separazione successiva;
- 3) separazione e raccolta in campo dei capolini e del resto della pianta e successiva separazione degli acheni;
- 4) separazione e raccolta in campo degli acheni e del resto della pianta.

- Raccolta in campo dell'intera pianta senza separazione. Nella raccolta indifferenziata dell'intera biomassa, si può usare una falcia-trincia-caricatrice semovente. In un unico passaggio, la pianta viene falciata, trinciata e lanciata su un carro affiancato all'operatrice. Il prodotto, con massa volumica bassa, va trattato per contenere i costi di trasporto all'impianto di combustione, ad esempio con un apparato di compattazione a bordo campo (costituito da una camera di pressatura discontinua), simile a quelli per rifiuti plastici o cartacei, modificato per confezionare la massa con materiali compatibili con la combustione. Nel caso di eccessiva presenza di terra nel prodotto andanato, che dà luogo a ceneri dannose nel processo di combustione, si taglierà la pianta ad un'altezza tale da minimizzare il problema (pur perdendo parte della biomassa). Alternativamente si valuterà l'utilizzo di una falcia-imballatrice (tipo prototipo *Claas*) (Fedrizzi M. e Pansini L., 2006).

- Raccolta in campo dell'intera pianta e separazione successiva. Questa ipotesi prevede la raccolta dell'intera pianta secca di *Cynara cardunculus*, e la successiva separazione dei vari prodotti con impianto fisso. Per la raccolta si possono usare una falcia-andanatrice ed una imballatrice, seguite da un trattore con forca elevatrice che carichi le balle su un rimorchio per il trasporto all'impianto di separazione. L'efficienza di questa operazione sarà legata alle dimensioni delle balle prodotte. L'impianto fisso può essere costituito da un

sistema di cippatura delle balle, con un cilindro rotante su asse orizzontale, dotato di elementi taglienti. Il prodotto cippato cade su un vaglio vibrante con fori tali da permettere la caduta degli acheni in un contenitore. In alto c'è una cappa di aspirazione per i pappi, convogliati in un ciclone che, a sua volta, li raccoglie in sacchi. Il cippato, costituito dalla frazione più pesante rimasta sul vaglio, viene raccolto per essere avviato alla combustione (Fedrizzi M. e Pansini L., 2006).

- Separazione e raccolta in campo dei capolini e del resto della pianta e successiva separazione degli acheni. Si può impiegare una falcia-andanatrice, con l'aggiunta frontale di un elemento separatore derivato dalle barre per girasole, orizzontale ed avanzato rispetto agli altri organi della macchina. Per evitare l'abbattimento della pianta, questo elemento va posto ad un'altezza appena inferiore a quella del primo palco di capolini (ogni pianta porta a maturazione vari capolini a diverse altezze). La testata di raccolta stacca i capolini dal resto della pianta per la trazione dovuta all'avanzamento del mezzo, lasciandola in posizione eretta; poi la barra falciante, posizionata ad un'altezza da terra regolabile, la falcia. La macchina rilascia in andana il prodotto, raccolto da una imballatrice come nel caso precedente. I capolini separati dalle piante vengono accumulati su un carro affiancato alla macchina, che li trasporta verso un impianto fisso di trebbiatura per la separazione degli acheni. Il prodotto di scarto della trebbiatura si può trattare con un sistema di aspirazione sotto cappa come nel caso precedente per la separazione dei pappi (Fedrizzi M. e Pansini L., 2006).

- Separazione e raccolta in campo degli acheni e del resto della pianta. A tal fine si può usare una mietitrebbiatrice semovente, che provvede al taglio della pianta ed alla successiva trebbiatura. Gli acheni si raccolgono nella tramoggia, mentre i residui in uscita dagli scuotipaglia cadono a terra in andana. A seguire, una macchina imballatrice, come nelle ipotesi precedenti,

provvede alla raccolta in balle, poi trasportate alla centrale termoelettrica (Fedrizzi M. e Pansini L., 2006).

6.3.7 Utilizzi possibili

Il *Cynara cardunculus* è una specie con una molteplicità di destinazioni per quanto riguarda il suo utilizzo finale. Il consistente interesse per le potenzialità produttive di questa coltura è legato, oltre che all'uso tradizionale delle sue infiorescenze immature (capolini) nell'alimentazione umana e come agente coagulante del latte, ad impieghi alternativi della biomassa.

L'uso dei semi di *C. cardunculus* per la produzione di olio, presenta il vantaggio di essere compatibile con la produzione di biomassa utilizzabile ai fini energetici. In questo contesto la coltura possiede il duplice ruolo di produzione di biomassa lignocellulosica per energia (10-20 t ha⁻¹), attraverso la produzione di pellet (con un potere calorifico inferiore di 16-17 MJ kg⁻¹ compresi i semi) (Fernandez e Manzanres, 1990; Foti *et al.*, 2000; Raccuia *et al.*, 2003a; Raccuia *et al.*, 2005c; Raccuia e Melilli, 2007a), o per la produzione di pasta di cellulosa (Gominho *et al.*, 2000), e seme per la produzione di olio, da destinare o all'uso alimentare o alla produzione di biodiesel (Curt *et al.*, 2002).

Oltre all'utilizzo dell'olio per produzione di biodiesel e anche per alimentazione umana, il pannello di estrazione possiede delle pregevoli caratteristiche di composizione, grazie soprattutto all'alto tenore in C (50%) ed in N (24%), che lo rendono adatto ad essere utilizzato come fertilizzante organico e come mangime zootecnico (C. Cajarville *et al.*, 2000).

Parte della pianta	PCS (kcal kg⁻¹ s.s.)	PCI (kcal kg⁻¹ s.s.)
Foglie basali	3652	3390
Foglie caulinari	4096	3809
Fusti	4205	3913
Capolini senza acheni	4109	3810
Acheni	5576	5208
Biomassa totale	4083	3795

Tab. 6.9 Potere calorifico superiore (PCS) ed inferiore (PCI) di biomassa di *Cynara cardunculus*, al termine del ciclo produttivo (Fernández, 2006).

6.3.8 Caratteristiche dell'olio

L'olio ottenuto dagli acheni di *Cynara* presenta una distribuzione degli acidi grassi simile a quella del mais e del girasole, e alte quantità di tocoferoli che lo rendono particolarmente stabile nei confronti dei fenomeni di ossidazione. Gli acheni possiedono una composizione media pari a 22% di proteine, 24% di olio, 28% di fibra, 4% di ceneri e 22% di estrattivi inazotati. In alcuni tipi è stata evidenziata una resa in olio superiore al 28%.

Foti *et al.* (1999) e Curt *et al.* (2001) hanno evidenziato la possibilità di impiegare i semi di cardo selvatico, i quali vengono prodotti in quantità maggiore rispetto al carciofo ed al cardo coltivato, per l'estrazione di olio. Le analisi relative alle caratteristiche chimiche dell'olio hanno evidenziato una buona qualità alimentare, dovuta alle elevate quantità di acido oleico (27%) ed acido linoleico (58%), presenti in rapporto bilanciato, ed a causa del buon contenuto in α -tocoferolo (54.6 mg 100 g⁻¹) simile a quello presente in altri oli vegetali come quello del mais e girasole (Maccarrone *et al.*, 1999). Grazie anche al metodo di estrazione per pressione ad una temperatura di 20/25°C, si sono potute mantenere stabili le caratteristiche fisico-chimiche dell'olio stesso rendendolo adatto all'alimentazione umana (Curt *et al.*, 2002).

Tipo di acido grasso	Doppi legami	Composizione (peso %)
Palmitico	C 16:0	11,40
Palmitoleico	C 16:1	-
Stearico	C 18:0	3,60
Oleico	C 18:1	27,00
Linoleico	C 18:2	58,00
Linolenico	C 18:3	-
Arachidico	C 20:0	-

Tab. 6.10 Composizione triglicerica dell'olio di *Cynara cardunculus*. European standard test method (EN 14103) (Fonte: *Jesús Fernández -Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos - Universidad Politécnica de Madrid, Spain, 2005*).

Proprietà	Risultati	Metodi
Densità (15°C)	921 kg m ⁻³	EN ISO 3675
Viscosità (40°C)	32 mm ² s ⁻¹	EN ISO 3104
Monogliceridi	0,08 % (w/w)	EN 14105
Digliceridi	2,78 % (w/w)	EN 14105
Glicerolo	0,0 % (w/w)	EN 14105
Acidi grassi liberi	5,84 % (w/w)	EN ISO 660
Acidità	11,63 mgKOH g ⁻¹	EN 14104
Numero di Iodio	123,7 gI ₂ 100g ⁻¹	EN ISO 3961
Contenuto in acqua	1178 ppm	EN ISO 12937

Tab. 6.11 Proprietà olio non raffinato di *Cynara cardunculus* (*Fernández, 2005*).

6.3.9 Caratteristiche del biodiesel

Riguardo all'utilizzazione dell'olio per ottenere biodiesel, le principali caratteristiche di questo sono: densità (0,916 g/ml), viscosità a 20°C (95 mm²/s), potere calorico (32,99 MJ/kg) valore allo iodio (350), valore di saponificazione (194). Lo studio della composizione chimica degli acidi grassi ha permesso infine, di mettere in evidenza l'attitudine di questo prodotto ad essere impiegato come combustibile (biodiesel). Encinar *et al.* (2002) hanno studiato la reazione di transesterificazione nell'olio estraibile da *C.*

cardunculus con lo scopo di caratterizzare gli esteri etilici da utilizzare come biodiesel per i motori ad accensione per compressione. Il biodiesel con le proprietà migliori è stato ottenuto usando un rapporto molare di etanolo/olio di cardo pari a 12:1, di idrossido di sodio come catalizzatore (1%) a temperatura di 75°C.

Caratteristiche	Biodiesel		EN-14214
	Etil estere	Metil estere	
Densità 15°C (g cm ⁻³)	0,8794	0,8890	0,86-0,90
Viscosità 40°C (mm ² s ⁻¹)	4,479	5,101	3,5-5
Punto di infiammabilità (°C)	184	182	>101
Punto di intorbidimento (°C)	-5	-4	-
Numero di cetano	66	59	>51
Residuo carbonioso (%m/m)	0,28	0,36	<0,3
Indice di iodio	109	117	<120
Fosforo (mg kg ⁻¹)	<5	<5	<10
Zolfo (% m/m)	<0,02	<0,02	<0,02

Tabella 6.12 - Proprietà del biodiesel ottenuto dalla transesterificazione dell'olio di acheni del genere *Cynara* con etanolo (Etil estere) e metanolo (Metil estere)(Fonte: Fernandez e Curt, 2004).

7. OBIETTIVI DELLA RICERCA SCIENTIFICA NELLO SVILUPPO DELLE COLTURE DEDICATE DA ENERGIA

Le politiche energetiche ed agricole, in Europa e nel mondo, sembrano prospettare nei prossimi decenni un fabbisogno via via crescente di biocombustibili, solidi e liquidi, innescando un aumento di interesse della ricerca verso le colture energetiche. In tale prospettiva, l'obiettivo di fornire strumenti utili ad incrementare le produzioni bioenergetiche, viene perseguito principalmente attraverso due vie: il potenziamento delle rese e l'incremento delle superfici coltivate.

Il potenziamento delle rese, infatti, è un aspetto particolarmente importante per le colture energetiche, in quanto, a differenza delle colture alimentari non hanno potuto beneficiare di un lungo e costante lavoro di miglioramento genetico e risultano ancora perlopiù non addomesticate (Zegada-Lizarazu *et al.*, 2010). Gli obiettivi specifici da raggiungere, in tale aspetto, sono il perfezionamento delle tecniche colturali per le colture tradizionali adattate alla filiera energetica, l'individuazione della miglior agrotecnica assieme allo studio di soluzioni efficaci nella meccanizzazione della raccolta, per le colture di nuova introduzione e finalizzate alla sola filiera energetica e infine la razionalizzazione dei fattori immessi nel processo di coltivazione al fine di ottimizzare il bilancio energetico. Importante in tal senso risulta essere anche l'introduzione e l'adattamento di specie e/o varietà vegetali, attualmente non diffuse (es. cardo selvatico e ricino), in grado di ottimizzare le produzioni con un bilancio energetico positivo e allo stesso tempo l'individuazione, nei molteplici ambienti colturali nazionali, di quelle economicamente più convenienti e compatibili con criteri di sostenibilità ambientale. Oltre all'incremento delle rese gli sforzi della ricerca puntano anche alla valorizzazione dei sottoprodotti, al fine di ampliare la redditività e conseguentemente aumentare le potenzialità applicative delle colture bioenergetiche.

L'incremento delle superfici coltivate con specie da energia riveste grande importanza nell'obiettivo di aumentarne la produzione totale. La competizione tra produzioni alimentari e no-food è alla base della problematica relativa alla sostenibilità sociale della produzione di biocarburanti. Tale aspetto risulta particolarmente delicato a causa della questione della destinazione d'uso dei suoli coltivabili nei paesi in via di sviluppo, dove l'espansione delle colture per biocarburanti può essere considerata al tempo stesso una minaccia o un'opportunità in relazione al contesto analizzato (FAO, 2008). Per le colture energetiche il rischio di tale competizione può essere evitato ricercando e sviluppando caratteri di rusticità e tolleranza ai diversi stress pedoclimatici, in modo da individuare genotipi capaci di andare ad occupare terreni marginali e senza richiedere particolari input agronomici, come irrigazioni, concimazioni e diserbi (I. Sengo, 2010). In tale ottica la ricerca si orienta verso la costituzione di nuove varietà meglio adattabili ai diversi ambienti e tramite l'individuazione e la selezione di specie tradizionali e/o di specie autoctone non ancora coltivate.

8. SCOPO DELL'ATTIVITA' DI RICERCA

Per raggiungere gli obiettivi recentemente fissati dall'Unione Europea a favore di un massiccio ricorso alle fonti di energia rinnovabile, nel prossimo futuro verranno inserite negli ordinamenti colturali nuove colture dedicate per la produzione di energia, e assieme a ciò, vi sarà un forte incremento della superficie coltivata con nuove colture energetiche (Archountoulis, 2011). A fronte però di uno scenario di così ampio incremento delle coltivazioni di specie energetiche, favorito da politiche di sostegno, vi è ancora una generale carenza di dati e risultati scientifici utili a supportare tale crescita (EUR, 2006; Sims *et al.*, 2006; Karp & Shield, 2008; Connor & Hernandez, 2009; Krasuska *et al.*, 2010; Zegada-Lizarazu *et al.* 2010; Banse *et al.*, 2011; Beringer *et al.*, 2011). Questo tipo di conoscenze risulta necessario per fornire ai coltivatori strumenti efficaci, utili ad ottimizzare quantitativamente e qualitativamente le produzioni bioenergetiche e saperle integrare nei sistemi di gestione colturale tradizionale (Zezada-Lizarazu *et al.*, 2010), oltre al creare nuove prospettive tecniche e possibilità di diversificazione produttiva.

Le specie dedicate da energia poliennali o perenni, pur essendo meno flessibili delle annuali nell'organizzazione aziendale, sono particolarmente interessanti a causa dei bassi costi di gestione. Se si eccettua il primo anno, infatti, dove si presentano maggiori costi dovuti alle spese d'impianto (che comunque vengono ripartiti in diversi anni produttivi), le colture energetiche perenni presentano costi gestionali molto contenuti grazie alla loro rusticità.

In tale prospettiva la Sezione Agronomica del Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie ed Alimentari dell'Università degli Studi di Catania, già da tempo focalizza la sua attività di ricerca sulle colture poliennali energetiche, al fine di fornire importanti conoscenze tecniche sul comportamento produttivo e sulla migliore gestione agronomica di specie già coltivate e di nuova introduzione nell'ambiente Mediterraneo dell'Italia Meridionale.

La presente ricerca è stata mirata a incrementare la conoscenza delle potenzialità di due specie attualmente considerate tra le più promettenti colture energetiche poliennali per l'ambiente Mediterraneo, il ricino (*Ricinus communis* L.) ed il cardo (*Cynara cardunculus* L.). Per queste due specie si sono ricercati i principali punti di criticità e si è predisposta una serie di prove sperimentali con l'obiettivo di risolverne alcuni di essi. Gli obiettivi della ricerca sono stati principalmente:

- Valutare la risposta produttiva di *Ricinus communis* alla coltivazione a bassi input agronomici;
- Valutare la risposta produttiva di *Ricinus communis* a due differenti pratiche di raccolta;
- Identificare la densità di impianto maggiormente produttiva in acheni nella coltivazione di *Cynara cardunculus*;
- Individuare, tra alcuni genotipi di *Cynara cardunculus* e *Ricinus communis*, i migliori per adattamento e capacità produttiva.

9. MATERIALI E METODI

Le diverse prove sperimentali componenti questa tesi sono state condotte dal 2007 al 2011, lo scrivente ha seguito le prove svoltesi dal 2009 al 2011, mentre le restanti prove sono state condotte da altri colleghi e in un secondo momento elaborate statisticamente e interpretate dallo scrivente.

Le prove sono state suddivise in due linee, a seconda della specie oggetto di ricerca:

- **Linea A:** prove riguardanti il ricino (*Ricinus communis* L.):
 - Prova A: Effetti della riduzione degli input in *Ricinus communis* L., coltivato per produzione di biodiesel;
 - Prova B: Caratterizzazione produttiva di differenti genotipi di *Ricinus communis* L. in relazione a diversi trattamenti di raccolta, coltivati per produzione di biodiesel.

- **Linea B:** prove riguardanti il cardo (*Cynara cardunculus* L.):
 - Prova C: Valutazione delle potenzialità produttive di *Cynara cardunculus* L. in relazione a differenti densità di semina, per produzione di biodiesel;
 - Prova D: Caratterizzazione produttiva di differenti genotipi di *Cynara cardunculus* L. per produzione di biodiesel.

9.1 Prova A: Effetti della riduzione degli input in *Ricinus communis* L. coltivato per produzione di biodiesel.

La coltivazione del ricino sta riscuotendo un sempre maggiore interesse per la produzione di biodiesel, come coltura promettente per tutte le regioni a clima tropicale e subtropicale. Grazie alla sua rusticità, infatti, è una specie in grado di fornire produzioni elevate anche in condizione di bassi input energetici, potendo così rientrare nella categoria delle colture energetiche dedicate, che richiedono l'adozione di bassi input energetici. La capacità produttiva del ricino, coltivato a bassi input, pur essendo già nota ed apprezzata in diverse zone climatiche, necessita di sperimentazione nell'ambiente Mediterraneo. Scopo di questa prova è stato il valutare il comportamento di un genotipo selezionato in ambiente siciliano, in relazione a due livelli di input.

Le prove sono state condotte in un biennio (2007-08), nel territorio di Ispica (RG), sito nella Sicilia Sud-Orientale (36° 76' 36'' Lat. N, 14° 91' 53'' Long. E, 38 m s.l.m.). In uno schema sperimentale a blocchi randomizzati con tre ripetizioni sono state poste allo studio:

- l'applicazione di una tecnica colturale a bassi input (T0 – “Input BASSI”), con irrigazione esclusivamente alla semina;
- l'applicazione di una tecnica colturale convenzionale (T1 – “Input ALTI”), conforme a quella utilizzata nella coltura del ricino annuale (irrigazione alla semina e dall'emergenza alla maturazione del racemo principale; concimazione alla semina con 80 kg ha⁻¹ N, 80 kg ha⁻¹ di P₂O₅, 60 kg ha⁻¹ di K₂O).

La semina è stata effettuata manualmente il 1/6/2007 realizzando un sesto di impianto di m 2x2. I rilievi alla raccolta, effettuati al primo ed al secondo anno dall'impianto, hanno riguardato:

- LAI (le piante sono state tagliate al colletto e portate in laboratorio per il rilievo);

- statura delle piante;
- produzione di biomassa secca (le piante sono state tagliate al coltello, portate in laboratorio e sottoposte ad essiccazione in stufa fino a peso costante);
- resa in granella riferita al 10% di umidità;
- peso 1000 semi;
- contenuto in olio dei semi (metodo Soxhlet).

I dati sono stati sottoposti all'analisi della varianza ed in caso di significatività sono state analizzate le differenze tra le medie. Il livello di significatività è stato distinto nel modo seguente: ns = non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$. Si sono ricercati, inoltre, rapporti di correlazione tra i diversi caratteri. I principali parametri meteorologici (temperature minime, massime e precipitazioni) sono stati registrati per mezzo di una stazione elettronica CR-10.

9.2 Prova B: Caratterizzazione produttiva di differenti genotipi di *Ricinus communis* L. in relazione a diversi trattamenti di raccolta, coltivato per produzione di biodiesel.

Uno dei punti di criticità della coltivazione del ricino in ciclo poliennale è rappresentato dalla tecnica di raccolta, infatti l'eterogeneità della distribuzione dei racemi produttivi sulla pianta complica la pratica di asportazione delle capsule aumentandone i costi. Per questo motivo risulta particolarmente importante l'individuazione di una tecnica di raccolta appropriata, che rispetti l'esigenza di semplicità e velocità esecutiva, permetta di asportare la totalità del prodotto utile e consenta alle piante di continuare a produrre negli anni successivi. Il ricino tende ad accumulare gran parte delle proprie sostanze di riserva nella parte ipogea, in modo tale da essere in grado di riformare totalmente la sua porzione aerea successivamente ad un evento avverso (Richardson *et al.*, 1997; Bossard *et al.*, 2000), partendo da tale elemento si è ipotizzata una tecnica di raccolta che preveda l'asportazione di gran parte della porzione epigea. Questa prova ha avuto lo scopo di valutarne la risposta in diversi genotipi.

Le prove sono state condotte in agro di Ispica (RG) in località della Sicilia Sud-Orientale (36° 76' 91'' Lat. N, 14° 91' 64'' Long. E, 41 m s.l.m.). Su disegno sperimentale a blocchi randomizzati con tre repliche, sono stati posti allo studio tre genotipi:

- BRASILE;
- LOCALE-NR;
- LOCALE-RG.

Di questi genotipi, 2 sono stati selezionati nel territorio siciliano (LOCALE-NR e LOCALE-RG) e 1 è stato introdotto dal Brasile, già coltivato negli ordinamenti colturali di origine (BRASILE).

In autunno, dopo l'ultima raccolta, si è effettuato il taglio delle piante a 50 cm dal colletto allo scopo di simulare la raccolta meccanica (trattamento

“P”), confrontandolo con un testimone ad accrescimento indefinito (trattamento “NP”).

La semina è stata realizzata in vivaio e il trapianto è stato realizzato nella terza decade di settembre 2009, su parcelle elementari di 132 m² (6 x 22 m) realizzando un sesto d’impianto di 2 x 2 m. Il trattamento di raccolta con taglio a 50 cm è stato effettuato su metà di ogni parcella elementare. Prima dell’impianto, il terreno è stato lavorato e concimato con 60 kg ha⁻¹ di N e 100 kg ha⁻¹ di P₂O₅, e 60 kg ha⁻¹ alla semina, in copertura e all’inizio fioritura. La coltura è stata irrigata esclusivamente nei primi 20 giorni dopo la semina.

Oltre ai principali parametri meteorologici (temperature minime, massime e precipitazioni) registrati per mezzo della stazione elettronica CR-10, sulla parcella utile (escluse la file di bordo e le piante di ciascuna estremità della fila), sono stati rilevati:

In laboratorio, sui semi:

- *Germinabilità*, come rapporto tra il totale dei semi germinati sul numero complessivo di semi posti alla prova, espressa in percentuale, ed *energia germinativa*, determinata dalla seguente formula:

$$E.G.=\frac{\Sigma(xi * gg)}{\Sigma x}$$

Dove:

E.G.= Energia Germinativa;

Xi = Numero di semi germinati in ogni osservazione;

Gg = Numero di giorni trascorsi dall’inizio della prova relativi a ogni singola osservazione;

Σx = Numero totale di semi germinati.

In entrambi i rilievi i semi sono stati sottoposti a 6 diversi trattamenti pregerminativi (ammollo in acqua per 12 ore, ammollo in acqua per 24 ore, rimozione della caruncola, rimozione della caruncola + ammollo in acqua per 12 ore, rimozione della caruncola + ammollo in acqua per 24 ore ed il testimone senza alcun trattamento pregerminativo).

In campo alla raccolta:

- statura piante all'ultima raccolta (prima decade di settembre);
- numero racemi produttivi per pianta;
- produzione seme;
- peso semi per racemo;
- peso 1000 semi;
- lunghezza asse maggiore del seme;
- produzione in biomassa secca all'ultima raccolta (previa asportazione delle piante ed essiccazione in stufa fino a peso costante);

I dati sono stati sottoposti all'analisi della varianza ed in caso di significatività sono state analizzate le differenze tra le medie. Il livello di significatività è stato distinto nel modo seguente: ns = non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$. Si sono ricercati, inoltre, rapporti di correlazione tra i diversi caratteri.

9.3 Prova C: Valutazione delle potenzialità produttive di *Cynara cardunculus* L. in relazione a differenti densità di semina, per produzione di biodiesel.

La scelta della quantità di piante da utilizzare nella predisposizione di un nuovo impianto di cardo, coltivato per l'ottenimento di biodiesel, riveste un'importanza non solo iniziale ed economica, ma anche produttiva e riguardante gli anni successivi. Attraverso questa prova si è cercato di identificare il migliore investimento unitario iniziale per una piantagione a ciclo poliennale.

La prova è stata condotta nella provincia di Ragusa, in località Cava d'Ispica (36° 50' N, 14° 51' E, 360 m.s.l.). Sono stati posti a confronto due genotipi di *Cynara cardunculus* L., uno domestico "C5" (var. *altilis*) ed uno selvatico "S3" (var. *sylvestris*), osservando il loro comportamento in risposta a 4 diverse densità di impianto: 1, 2, 4 ed 8 piante a m².

I due genotipi posti allo studio risultavano essere di provenienza e qualità diversa: "C5" già coltivato a scopo commerciale alimentare e "S3" di origine selvatica, reperito in ambiente siciliano e facente parte della collezione di germoplasma del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per i Sistemi Agricoli e Forestali del Mediterraneo (ISAFOM), Unità Operativa di Catania. E' stato adottato uno schema sperimentale a blocchi randomizzati con tre repliche e parcella elementare di 9 m².

Il terreno è stato lavorato con un'aratura leggera, seguita da una erpicatura allo scopo di amminutare ulteriormente il terreno. Sono stati distribuiti 80 Kg ha⁻¹ di perfosfato minerale in presemina. In copertura, solo il primo anno, sono stati somministrati 40 kg ha⁻¹ di nitrato ammonico.

La prova, successivamente, è stata condotta a zero input energetici e il fabbisogno di acqua è stato soddisfatto interamente con le piogge. La semina è stata realizzata in vivaio e il trapianto in data 05 novembre 2005. La raccolta della biomassa epigea è stata effettuata da fine luglio in poi, quando le piante, giunte alla fine del ciclo, erano completamente disseccate e

la granella presentava un contenuto di umidità di circa il 7%. Il controllo delle erbe infestanti è stato eseguito tramite scerbature effettuate periodicamente durante la stagione primaverile.

I rilievi hanno riguardato il 2° ed il 3° anno di prova, e sono stati eseguiti a fine ciclo, riguardando i seguenti caratteri:

- altezza delle piante;
- altezza primo capolino;
- numero capolini per pianta;
- resa in acheni;
- resa in biomassa secca (le piante sono state tagliate al colletto, portate in laboratorio e fatte essiccare in stufa fino a peso costante).

I dati sono stati sottoposti all'analisi della varianza ed in caso di significatività sono state analizzate le differenze tra le medie. Il livello di significatività è stato distinto nel modo seguente: ns = non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$. Si sono ricercati, inoltre, rapporti di correlazione tra i diversi caratteri. I principali parametri meteorologici (temperature minime, massime e precipitazioni) sono stati registrati per mezzo di una stazione elettronica CR-10.

9.4 Prova D: Caratterizzazione produttiva di differenti genotipi di *Cynara cardunculus* L. per produzione di biodiesel.

Di cruciale importanza per la progettazione della filiera è sicuramente la scelta delle colture più adatte alle condizioni climatiche e pedologiche del territorio in cui devono essere coltivate. Il reperimento di nuovo germoplasma avente buone capacità produttive è dunque particolarmente importante, infatti i genotipi autoctoni, permettendo un ottimale adattamento, consentono una conduzione a limitati input energetici, grazie alla loro spiccata rusticità e resistenza alle fitopatologie.

Attraverso questa prova si è cercato di individuare il germoplasma più promettente, tra quello oggetto di studio, adatto ad una coltivazione a ciclo poliennale in ambiente Mediterraneo.

La prova è stata condotta nel territorio ricadente nella provincia di Ragusa, in località Cava d'Ispica (36° 50' N, 14° 51' E, 360 m.s.l.). Sono stati posti allo studio, 18 genotipi di *C. cardunculus* L., di cui 2 di varietà *atilis* (cardo domestico) ("C4" e "C5") e 16 di varietà *sylvestris* (cardo selvatico) ("S1", "S2", "S3", "S4", "S5", "S6", "S7", "S10", "S11", "S14", "S16", "S17", "S18", "S21", "S23", "S24"). Le popolazioni di cardo selvatico sono state reperite in diverse località della Sicilia orientale e fanno parte della collezione di germoplasma del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per i Sistemi Agricoli e Forestali del Mediterraneo (ISAFOM), Unità Operativa di Catania.

E' stato adottato uno schema sperimentale a blocchi randomizzati con tre repliche e parcella elementare di 9 m². Il terreno è stato lavorato con un'aratura leggera, seguita da una erpicatura allo scopo di amminutare ulteriormente il terreno. Sono stati distribuiti 80 Kg ha⁻¹ di perfosfato minerale in presemina. In copertura, solo il primo anno, sono stati somministrati 40 kg ha⁻¹ di nitrato ammonico.

La semina è stata realizzata in vivaio e il trapianto in data 05 novembre 2005, adottando un investimento (m 1,00 x 0,50). La prova, successivamente, è stata condotta a zero input energetici e il fabbisogno di acqua è stato soddisfatto interamente con le piogge. La raccolta della biomassa epigea è stata effettuata da fine luglio in poi, quando le piante, giunte alla fine del ciclo, erano completamente disseccate e la granella presentava un contenuto di umidità di circa il 7%. Il controllo delle erbe infestanti è stato eseguito tramite scerbature effettuate periodicamente durante la stagione primaverile. I rilievi effettuati hanno riguardato il 3° ed il 4° anno di prova.

Durante la fase vegetativa sono stati rilevati:

- LAI (le piante sono state tagliate al colletto e successivamente si è determinato il LAI in laboratorio) durante la seconda decade di maggio;

A fine ciclo sono stati rilevati:

- altezza delle piante;
- altezza primo capolino;
- numero capolini per pianta;
- resa in acheni;
- resa in biomassa secca (le piante sono state tagliate al colletto, portate in laboratorio e fatte essiccare in stufa fino a peso costante).

I dati sono stati sottoposti all'analisi della varianza ed in caso di significatività sono state analizzate le differenze tra le medie. Il livello di significatività è stato distinto nel modo seguente: ns = non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$. Si sono ricercati, inoltre, rapporti di correlazione tra i diversi caratteri. I principali parametri meteorologici (temperature minime, massime e precipitazioni) sono stati registrati per mezzo di una stazione elettronica CR-10.

10. RISULTATI

10.1 Andamento termo-pluviometrico.

Prova A:

I dati meteorologici registrati presso il campo sperimentale durante gli anni di prova sono riportati in figura 10.1. Le temperature massime, pari nella media del periodo considerato a 22,4°C, hanno oscillato tra 12,9 e 31,9°C, registrati rispettivamente nella seconda decade di febbraio 2008 e nella terza decade di luglio 2007. Le temperature minime, pari in media a 15,1°C, hanno oscillato tra i 3,8 (seconda decade di febbraio 2008) e 22,8°C (terza decade di luglio 2007). Le piogge sono risultate in media pari a 631 mm annui con una notevole variabilità tra le due annate.

Prova B:

I dati meteorologici registrati presso il campo sperimentale durante gli anni di prova sono riportati in figura 10.2. Le temperature massime, pari nella media del periodo considerato a 22,5°C, hanno oscillato tra 15,2 e 30,6°C, registrati rispettivamente nella seconda decade di febbraio 2011 e nella prima decade di agosto 2011. Le temperature minime, pari in media a 16,0°C, hanno oscillato tra gli 8,6 (prima decade di marzo 2011) e 24,3°C (prima decade di agosto 2010). Le piogge sono risultate in media pari a 611 mm annui con una notevole variabilità interannuale.

Prove C e D:

I dati meteorologici registrati presso il campo sperimentale durante gli anni di prova sono riportati in figura 10.3. Le temperature massime, pari nella media del periodo considerato a 21,8°C, hanno oscillato tra 12,3 e 31,9°C, registrati rispettivamente nella seconda decade di febbraio 2008 e nella seconda decade di agosto 2008. Le temperature minime, pari in media a 13,6°C, hanno

oscillato tra i 3,0 (terza decade di febbraio 2009) e 21,9°C (prima decade di agosto 2008). Le piogge sono risultate in media pari a 566 mm annui con una notevole variabilità negli anni.

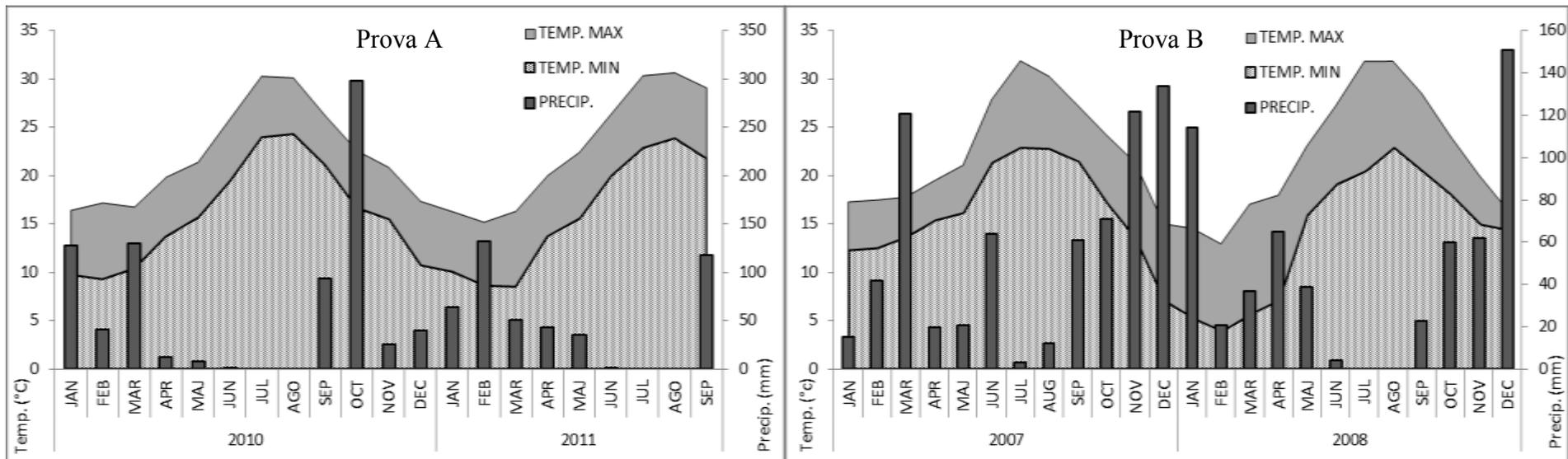


Fig. 10.1 e 10.2 Andamenti termo-pluviometrici relativi ai campi sperimentali del *Ricinus communis*, nelle prove A e B.

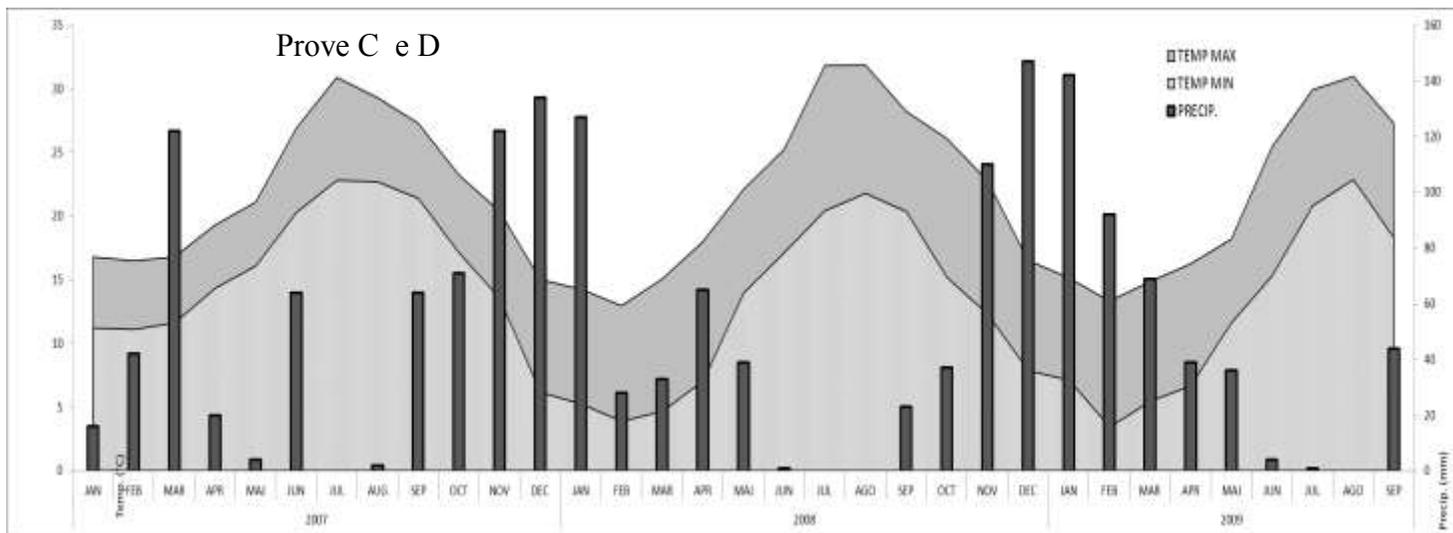


Fig. 10.3 Andamento termo-pluviometrico relativo ai campi sperimentali del *Cynara cardunculus* (prove C e D) negli anni di prova.

10.2 Prova A: Effetti della riduzione degli input in *Ricinus communis* L. coltivato per produzione di biodiesel.

10.2.1 Caratteri morfobiometrici

Nel *I anno* di prova le piante hanno mostrato un beneficio evidente e significativo all'apporto di input agronomici.

Per quanto riguarda il *LAI*, si è riscontrato un valore medio di 0,99; il trattamento ad input convenzionali ("ALTP") ha mostrato un valore significativamente maggiore, con 1,52 (tab. 10.1).

La *statura* delle piante, che in media è risultata pari a 167,5 cm, ha anch'essa mostrato un valore maggiore nel trattamento ad input convenzionali, che è stato di 221 cm (tab. 10.1).

Nel *II anno* di prova i caratteri morfobiometrici hanno confermato il comportamento del primo anno, con caratteri significativamente superiori nel trattamento ad input convenzionali.

Il *LAI* ha avuto una media di 3,95, con un valore significativamente maggiore nel trattamento ad input convenzionali, con 6,10 (tab. 10.2).

La *statura*, con un valore medio di 229,50 cm, ha mostrato il valore maggiore nel trattamento ad input convenzionali, con 271 cm (tab. 10.2).

Nel corso dei due anni di prova, l'analisi della varianza ha evidenziato effetti significativi sia in relazione ai livelli di input, che all'anno.

In merito al *LAI*, il trattamento ad input convenzionali ("ALTP") è stato significativamente superiore, nella media degli anni, con 3,81 (fig. 10.4); il fattore anno è risultato anch'esso significativo, nella media dei livelli di input, con un valore maggiore al II anno, con 3,89 (fig. 10.5). Infine l'interazione "livello input" x "anno" è risultata molto significativa (tab. 10.3).

La *statura* ha mostrato un comportamento analogo, con valori significativamente superiori nel trattamento ad input convenzionali, con 247 cm (fig. 10.6), e al II anno di prova, con 229 cm (fig. 10.7). L'interazione "livello input" x "anno" non è risultato significativo (tab. 10.3).

10.2.2 Caratteri produttivi

Nel I anno di prova la maggior parte dei caratteri analizzati è risultata significativa, a favore del trattamento ad input convenzionali, ad eccezione dell'HI che ha mostrato un migliore comportamento nel trattamento a bassi input, e della resa in seme che non ha mostrato differenze significative (tab. 10.4).

La *resa in seme*, infatti, non si è distinta significativamente tra i due trattamenti a diversi input, dimostrando di non aver subito grande influenza dal maggiore apporto di input, e si è attestata in media a $2,03 \text{ t ha}^{-1}$.

La *resa in biomassa secca* ha mostrato una media di $4,45 \text{ t ha}^{-1}$, con un valore significativamente maggiore del trattamento ad input convenzionali, di $6,30 \text{ t ha}^{-1}$.

In controtendenza rispetto agli altri caratteri è stato l'HI, che ha evidenziato un migliore comportamento nel trattamento a bassi input, con un valore di 41%; nella media è risultato pari a 33,95%.

Il *contenuto in olio* del seme ha mostrato un valore medio di 42,25%, con un valore maggiore nel trattamento ad input convenzionali, con 47,10%.

Anche la *resa in olio* è risultata significativa con un valore maggiore di $1,07 \text{ t ha}^{-1}$, del trattamento ad input convenzionali, mostrando nella media un valore di $0,92 \text{ t ha}^{-1}$.

La *produzione in biodiesel teorica ottenibile* ha manifestato ancora un valore significativamente maggiore nel trattamento ad input convenzionali, con $1071,07 \text{ kg ha}^{-1}$; la media è risultata pari a $923,97 \text{ kg ha}^{-1}$.

Infine, il *peso dei 1000 semi* è risultato significativamente maggiore nel trattamento ad input convenzionali, con 348 g, ed è stato in media pari a 338 g.

Nel II anno di prove tutti i caratteri analizzati sono risultati significativi al trattamento a diversi livelli di input e hanno manifestato lo stesso trend del I anno (tab. 10.5).

La *resa in seme*, attestatasi in media a $6,15 \text{ t ha}^{-1}$, ha mostrato il valore maggiore nel trattamento ad input convenzionali, con $7,10 \text{ t ha}^{-1}$.

Relativamente alla *resa in biomassa secca*, il valore medio è stato di 11,02 t ha⁻¹, con un valore maggiore nel trattamento ad input convenzionali, con 15,02 t ha⁻¹.

Il valore dell'*HI* ha manifestato lo stesso trend del I anno, fornendo il valore maggiore in corrispondenza del trattamento a bassi input, con 42,59%; la media è stata di 35,83%.

Per quanto riguarda il *contenuto in olio* del seme si è osservato in media un valore di 44,50%, con un valore superiore riscontrato nel trattamento ad input convenzionale, con 46,40%.

Anche per la *produzione di biodiesel teorica ottenibile*, che ha fornito una media di 2754,80 kg ha⁻¹, il valore maggiore è stato raggiunto dal trattamento ad input convenzionali, con 3294,40 kg ha⁻¹.

Infine il *peso dei 1000 semi* è stato in media di 320,50 g, con un valore maggiore nel trattamento ad input convenzionali, con 344 g.

Nel corso dei due anni di prova, l'analisi della varianza ha evidenziato un'influenza significativa del fattore "livello input" in tutti i caratteri studiati, con valori superiori nel trattamento ad input convenzionali per tutti i caratteri ad eccezione dell'*HI*; il fattore "anno" ha mostrato un prevedibile aumento di tutti i caratteri nel II anno di prova, tranne che per il peso dei 1000 semi, in cui vi è stata una diminuzione, mentre nell'*HI* e nel contenuto in olio del seme non vi sono state differenze significative. L'interazione "livello input" x "anno" ha evidenziato significatività nella resa in seme, resa in biomassa secca, resa in olio, produzione in biodiesel e peso dei 1000 semi (tab. 10.3).

Entrando nello specifico, la *resa in seme*, nella media degli anni il trattamento ad input convenzionali ha fornito il valore maggiore, con 3,69 t ha⁻¹ (fig.10.8). Il II anno, nella media dei livelli di input, è stato significativamente più produttivo del I, con una resa media in seme di 6,15 t ha⁻¹ (fig.10.9).

La *resa in biomassa secca*, nella media degli anni di prova, ha mostrato un valore superiore nel trattamento ad input convenzionali, con

10,66 t ha⁻¹ (fig. 10.10). Nella media dei livelli di input il II anno è risultato il più produttivo, con 11,02 t ha⁻¹ (fig. 10.11).

Con riguardo al valore dell'*HI*, nella media degli anni, è stato maggiore nel trattamento a bassi input, con 41,80% (fig. 10.12); nella media dei livelli di input non vi è stata una differenza significativa tra i due anni (fig. 10.13).

Relativamente al *contenuto in olio* dei semi, nella media degli anni di prova il trattamento ad input convenzionali ha fornito il valore maggiore, con 46,75% (fig. 10.14). Nella media dei livelli di input non si sono verificate differenze significative tra i due anni (fig. 10.15).

La *resa in olio*, nella media degli anni, ha evidenziato un valore superiore nel trattamento ad input convenzionali, con 2,18 t ha⁻¹ (fig. 10.16). Il II anno di prova, nella media dei livelli di input, è risultato il più produttivo, con 2,75 t ha⁻¹ (fig. 10.17).

In merito alla *produzione di biodiesel teorica ottenibile*, nella media degli anni, il valore più alto è stato raggiunto dal trattamento ad input convenzionali, con 2182,74 kg ha⁻¹ (fig. 10.18); nella media dei due livelli di input il II anno è risultato il più produttivo, con 2754,80 kg ha⁻¹ (fig. 10.19).

Infine, il *peso dei 1000 semi*, nella media degli anni di prova, è stato maggiore nel trattamento ad input convenzionali, con 346 g (fig. 10.20). In controtendenza rispetto agli altri caratteri, il I anno ha fornito, nella media dei due livelli di input, il valore maggiore, con 338 g (fig. 10.21).

Sono stati rilevati dei rapporti di correlazione significativi tra la resa in seme e il peso dei 1000 semi (figg. 10.22 e 10.23), e tra la resa in olio e il peso dei 1000 semi (figg. 10.24 e 10.25), in entrambi gli anni di prova.

Inputs	LAI	statura (cm)
ALTI	1,52 a	221,00 a
BASSI	0,57 b	114,00 b
media	0,99	167,50
CV (%)	13,9	13,7
significatività	**	**
LSD $p \leq 0,05$	0,33	51,99

Tabella 10.1 - Caratteri morfobiometrici nei genotipi allo studio relative all'anno 2007.

Inputs	LAI	statura (cm)
ALTI	6,10 a	273,00 a
BASSI	1,81 b	186,00 b
media	3,95	229,50
CV (%)	18,0	16,4
significatività	***	*
LSD $p \leq 0,05$	0,71	53,88

Tabella 10.2 - Caratteri morfobiometrici nei genotipi allo studio relativi all'anno 2008.

Inputs	resa seme (t ha ⁻¹)	resa biomassa secca (t ha ⁻¹)	HI (%)	contenuto in olio del seme (%)	resa olio (t ha ⁻¹)	produzione biodiesel teorica ottenibile (kg ha ⁻¹)	peso 1000 semi (g)
ALTI	2,27	6,30 a	27,01 b	47,10 a	1,07 a	1071,07 a	348,00 a
BASSI	1,79	2,60 b	41,00 a	43,40 b	0,78 b	776,86 b	328,00 b
media	2,03	4,45	33,95	45,25	0,92	923,97	338,00
CV (%)	12,8	22,7	13,9	1,6	13,6	13,6	20,0
significatività	ns	*	*	**	*	*	*
LSD $p \leq 0,05$	0,59	2,29	10,69	1,64	0,28	284,38	15,29

Tabella 10.4 - Caratteri produttivi nei genotipi allo studio relative all'anno 2007.

Inputs	resa seme (t ha ⁻¹)	resa biomassa secca (t ha ⁻¹)	HI (%)	contenuto in olio del seme (%)	resa olio (t ha ⁻¹)	produzione biodiesel teorica ottenibile (kg ha ⁻¹)	peso 1000 semi (g)
ALTI	7,10 a	15,02 a	32,09 b	46,40 a	3,29 a	3294,40 a	344,00 a
BASSI	5,20 b	7,01 b	42,59 a	42,60 b	2,22 b	2215,20 b	297,00 b
media	6,15	11,02	35,83	44,50	2,75	2754,80	320,50
CV (%)	14,3	16,1	14,2	1,1	15,0	15,0	13,3
significatività	***	***	**	***	***	***	**
LSD p ≤ 0,05	0,60	1,52	0,04	1,09	0,31	312,27	23,78

Tabella 10.5 - Caratteri produttivi nei genotipi allo studio relativi all'anno 2008.

	Statura	LAI	Resa seme	Resa biomassa secca	HI	Contenuto in olio del seme	Resa olio	Produzione biodiesel	Peso 1000 semi
Fattore									
Input (A)	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Anno (B)	**	***	***	***	ns	ns	***	***	**
Interazio ne									
(A) x (B)	ns	***	**	**	ns	ns	***	***	*

Tabella 10.3 - Distribuzione delle significatività nei diversi caratteri produttivi, nei due livelli di input e nei due anni di prova.

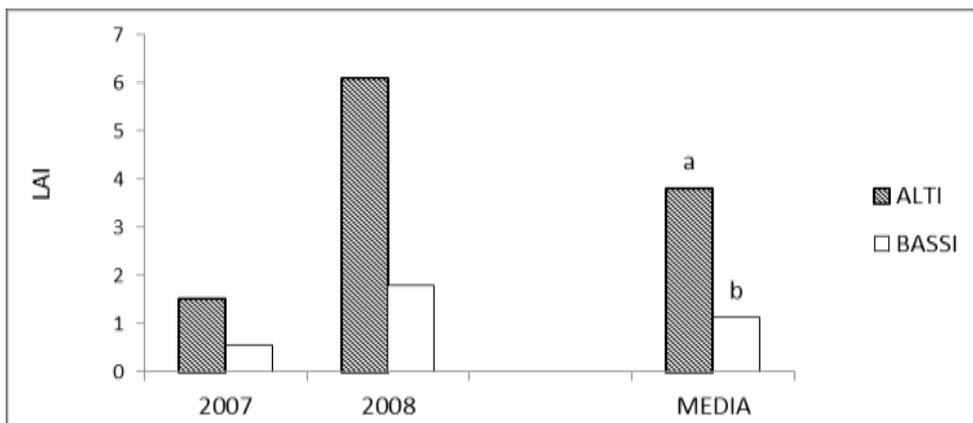


Fig. 10.4 Interazione "LAI x livello di input" nei due anni di prova.

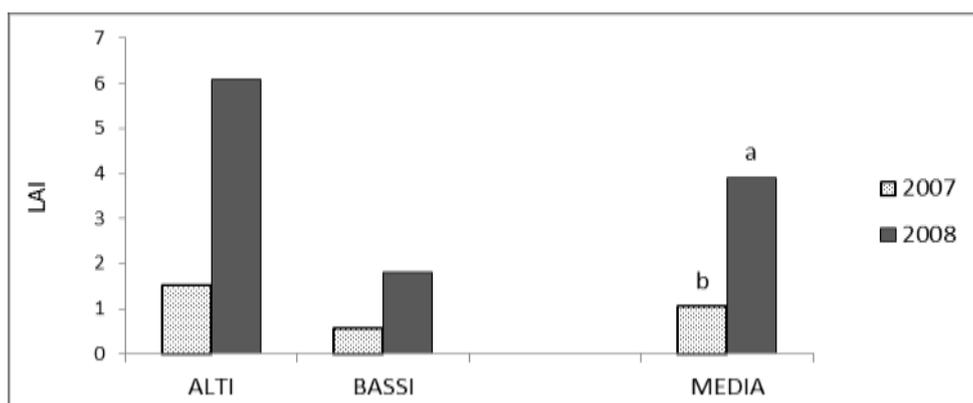


Fig. 10.5 Interazione "LAI x anno" nei due livelli di input.

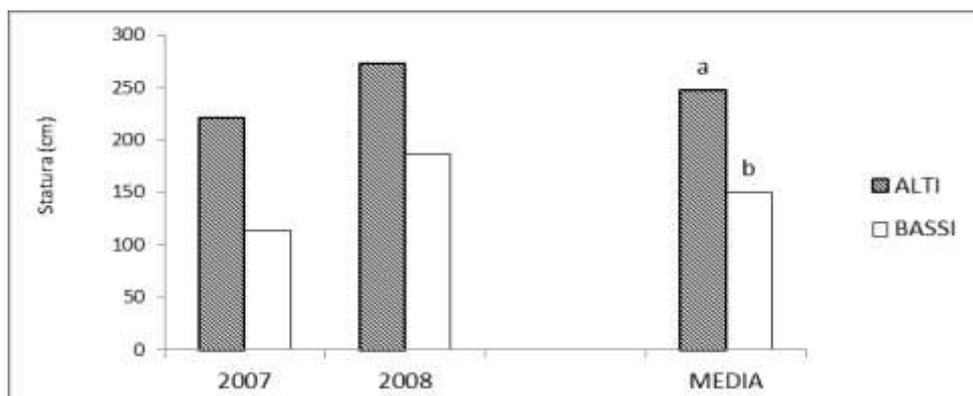


Fig. 10.6 Interazione "statura x livello input" nei due anni di prova.

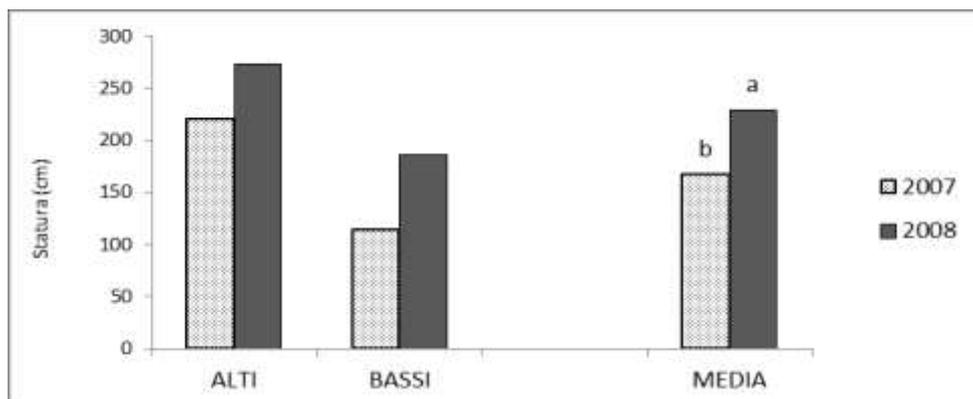


Fig. 10.7 Interazione "statura x anno" nei due livelli di input.

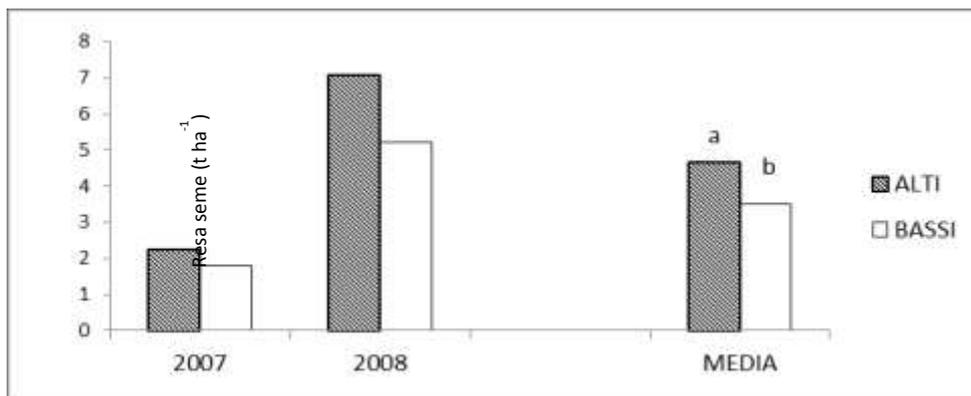


Fig. 10.8 Interazione “resa in seme x livello input” nei due anni di prova.

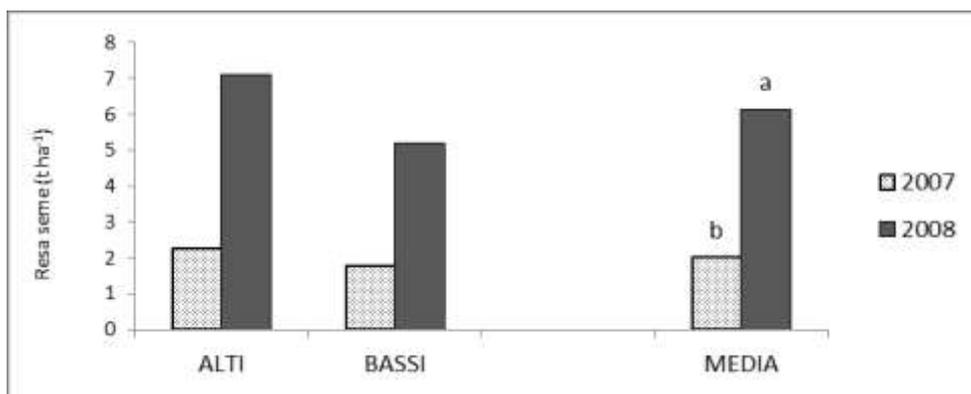


Fig. 10.9 Interazione “resa in seme x anno” nei due livelli di input.

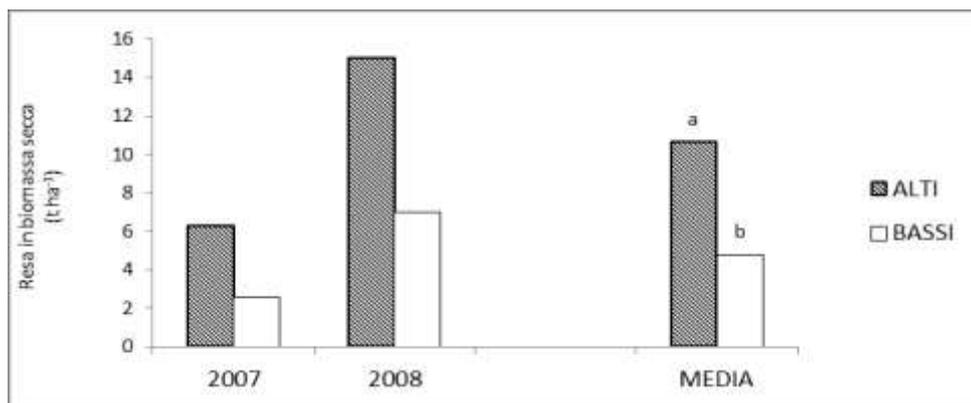


Fig. 10.10 Interazione “resa biomassa secca x livello input” nei due anni di prova.

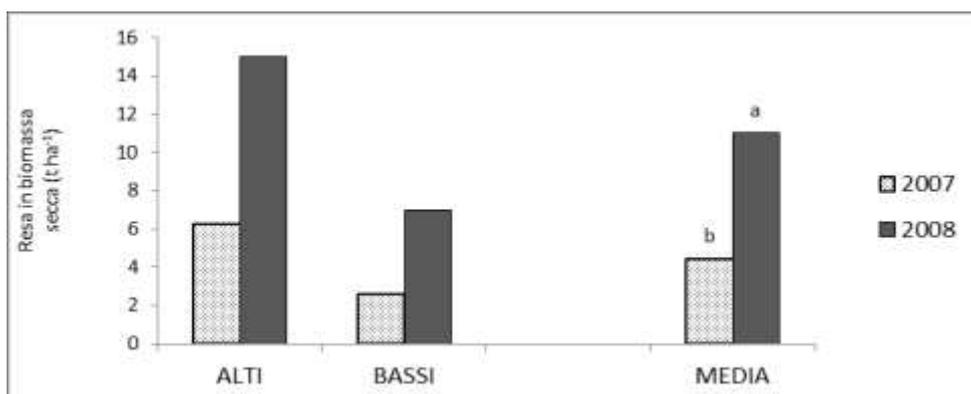


Fig. 10.11 Interazione “resa biomassa secca x anno” nei due livelli di input.

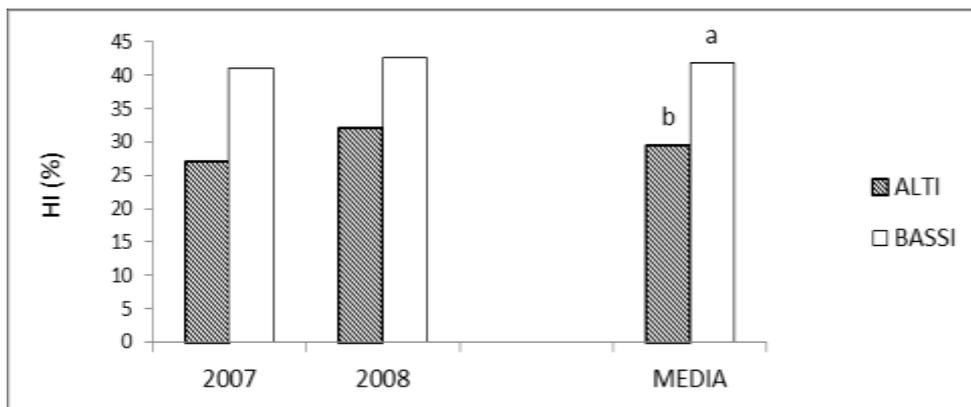


Fig. 10.12 Interazione “HI x livello input” nei due anni di prova.

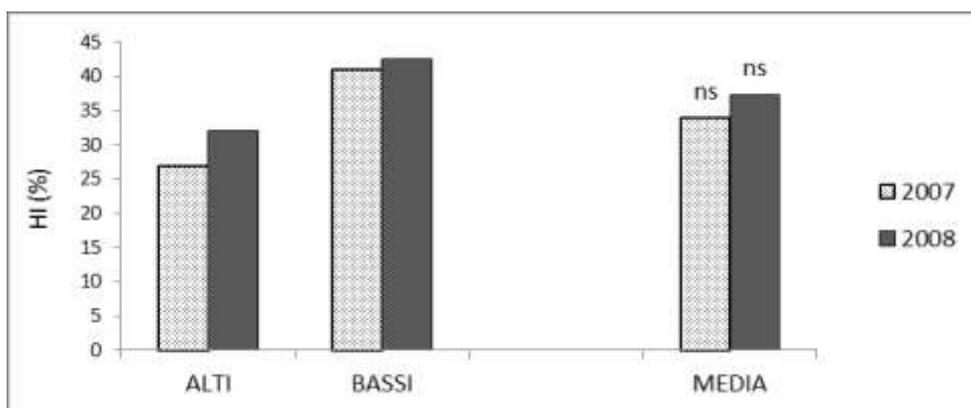


Fig. 10.13 Interazione “HI x anno” nei due livelli di input.

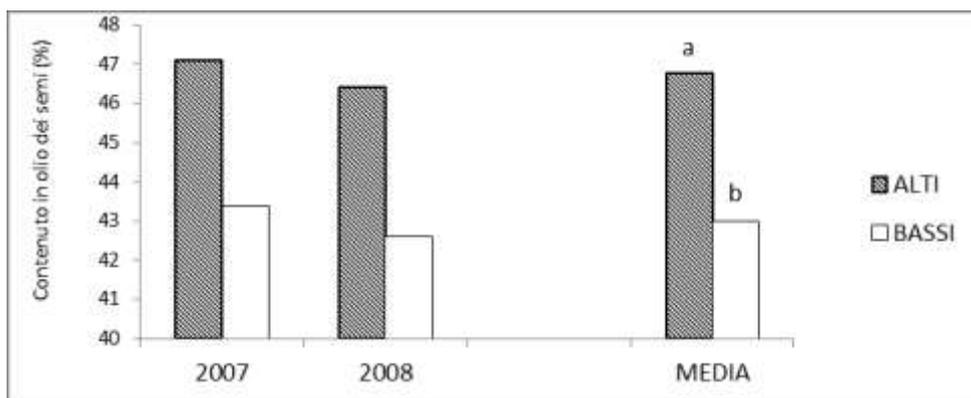


Fig. 10.14 Interazione “contenuto in olio del seme x livello input” nei due anni di prova.

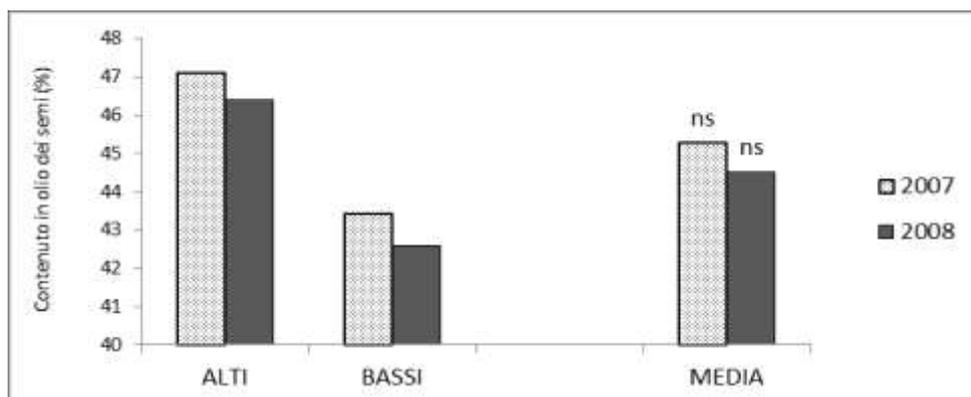


Fig. 10.15 Interazione “contenuto in olio del seme x anno” nei due livelli di input.

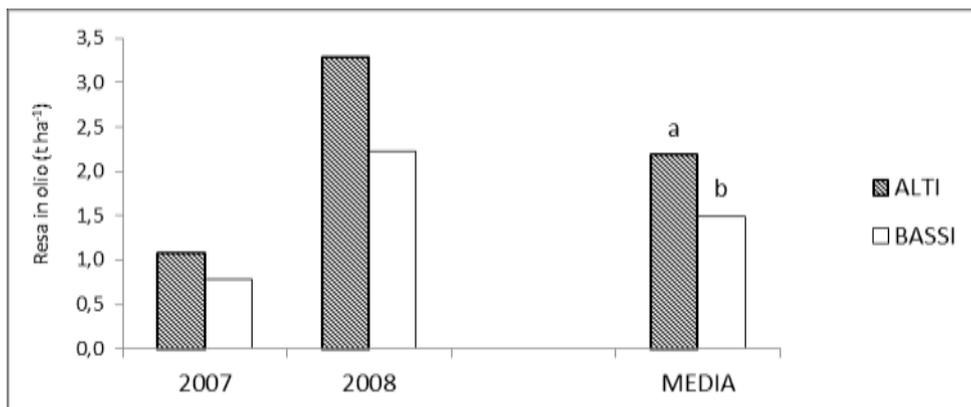


Fig. 10.16 Interazione “resa in olio x livello input” nei due anni di prova.

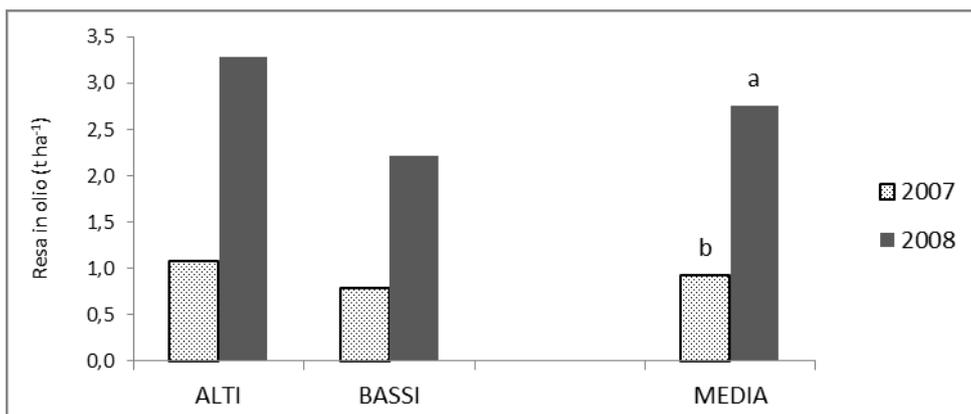


Fig. 10.17 Interazione “resa in olio x anno” nei due livelli di input.

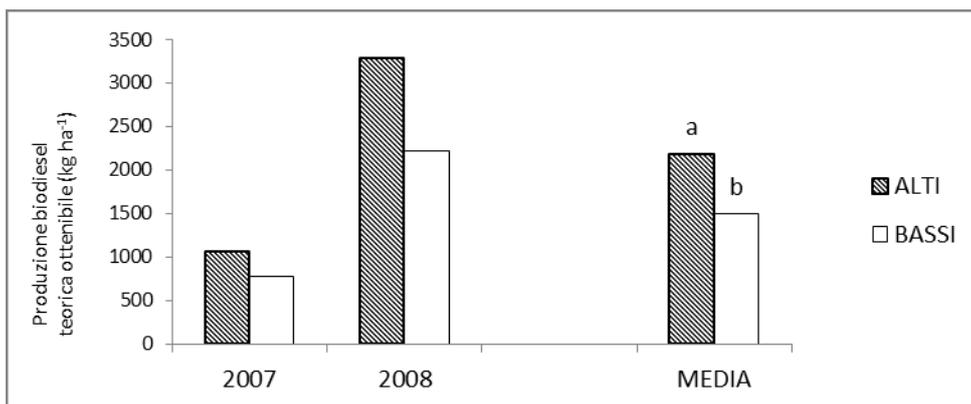


Fig. 10.18 Interazione “produzione biodiesel teorica ottenibile x livello input” nei due anni di prova.

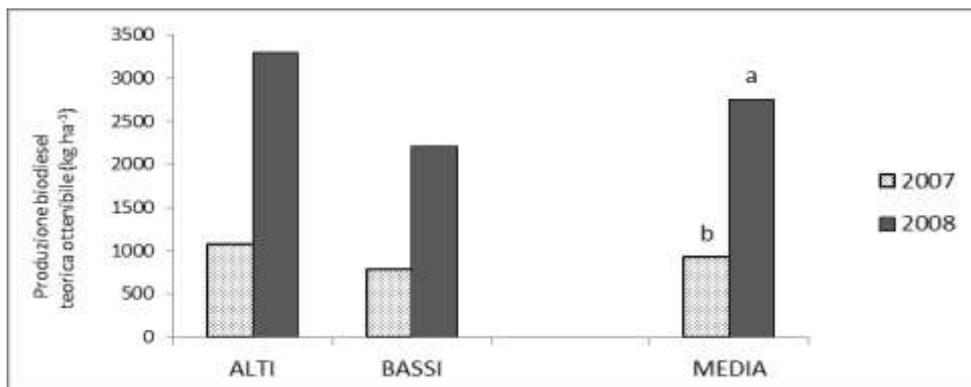


Fig. 10.19 Interazione “produzione teorica ottenibile x anno” nei due livelli di input.

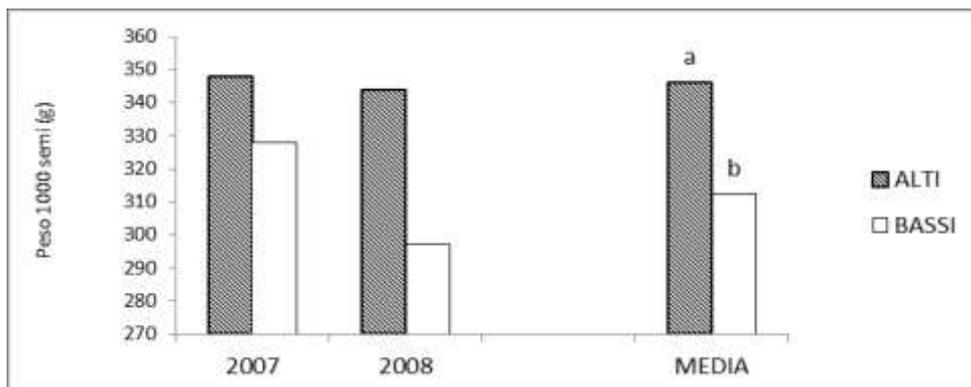


Fig. 10.20 Interazione “Peso 1000 semi x livello input” nei due anni di prova.

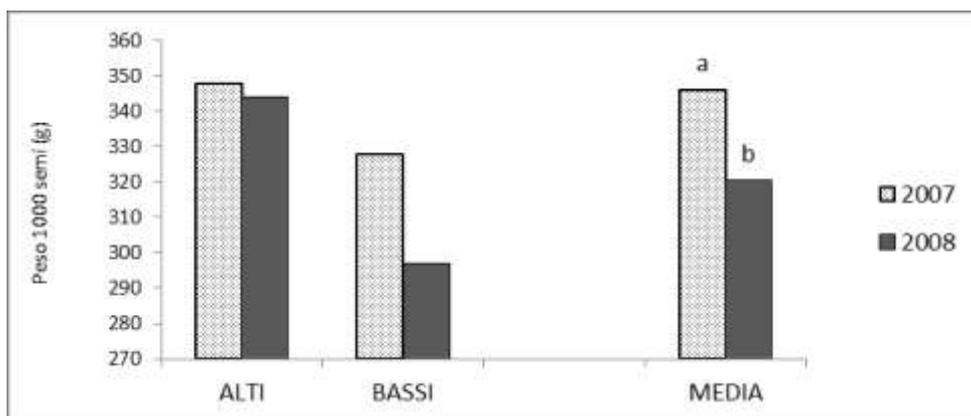


Fig. 10.21 Interazione “Peso 1000 semi x anno” nei due livelli di input.

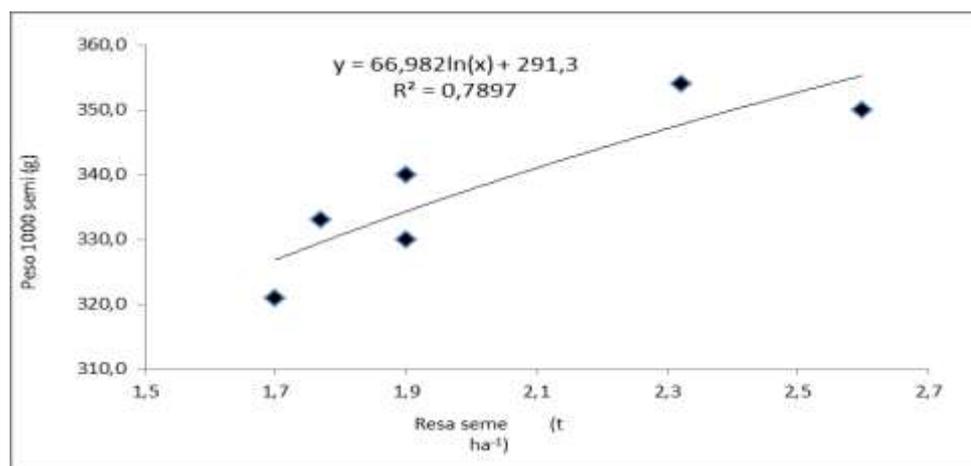


Fig. 10.22 Correlazione tra peso 1000 semi e resa in seme nell’anno 2007 ($r=0,871787$; $p=0,0105$).

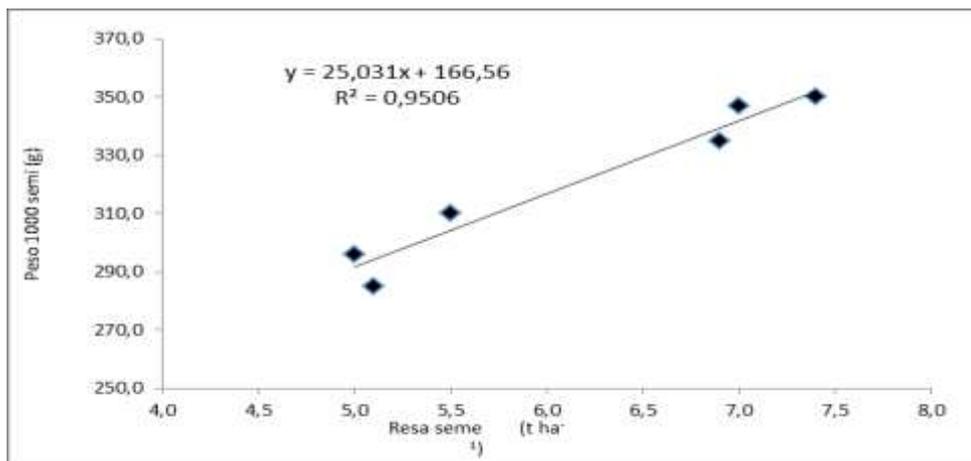


Fig. 10.23 Correlazione tra peso 1000 semi e resa in seme nell'anno 2008 ($r = 0,974994$; $p = 0,0002$).

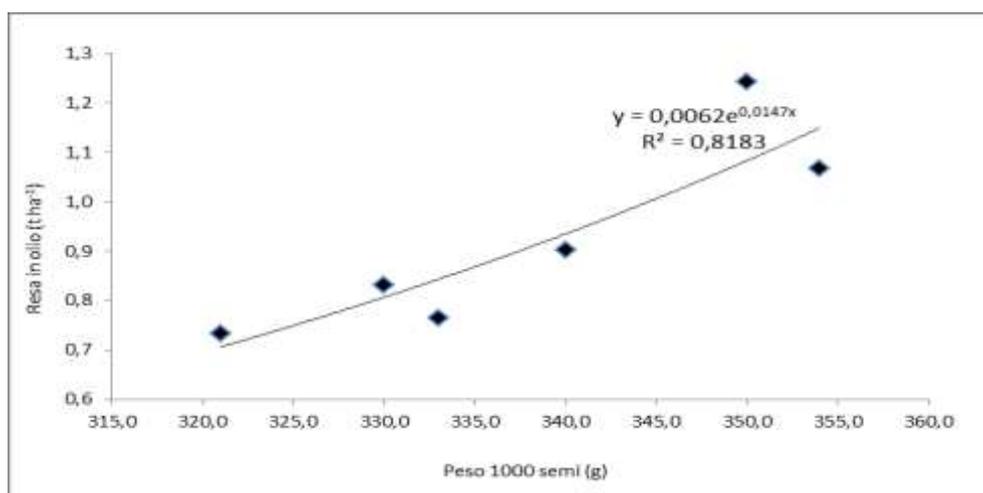


Fig. 10.24 Correlazione tra peso 1000 semi e resa in olio nell'anno 2007 ($r = 0,883083$; $p = 0,0084$).

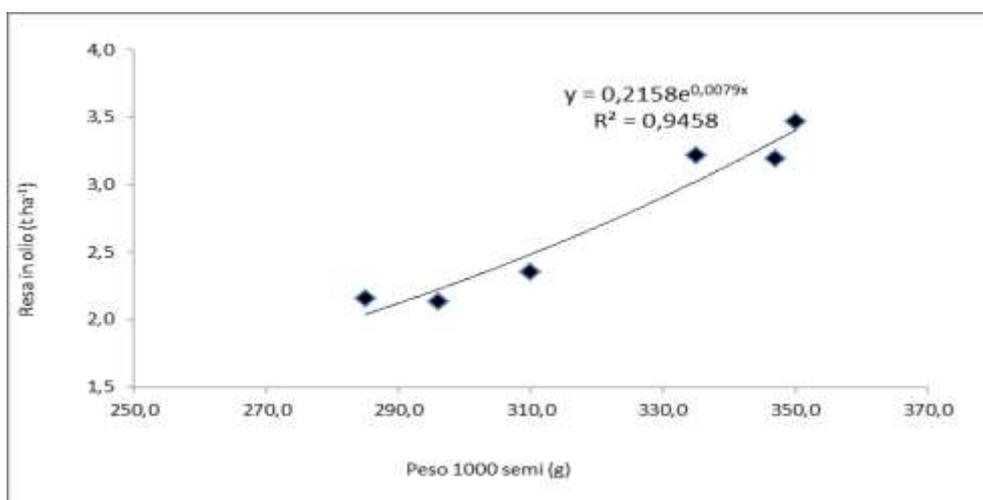


Fig. 10.25 Correlazione tra peso 1000 semi e resa in olio nell'anno 2008 ($r = 0,968837$; $p = 0,0003$).

10.3 Prova B: Caratterizzazione produttiva di differenti genotipi di *Ricinus communis* L. in relazione a diversi trattamenti di raccolta, coltivato per produzione di biodiesel.

10.3.1 Germinabilità ed energia germinativa

L'analisi della *germinabilità* dei semi, a livello intra-genotipico, non è stata mai influenzata significativamente dal trattamento pregerminativo, mentre a livello inter-genotipico, nella media dei trattamenti, il “Brasile” ha fornito il valore significativamente maggiore, con 89,44%; gli altri due genotipi hanno fornito in media una germinabilità del 74,44% e del 73,89% in “Locale-NR” e “Locale-RG” rispettivamente (tab. 10.5). Nella media dei tre genotipi, il trattamento pregerminativo non ha influenzato significativamente la germinabilità dei semi, inoltre l'interazione “genotipo” x “trattamento pregerminativo” non è risultata significativa.

Per quanto riguarda l'*energia germinativa*, che fornisce una misura della velocità con cui i semi riescono a germinare, si è osservato sia a livello intra-genotipico, che a livello inter-genotipico valori significativamente differenti. In particolare nel genotipo “Brasile”, che ha fornito in media un'energia germinativa pari a 6,47, il valore significativamente minore si è verificato in corrispondenza del trattamento di ammollo per 12 ore in acqua, con 4,67; nel genotipo “Locale-NR” si è avuto un valore medio di 11,05 con i valori significativamente più bassi verificati in corrispondenza di tutti i trattamenti con eccezione del testimone; nel genotipo “Locale-RG” che ha fornito un valore medio di 12,63, il valore significativamente minore è stato raggiunto dai trattamenti di rimozione della caruncola con ammollo per 12 ore in acqua (10,27) e ammollo per 24 ore in acqua (10,65) (tab. 10.4). Tra i genotipi, nella media dei trattamenti, il “Brasile” ha fornito il risultato significativamente minore, con 6,47; il trattamento di rimozione della caruncola e ammollo per 24 ore in acqua ha fornito, nella media dei genotipi, il valore significativamente più basso, con 8,21. L'interazione “genotipo” x

“trattamento pregerminativo” è risultata significativa all’analisi della varianza.

10.3.2 Caratteri morfobiometrici

Nel *I anno* di prove, i genotipi hanno mostrato differenze nella statura raggiunta ma non nel numero di foglie per pianta.

In particolare, la *statura* è risultata, nella media dei genotipi, pari a 67,22 cm, con il genotipo “Brasile” che ha dimostrato i valori significativamente superiori, con 82,11 cm (tab. 10.6).

In merito al *numero di foglie per pianta*, si è registrato, nella media dei genotipi, un valore di 16,41, senza manifestare significatività nelle differenze riscontrate (tab. 10.6).

Nel *II anno* di prove, si sono potuti osservare gli effetti dei due diversi trattamenti di raccolta sui vari caratteri analizzati; tali differenze non sono risultate significative in merito alla statura delle piante, evidenziando un’ottima capacità delle piante tagliate a riformare la struttura aerea.

In particolare, la *statura* è risultata nella media dei genotipi pari a 374,35 cm. Tra i genotipi, nella media dei trattamenti di raccolta, il “Locale-RG” ha dimostrato valori significativamente superiori (451,39 cm). L’interazione “genotipo” x “trattamento di raccolta” non è risultata significativa (tab. 10.7).

Nella media dei due anni di prove, relativamente alla *statura*, il fattore “anno” è risultato significativo in entrambi i trattamenti di raccolta, con dati maggiori al II anno (figg. 10.27 e 10.29); tra i genotipi non si sono verificate differenze significative in entrambi i trattamenti di raccolta (figg. 10.26 e 10.28). Infine, l’interazione “genotipo” x “anno” è risultata significativa solamente in riferimento al trattamento di raccolta senza taglio della parte aerea (“NP”) (tab. 10.8).

10.3.3 Caratteri produttivi

Il carattere “resa in olio teorica ottenibile” si è ottenuto tramite valori medi, relativi ad analisi effettuate lungo i due anni di prova, nei laboratori di analisi della Facoltà di Agraria, presso la sede decentrata di Ragusa. Il dottorando scrivente, ha condotto tali analisi relative al contenuto in olio dei semi tramite l'estrazione col metodo *Soxhlet*. Riscontrando un'alta similarità tra i risultati dei vari anni, si è deciso di utilizzare per il calcolo della resa in olio teorica ottenibile i valori medi dei due anni di prova (Tab. 10.9). Il carattere “produzione di biodiesel teorica ottenibile” è stata ottenuta ipotizzando un rapporto 1:1 tra olio e biodiesel prodotto.

Genotipo	Contenuto in olio del seme (%)
BRASILE	47,69
LOCALE-NR	48,60
LOCALE-RG	47,50

Tab. 10.9 Analisi del contenuto in olio dei semi nei genotipi oggetto di studio, nella media degli anni di prova.

Nel *I anno* di prove, la quasi totalità dei caratteri analizzati ha fornito differenze significative, ad eccezione della resa in biomassa secca. I genotipi hanno dunque manifestato un comportamento produttivo differente, in cui “Brasile” è risultato costantemente il migliore.

Nella *resa in seme*, si è registrato un valore medio tra i genotipi di 1,60 t ha⁻¹; “Brasile” è risultato significativamente il più produttivo, con 3,02 t ha⁻¹, fornendo una resa di 3 volte superiore agli altri genotipi (tab. 10.10). Osservando l'andamento della resa lungo le varie raccolte effettuate (tab. 10.11) si può notare che la motivazione della superiore resa di “Brasile” è imputabile ad una spiccata precocità di maturazione e produttività, che ha fornito fin dalla prima raccolta (9 luglio) una resa più che doppia rispetto all'ammontare delle rese di tutte le raccolte negli altri due genotipi.

Con riguardo alla *resa in biomassa secca*, nella media dei genotipi si è riscontrato un valore di 1,41 t ha⁻¹. L'analisi della varianza non ha rilevato differenze significative tra i genotipi (tab. 10.10).

Il valore dell'*HI*, che nella media dei genotipi è stato di 46,29%, ha evidenziato un valore massimo di 60,87% in “Brasile”, evidenziando una distribuzione degli elaborati nella pianta orientata spiccatamente verso la produzione di seme (tab. 10.10).

In merito alla *resa in olio teorica ottenibile*, nella media dei genotipi, è emerso un valore di 0,56 t ha⁻¹. “Brasile” è risultato significativamente il più produttivo, con un valore di 0,83 t ha⁻¹ (tab. 10.10).

La *produzione di biodiesel teorica ottenibile*, nella media dei genotipi, è risultata pari a 559,96 kg ha⁻¹; il genotipo “Brasile” ha dimostrato ancora una volta il risultato di gran lunga maggiore, con 827,01 kg ha⁻¹ (tab. 10.10).

Riguardo il *peso dei 1000 semi*, nella media dei genotipi allo studio e dell'ordine di racemo, si è avuto un valore di 323,81 g, con un valore significativamente superiore di 367,12 g in “Brasile”. I racemi “principali”, quelli “secondari” e quelli “terziari” hanno avuto, nella media dei genotipi, valori di 373,01 g, 309,73 g e 284,85 g rispettivamente. In tutti gli ordini “Brasile” ha mostrato valori significativamente superiori agli altri genotipi (tab. 10.13).

In merito al *numero medio di racemi produttivi per pianta*, nella media dei genotipi, si è avuto un valore di 15,48. “Brasile” ha fornito un risultato significativamente superiore, con 27,80 (tab. 10.10). Osservando l'andamento del numero di racemi lungo le varie raccolte effettuate (tab. 10.12) si può notare come il “Brasile” abbia fornito un numero di racemi significativamente superiore in due raccolte (28 luglio e 21 settembre).

In merito al *peso medio dei semi per racemo*, nella media dei genotipi e degli ordini dei racemi, è stato pari a 45,12 g (tab. 10.16). A livello intra-genotipico (tab. 10.16) il peso totale dei semi per racemo è variato significativamente in base all'ordine del racemo, solamente in “Locale-RG”, in cui i racemi principali e secondari hanno fornito i valori maggiori di peso in seme. A livello inter-genotipico (tab.10.17) non vi è stata significatività nelle differenze osservate; nella media dei genotipi l'analisi della varianza ha evidenziato nei racemi secondari un peso totale di semi significativamente

superiore, con 38,51 g. In merito alla *distribuzione del peso del seme nelle tre parti in cui è stato suddiviso il racemo*, basale, mediana ed apicale, nella media dei genotipi e degli ordini di racemo, si sono rilevati rispettivamente 8,47 g, 12,86 g e 23,79 g (tab. 10.16); a livello intra-genotipico si sono rilevate differenze significative soprattutto in “Locale-RG”, dove la parte significativamente maggiore del peso dei semi, sia nella parte basale, che mediana, che apicale, è risultata allocata nei racemi di ordine principale e secondario (tab. 10.16); in “Locale-NR” il peso dei semi, della parte basale dei racemi, è risultato significativamente maggiore nei racemi di ordine secondario (tab. 10.16). Tra i genotipi allo studio, il peso dei semi provenienti dalla parte basale del racemo, è risultato significativamente superiore in “Locale-NR”, con 5,47 g; tra i diversi ordini di racemo, il peso dei semi provenienti dalla parte mediana ed apicale del racemo, è risultato significativamente maggiore nei racemi secondari, con 19,43 g e 14,46 g, rispettivamente (tab. 10.17). Infine l’interazione “genotipo” x “ordine di racemo” ha dato risultato significativo in merito al peso dei semi provenienti dalla parte basale dei racemi (tab. 10.17).

Infine la *lunghezza dell’asse maggiore dei semi*, nella media dei genotipi e dell’ordine di racemo, è risultata pari a 14,30 mm; i genotipi con i valori più alti sono stati “Brasile” (15,18 mm) e “Locale-NR” (14,90 mm). I racemi “principali”, quelli “secondari” e quelli “terziari” hanno fornito, nella media dei genotipi, valori di 14,90 mm, 14,27 mm e 13,74 mm rispettivamente. In tutti gli ordini “Brasile” e “Locale-NR” hanno mostrato valori significativamente superiori (tab. 10.13).

Nel *II anno* di prove, si sono iniziati ad osservare gli effetti dei due diversi trattamenti di raccolta sui vari caratteri analizzati. Tali differenze hanno mostrato, nel complesso, un comportamento analogo al I anno di prova, con una predominanza produttiva nel genotipo “Brasile”, sia nel trattamento di taglio delle piante (“P”) che nel trattamento senza il taglio delle piante (“NP”).

Nella *resa in seme*, nella media dei genotipi e dei trattamenti di raccolta, si è avuto un valore di 4,51 t ha⁻¹; i due trattamenti di potatura non hanno fornito una differenza significativa, pur presentando una notevole differenza (tab. 10.18). Nella media dei trattamenti di potatura, invece, i genotipi si sono distinti significativamente, con un valore maggiore in “Brasile” (7,12 t ha⁻¹). All’interno dei due trattamenti il genotipo “Brasile” ha dimostrato, in entrambe le situazioni, la maggiore produttività, fornendo valori di 7,97 t ha⁻¹ nel trattamento “NP” e 6,27 t ha⁻¹ nel trattamento “P”. In tab. 10.14 si può osservare l’andamento della resa in seme lungo le diverse raccolte effettuate nel 2011. L’interazione “genotipo” x “trattamento di raccolta” non è risultata significativa.

Relativamente alla *resa in biomassa secca*, nella media dei genotipi e dei trattamenti di raccolta, si è avuto un valore di 6,23 t ha⁻¹. Come prevedibile, nella media dei genotipi il trattamento di potatura ha inficiato significativamente le piante sottoposte a taglio della parte aerea, infatti il trattamento “NP” si è distinto con una produzione quasi doppia (8,27 t ha⁻¹); nella media dei trattamenti di raccolta il genotipo “Locale-NR” ha fornito valori significativamente superiori, con 9,36 t ha⁻¹; all’interno dei singoli trattamenti di raccolta il genotipo “Locale-NR” ha mostrato una significativa maggiore produttività in entrambe le situazioni, con 12,25 t ha⁻¹ nel trattamento “NP” e 6,46 t ha⁻¹ nel trattamento “P” (tab. 10.18). Infine l’interazione “genotipo” x “trattamento di raccolta” non è risultata significativa.

Il valore dell’*HI*, nella media dei genotipi e dei trattamenti di raccolta, si è attestato al 42,14%. Nella media dei genotipi il trattamento di raccolta non è risultato significativo, mentre il genotipo “Brasile”, nella media dei trattamenti di raccolta, si è significativamente distinto, con 63,43% (tab. 10.18). All’interno dei due trattamenti il genotipo “Brasile” ha dimostrato, in entrambe le situazioni, la maggiore produttività, fornendo valori di 55,36% nel trattamento “NP” e 71,49% nel trattamento “P”. L’interazione “genotipo” x “trattamento di raccolta” non è risultata significativa.

La *resa in olio teorica ottenibile*, nella media dei genotipi e dei trattamenti di raccolta, ha fornito un valore di 2,16 t ha⁻¹. Nella media dei genotipi il trattamento di raccolta non è risultato significativo, mentre il fattore genotipo, nella media dei trattamenti di raccolta, si è significativamente distinto in “Brasile”, con 3,40 t ha⁻¹. All’interno dei due trattamenti il genotipo “Brasile” ha dimostrato, in entrambe le situazioni, la maggiore produttività, fornendo valori di 3,80 t ha⁻¹ nel trattamento “NP” e 2,99 t ha⁻¹ nel trattamento “P”. L’interazione “genotipo” x “trattamento di raccolta” non è risultata significativa (tab. 10.18).

In merito alla *produzione di biodiesel teorica ottenibile*, nella media dei genotipi e dei trattamenti di raccolta, ha fornito un valore di 2156,53 kg ha⁻¹. Nella media dei genotipi il trattamento di raccolta non è risultato significativo, mentre il genotipo “Brasile” si è distinto significativamente, nella media dei trattamenti di raccolta, con 3396,17 kg ha⁻¹. All’interno dei due trattamenti il genotipo “Brasile” ha dimostrato, in entrambe le situazioni, la maggiore produttività, fornendo valori di 3800,85 kg ha⁻¹ nel trattamento “NP” e 2991,50 kg ha⁻¹ nel trattamento “P”. L’interazione “genotipo” x “trattamento di raccolta” non è risultata significativa (tab. 10.18).

Relativamente al *numero medio di racemi produttivi per pianta*, nella media dei genotipi e dei trattamenti di raccolta, si è avuto un valore di 51,84. Nella media dei genotipi il trattamento di raccolta non è risultato significativo, mentre i genotipi “Brasile” e “Locale-RG” sono stati significativamente superiori, nella media dei trattamenti di raccolta, con 74,62 e 59,37, rispettivamente. All’interno dei due trattamenti il genotipo “Brasile” ha dimostrato un valore significativamente maggiore nel trattamento “P”, con 96,17, mentre non vi sono state differenze significative all’interno del trattamento “NP” (tab. 10.18). In tab. 10.15 si può osservare l’andamento della resa in seme lungo le diverse raccolte effettuate nel 2011. L’interazione “genotipo” x “trattamento di raccolta” non è risultata significativa.

Il *peso dei 1000 semi*, nella media dei genotipi e dei trattamenti di raccolta, ha fatto registrare un valore di 353,03 g. Nella media dei genotipi il trattamento di raccolta non è risultato significativo, mentre i genotipi “Locale-NR” e “Brasile” sono stati significativamente superiori, nella media dei trattamenti di raccolta, con 373,56 g e 370,18 g rispettivamente. All’interno dei due trattamenti di raccolta e nell’interazione “genotipo” x “trattamento di raccolta” l’analisi della varianza non ha riscontrato differenze significative (tab. 10.18).

La *lunghezza dell’asse maggiore del seme*, nella media dei genotipi e dei trattamenti di raccolta, si è attestata a 14,01 mm. Nella media dei genotipi il trattamento di raccolta non è risultato significativo, mentre i genotipi “Locale-NR” e “Brasile” sono stati significativamente superiori, nella media dei trattamenti di raccolta, con 15,30 mm e 14,91 mm, rispettivamente. Anche all’interno dei due trattamenti di raccolta i genotipi “Locale-NR” e “Brasile” sono stati significativamente superiori, con valori di 15,60 mm e 14,86 mm rispettivamente nel trattamento “NP”, e con 15,01 mm e 14,95 mm rispettivamente nel trattamento “P”. L’interazione “genotipo” x “trattamento di raccolta” non è risultata significativa (tab. 10.18).

Infine, il *peso medio dei semi per racemo*, nella media dei genotipi e dei trattamenti di raccolta, è risultato 23,14 g. Nella media dei genotipi il trattamento di raccolta è risultato significativo, mostrando un maggiore peso in seme per racemo nelle piante con trattamento “NP”, con 25,82 g. Nella media dei trattamenti di raccolta, il genotipo “Brasile” ha fornito i valori significativamente maggiori, con 27,38 g di seme per racemo. All’interno dei due trattamenti di raccolta non si sono riscontrate differenze significative tra i tre genotipi (tab. 10.19). In merito alla *distribuzione del peso del seme nelle tre parti in cui è stato suddiviso il racemo*, basale, mediana ed apicale, nella media dei genotipi, si sono avuti valori di 0,55 g, 8,44 g e 14,15 g rispettivamente. Per questo carattere, nella media dei genotipi, il trattamento di raccolta non è risultato significativo ad eccezione del peso del seme appartenente alla parte apicale del racemo, in cui in trattamento “NP” si è

distinto significativamente con 16,61 g. Nella media dei trattamenti di raccolta, solo il peso del seme appartenente alla parte apicale del racemo ha dato differenze significative, con valori massimi relativi al genotipo “Brasile” (18,38 g). Per questo carattere, all’interno del trattamento di raccolta “NP” il genotipo “Brasile” ha fornito un peso in seme significativamente superiore nella parte apicale dei racemi, con 20,76 g (tab. 10.19).

Nel corso dei due anni di prove, per il fattore “genotipo” si sono registrate differenze significative nella quasi totalità dei caratteri produttivi, in entrambi i trattamenti di potatura, ad eccezione del peso medio di semi per racemo (tab. 10.8). Il fattore “anno” è risultato significativo nella resa in seme, resa in biomassa secca, resa in olio, produzione in biodiesel, numero di racemi per pianta e peso dei 1000 semi per il trattamento di raccolta “NP”; resa seme, resa biomassa secca, resa olio, produzione biodiesel, numero racemi per pianta e peso seme per racemo per il trattamento di raccolta “P”. L’interazione “genotipo” x “anno” ha mostrato significatività nella lunghezza asse maggiore del seme per il trattamento “NP” e nella resa in biomassa secca e nel numero di racemi per pianta per il trattamento “P”.

La *resa in seme*, nella media degli anni e dei genotipi, è risultata pari a 3,44 t ha⁻¹ e 2,67 t ha⁻¹, rispettivamente nel trattamento di raccolta “NP” e “P”. In entrambi i trattamenti di raccolta, nella media dei genotipi, il II anno di prova è risultato significativamente superiore, con 5,27 t ha⁻¹ per “NP” e 3,74 t ha⁻¹ per “P” (figg. 10.27 e 10.29). L’analisi della varianza ha evidenziato, in entrambi i trattamenti di raccolta, nella media degli anni, una resa in seme significativamente superiore nel genotipo “Brasile”, con 5,49 t ha⁻¹ per “NP” e 4,64 t ha⁻¹ per “P” (figg. 10.26 e 10.28).

In merito alla *resa in biomassa secca*, nella media degli anni e dei genotipi, è risultata pari a 4,84 t ha⁻¹ e 2,81 t ha⁻¹, rispettivamente nel trattamento di raccolta “NP” e “P”. In entrambi i trattamenti di raccolta, nella media dei genotipi, il II anno di prova è risultato significativamente superiore, con 8,27 t ha⁻¹ per “NP” e 4,20 t ha⁻¹ per “P” (figg. 10.31 e 10.33).

L'analisi della varianza ha evidenziato, in entrambi i trattamenti di raccolta, nella media degli anni, una resa in biomassa secca significativamente superiore nel genotipo "Locale-NR", con 7,14 t ha⁻¹ per "NP" e 4,25 t ha⁻¹ per "P" (fig. 10.30 e 10.32).

Il valore dell'*HI*, nella media degli anni e dei genotipi, è risultato pari a 42,64% e 45,79%, rispettivamente nel trattamento di raccolta "NP" e "P". In entrambi i trattamenti di raccolta, nella media dei genotipi, il fattore "anno" non è risultato significativo (figg. 10.35 e 10.37). L'analisi della varianza ha evidenziato, in entrambi i trattamenti di raccolta, nella media degli anni, un valore significativamente superiore nel genotipo "Brasile", con 58,12% per "NP" e 66,18% per "P" (figg. 10.34 e 10.36).

Con riguardo alla *resa in olio teorica ottenibile*, nella media degli anni e dei genotipi, è risultata pari a 1,52 t ha⁻¹ e 1,16 t ha⁻¹, rispettivamente nel trattamento di raccolta "NP" e "P". In entrambi i trattamenti di raccolta, nella media dei genotipi, il II anno di prova è risultato significativamente superiore, con 2,52 t ha⁻¹ per "NP" e 1,79 t ha⁻¹ per "P" (figg. 10.39 e 10.41). L'analisi della varianza ha evidenziato, in entrambi i trattamenti di raccolta, nella media degli anni, una resa in olio significativamente superiore nel genotipo "Brasile", con 2,31 t ha⁻¹ per "NP" e 1,91 t ha⁻¹ per "P" (figg. 10.38 e 10.40).

In merito alla *produzione di biodiesel teorica ottenibile*, nella media degli anni e dei genotipi, è risultata pari a 1518,03 kg ha⁻¹ e 1155,95 kg ha⁻¹, rispettivamente nel trattamento di raccolta "NP" e "P". In entrambi i trattamenti di raccolta, nella media dei genotipi, il II anno di prova è risultato significativamente superiore, con 2522,69 kg ha⁻¹ per "NP" e 1790,37 kg ha⁻¹ per "P" (figg. 10.43 e 10.45). L'analisi della varianza ha evidenziato, in entrambi i trattamenti di raccolta, nella media degli anni, una produzione in biodiesel significativamente superiore nel genotipo "Brasile", con 2313,93 kg ha⁻¹ per "NP" e 1909,25 kg ha⁻¹ per "P" (figg. 10.42 e 10.44).

Relativamente al *numero medio di racemi produttivi per pianta*, nella media degli anni e dei genotipi, è risultato pari a 46,05 e 35,60,

rispettivamente nel trattamento di raccolta “NP” e “P”. In entrambi i trattamenti di raccolta, nella media dei genotipi, il II anno di prova è risultato significativamente superiore, con 76,61 per “NP” e 55,71 per “P” (figg. 10.47 e 10.49). L’analisi della varianza ha evidenziato, in entrambi i trattamenti di raccolta, nella media degli anni, un valore significativamente superiore nel genotipo “Brasile”, con 63,34 per “NP” e 60,67 per “P” (figg. 10.46 e 10.48).

Per quanto riguarda la *lunghezza dell’asse maggiore del seme*, nella media degli anni e dei genotipi, è risultata pari a 14,21 mm e 14,11 mm, rispettivamente nel trattamento di raccolta “NP” e “P”. In entrambi i trattamenti di raccolta, nella media dei genotipi, il fattore “anno” non è risultato significativo (figg. 10.51 e 10.53). L’analisi della varianza ha evidenziato, in entrambi i trattamenti di raccolta, nella media degli anni, valori significativamente superiori nei genotipi “Brasile” e “Locale-NR”, con 15,02 mm e 15,25 mm rispettivamente per “NP” e 15,07 mm e 14,95 mm rispettivamente per “P” (figg. 10.50 e 10.52).

Relativamente al *peso dei 1000 semi*, nella media degli anni e dei genotipi, è risultato pari a 341,78 g e 335,06 g, rispettivamente nel trattamento di raccolta “NP” e “P”. Nella media dei genotipi, il II anno di prova è risultato significativamente superiore, con 359,74 g nel trattamento “NP”, mentre non è risultato significativo nel trattamento “P” (figg. 10.55 e 10.57). L’analisi della varianza ha evidenziato, in entrambi i trattamenti di raccolta, nella media degli anni, un peso dei 1000 semi significativamente superiore nei genotipi “Brasile” e “Locale-NR”, con 371,45 g e 356,56 g rispettivamente per “NP” e 365,84 g e 345,81 g rispettivamente per “P” (figg. 10.54 e 10.56).

Infine, il *peso medio di seme per racemo*, nella media degli anni e dei genotipi, è risultato pari a 35,47 g e 32,79 g, rispettivamente nel trattamento di raccolta “NP” e “P”. Nella media dei genotipi, non è risultato significativo nel trattamento “NP” (figg. 10.58 e 10.60), mentre il II anno di prova è risultato significativamente superiore, con 29,25 g nel trattamento “P” (figg.

10.59 e 10.61). Nella media degli anni, l'analisi della varianza non ha evidenziato per entrambi i trattamenti di raccolta, differenze significative (tab. 10.20 e 10.21). Analizzando la *distribuzione del peso del seme all'interno delle diverse parti del racemo* (basale, mediana ed apicale), nel trattamento "NP", il fattore "anno", risulta nella media dei genotipi, significativo in tutte e tre le parti, mostrando valori superiori nel I anno in corrispondenza delle parti basale e mediana (3,81 g e 13,51 g rispettivamente) e nel II anno nella parte apicale (16,61 g) (tab. 10.20); nel trattamento "P", invece, il fattore "anno", risulta, nella media dei genotipi, significativo solo nella parte basale e mediana del racemo, con valori superiori al I anno (3,81 g e 13,51 g rispettivamente) (tab. 10.21). Il fattore "genotipo", nel trattamento di raccolta "NP", risulta, nella media degli anni, significativo relativamente alla parte basale ed apicale del racemo, con valori superiori in "Locale-NR" e "Locale-RG" per la parte basale (2,80 g e 2,66 g rispettivamente) e con valori superiori in "Brasile" per la parte apicale (16,87 g); nel trattamento di raccolta "P", invece, il fattore "genotipo" risulta, nella media degli anni, significativo soltanto nella parte basale del racemo, con valori superiori in "Locale-NR" e "Locale-RG" (3,30 g e 3,27 g rispettivamente). L'interazione "genotipo" x "anno" è risultata significativa nella parte basale del racemo per entrambi i trattamenti di raccolta "NP" e "P".

Correlazioni significative, per entrambi gli anni di prova, sono state individuate tra i caratteri "resa seme" e "peso dei 1000 semi" (fig. 10.62 e 10.63), "resa in olio" e "peso dei 1000 semi" (fig. 10.64 e 10.65), "resa seme" e "numero di racemi produttivi per pianta" (fig. 10.66 e 10.67), "resa in olio" e "numero di racemi produttivi per pianta" (fig. 10.68 e 10.69) e "peso dei 1000 semi" e "lunghezza asse maggiore del seme" (fig. 10.70 e 10.71).

Genotipo	Trattamento	germinabilità (%)	energia germinativa
BRASILE	Testimone	90,00	7,95 a
	Rim. Caruncola	96,67	8,27 a
	Amm 12h	93,33	4,67 c
	Amm 24h	73,33	6,02 bc
	Rim. Car 12h	90,00	5,14 bc
	Rim. Car 24h	93,33	6,79 ab
	media	89,44	6,47
	CV (%)	12,36	13,26
	significatività	ns	**
	LSD $p \leq 0,05$	19,67	1,53
	LOCALE NR	Testimone	83,33
Rim. Caruncola		86,67	11,15 b
Amm 12h		86,67	10,71 b
Amm 24h		60,00	11,45 b
Rim. Car 12h		60,00	9,22 b
Rim. Car 24h		70,00	10,33 b
media		74,44	11,05
CV (%)		27,42	8,02
significatività		ns	**
LSD $p \leq 0,05$		36,31	1,58
LOCALE-RG		Testimone	73,33
	Rim. Caruncola	83,33	14,60 a
	Amm 12h	73,33	13,29 ab
	Amm 24h	83,33	10,65 b
	Rim. Car 12h	60,00	10,27 b
	Rim. Car 24h	70,00	14,13 a
	media	73,89	12,63
	CV (%)	16,88	11,26
	significatività	ns	*
	LSD $p \leq 0,05$	22,19	2,53
	MEDIA		79,26

Tabella 10.4 - Germinabilità ed energia germinativa in risposta a differenti trattamenti pregerminativi, nei genotipi allo studio nell'anno 2010.

Fonti di variazione:	Trattamento	germinabilità (%)	energia germinativa
Genotipo (A)	BRASILE	89,44 a	6,47 c
	LOCALE-NR	74,44 b	11,05 b
	LOCALE-RG	73,89 b	12,63 a
	significatività	**	***
	LSD $p \leq 0,05$	10,29	0,73
Trattamento (B)	Testimone	82,22	11,40 a
	Rim. Caruncola	88,89	11,34 a
	Amm 12h	84,44	9,56 b
	Amm 24h	72,22	9,37 b
	Rim. Car 12h	77,78	10,41 ab
	Rim. Car 24h	70,00	8,21 c
	significatività	ns	***
	LSD $p \leq 0,05$	14,55	1,04
(A) x (B)		ns	**

Tabella 10.5 - Fonti di variazione relative a germinabilità ed energia germinativa in risposta a differenti trattamenti pregerminativi, nei genotipi allo studio nell'anno 2010.

Genotipi	statura (cm)	n° di foglie per pianta
BRASILE	82,11 a	20,00
LOCALE-NR	60,78 b	11,56
LOCALE-RG	58,78 b	17,67
media	67,22	16,41
CV (%)	9,9	37,2
significatività	**	ns
LSD $p \leq 0,05$	13,27	12,20

Tabella 10.6 - Caratteristiche morfobiometriche nei genotipi allo studio relative all'anno 2010.

Trattamento raccolta	Genotipi	statura (cm)
NP	BRASILE	320,56
	LOCALE-NR	400,00
	LOCALE-RG	473,44
P	BRASILE	377,44
	LOCALE-NR	245,33
	LOCALE-RG	429,33
	media	374,35
	CV (%)	21,5
Genotipo (A)	BRASILE	349,00 b
	LOCALE-NR	322,67 b
	LOCALE-RG	451,39 a
	significatività	*
	LSD p ≤ 0,05	101,22
Trattamento raccolta (B)	NP	398,00
	P	350,70
	significatività	ns
	LSD p ≤ 0,05	82,64
(A) x (B)		ns

Tabella 10.7 - Statura nei genotipi allo studio relativa all'anno 2011.

	Trattamento di raccolta	Statura	Resa seme	Resa biomassa secca	HI	Resa olio	Produzione biodiesel	N° racemi per pianta	Peso seme per racemo	Peso 1000 semi	Lunghezza asse maggiore seme
Fattore Genotipo (A)	NP	ns	**	*	***	*	*	*	ns	**	***
	P	ns	**	***	***	**	**	***	ns	***	***
Anno (B)	NP	***	***	***	ns	***	***	***	ns	*	ns
	P	***	**	***	ns	***	***	***	*	ns	ns
Interazione (A) x (B)	NP	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
	P	ns	ns	***	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns

Tabella 10.8 - Distribuzione delle significatività nei diversi caratteri produttivi, nei tre genotipi allo studio, nei due trattamenti di raccolta e nei due anni di prova.

Genotipi	resa seme (t ha ⁻¹)	resa olio teorica ottenibile (t ha ⁻¹)	produzione biodiesel teorica ottenibile (kg ha ⁻¹)	resa biomassa secca (t ha ⁻¹)	HI (%)	n° racemi produttivi per pianta
BRASILE	3,02 a	0,83 a	827,01 a	1,12	60,87 a	27,80 a
LOCALE-NR	0,82 b	0,40 b	397,57 b	2,04	29,88 c	8,67 b
LOCALE-RG	0,96 b	0,46 b	455,29 b	1,08	48,11 b	9,98 b
media	1,60	0,56	559,96	1,41	46,29	15,48
CV (%)	9,7	9,0	9,0	39,1	12,8	48,8
significatività	***	***	***	ns	**	*
LSD p ≤ 0,05	0,31	0,11	114,84	1,11	11,85	15,11

Tabella 10.10 - Caratteri produttivi nei genotipi allo studio relativi all'anno 2010.

Genotipo	09-lug	28-lug	11-ago	21-set	totale
BRASILE	2,04	0,50	0,25	0,23	3,02 a
LOCALE-NR		0,28	0,42	0,12	0,82 b
LOCALE-RG		0,39	0,43	0,13	0,96 b
totale	2,04	1,17	1,10	0,49	4,79
media	2,04	0,39	0,37	0,16	1,60
significatività		ns	ns	ns	***
LSD p ≤ 0,05		0,28	0,47	0,10	0,31

Tabella 10.11 - Andamento della resa in seme (t ha⁻¹) nelle varie raccolte effettuate nell'anno 2010 nei genotipi allo studio.

Genotipo	09-lug	28-lug	11-ago	21-set	media
BRASILE	12,51	6,29 a	4,98	4,02 a	8,74 a
LOCALE-NR		2,93 c	3,87	1,87 b	3,87 b
LOCALE-RG		4,89 b	3,47	1,62 b	3,47 b
totale	12,51	14,11	12,31	7,51	16,08
media	12,51	4,70	4,10	2,50	4,39
significatività		**	ns	**	*
LSD p ≤ 0,05		1,35	5,37	1,09	3,94

Tabella 10.12 - Andamento del numero racemi produttivi per pianta nelle varie raccolte effettuate nell'anno 2010 nei genotipi allo studio.

Genotipi	peso 1000 semi (g)				lunghezza asse maggiore seme (mm)			
	racemi principali	racemi secondari	racemi terziari	MEDIA	racemi principali	racemi secondari	racemi terziari	MEDIA
BRASLE	422,07 a	344,55 a	323,20 a	367,12 a	16,00 a	14,82 a	14,73 a	15,18 a
LOCALE-NR	383,82 b	314,63 ab	288,00 b	328,82 b	15,54 a	14,93 a	14,22 a	14,90 a
LOCALE-RG	313,13 c	270,01 b	243,3 c	275,50 c	13,15 b	13,07 b	12,28 b	12,83 b
media	373,01	309,73	284,85	323,81	14,90	14,27	13,74	14,30
CV (%)	8,0	8,4	7,2	49,7	4,5	3,4	2,4	2,7
significatività	***	*	**	**	**	**	***	***
LSD p ≤ 0,05	14,72	51,80	41,79	32,15	1,35	0,97	0,66	0,78

Tabella 10.13 - Peso mille semi e lunghezza asse maggiore semi nei diversi ordini di racemi, nei genotipi allo studio, relativi all'anno 2010.

Genotipi	24-mar		30-mag		25-lug		06-set		totale	
	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P
BRASILE	0,05				7,92 a	6,27 a			7,97 a	6,27 a
LOCALE-NR	0,09		0,46	0,02	3,34 b	2,13 b			3,88 b	2,14 b
LOCALE-RG							3,96	2,82	3,96 b	2,82 b
totale	0,14		0,46	0,02	11,26	8,40	3,96	2,82	15,81	11,23
media	0,07		0,46	0,02	5,63	4,20	3,96	2,82	5,27	3,74
significatività	ns				*	*			*	*
LSD p ≤ 0,05	0,09				2,94	3,94			3,94	3,27

Tabella 10.14- Andamento della resa in seme (t ha⁻¹) nelle varie raccolte effettuate nell'anno 2011 nei genotipi allo studio, nei diversi trattamenti di raccolta.

Genotipi	24-mar		30-mag		25-lug		06-set		totale	
	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P
BRASILE	0,71				105,44	96,17			53,08	96,17 a
LOCALE-NR	1,45		6,68	1,00	65,51	35,96			24,55	18,48 b
LOCALE-RG							65,03	53,71	65,03	53,71 b
totale	2,16		6,68	1,00	170,95	132,13	65,03	53,71	142,65	168,36
media	1,08		6,68	1,00	85,47	66,07	65,03	53,71	47,55	56,12
significatività	ns				ns	ns			ns	*
LSD p ≤ 0,05	1,35				42,39	70,56			51,22	36,32

Tabella 10.15 - Andamento del numero racemi produttivi per pianta nelle varie raccolte effettuate nell'anno 2011 nei genotipi allo studio, nei diversi trattamenti di raccolta.

genotipo	ordine di racemo	peso semi per racemo (g)			
		parte del racemo			totali
		basale	mediana	apicale	
BRASILE	PRINCIPALE	0,00	10,17	10,66	20,83
	SECONDARIO	0,67	25,44	16,86	42,97
	TERZIARIO	1,21	11,64	11,42	24,27
	media	0,63	15,75	12,98	29,36
	significatività	ns	ns	ns	ns
	LSD p ≤ 0,05	1,15	2,16	10,69	30,95
LOCALE-NR	PRINCIPALE	10,98 b	11,09	27,00	49,07
	SECONDARIO	17,43 a	13,50	34,66	65,58
	TERZIARIO	11,39 b	9,51	28,65	49,54
	media	13,26	11,37	30,10	54,73
	significatività	*	ns	ns	ns
	LSD p ≤ 0,05	4,89	4,33	8,64	16,44
LOCALE-RG	PRINCIPALE	13,49 a	15,52 a	34,64 a	63,65 a
	SECONDARIO	15,43 a	13,01 a	37,89 a	66,33 a
	TERZIARIO	5,62 b	5,86 b	12,38 b	23,86 b
	media	11,51	11,47	28,30	51,28
	significatività	**	**	**	**
	LSD p ≤ 0,05	5,44	4,09	13,25	20,97
MEDIA		8,47	12,86	23,79	45,12
CV (%)		62,6	48,8	29,6	34,3

Tabella 10.16 Distribuzione peso seme nei diversi ordini di racemi e nelle diverse parti dei racemi relativa al 2010.

Fonte di variazione:	ordine di racemo	peso semi per racemo (g)			
		parte del racemo			totali
		basale	mediana	apicale	
Genotipo (A)	BRASILE	0,63 b	15,75	12,98	29,36
	LOCALE-NR	5,47 a	13,26	11,37	30,10
	LOCALE-RG	5,33 a	11,51	11,47	28,30
	significatività	***	ns	ns	ns
	LSD p ≤ 0,05	2,36	6,53	3,50	9,95
Racemo (B)	PRINCIPALE	3,52	11,46 b	12,43 ab	27,49 b
	SECONDARIO	4,62	19,43 a	14,46 a	38,51 a
	TERZIARIO	3,29	9,55 b	8,93 b	21,77 b
	significatività	ns	*	*	**
	LSD p ≤ 0,05	2,36	6,53	3,50	9,95
(A) X (B)		**	ns	ns	ns

Tabella 10.17 Fonti di variazione in distribuzione peso seme nei diversi ordini di racemi e nelle diverse parti dei racemi relative al 2010.

Trattamento raccolta	Genotipi	resa seme (t ha ⁻¹)	resa biomassa secca (t ha ⁻¹)	HI (%)	resa olio teorica ottenibile (t ha ⁻¹)	produzione biodiesel teorica ottenibile (kg ha ⁻¹)	n° racemi produttivi per pianta	peso 1000 semi (g)	lunghezza asse maggiore seme (mm)
NP	BRASILE	7,97 a	6,32 b	55,36 a	3,80 a	3800,85 a	53,08	375,79	14,86 a
	LOCALE-NR	3,88 b	12,25 a	25,26 b	1,89 b	1887,76 b	24,55	384,31	15,60 a
	LOCALE-RG	3,96 b	6,23 b	36,36 ab	1,88 b	1879,44 b	65,03	319,11	11,86 b
P	BRASILE	6,27 a	2,39 c	71,49 a	2,99 a	2991,50 a	96,17 a	364,57	14,95 a
	LOCALE-NR	2,14 b	6,46 a	24,25 b	1,04 b	1042,36 b	18,48 b	362,80	15,01 a
	LOCALE-RG	2,82 b	3,74 b	40,12 b	1,34 b	1337,27 b	53,71 ab	311,58	11,79 b
	media	4,51	6,23	42,14	2,16	2156,53	51,84	353,03	14,01
	CV (%)	38,5	30,8	26,5	32,3	32,3	33,7	8,9	3,8
Genotipo (A)	BRASILE	7,12 a	4,36 b	63,43 a	3,40 a	3396,17 a	74,62 a	370,18 a	14,91 a
	LOCALE-NR	3,01 b	9,36 a	24,75 b	1,47 b	1465,06 b	21,51 b	373,56 a	15,30 a
	LOCALE-RG	3,39 b	4,99 b	38,24 b	1,08 b	1608,36 b	59,37 a	315,34 b	11,83 b
	significatività	**	**	***	**	**	**	**	***
	LSD p ≤ 0,05	1,88	2,41	14,07	0,90	897,30	22,61	31,97	0,67
Trattamento raccolta (B)	NP	5,27	8,27 a	38,99	2,52	2522,69	47,55	359,74	14,11
	P	3,74	4,20 b	45,28	1,79	1790,37	56,12	346,32	13,92
	significatività	ns	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	LSD p ≤ 0,05	1,54	1,97	11,49	0,73	732,64	18,46	32,21	0,54
(A) x (B)		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Tabella 10.18 - Caratteri produttivi nei genotipi allo studio relativi all'anno 2011.

Trattamento raccolta	genotipo	peso semi per racemo (g)				
		parte del racemo			somma	
		basale	mediano	apicale		
NP	BRASILE	0,00	8,33	20,76 a	29,09	
	LOCALE-NR	0,13	10,06	14,38 b	24,57	
	LOCALE-RG	0,00	9,10	14,69 b	23,79	
	media	0,04	9,16	16,61	25,82	
	significatività	ns	ns	*	ns	
	LSD p ≤ 0,05	0,27	4,25	3,86	7,18	
	P	BRASILE	0,80	8,87	16,00	25,66
		LOCALE-NR	1,13	6,75	7,17	15,04
		LOCALE-RG	1,21	7,55	11,93	20,69
		media	1,05	7,72	11,70	20,46
significatività		ns	ns	ns	ns	
LSD p ≤ 0,05		2,95	5,94	8,08	11,29	
MEDIA		0,55	8,44	14,15	23,14	
CV (%)	192,3	30,6	22,4	20,5		
Fonte di variazione						
Genotipo (A)	BRASILE	0,40	8,60	18,38 a	27,38 a	
	LOCALE-NR	0,63	8,40	10,77 b	19,81 b	
	LOCALE-RG	0,61	8,32	13,31 b	22,24 ab	
	significatività	ns	ns	**	*	
	LSD p ≤ 0,05	1,32	3,25	3,99	5,95	
Trattamento di raccolta (B)	NP	0,04	9,16	16,61 a	25,82 a	
	P	1,05	7,72	11,70 b	20,46 b	
	significatività	ns	ns	**	*	
	LSD p ≤ 0,05	1,08	2,65	3,26	4,86	
(A) X (B)		ns	ns	ns	ns	

Tabella 10.19 - Distribuzione del peso dei semi (g) nei diversi trattamenti di raccolta, nei vari ordini di racemo e nelle diverse parti del racemo dei genotipi allo studio relativi all'anno 2011.

Anno	Genotipo	peso semi nelle diverse parti del racemo (g)			
		basale	mediana	apicale	somma
2010	BRASILE	0,63	15,75	12,98	29,36
	LOCALE-NR	13,26	11,37	30,10	54,73
	LOCALE-RG	11,51	11,47	28,30	51,28
2011	BRASILE	0,00	8,33	20,76	29,09
	LOCALE-NR	0,13	10,06	14,38	24,57
	LOCALE-RG	0,00	9,10	14,69	23,79
	CV (%)	35,6	34,8	15,8	21,8
Fonte di variazione:					
Genotipo (A)	BRASILE	0,31 b	12,04	16,87 a	29,23
	LOCALE-NR	2,80 a	11,66	12,88 b	27,34
	LOCALE-RG	2,66 a	10,30	13,08 b	26,04
	significatività	***	ns	*	ns
	LSD p ≤ 0,05	0,86	4,96	2,84	7,53
Anno (B)	2010	3,81 a	13,51 a	11,94 b	29,25
	2011	0,04 b	9,16 b	16,61 a	25,82
	significatività	***	*	***	ns
(A)x(B)	LSD p ≤ 0,05	0,70	4,05	2,32	6,15
		***	ns	ns	ns

Tabella. 10.20 Andamento del peso semi nelle diverse parti del racemo relativo al trattamento di raccolta "NP" .

Anno	Genotipo	peso semi nelle diverse parti del racemo (g)			
		basale	mediano	apicale	somma
2010	BRASILE	0,63	15,75	12,98	29,36
	LOCALE-NR	13,26	11,37	30,10	54,73
	LOCALE-RG	11,51	11,47	28,30	51,28
2011	BRASILE	0,80	8,87	16,00	25,66
	LOCALE-NR	1,13	6,75	7,17	15,04
	LOCALE-RG	1,21	7,55	11,93	20,69
	CV (%)	51,4	39,6	28,6	27,1
Fonte di variazione:					
Genotipo (A)	BRASILE	0,71 b	12,31	14,49 a	27,51
	LOCALE-NR	3,30 a	10,01	9,27 b	22,57
	LOCALE-RG	3,27 a	9,53	11,70 ab	24,50
	significatività	**	ns	ns	ns
	LSD p ≤ 0,05	1,57	5,29	4,25	8,47
Anno (B)	2010	3,81 a	13,51 a	11,94	29,25
	2011	1,05 b	7,72 b	11,70	20,46
	significatività	***	*	ns	*
(A)x(B)	LSD p ≤ 0,05	1,28	4,32	3,47	6,92
		*	ns	ns	ns

Tabella 10,21 Andamento del peso semi nelle diverse parti del racemo relativo al trattamento di raccolta "P".

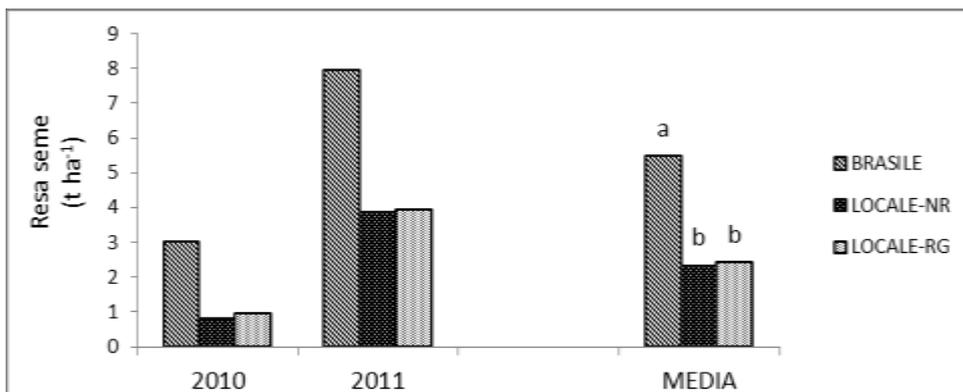


Fig. 10.26 Interazione “resa seme x genotipo” nella media dei due anni di prova, relativa al trattamento di raccolta “NP”.

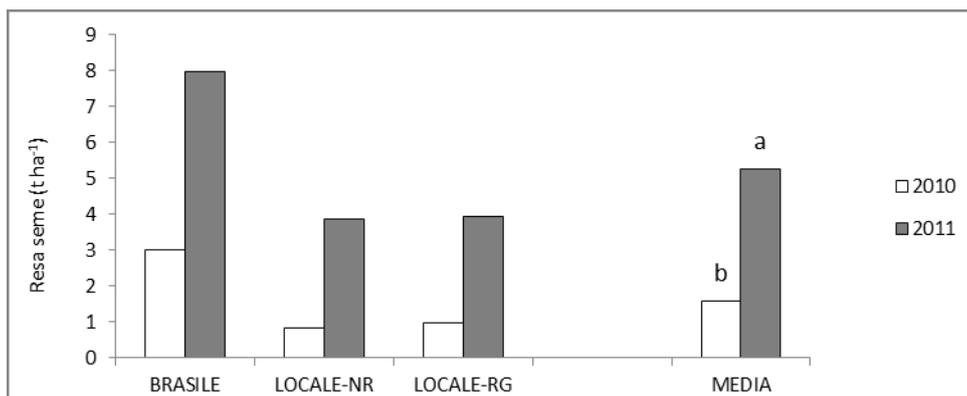


Fig. 10.27 Interazione “resa seme x anno” nella media dei tre genotipi, relativa al trattamento di raccolta “NP”.

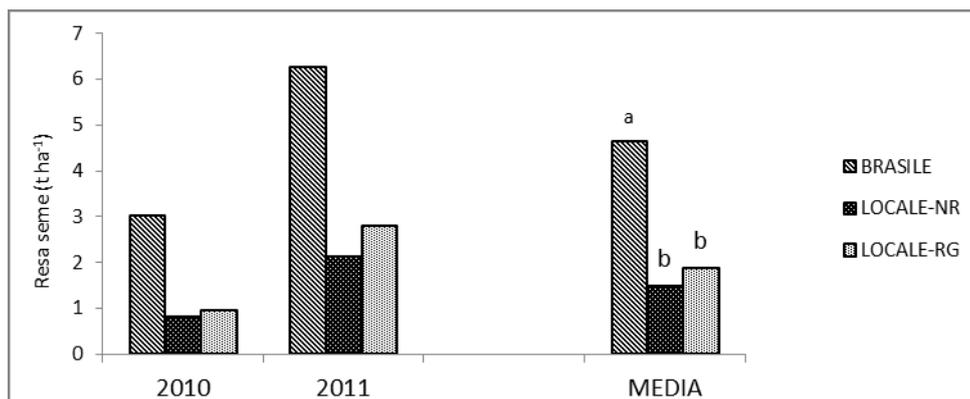


Fig. 10.28 Interazione “resa seme x genotipo” nella media dei due anni di prova, relativa al trattamento di raccolta “P”.

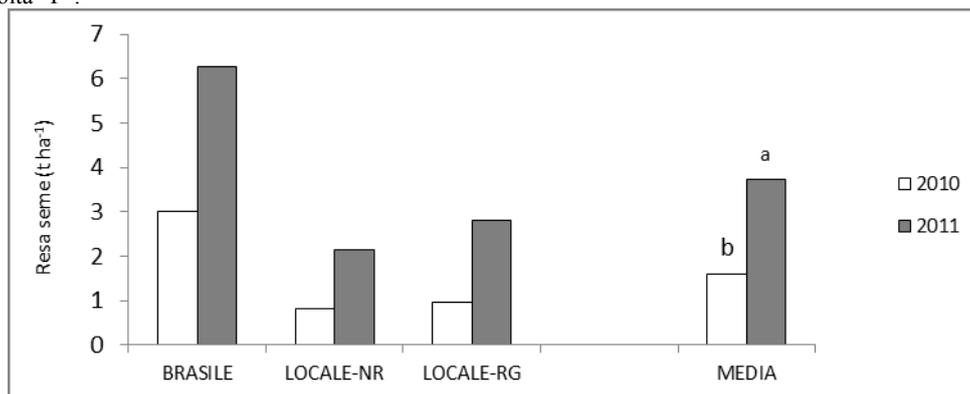


Fig. 10.29 Interazione “resa seme x anno” nella media dei tre genotipi, relativa al trattamento di raccolta “P”.

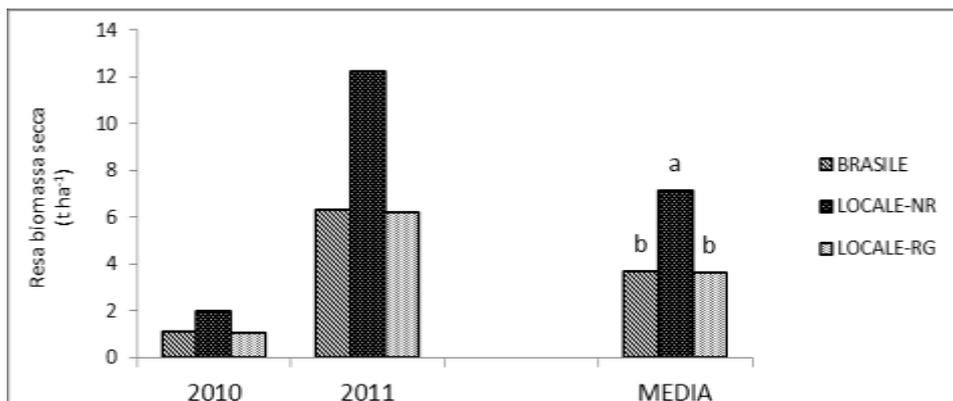


Fig. 10.30 Interazione “resa biomassa secca x genotipo” nella media dei due anni di prova, relativa al trattamento di raccolta “NP”.

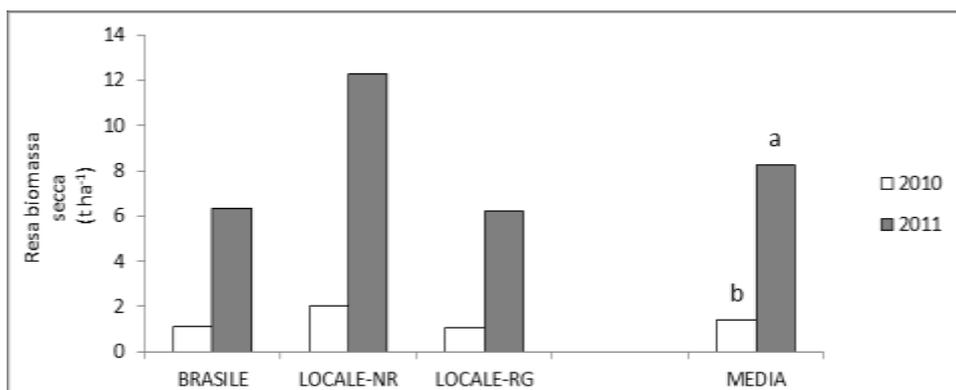


Fig. 10.31 Interazione “resa biomassa secca x anno” nella media dei tre genotipi, relativa al trattamento di raccolta “NP”.

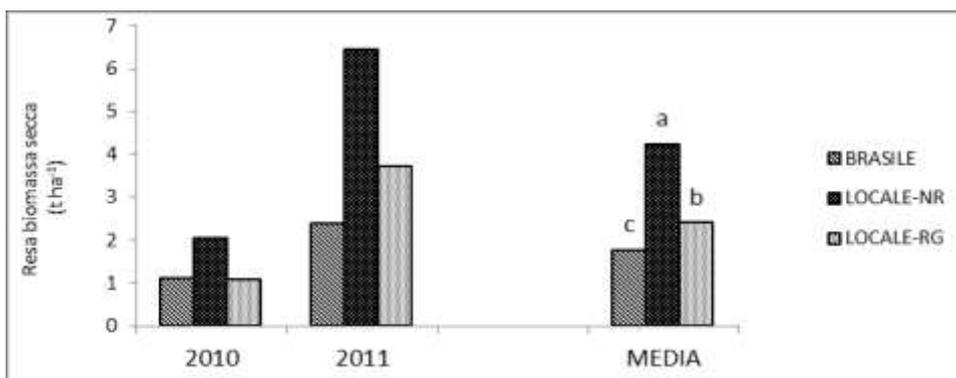


Fig. 10.32 Interazione “resa seme x genotipo” nella media dei due anni di prova, relativa al trattamento di raccolta “P”.

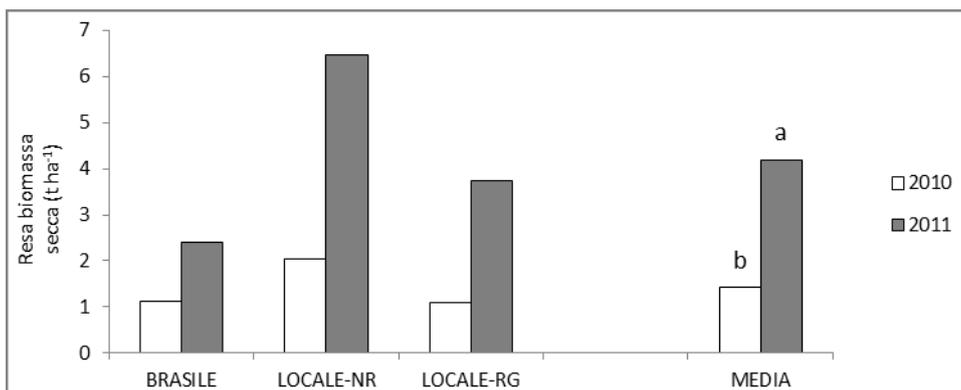


Fig. 10.33 Interazione “resa seme x anno” nella media dei tre genotipi, relativa al trattamento di raccolta “P”.

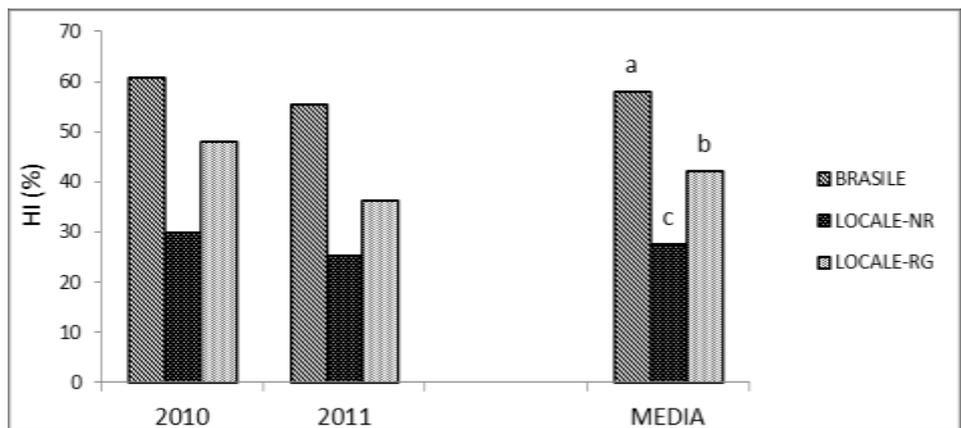


Fig. 10.34 Interazione "HI x genotipo" nella media dei due anni di prova, relativa al trattamento di raccolta "NP".

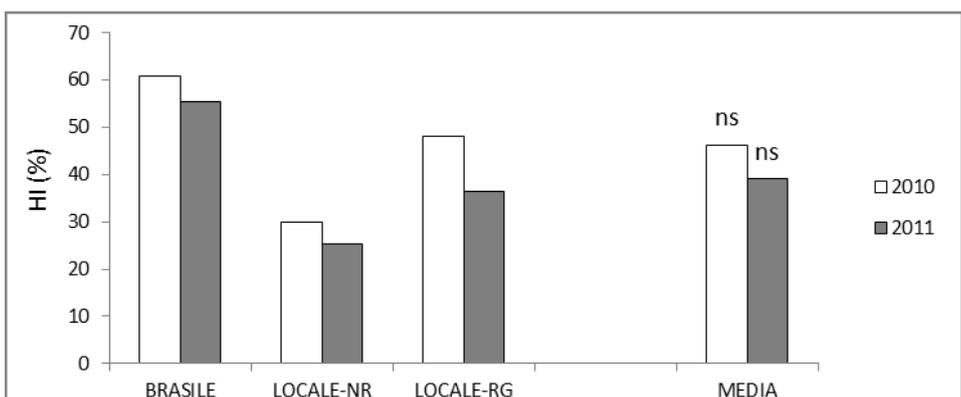


Fig. 10.35 Interazione "HI x anno" nella media dei tre genotipi, relativa al trattamento di raccolta "NP".

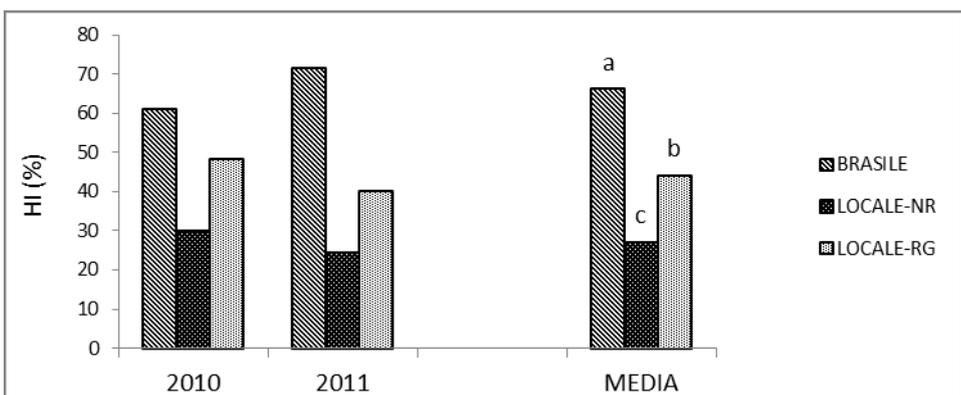


Fig. 10.36 Interazione "HI x genotipo" nella media dei due anni di prova, relativa al trattamento di raccolta "P".

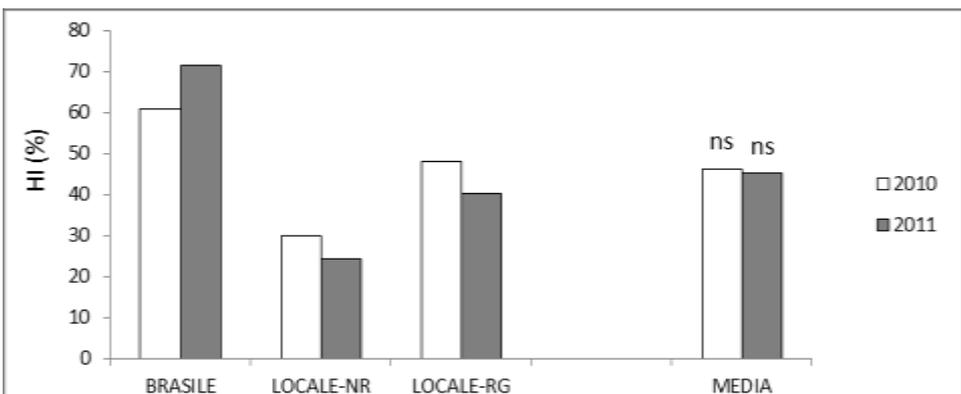


Fig. 10.37 Interazione "HI x anno" nella media dei tre genotipi, relativa al trattamento di raccolta "P".

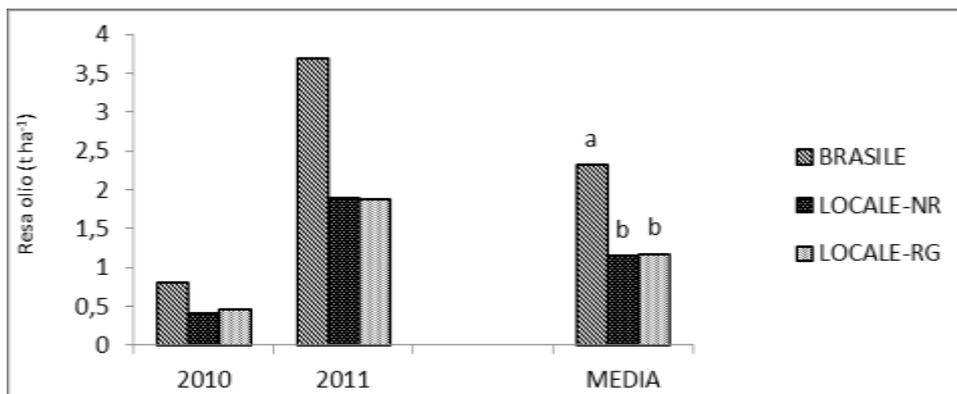


Fig. 10.38 Interazione “resa olio x genotipo” nella media dei due anni di prova, relativa al trattamento di raccolta “NP”.

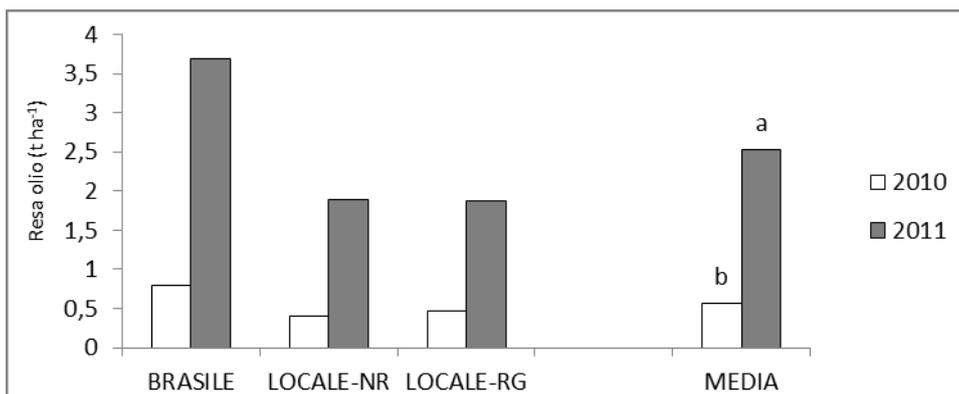


Fig. 10.39 Interazione “resa olio x anno” nella media dei tre genotipi, relativa al trattamento di raccolta “NP”.

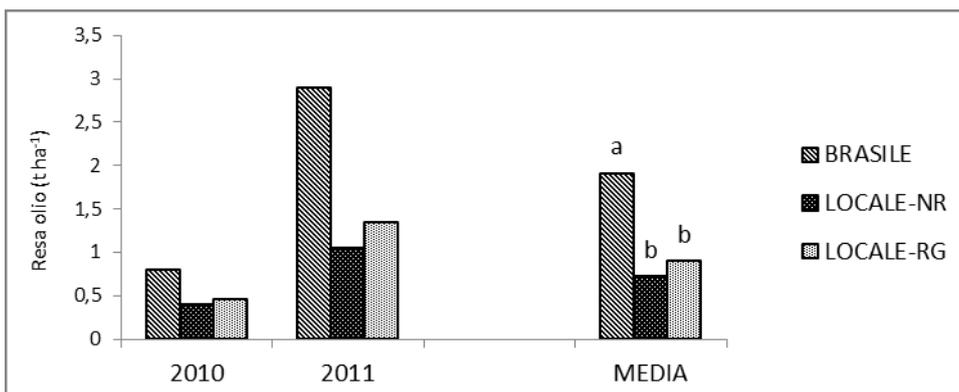


Fig. 10.40 Interazione “resa olio x genotipo” nella media dei due anni di prova, relativa al trattamento di raccolta “P”.

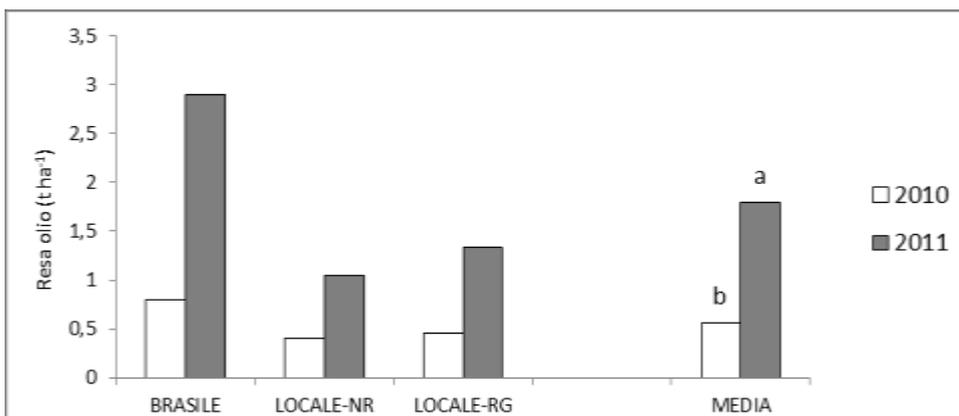


Fig. 10.41 Interazione “resa olio x anno” nella media dei tre genotipi, relativa al trattamento di raccolta “P”.

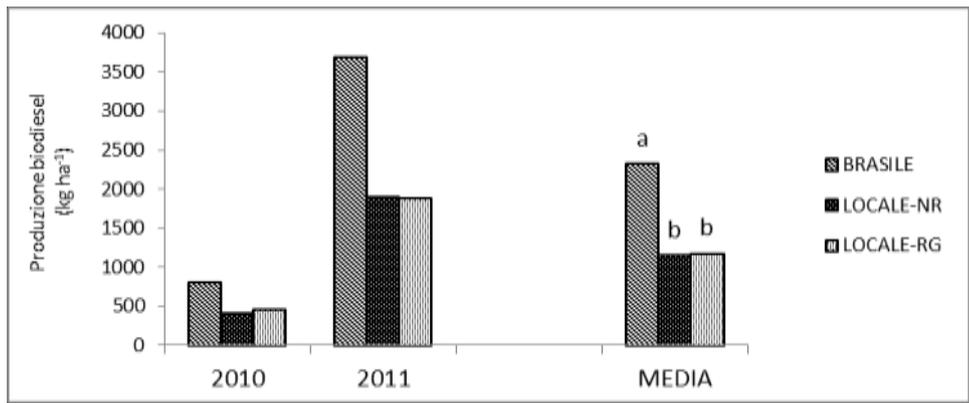


Fig. 10.42 Interazione “produzione biodiesel teorica ottenibile x genotipo” nella media dei due anni di prova, relativa al trattamento di raccolta “NP”.

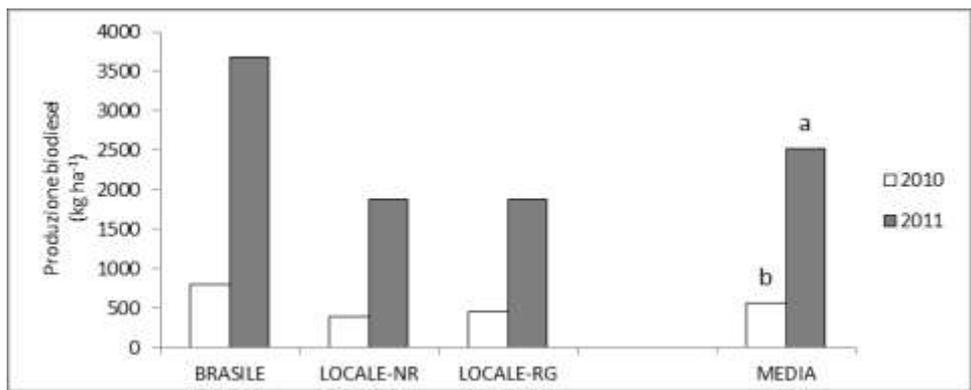


Fig. 10.43 Interazione “produzione biodiesel teorica ottenibile x anno” nella media dei tre genotipi, relativa al trattamento di raccolta “NP”.

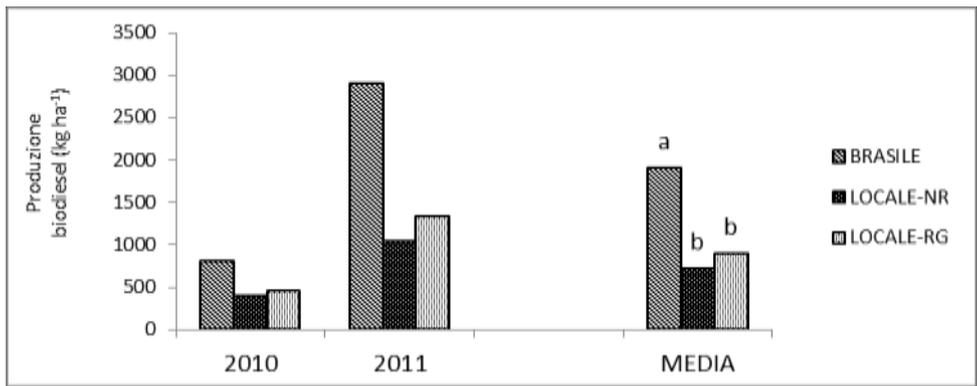


Fig. 10.44 Interazione “produzione biodiesel teorica ottenibile x genotipo” nella media dei due anni di prova, relativa al trattamento di raccolta “P”.

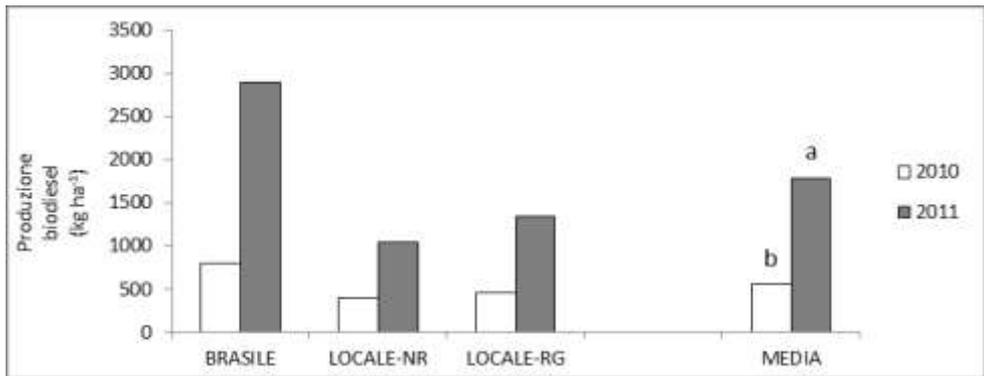


Fig. 10.45 Interazione “produzione biodiesel teorica ottenibile x anno” nella media dei tre genotipi, relativa al trattamento di raccolta “P”.

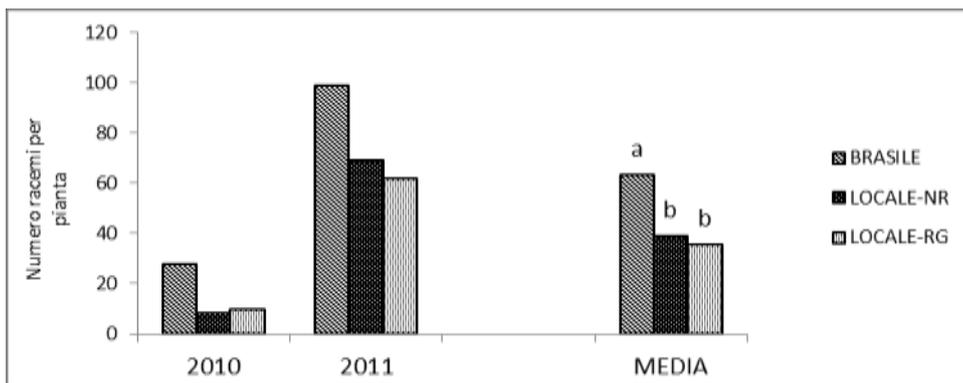


Fig. 10.46 Interazione “numero racemi per pianta x genotipo” nella media dei due anni di prova, relativa al trattamento di raccolta “NP”.

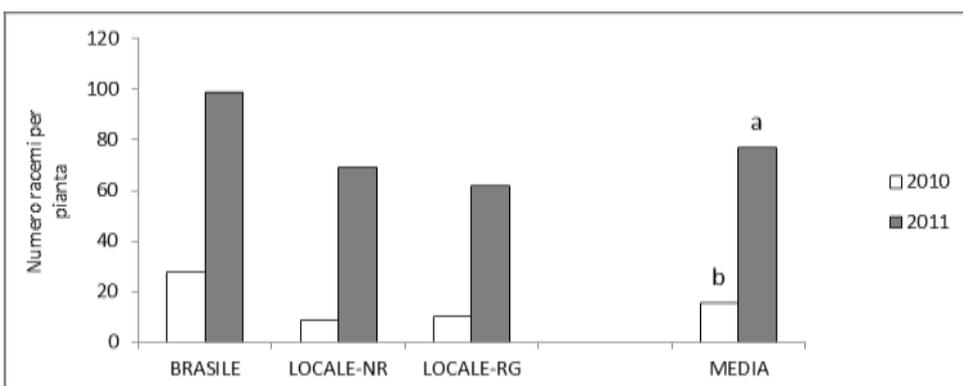


Fig. 10.47 Interazione “numero racemi per pianta x anno” nella media dei tre genotipi, relativa al trattamento di raccolta “NP”.

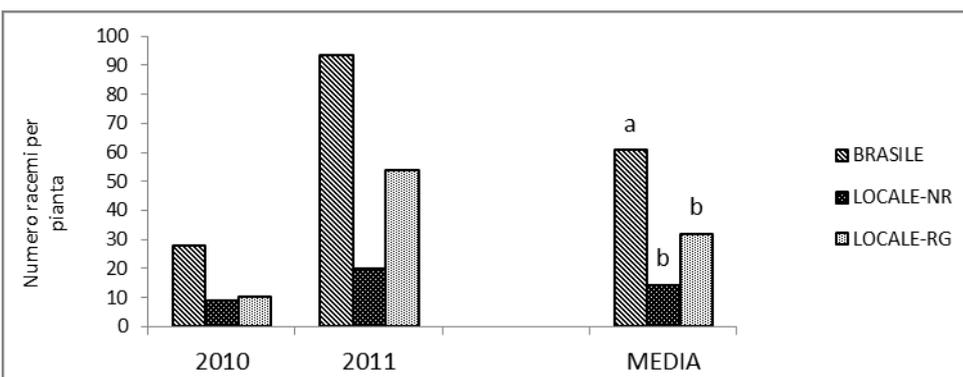


Fig. 10.48 Interazione “numero racemi per pianta x genotipo” nella media dei due anni di prova, relativa al trattamento di raccolta “P”.

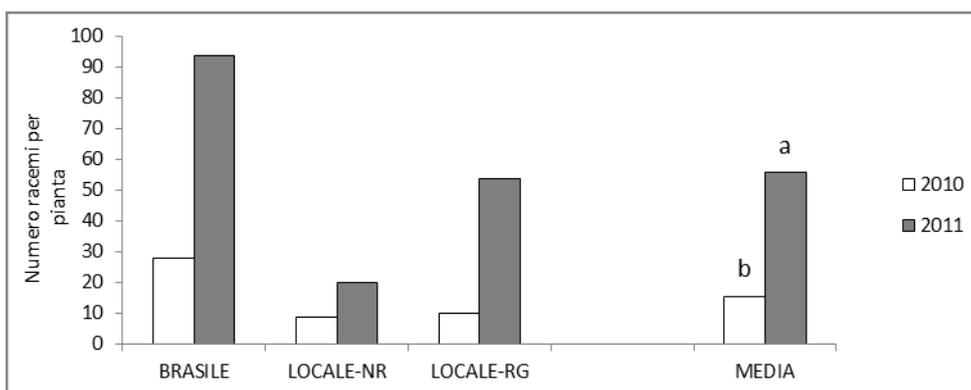


Fig. 10.49 Interazione “numero racemi per pianta x anno” nella media dei tre genotipi, relativa al trattamento di raccolta “P”.

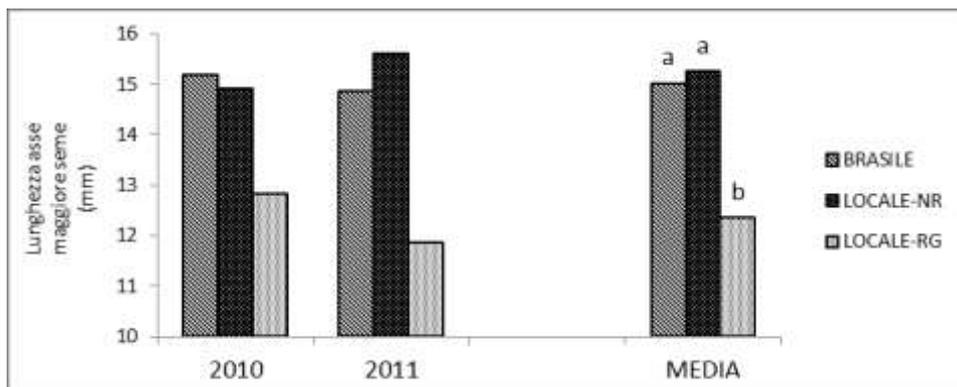


Fig. 10.50 Interazione “lunghezza asse maggiore seme x genotipo” nella media dei due anni di prova, relativa al trattamento di raccolta “NP”.

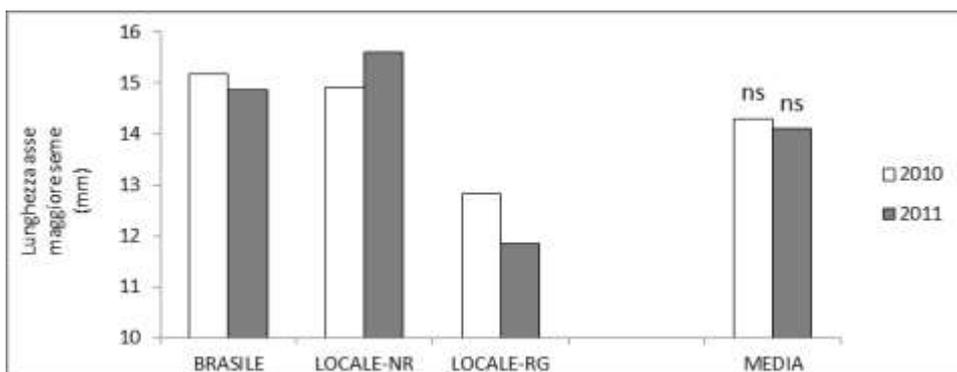


Fig. 10.51 Interazione “lunghezza asse maggiore seme x anno” nella media dei tre genotipi, relativa al trattamento di raccolta “NP”.

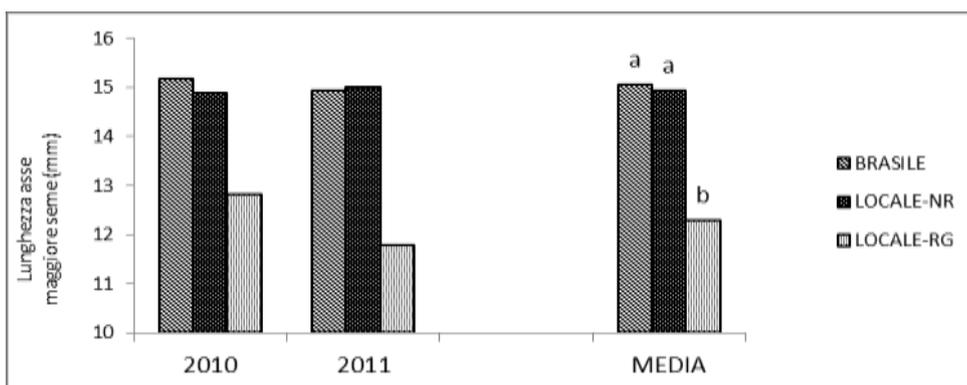


Fig. 10.52 Interazione “lunghezza asse maggiore seme x genotipo” nella media dei due anni di prova, relativa al trattamento di raccolta “P”.

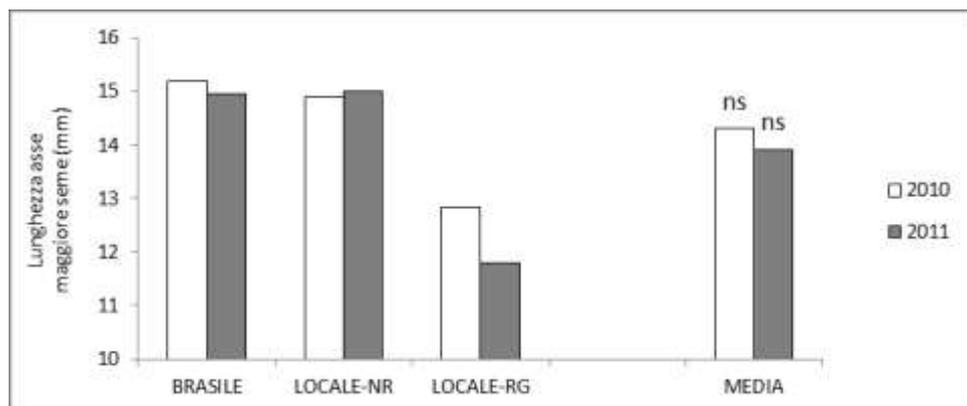


Fig. 10.53 Interazione “lunghezza asse maggiore seme x anno” nella media dei tre genotipi, relativa al trattamento di raccolta “P”.

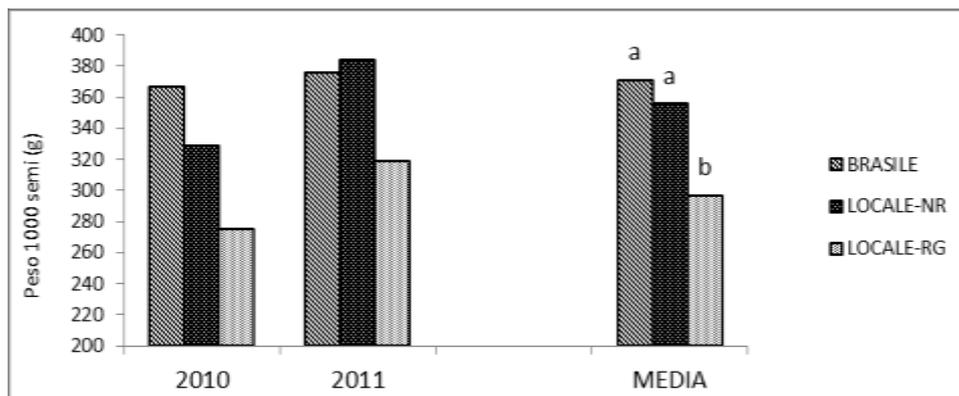


Fig. 10.54 Interazione “peso 1000 semi x genotipo” nella media dei due anni di prova, relativa al trattamento di raccolta “NP”.

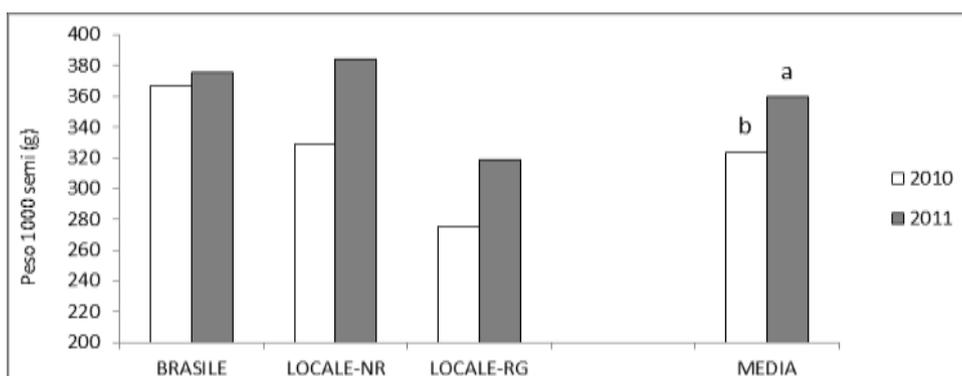


Fig. 10.55 Interazione “peso 1000 semi x anno” nella media dei tre genotipi, relativa al trattamento di raccolta “NP”.

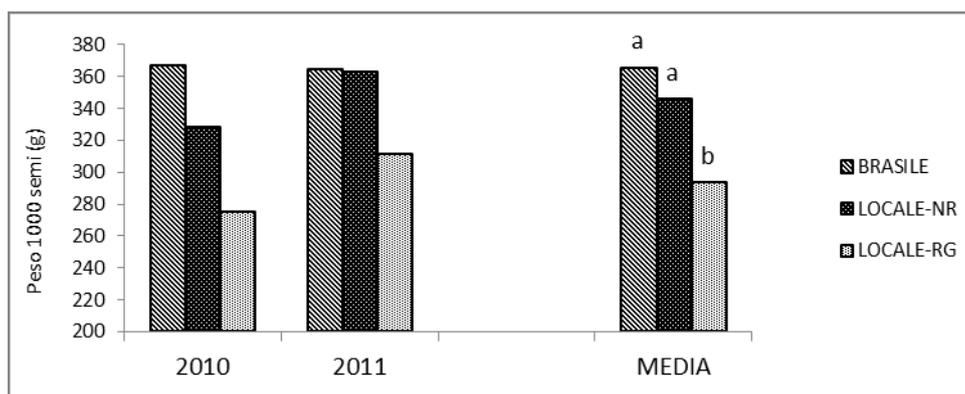


Fig. 10.56 Interazione “peso 1000 semi x genotipo” nella media dei due anni di prova, relativa al trattamento di raccolta “P”.

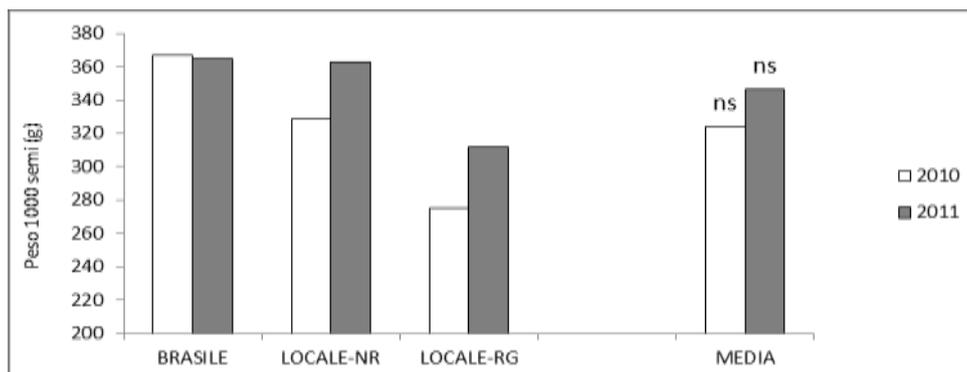


Fig. 10.57 Interazione “peso 1000 semi x anno” nella media dei tre genotipi, relativa al trattamento di raccolta “P”.

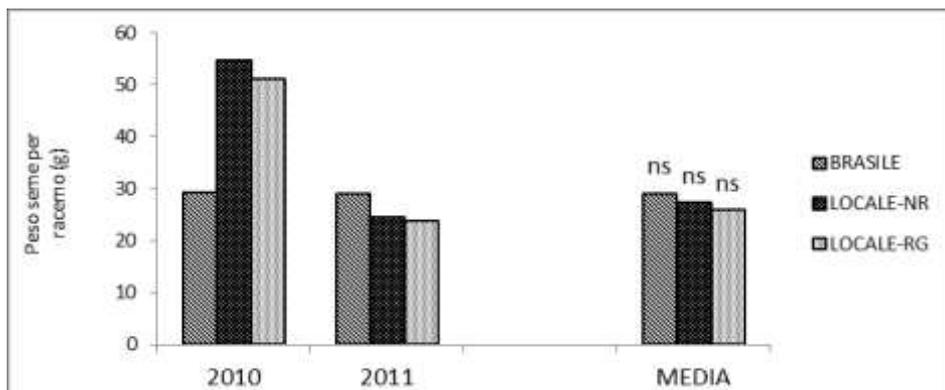


Fig. 10.58 Interazione “peso seme per racemo x genotipo” nella media dei due anni di prova, relativa al trattamento di raccolta “NP”.

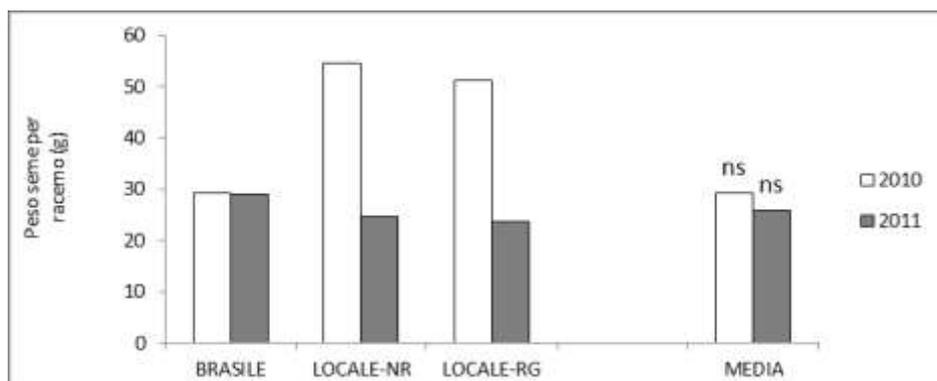


Fig. 10.59 Interazione “peso seme per racemo x anno” nella media dei tre genotipi, relativa al trattamento di raccolta “NP”.

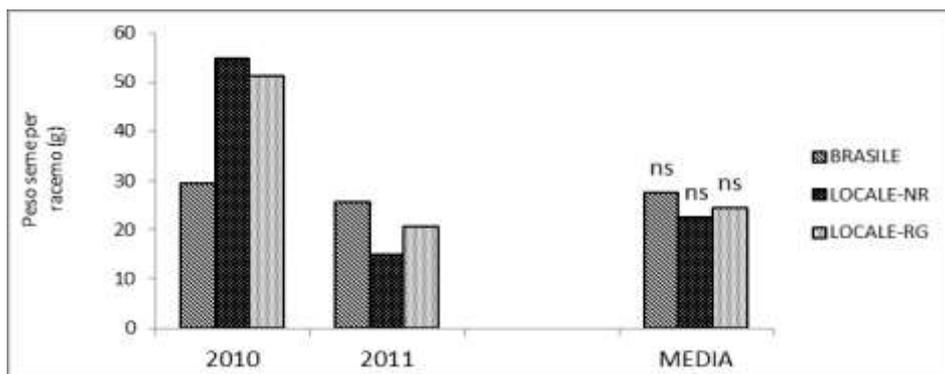


Fig. 10.60 Interazione “peso seme per racemo x genotipo” nella media dei due anni di prova, relativa al trattamento di raccolta “P”.

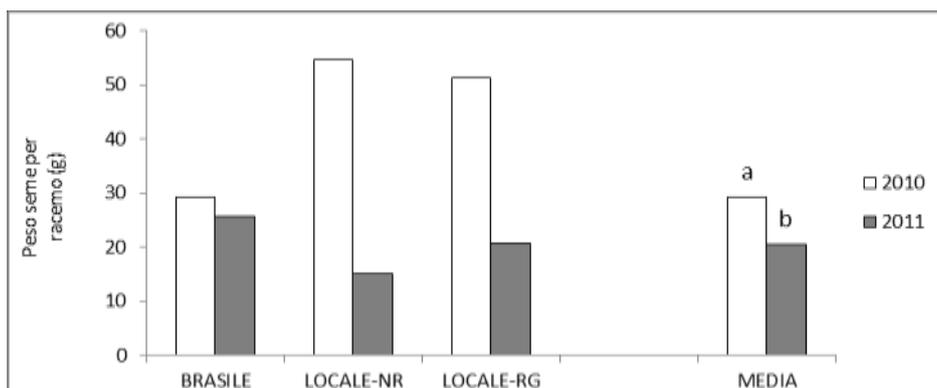


Fig. 10.61 Interazione “peso seme per racemo x anno” nella media dei tre genotipi, relativa al trattamento di raccolta “P”.

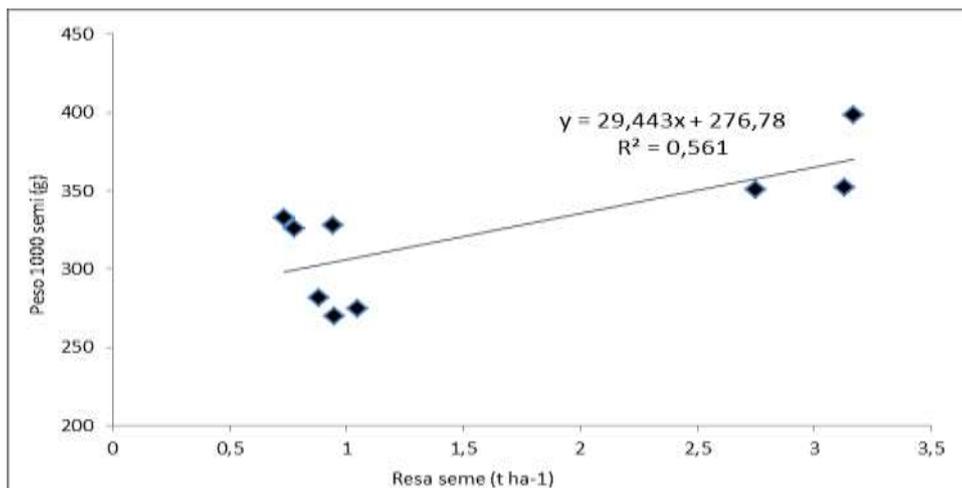


Fig. 10.62 Correlazione tra peso 1000 semi e resa in seme nell'anno 2010 ($r = 0,749004$; $p = 0,0127$).

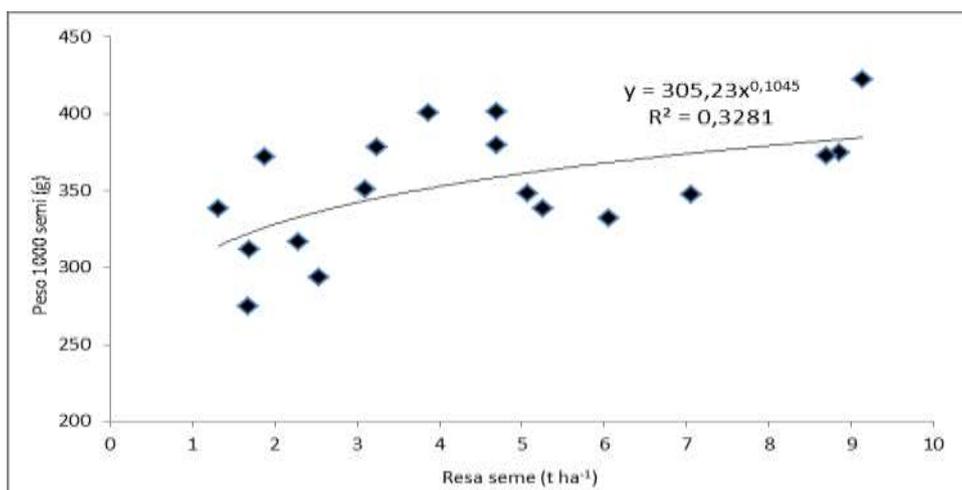


Fig. 10.63 Correlazione tra peso 1000 semi e resa in seme nell'anno 2011 ($r = 0,543454$; $p = 0,0162$).

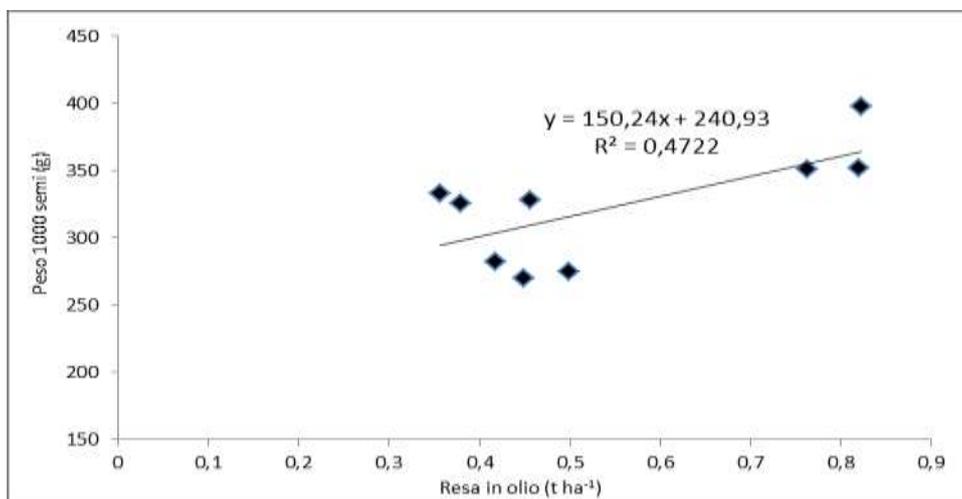


Fig. 10.64 Correlazione tra peso 1000 semi e resa in olio nell'anno 2010 ($r = 0,687142$; $p = 0,0281$).

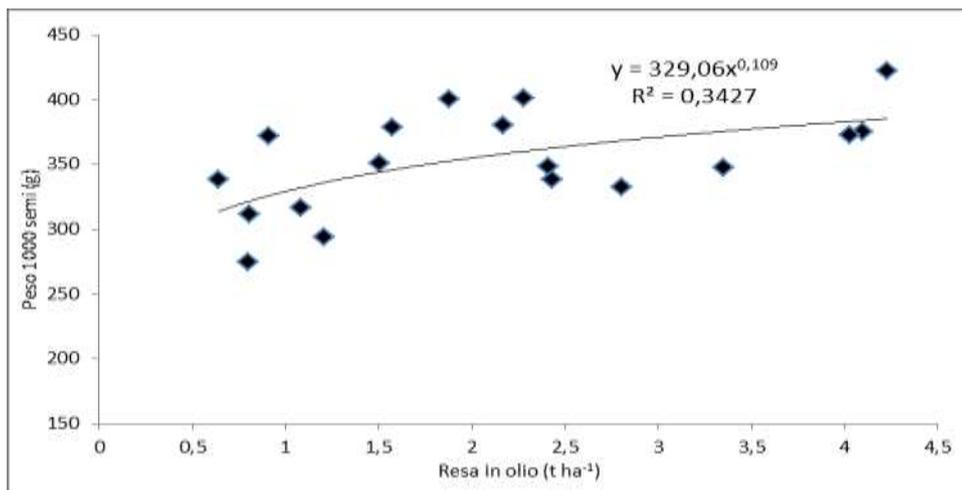


Fig. 10.65 Correlazione tra peso 1000 semi e resa in olio nell'anno 2011 ($r = 0,554842$; $p = 0,0137$).

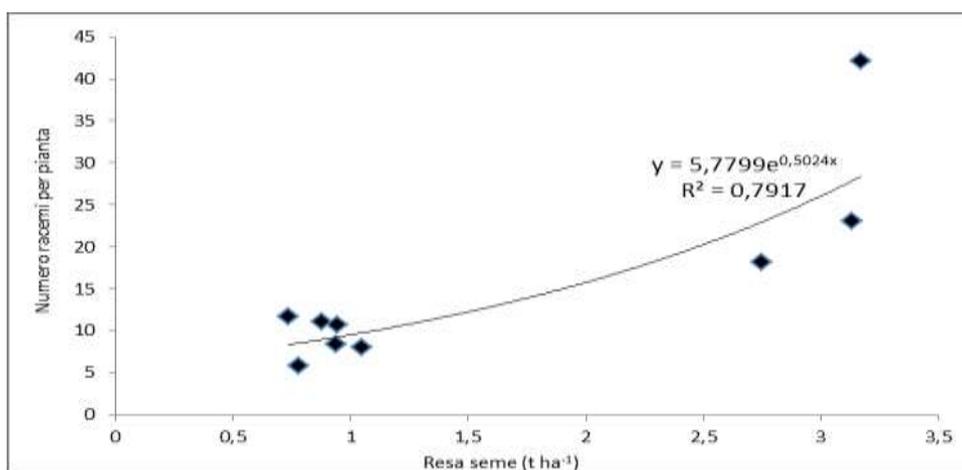


Fig. 10.66 Correlazione tra numero racemi produttivi per pianta e resa in seme nell'anno 2010 ($r = 0,848573$; $p = 0,0019$).

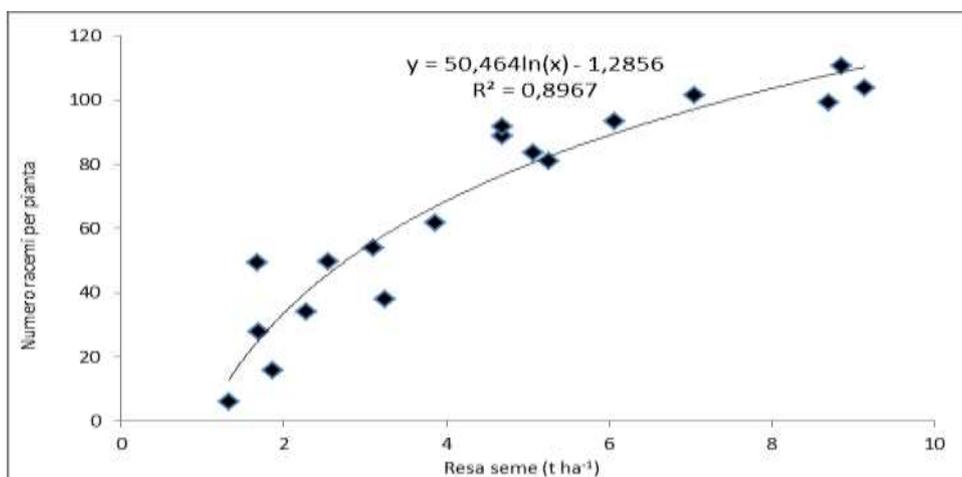


Fig. 10.67 Correlazione tra numero racemi produttivi per pianta e resa in seme nell'anno 2011 ($r = 0,905646$; $p = 0,0001$).

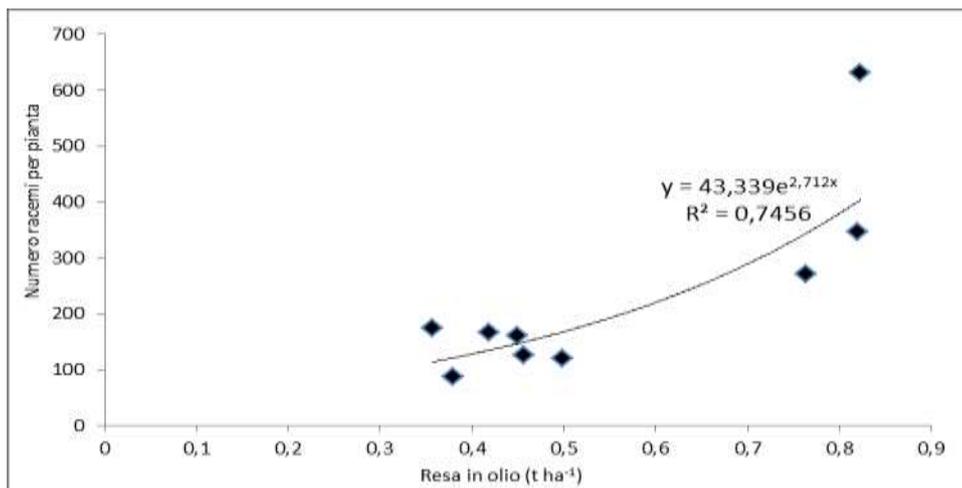


Fig. 10.68 Correlazione tra numero racemi per pianta e resa in olio nell'anno 2010 ($r = 0,820919$; $p = 0,0036$).

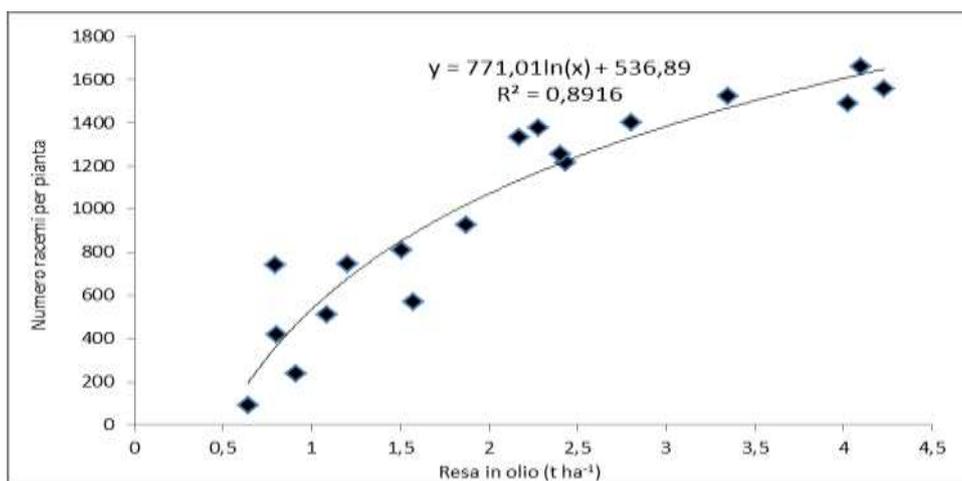


Fig. 10.69 Correlazione tra numero racemi per pianta e resa in olio nell'anno 2011 ($r = 0,908223$; $p = 0,0001$).

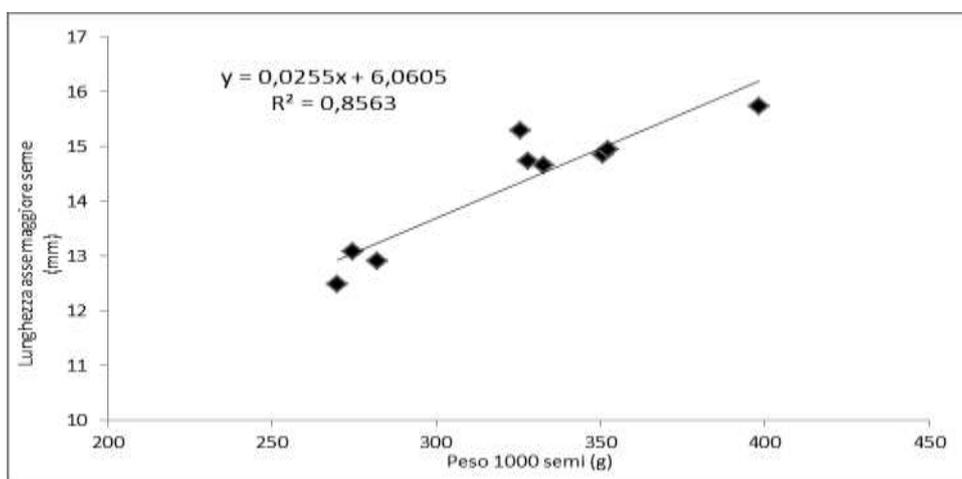


Fig. 10.70 Correlazione tra peso 1000 semi e lunghezza asse maggiore seme nell'anno 2010 ($r = 0,925387$; $p = 0,0001$).

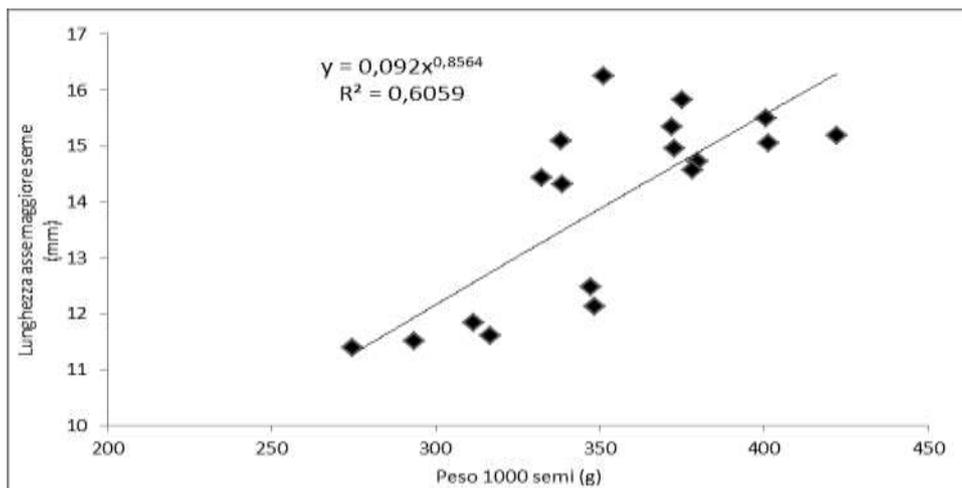


Fig. 10.71 Correlazione tra peso 1000 semi e lunghezza asse maggiore seme nell'anno 2011 ($r= 0,757849$; $p= 0.0002$).

10.4 Prova C: Valutazione delle potenzialità produttive di *Cynara cardunculus* L. in relazione a differenti densità di semina, per produzione di biodiesel.

10.4.1 Caratteri morfobiometrici

Al I anno, tra i due *genotipi* a confronto, sono state evidenziate differenze significative nella totalità dei caratteri analizzati (Tab. 10.22). In particolare il genotipo “C5” ha dimostrato valori significativamente maggiori sia per la statura (147,58 cm) che per l’altezza del primo capolino (97,50 cm), mentre il numero medio di capolini per pianta è risultato significativamente maggiore nel genotipo “S3” (7,13).

In merito ai diversi *livelli di investimento unitario iniziale* sono emerse differenze significative solamente per quanto riguarda il numero medio di capolini per pianta, in cui i valori più alti sono stati rilevati nel livello minore di investimento unitario (1 pianta m⁻²), con 6,92 capolini per pianta, con un andamento assai eterogeneo negli altri livelli.

Interazioni significative si sono evidenziate tra i fattori “genotipo” ed “investimento iniziale” nell’altezza del primo capolino e nel numero medio capolini per pianta.

Al II anno, tra i due *genotipi* a confronto, sono state evidenziate differenze significative nella quasi totalità dei caratteri analizzati, ad eccezione del numero medio di capolini per pianta (Tab. 10.23). Il genotipo “C5” è risultato significativamente più alto (167,04 cm) e con una superiore altezza del primo capolino (110,13 cm).

Nei diversi *livelli di investimento unitario iniziale* si sono riscontrate differenze significative solamente nel carattere “altezza primo capolino”, in cui il valore maggiore è stato rilevato nell’investimento di 1 pianta m⁻².

Interazione significativa si è evidenziata tra i fattori “genotipo” ed “investimento iniziale” nell’altezza del primo capolino.

Nel corso dei due anni di prova, all'analisi della varianza, il genotipo "C5" ha dimostrato significativamente una maggiore statura ed altezza del primo capolino, mentre "S3" ha mostrato un significativo maggiore numero di capolini per pianta (figg. 10.74, 10.78, 10.82). Il secondo *anno* ha mostrato, per tutti i caratteri morfobiometrici analizzati, dei valori significativamente maggiori (figg. 10.75, 10.79, 10.83). I diversi *livelli di investimento unitario* non hanno fornito differenze significative per la statura delle piante; in merito all'altezza del primo capolino ed al numero di capolini per pianta si sono osservati valori significativamente maggiori nel livello di 1 pianta m⁻² (Figg. 10.76 10.80, 10.84). L'interazione "genotipo x investimento" è risultata significativa nell'altezza del primo capolino; le interazioni "genotipo x anno" e "genotipo x anno x investimento" sono risultate significative nel numero di capolini per pianta (Tab. 10.27).

10.4.2 Caratteri produttivi

Il carattere "resa in olio teorica ottenibile" si è ottenuto tramite valori medi, relativi ad analisi effettuate lungo i tre anni di prova, nei laboratori di analisi della Facoltà di Agraria, presso la sede decentrata di Ragusa. Il sottoscritto ha condotto analisi relative al contenuto in olio degli acheni tramite l'estrazione col metodo *Soxhlet*, riscontrando un'alta similarità tra i risultati dei vari anni, si è dunque deciso di utilizzare per il calcolo della resa in olio teorica ottenibile i valori medi dei tre anni di prova che, per i due genotipi oggetto di studio sono risultati essere pari a 26,53% ("C5") e 26,10% ("S3"). Il carattere "produzione di biodiesel teorica ottenibile" è stata ottenuta ipotizzando un rapporto 1:1 tra olio e biodiesel prodotto. Il carattere "energia teorica ottenibile", è stato ottenuto per derivazione dalla resa in biomassa secca, tramite moltiplicazione col coefficiente di resa media in

energia di *Cynara cardunculus*, 16.800 KJ Kg⁻¹ di s.s (Raccuia e Melilli, 2008).

Relativamente al I anno, tra i due *genotipi* oggetto di studio, si sono osservate differenze significative nella resa in biomassa e nell'HI, rispettivamente con valori superiori in "C5" (11,04 t ha⁻¹) e in "S3" (13,06%) (fig. 10.24). Per quanto riguarda il fattore "investimento unitario iniziale", l'analisi della varianza ha evidenziato differenze significative in tutti i caratteri con eccezione della resa in biomassa secca e dell'energia teorica ottenibile. In particolare si sono osservati, in tutti i caratteri, valori maggiori nei più alti livelli di investimento (8 piante m⁻²), con un andamento decrescente al diminuire del numero di piante a m². Questa tendenza ha avuto due eccezioni nel del peso degli acheni presente nei capolini di I e III ordine, che hanno invece mostrato un andamento opposto, evidenziando valori significativamente superiori nei livelli più bassi di investimento unitario, con un andamento decrescente in corrispondenza di aumenti progressivi del numero di piante a m⁻²).

Non si sono riscontrate interazioni significative tra i due fattori "genotipo" e "investimento unitario iniziale".

Nel II anno di prove, in merito al fattore *genotipo* sono risultate significative le differenze nei valori della resa in biomassa secca (e conseguentemente anche dell'energia teorica ottenibile), confermando, come nel primo anno, un valore maggiore in "C5" (11,98 t ha⁻¹) (tab. 10.25 e 10.26).

I diversi livelli di *investimento unitario iniziale* hanno mostrato differenze significative nella maggior parte dei caratteri, ad eccezion fatta per resa in biomassa secca, HI, energia teorica ottenibile e peso acheni nei capolini di I ordine. I caratteri risultati significativi hanno confermato, nel complesso, la tendenza evidenziata nel primo anno, mostrando valori significativamente superiori in corrispondenza dei livelli maggiori di investimento unitario iniziale. Solamente il peso acheni nei capolini di II

ordine ha fornito delle differenze significative discostandosi dal trend degli altri caratteri.

Nel corso dei due anni di prova, i genotipi si sono distinti significativamente nei caratteri relativi alla resa in biomassa secca, HI ed energia teorica ottenibile, evidenziando valori maggiori rispettivamente in “C5” (11,51 t ha⁻¹), “S3” (11,62%) e “C5” (193336,70 MJ ha⁻¹) (figg. 10.90, 10.94, 10.106); il fattore *anno* ha fornito significatività nella resa in acheni, con un valore superiore nel II anno (11,1 t ha⁻¹) (fig. 10.87) e nella distribuzione del peso degli acheni nei capolini di III ordine (tab. 10.28); *l'investimento unitario iniziale* ha influito significativamente sulla resa in acheni, sulla resa in olio teorica ottenibile (e quindi anche sulla produzione in biodiesel teorica ottenibile) e sull'HI, con valori superiori riscontrati nei livelli di investimento unitario maggiore, e con trend decrescente al decrescere del numero di piante m², e sulla distribuzione del peso degli acheni nei capolini principali, di I e di III ordine (figg. 10.88, 10.100, 10.104, 10.96).

Interazioni significative si sono riscontrate tra i fattori “genotipo” x “anno” (resa in acheni) ed “anno” x “investimento unitario” (resa in olio teorica ottenibile, produzione in biodiesel teorica ottenibile, distribuzione del peso degli acheni nei capolini di III ordine) (tab. 10.27).

In entrambi gli anni di prova si è evidenziato un significativo rapporto di correlazione tra la statura delle piante e la loro resa in biomassa secca (figg. 10.109 e 10.110).

Genotipi	Investimento iniziale (piante/m ²)	statura (cm)	altezza l capolino (cm)	n° capolini per pianta
S3	1	84,00	53,00	11,00
	2	98,00	83,00	8,00
	4	95,67	71,00	4,83
	8	92,00	74,00	4,67
C5	1	163,33	126,00	7,17
	2	139,00	93,00	3,33
	4	143,33	90,00	2,67
	8	144,67	81,00	2,83
	media	120,00	83,88	5,56
	CV (%)	22,5	16,8	29,2
Genotipo (A)	S3	92,42 b	70,25 b	7,13 a
	C5	147,58 a	97,50 a	4,00 b
	significatività	***	***	***
	LSD p ≤ 0,05	23,40	12,17	1,40
Investimento iniziale	1	123,67	89,50	6,92 a
	2	118,50	88,00	5,33 ab
	4	119,50	80,50	4,08 b
	8	118,33	77,50	5,92 ab
	significatività	ns	ns	*
	LSD p ≤ 0,05	33,10	17,21	1,99
(A) x (B)		ns	**	***

Tabella 10.22 - Caratteri morfobiometrici nei genotipi allo studio relative all'anno 2008.

Genotipi	Investimento iniziale (piante/m ²)	statura (cm)	altezza l capolino (cm)	n° capolini per pianta
S3	1	119,67	87,33	7,00
	2	103,67	71,50	6,67
	4	110,00	61,50	6,33
	8	121,33	73,50	7,00
C5	1	197,67	139,50	11,01
	2	157,33	110,50	6,00
	4	153,67	105,00	6,00
	8	159,50	85,50	4,00
	media	140,35	91,79	6,75
Genotipo (A)	CV (%)	14,4	12,6	33,8
	C5	113,67 b	73,46 b	6,75
	S3	167,04 a	110,13 a	6,75
	significatività LSD p ≤ 0,05	*** 17,52	*** 10,02	ns 1,98
Investimento iniziale	1	158,67	113,42 a	9,01
	2	130,50	91,00 b	6,33
	4	131,83	83,25 b	6,17
	8	140,42	79,50 b	5,50
	significatività LSD p ≤ 0,05	ns 24,78	*** 14,17	ns 2,79
(A) x (B)		ns	*	ns

Tabella 10.23 - Caratteri morfobiometrici nei genotipi allo studio relative all'anno 2009.

Genotipi	Investimento iniziale (piante/m ²)	resa acheni (t ha ⁻¹)	resa biomassa secca (t ha ⁻¹)	HI (%)	resa olio teorica ottenibile (t ha ⁻¹)	produzione biodiesel teorica ottenibile (kg ha ⁻¹)	energia teorica ottenibile (MJ ha ⁻¹)	distribuzione del peso degli acheni in base ai capolini di provenienza (%)			
								principale	I ordine	II ordine	III ordine
S3	1	0,46	4,24	8,03	0,12	119,52	71252,25	47,25	50,73	1,18	0,84
	2	0,94	7,75	10,79	0,24	244,59	130193,61	49,86	47,12	3,02	0,00
	4	1,10	6,07	15,40	0,29	288,35	101991,94	54,58	45,42	0,00	0,00
	8	1,22	6,71	15,39	0,32	318,42	112676,10	70,30	28,30	1,40	0,00
C5	1	0,35	11,03	3,11	0,09	94,00	185259,71	52,02	46,05	1,12	0,81
	2	0,73	10,76	6,38	0,19	194,52	180728,48	63,04	35,12	0,90	0,94
	4	0,83	10,77	7,11	0,22	218,92	180983,85	67,22	28,21	4,57	0,00
	8	1,20	11,60	9,35	0,32	317,35	194914,94	70,85	25,27	3,88	0,00
	media	0,85	8,62	9,45	0,22	224,46	144750,11	59,39	38,28	2,01	0,32
Genotipo (A)	CV (%)	35,1	21,4	43,1	35,1	35,1	21,4	19,3	28,0	140,6	142,9
	S3	0,93	6,19 b	13,06 a	0,24	242,72	104028,48 b	55,50	42,89	1,40	0,21
	C5	0,78	11,04 a	6,50 b	0,21	206,20	185471,75 a	63,28	33,66	2,62	0,44
	significatività	ns	***	**	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns
	LSD p ≤ 0,05	0,26	1,60	0,04	0,07	68,15	26866,15	9,91	9,27	2,44	0,40
Investimento iniziale (piante/m ²) (B)	1	0,41 b	7,63	5,48 b	0,11 b	106,76 b	128255,98	49,63 b	48,39 a	1,15	0,83 a
	2	0,84 b	9,25	8,76 ab	0,22 b	219,56 a	155461,05	56,45 ab	41,12 ab	1,96	0,47 b
	4	0,96 a	8,42	11,43 ab	0,25 b	253,64 a	141487,89	60,90 ab	36,82 ab	2,29	0,00 b
	8	1,21 a	9,15	13,45 a	0,32 a	317,88 a	153795,52	70,57 a	26,78 b	2,64	0,00 b
	significatività	**	ns	*	**	**	ns	*	*	ns	*
LSD p ≤ 0,05	0,37	2,26	5,16	0,10	96,38	379944,69	0,14	0,13	0,03	0,01	
(A) x (B)		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Tabella 10.24 - Caratteri produttivi nei genotipi allo studio rilevate nell'anno 2008.

Genotipi	Investimento iniziale (piante/m ²)	resa acheni (t ha ⁻¹)	resa biomassa secca (t ha ⁻¹)	HI (%)	resa olio teorica ottenibile (t ha ⁻¹)	produzione biodiesel teorica ottenibile (kg ha ⁻¹)	energia teorica ottenibile (MJ ha ⁻¹)	distribuzione del peso degli acheni in base ai capolini di provenienza (%)		
								principale	I ordine	II ordine
S3	1	0,78	5,37	9,89	0,20	202,49	90229,73	49,83	49,63	0,54
	2	0,74	8,34	8,18	0,19	193,82	140047,13	61,71	38,14	0,15
	4	0,65	6,25	9,45	0,17	170,29	105024,32	65,22	34,78	0,00
	8	1,09	7,71	12,42	0,29	285,40	129539,70	79,81	20,19	0,00
C5	1	0,88	13,20	6,23	0,23	232,59	221746,30	46,65	48,64	4,71
	2	0,80	11,49	6,52	0,21	212,51	193086,83	47,00	53,00	0,00
	4	0,78	11,18	6,52	0,21	206,93	187746,16	57,81	42,19	0,00
	8	1,18	12,04	8,95	0,31	314,08	202227,35	88,22	11,78	0,00
	media	0,86	9,45	8,52	0,23	227,26	158705,94	62,03	37,29	0,68
	CV (%)	28,9	35,9	38,9	28,9	28,9	35,9	34,7	56,1	239,7

Tabella 10.25 - Caratteri produttivi nei genotipi allo studio rilevati nell'anno 2009

Fonte di variazione:		resa acheni (t ha ⁻¹)	resa biomassa secca (t ha ⁻¹)	HI (%)	resa olio teorica ottenibile (t ha ⁻¹)	produzione biodiesel teorica ottenibile (kg ha ⁻¹)	energia teorica ottenibile (MJ ha ⁻¹)	distribuzione del peso degli acheni in base ai capolini di provenienza (%)		
								principale	I ordine	II ordine
Genotipo (A)	S3	0,82	6,92 b	10,18	0,21	213,00	116210,22 b	64,14	35,69	0,17
	C5	0,91	11,98 a	7,65	0,24	241,53	201201,66 a	59,92	38,90	1,18
	significatività	ns	**	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
	LSD p ≤ 0,05	0,22	2,93	3,00	0,06	56,84	49243,89	18,64	18,11	1,40
Investimento iniziale (piante/m²) (B)	1	0,83 ab	9,29	8,13	0,22 ab	217,54 ab	155988,02	48,24 b	49,14	2,60 b
	2	0,77 ab	9,91	7,63	0,20 ab	203,16 ab	166566,98	54,36 ab	45,57	7,50 a
	4	0,72 b	8,71	8,98	0,18 b	188,61 b	146385,24	61,51 ab	38,49	0,00 c
	8	1,14 a	9,87	10,92	0,30 a	299,74 a	165883,52	84,02 a	15,98	0,00 c
	significatività	*	ns	ns	*	*	ns	*	ns	*
	LSD p ≤ 0,05	0,31	4,15	4,24	0,08	80,38	69641,38	26,36	25,61	1,98
(A) x (B)		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Tabella 10.26 - Fonti di variazione relative ai caratteri produttivi, nei genotipi allo studio rilevati nell'anno 2009

	Statura	Altezza primo capolino	Resa acheni	Resa biomassa secca	HI	Resa olio	Produzione biodiesel	Resa energetica	Numero capolini per pianta
Fattore									
Genotipo (A)	***	***	ns	***	***	ns	ns	***	*
Anno (B)	**	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	*
Investimento (C)	ns	***	***	ns	*	***	***	ns	**
Interazioni									
(A) x (B)	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	*
(A) x (C)	ns	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
(C) x (B)	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns
(A) x (B) x (C)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	***

Tabella 10.27 - Distribuzione delle significatività nei diversi caratteri produttivi, nei due genotipi allo studio, nei diversi livelli di investimento unitario e nei due anni di prova.

Anno	Genotipi	Investimento iniziale (piante/m ²)	Distribuzione peso acheni nei diversi ordini di capolino (%)			
			principale	I ordine	II ordine	III ordine
2008	S3	1	47,25	50,73	1,18	0,84
		2	49,86	47,12	3,02	0,00
		4	54,58	45,42	0,00	0,00
		8	70,30	28,30	1,40	0,00
	C5	1	52,02	46,05	1,12	0,81
		2	63,04	35,12	0,90	0,94
		4	67,22	28,21	4,57	0,00
		8	70,85	25,27	3,88	0,00
2009	S3	1	49,83	49,63	0,54	0,00
		2	61,71	38,14	0,15	0,00
		4	65,22	34,78	0,00	0,00
		8	79,81	20,19	0,00	0,00
	C5	1	46,65	48,64	4,71	0,00
		2	47,00	53,00	0,00	0,00
		4	57,81	42,19	0,00	0,00
		8	88,22	11,78	0,00	0,00
CV (%)			28,40	43,98	171,50	202,15

Tabella 10.28 - Distribuzione peso acheni nei genotipi allo studio relative all'anno 2011.

Fonte di variazione:		Distribuzione peso acheni nei diversi ordini di capolino (%)			
		principale	I ordine	II ordine	III ordine
Genotipo (A)	S3	59,82	39,29	0,79	0,11
	C5	61,60	36,28	1,90	0,22
	significatività	ns	ns	ns	ns
	LSD $p \leq 0,05$	10,14	9,77	1,35	0,19
Anno (B)	2008	59,39	38,28	2,01	0,32 a
	2009	62,03	37,29	0,68	0,00 b
	significatività	ns	ns	ns	**
	LSD $p \leq 0,05$	10,14	9,77	1,35	0,19
Investimento iniziale (piante/m²) (C)	1	48,94 b	48,76 a	1,89	0,41 a
	2	55,40 b	43,34 a	1,02	0,24 ab
	4	61,21 b	37,65 a	1,14	0,00 b
	8	77,30 a	21,38 b	1,32	0,00 b
	significatività	**	**	ns	**
	LSD $p \leq 0,05$	14,34	13,82	1,91	0,27
(A) x (B)		ns	ns	ns	ns
(A) x (C)		ns	ns	ns	ns
(C) x (B)		ns	ns	ns	**
(A) x (B) x (C)		ns	ns	ns	ns

Tabella 10.29 - Fonti di variazione nella distribuzione peso acheni nei genotipi allo studio relative all'anno 2011.

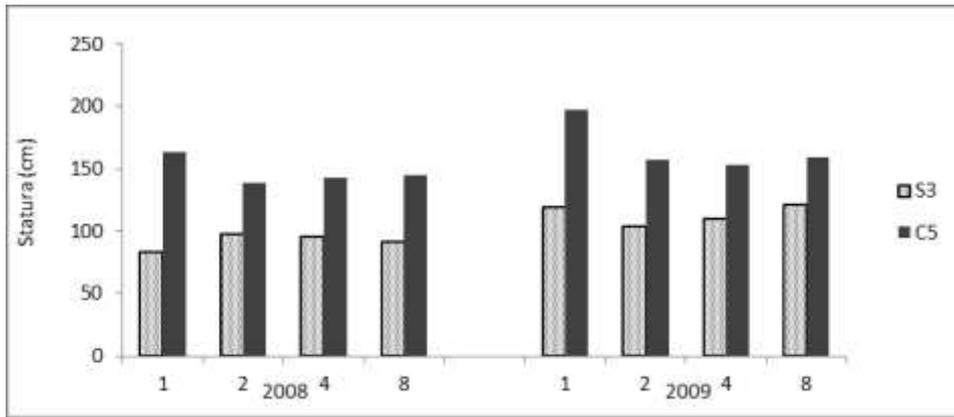


Fig. 10.73 Andamento della statura nei genotipi, negli investimenti, nei due anni di prova.

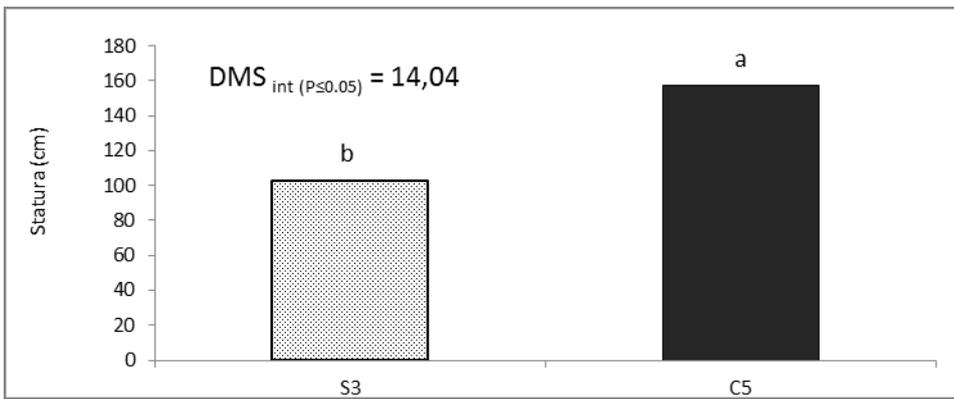


Fig. 10.74 Statura complessiva dei due genotipi.

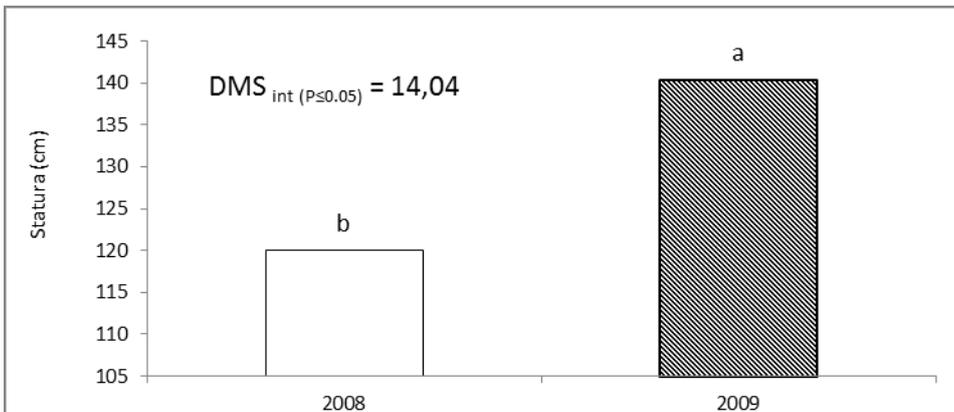


Fig. 10.75 Statura complessiva nei due anni.

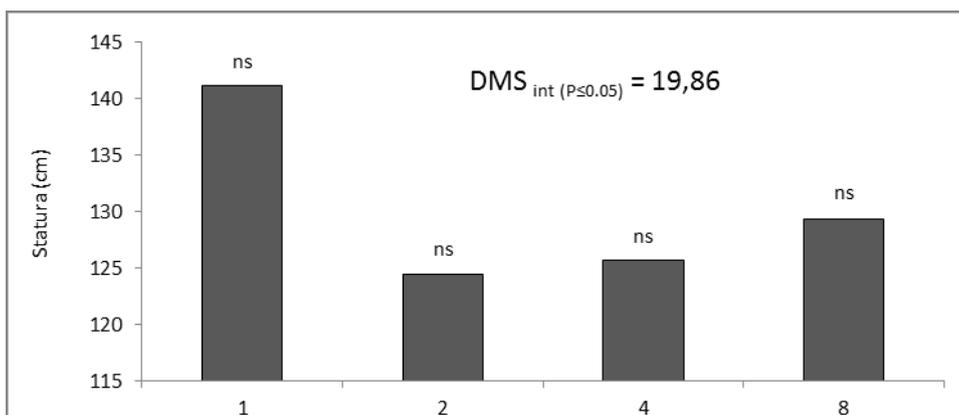


Fig. 10.76 Statura complessiva nei diversi investimenti unitari d'impianto.

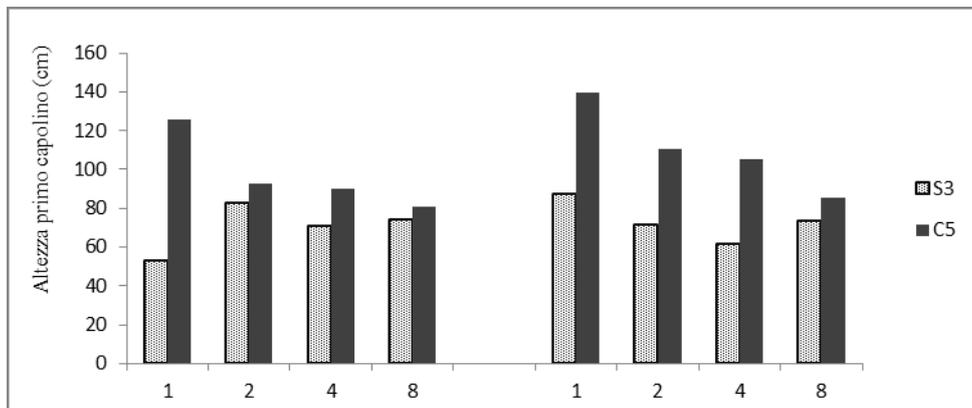


Fig. 10.77 Andamento dell'altezza del primo capolino nei genotipi, negli investimenti, nei due anni di prova.

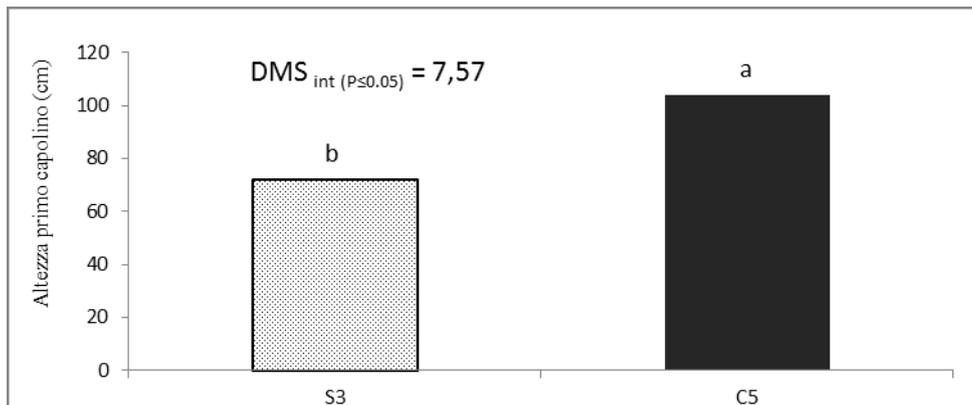


Fig. 10.78 Altezza del primo capolino complessiva dei due genotipi.

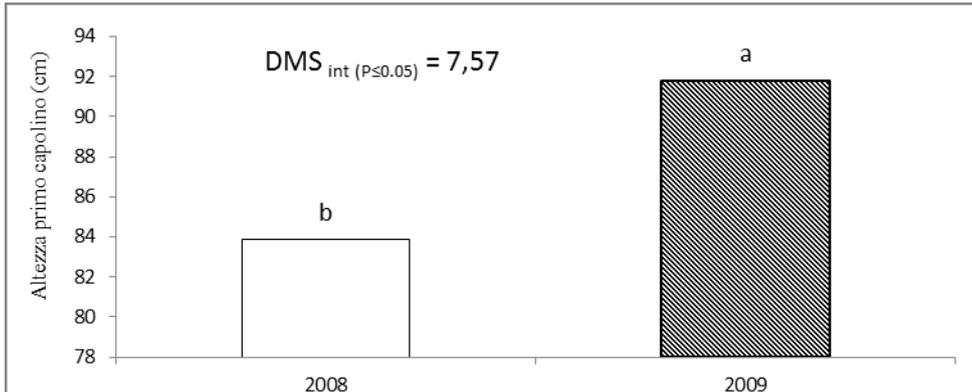


Fig. 10.79 Altezza del primo capolino complessiva nei due anni.

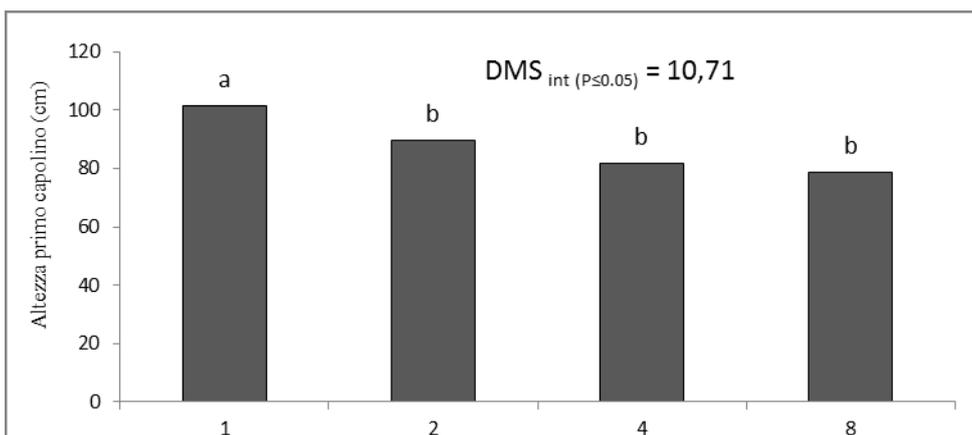


Fig. 10.80 Altezza del primo capolino complessiva nei diversi investimenti unitari d'impianto.

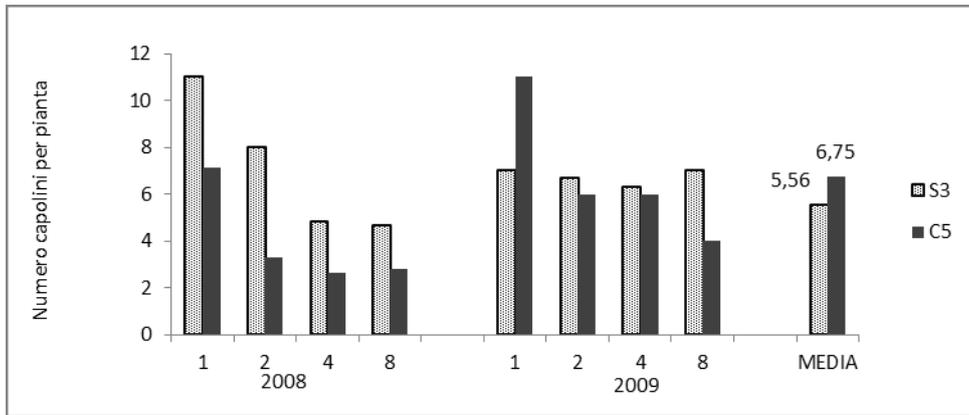


Fig. 10.81 Andamento del numero capolini per pianta nei genotipi, negli investimenti, nei due anni di prova.

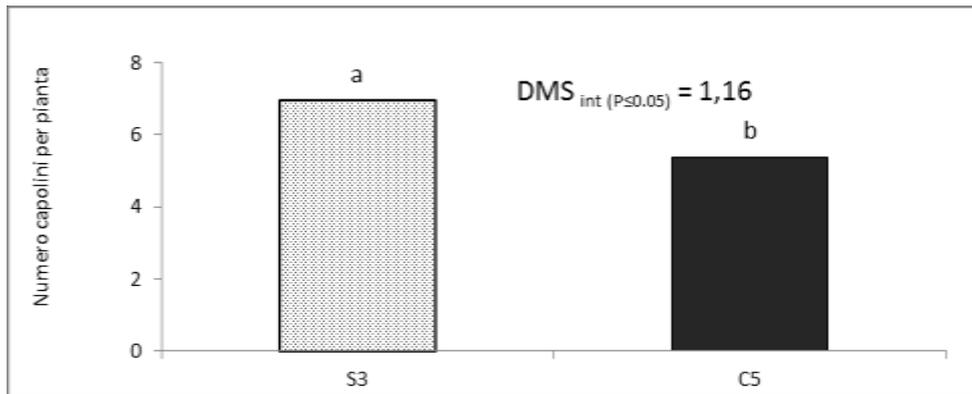


Fig. 10.82 Numero capolini per pianta complessivi dei due genotipi.

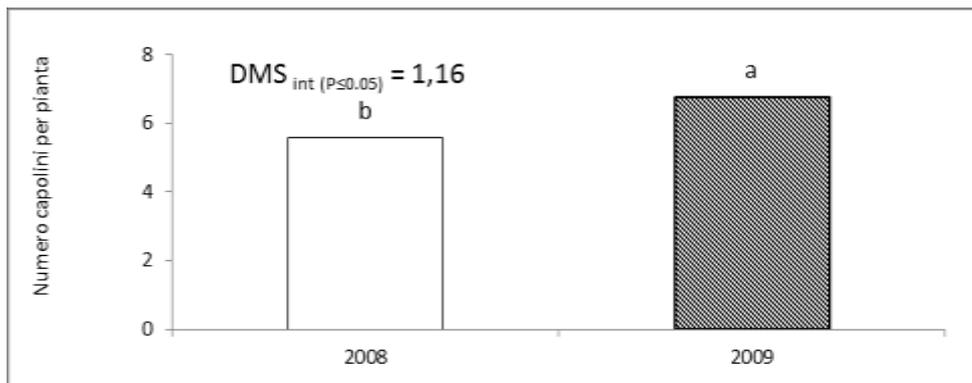


Fig. 10.83 Numero capolini per pianta complessivi nei due anni.

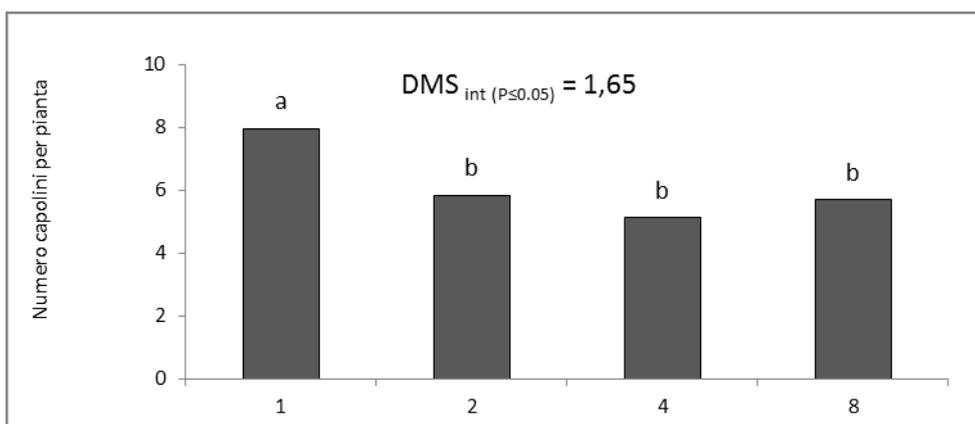


Fig. 10.84 Numero capolini per pianta complessivi nei diversi investimenti unitari d'impianto.

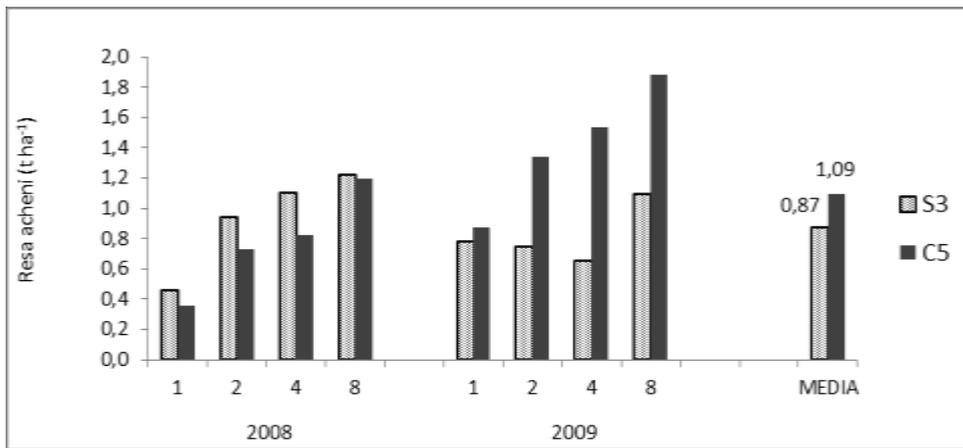


Fig. 10.85 Andamento della resa in acheni nei genotipi, negli investimenti, nei due anni di prova.

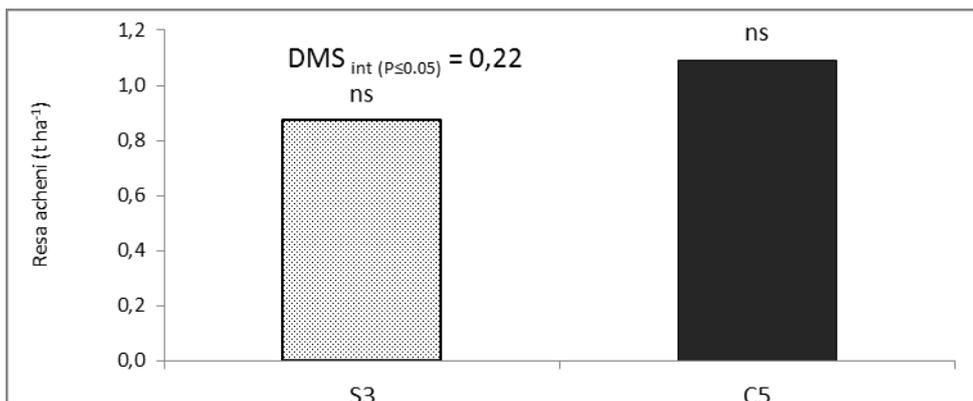


Fig. 10.86 Resa acheni complessiva dei due genotipi.

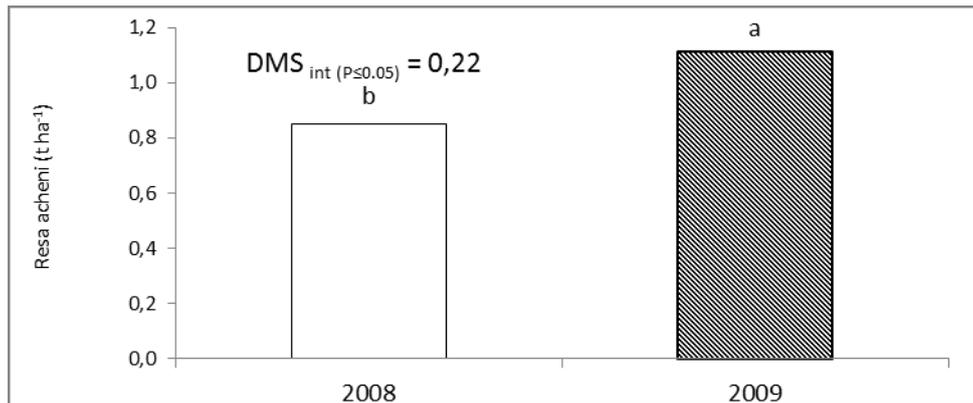


Fig. 10.87 Resa acheni complessiva nei due anni.

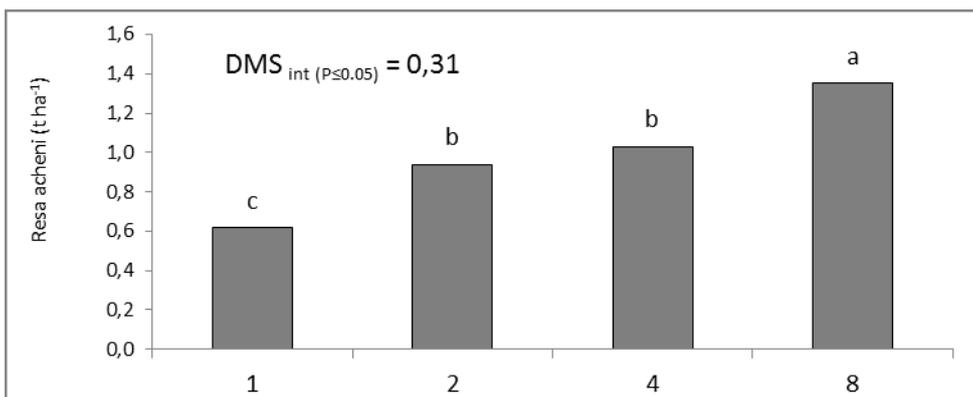


Fig. 10.88 Resa acheni complessiva nei diversi investimenti unitari d'impianto.

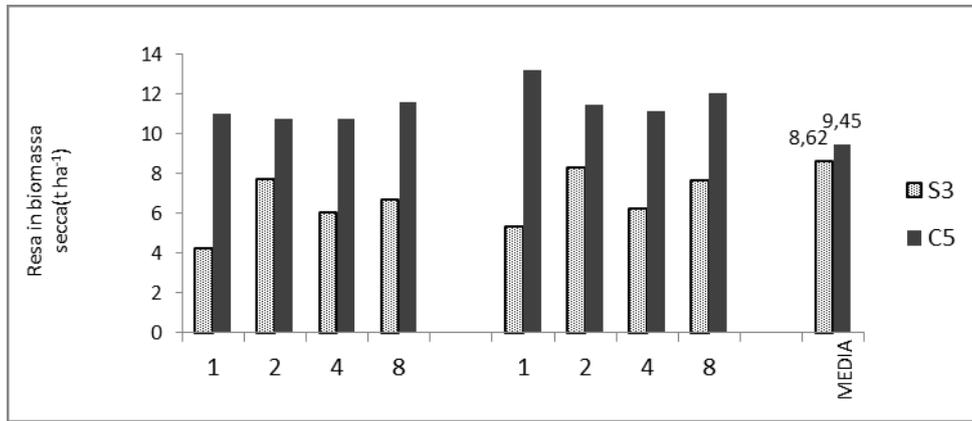


Fig. 10.89 Andamento della resa in biomassa secca nei genotipi, negli investimenti, nei due anni di prova.

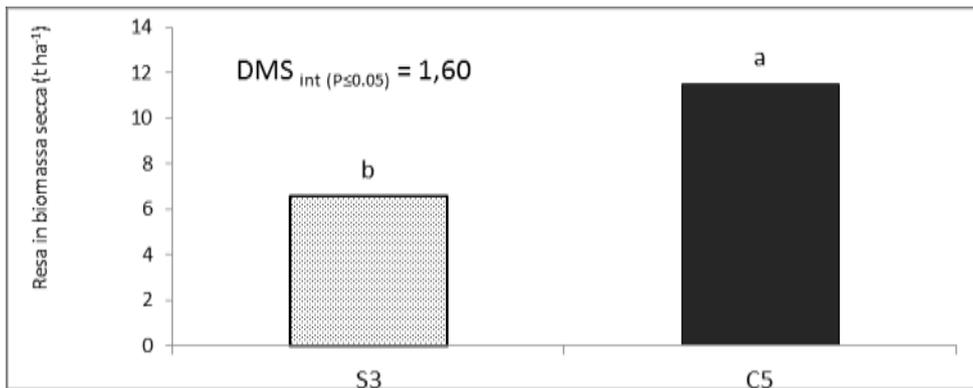


Fig. 10.90 Resa in biomassa secca complessiva dei due genotipi.

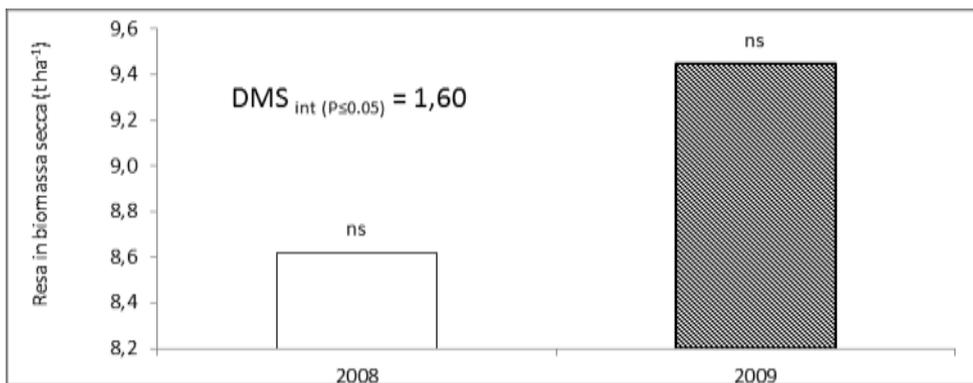


Fig. 10.91 Resa in biomassa secca complessiva nei due anni.

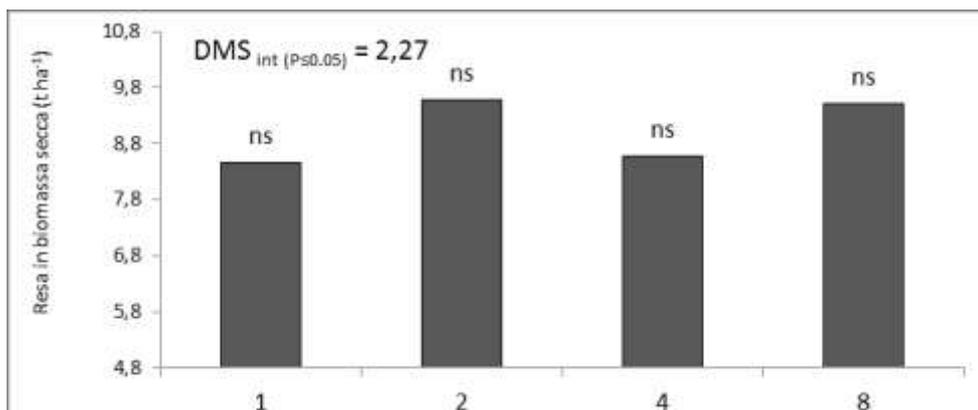


Fig. 10.92 Resa in biomassa secca complessiva nei diversi investimenti unitari d'impianto.

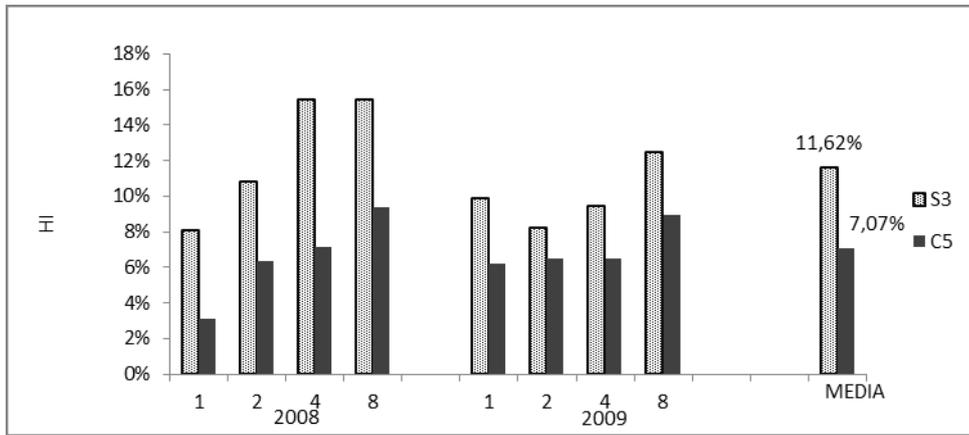


Fig. 10.93 Andamento dell'HI nei genotipi, negli investimenti, nei due anni di prova.

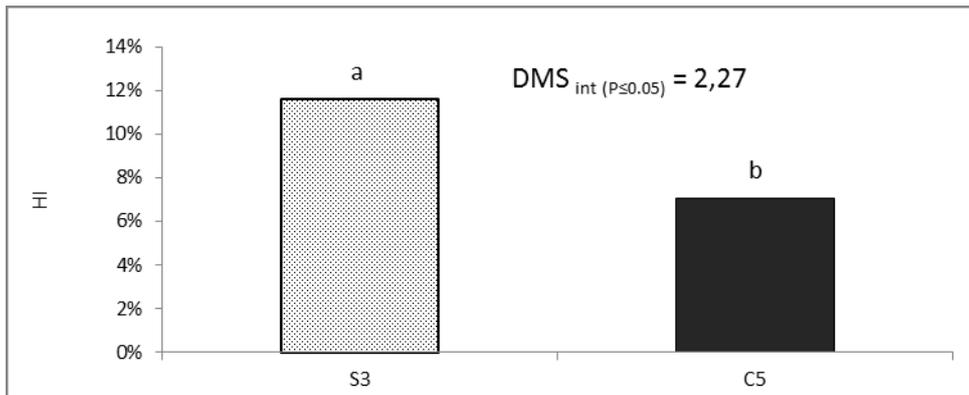


Fig. 10.94 HI complessivo dei due genotipi.

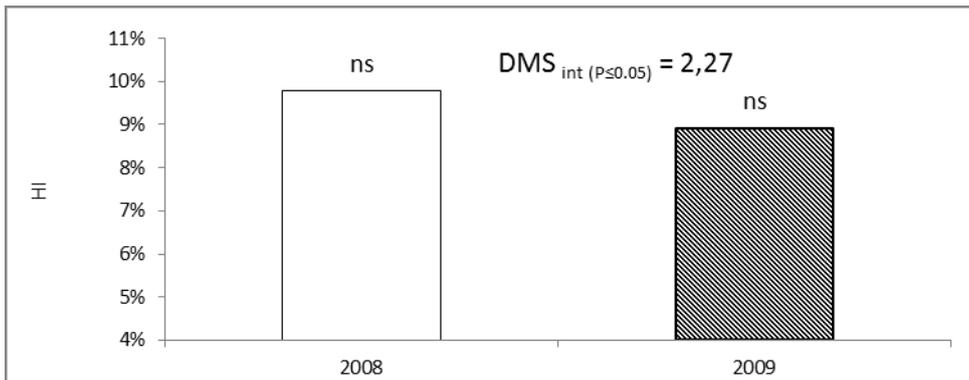


Fig. 10.95 HI complessivo nei due anni.

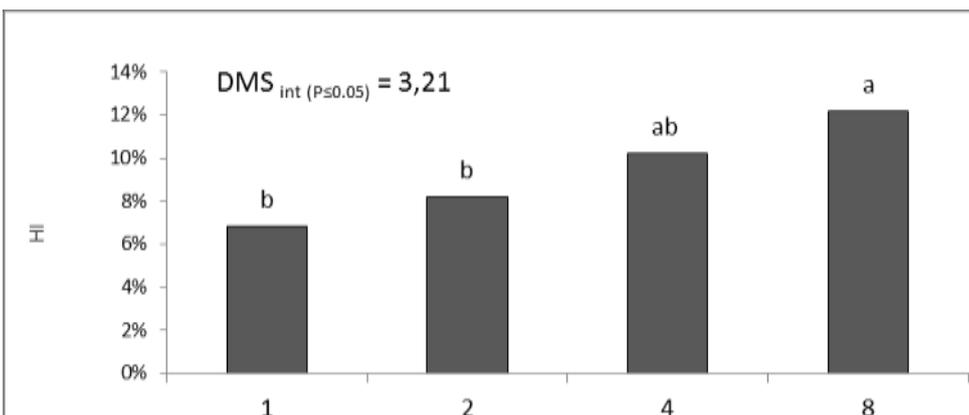


Fig. 10.96 HI complessivo nei diversi investimenti unitari d'impianto.

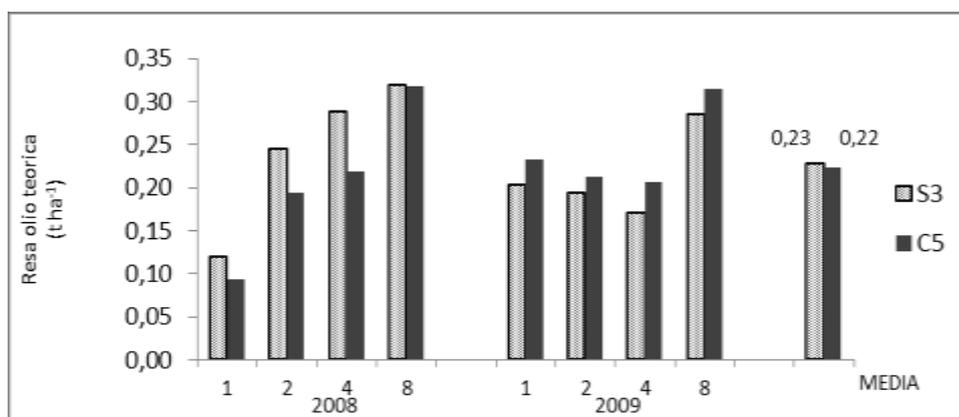


Fig. 10.97 Andamento della resa in olio teorica ottenibile nei genotipi, negli investimenti, nei due anni di prova.

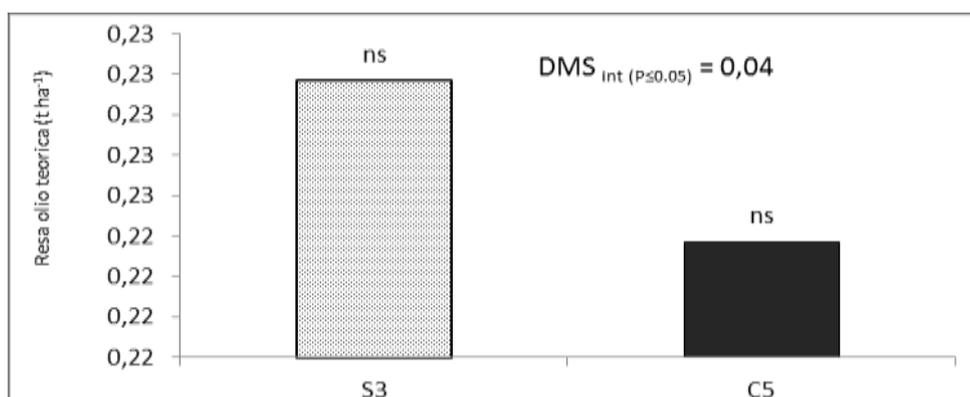


Fig. 10.98 Resa in olio teorica ottenibile complessiva dei due genotipi.

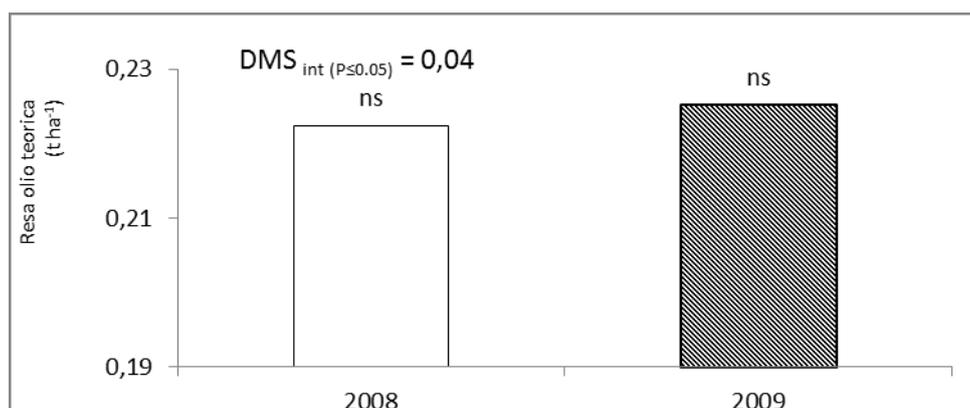


Fig. 10.99 Resa in olio teorica ottenibile complessiva nei due anni.

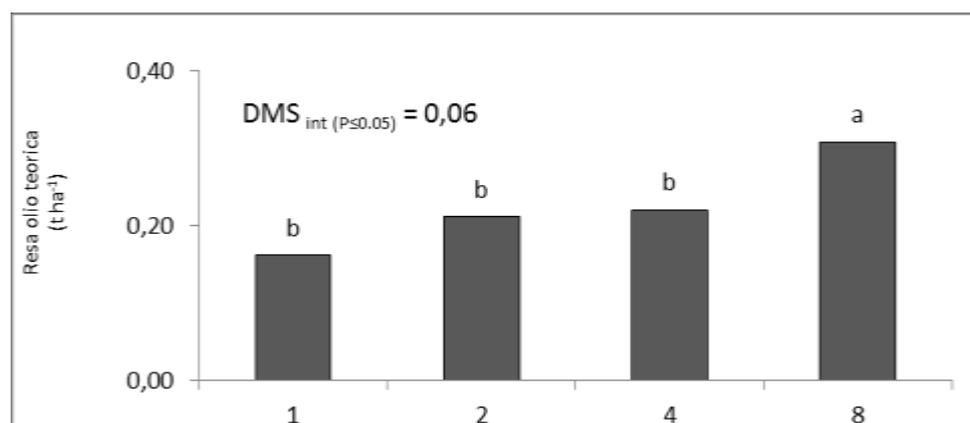


Fig. 10.100 Resa in olio teorica ottenibile complessiva nei diversi investimenti unitari d'impianto.

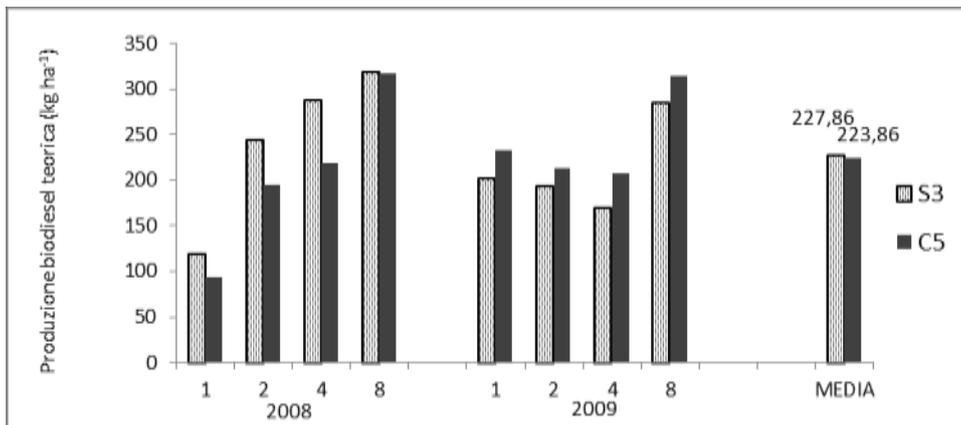


Fig. 10.101 Andamento della produzione di biodiesel teorica ottenibile nei genotipi, negli investimenti, nei due anni di prova.

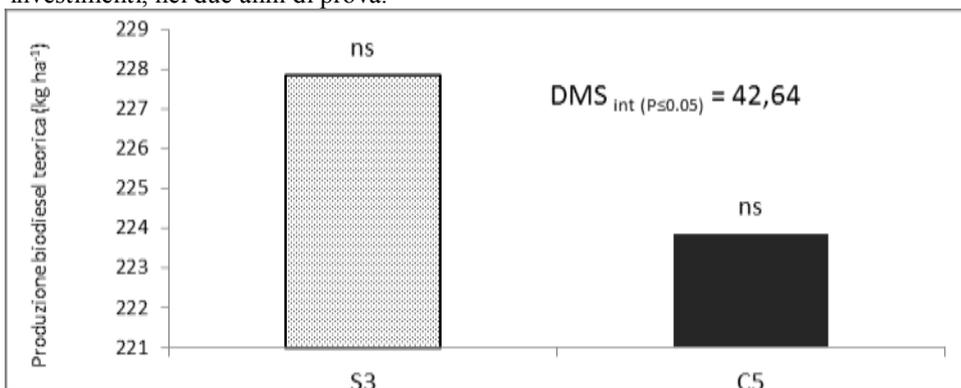


Fig. 10.102 Produzione in biodiesel teorica ottenibile complessiva dei due genotipi.

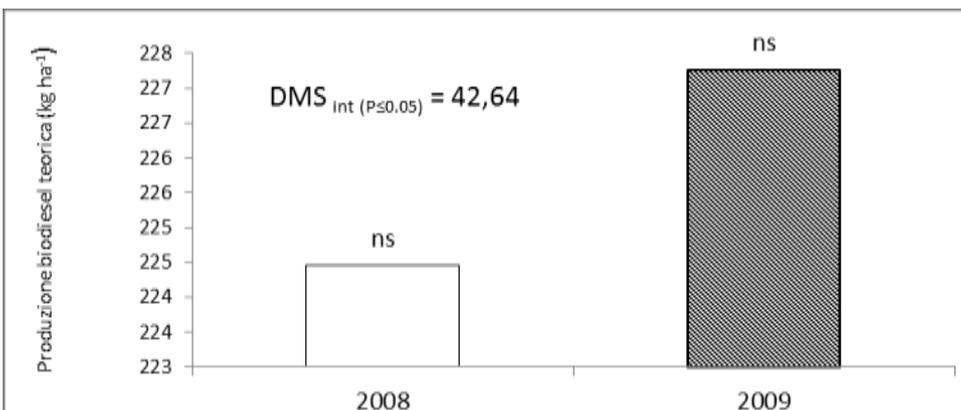


Fig. 10.103 Produzione in biodiesel teorica ottenibile complessiva nei due anni.

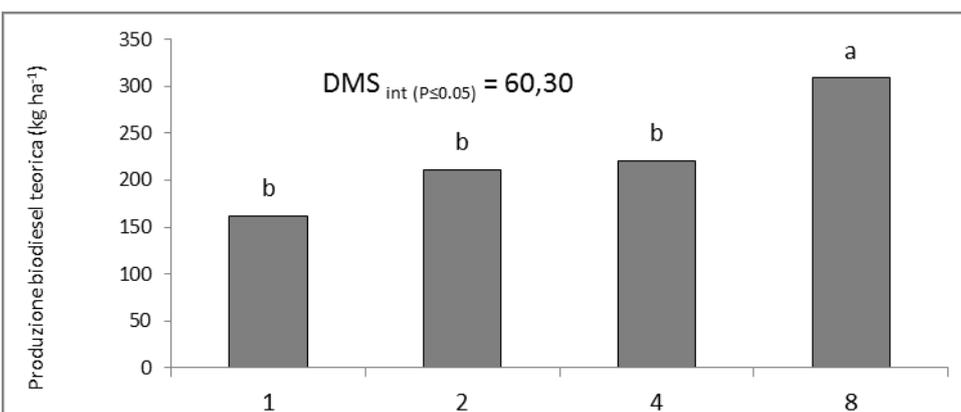


Fig. 10.104 Produzione in biodiesel complessiva nei diversi investimenti unitari d'impianto.

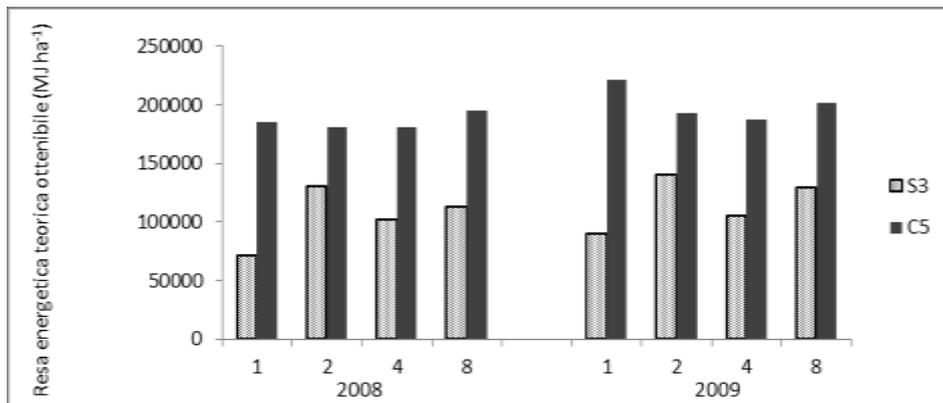


Fig. 10.105 Andamento della resa energetica teorica ottenibile nei genotipi, negli investimenti, nei due anni di prova.

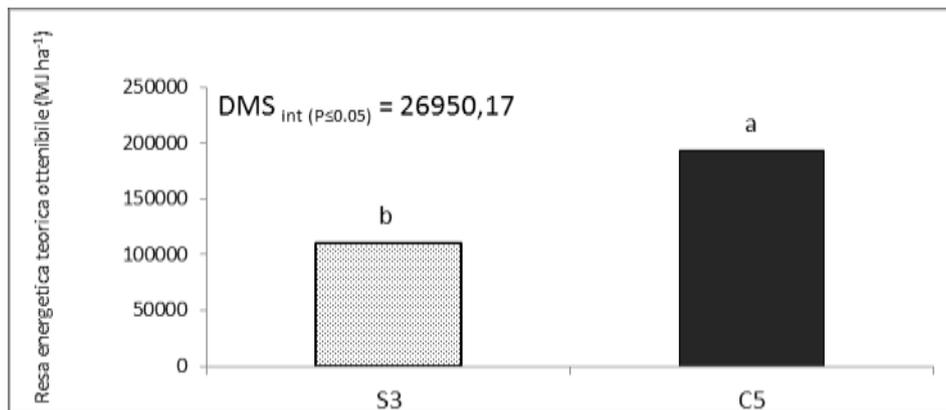


Fig. 10.106 Resa energetica teorica ottenibile complessiva dei due genotipi.

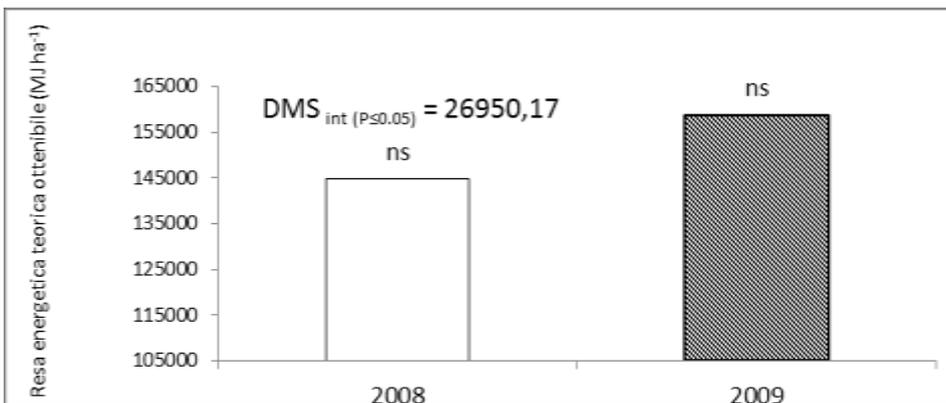


Fig. 10.107 Resa energetica teorica ottenibile complessiva nei due anni.

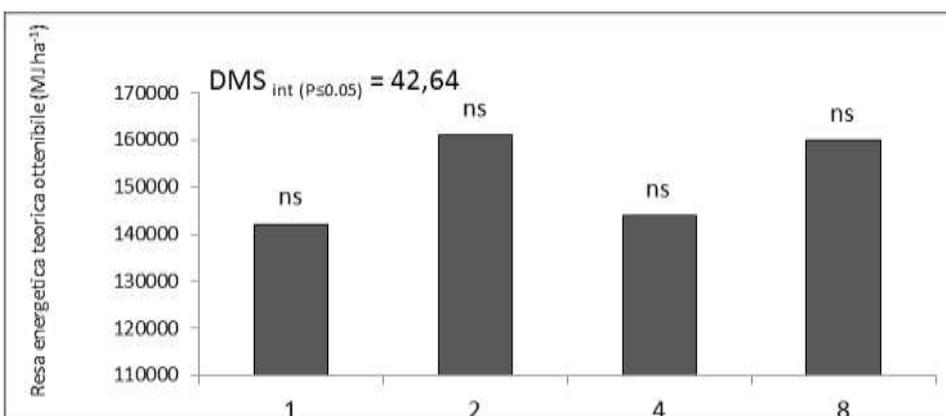


Fig. 10.108 Resa energetica teorica ottenibile complessiva nei diversi investimenti unitari d'impianto.

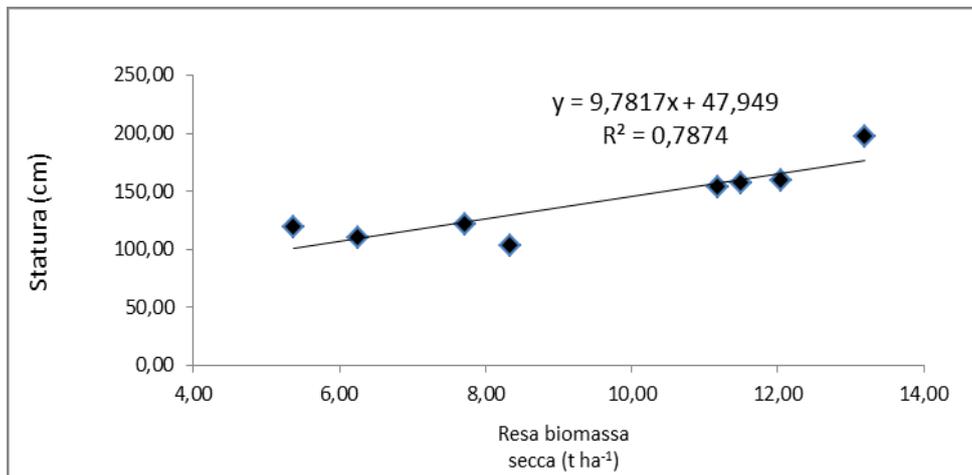


Fig. 10.109 Correlazione tra resa in acheni e resa in biomassa secca nell'anno 2008 ($r = 0,943788$; $p = 0,0001$).

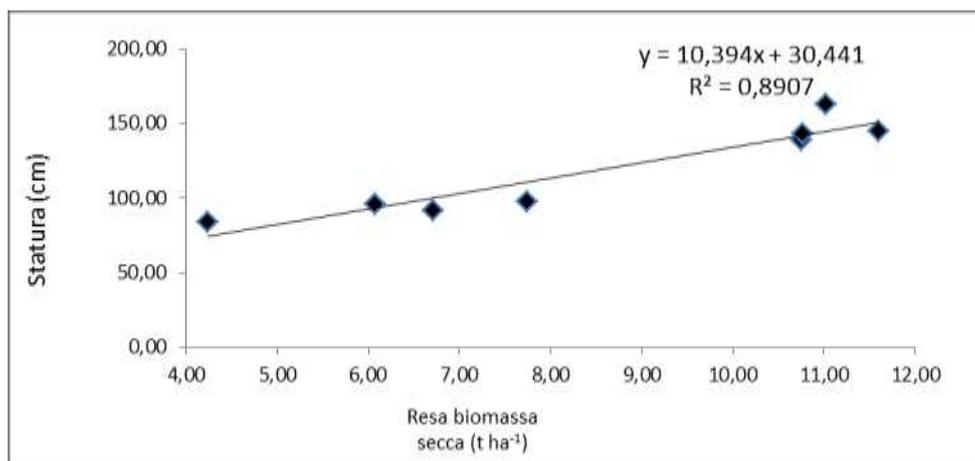


Fig. 10.110 Correlazione tra resa in acheni e resa in biomassa secca nell'anno 2009 ($r = 0,88737$; $p = 0,00014$).

10.5 Prova D: Caratterizzazione produttiva di differenti genotipi di *Cynara cardunculus* L. per produzione di biodiesel.

10.5.1 Caratteri morfobiometrici

Nel I anno di prova i diversi caratteri hanno manifestato un'elevata eterogeneità, dovuta alla provenienza selvatica della maggior parte dei genotipi allo studio (tab. 10.31), mostrando differenze significative in tutti i caratteri allo studio.

L'Indice di Area Fogliare (*LAI*) è risultato in media pari a 0,95 ed è oscillato tra i 2,76 di "C5" ai 0,32 di "S11". I valori più alti si sono evidenziati rispettivamente nei genotipi "C5", "C4", "S2" ed "S18". I genotipi di cardo domestico "C" hanno mostrato, in media, valori significativamente superiori ai genotipi di cardo selvatico "S".

In merito alla *statura* delle piante si è riscontrata una media di 79,7 cm, con valori massimi di 118 cm in "S14" e minimi di 39,70 cm in "S21". I valori più alti si sono evidenziati rispettivamente nei genotipi "S14", "S16", "S6" ed "S11". No si è riscontrata, in media, una differenza significativa nel comportamento dei cardi domestici "C" rispetto ai cardi selvatici "S".

L'*altezza del primo capolino* è risultata essere in media pari a 60 cm, con un valori massimi di 84,68 cm in "C5" e minimi di 30,33 cm in "S21". I genotipi con i valori maggiori sono stati rispettivamente "C5", "C4" ed "S2". I genotipi di cardo domestico hanno mostrato, in media, un'altezza del primo capolino significativamente superiore rispetto ai genotipi selvatici.

Relativamente al *numero medio di capolini per pianta* si è avuta una media di 5,7, con il valore più alto di 21 capolini in "S14" ed un valore più basso di 2 capolini in "S23". I genotipi con maggior numero di capolini per pianta sono stati rispettivamente "S14", "S1" ed "S16". I genotipi di cardo domestico e quelli di cardo selvatico hanno dimostrato, in media, un comportamento analogo, non evidenziando differenze significative.

Nel II anno di prova, l'analisi della varianza ha confermato l'elevata eterogeneità dei diversi genotipi, riscontrata nel precedente anno (tab. 10.32), mostrando differenze significative in tutti i caratteri allo studio.

I valori del *LAI* sono stati, nella media dei genotipi, pari a 1,18, con un valore massimo di 3,01 relativo a “C5” ed un valore minimo di 0,48 in “S23”. I genotipi con i valori maggiori sono stati rispettivamente “C5”, “C4” ed “S2”. I genotipi di cardo domestico “C” hanno confermato, in media, valori significativamente superiori ai genotipi di cardo selvatico “S”.

La *statura* delle piante è stata mediamente pari a 95,56 cm, con un valore massimo di 132 cm in “S11” ed uno minimo di 59 cm in “S23”. I valori superiori si sono riscontrati rispettivamente nei genotipi “S11”, “S16”, “S14”, “C5” ed “S6”. Non vi sono state, nella media, differenze significative tra genotipi domestici e selvatici.

L'*altezza del primo capolino* ha fatto registrare un valore medio di 71,33 cm, con un valore massimo di 102 cm in “S6” ed uno minimo di 30 cm in “S23”. I valori maggiori si sono osservati rispettivamente in “S6”, “S10”, “C5”, “S2” ed “S7”. I genotipi domestici hanno mostrato, nella media, un'altezza del primo capolino significativamente maggiore rispetto a quelli selvatici.

In merito al *numero medio di capolini per pianta* si è osservato un valore medio di 7,11, con una punta massima di 28 in “S14” ed una minima di 2 in “S5” ed “S17”. In media non vi sono state differenze significative tra genotipi domestici e spontanei.

Nel corso dei due anni di prova l'analisi della varianza ha confermato, nei genotipi allo studio, comportamenti significativamente diversi in tutti i caratteri presi in considerazione, confermando l'effetto della presenza di genotipi selvatici. Anche il fattore “anno” è risultato significativo per tutti i caratteri analizzati. L'interazione “genotipo” x “anno” è risultata significativa per l'altezza del primo capolino e per il numero di capolini per pianta (Tab. 10.37).

Per quanto riguarda il *LAI*, nella media dei due anni di prove e dei genotipi, si è registrato un valore di 1,06. I genotipi che hanno fornito valori maggiori sono stati “C5” con 2,89, “C4” con 2,34 ed “S2” con 1,46; il valore minimo si è avuto nel genotipo “S1” con 0,39. Il secondo anno ha fornito,

nella media dei genotipi, valori significativamente superiori al primo (Figg. 10.111 e 10.112).

Relativamente alla *statura*, nella media dei due anni e dei genotipi allo studio, è emerso un valore di 86,63 cm. I genotipi che hanno mostrato i valori più alti sono stati “S14” con 121,5 cm, “S16” con 118,5 ed “S11” con 117 cm; il valore minimo si è osservato in “S21” con 52,35 cm. Il secondo anno ha fornito, nella media dei genotipi, valori significativamente superiori al primo (Figg. 10.113 e 10.114).

Con riguardo all’*altezza del primo capolino*, nella media degli anni e dei genotipi, si è avuto un valore di 69,17 cm. I valori maggiori si sono registrati nei genotipi “C5” con 91,34 cm, “S2” con 88,84 cm, “S7” con 82 cm e “S6” con 81,84 cm; il valore minimo si è osservato in “S23” con 40,84 cm. Il secondo anno ha fornito, nella media dei genotipi, valori significativamente superiori al primo (Figg. 10.115 e 10.116).

Nel *numero di capolini per pianta*, nella media degli anni e dei genotipi, si è avuto un valore di 6,63. Il numero maggiore di capolini per pianta si è osservato nei genotipi “S14” con 24,5, “S16” con 13,17, “S12” con 7,84 ed “S10” con 7,83; il genotipo “S2”, con 3,17 capolini per pianta, ha evidenziato il valore minimo. Il secondo anno ha fornito, nella media dei genotipi, valori significativamente superiori al primo (Figg. 10.117 e 10.118).

3.5.2 Caratteri produttivi

Il carattere “resa in olio teorica ottenibile” si è ottenuto tramite valori medi, relativi ad analisi effettuate lungo i tre anni di prova, nei laboratori di analisi della Facoltà di Agraria, presso la sede decentrata di Ragusa. Il dottorando scrivente, ha condotto tali analisi relative al contenuto in olio degli acheni tramite l’estrazione col metodo *Soxhlet*. Riscontrando un’alta

similarità tra i risultati dei vari anni, si è deciso di utilizzare per il calcolo della resa in olio teorica ottenibile i valori medi dei tre anni di prova (Tab. 10.30). Il carattere “produzione di biodiesel teorica ottenibile” è stata ottenuto ipotizzando un rapporto 1:1 tra olio e biodiesel prodotto. Il carattere “energia teorica ottenibile”, è stato ottenuto per derivazione dalla resa in biomassa secca, tramite moltiplicazione col coefficiente di resa media in energia di *Cynara cardunculus*, 16.800 KJ Kg⁻¹ di s.s (Raccuia e Melilli, 2008)

Genotipi	Contenuto in
	olio degli acheni (%)
C4	26,2
C5	26,53
S1	24,68
S2	26,05
S3	26,1
S4	23,5
S5	24,66
S6	24,7
S7	20,1
S10	19,9
S11	21,7
S14	23,6
S16	26,7
S17	23,1
S18	23,3
S21	21,9
S23	24,9
S24	22,3
media	23,88

Tab. 10.30 Contenuto medio in olio degli acheni, nella media dei tre anni di prove, relativo ai genotipi oggetto di studio.

Nel I anno di prova i diversi genotipi hanno manifestato differenze significative nella quasi totalità dei caratteri analizzati, fatta eccezione per il

peso degli acheni presenti nei capolini principali e di I ordine. Nella media, il comportamento dei genotipi di cardo domestico rispetto a quelli di cardo selvatico, si sono differenziati in maniera significativa solamente in merito alla resa in biomassa secca ed all'energia teorica ottenibile, dimostrando per tutti gli altri caratteri analizzati una sostanziale similarità (Tab. 10.33 e 10.35).

Per quanto riguarda la *resa in acheni*, nella media dei genotipi allo studio è emerso un valore di $0,56 \text{ t ha}^{-1}$. I valori massimi si sono evidenziati nei genotipi "S16" con $2,01 \text{ t ha}^{-1}$, "S14" con $1,61 \text{ t ha}^{-1}$ ed "S3" con $1,41 \text{ t ha}^{-1}$; il valore minimo si è osservato in "S18" con $0,08 \text{ t ha}^{-1}$. Non si sono rilevate differenze significative tra genotipi domestici "C" e genotipi selvatici "S".

Per la *resa in biomassa secca* si è rilevata una media complessiva di $7,04 \text{ t ha}^{-1}$. "C4" con $13,41 \text{ t ha}^{-1}$, "S14" con $11,27 \text{ t ha}^{-1}$, "C5" con $10,80 \text{ t ha}^{-1}$ ed "S1" con $9,52 \text{ t ha}^{-1}$ sono risultati i più produttivi, mentre "S18" con $2,45 \text{ t ha}^{-1}$ ha mostrato il valore minimo. Nella media i genotipi domestici hanno mostrato un valore significativamente superiore a quelli selvatici.

Nella media dei genotipi il valore dell'*HI* si è attestato a 6,28%. I valori maggiori si sono avuti in "S3" con 15,09%, "S16" con 14,30% ed "S14" con 12,50%; il valore minimo si è osservato nel genotipo "S17" con 2,29%. Non si sono rilevate differenze significative tra genotipi domestici "C" e genotipi selvatici "S".

In merito alla *resa in olio teorica ottenibile*, nella media dei genotipi si è avuto un valore di $0,14 \text{ t ha}^{-1}$. I genotipi più produttivi sono stati "S16" con $0,54 \text{ t ha}^{-1}$, "S14" con $0,38 \text{ t ha}^{-1}$ ed "S3" con $0,37 \text{ t ha}^{-1}$; il genotipo meno produttivo sono stati "S18" ed "S21" con $0,02 \text{ t ha}^{-1}$. Non si sono rilevate differenze significative tra genotipi domestici "C" e genotipi selvatici "S".

Relativamente alla *produzione di biodiesel teorica ottenibile*, si è registrato un valore medio complessivo di $140,57 \text{ kg ha}^{-1}$. "S16" con $535,74 \text{ kg ha}^{-1}$, "S14" con $380,01 \text{ kg ha}^{-1}$ e "S3" con $368,13 \text{ kg ha}^{-1}$ hanno mostrato i valori più alti, mentre "S18" con $19,51 \text{ kg ha}^{-1}$ è risultato il meno produttivo.

Non si sono rilevate differenze significative tra genotipi domestici “C” e genotipi selvatici “S”.

L’*energia teorica ottenibile*, nella media dei genotipi allo studio, è stata di 118.188 MJ ha⁻¹. I valori massimi si sono osservati in “C4” con 225.288 MJ ha⁻¹, “S16” con 201.600 MJ ha⁻¹ e “C5” con 181.440 MJ ha⁻¹; i valori minimi si sono registrati in “S18” con 41.328 MJ ha⁻¹. Nella media i genotipi domestici hanno mostrato un valore significativamente superiore a quelli selvatici.

In merito alla *distribuzione percentuale del peso degli acheni nei diversi ordini di capolini*, si è osservata una similarità di comportamento, fatta eccezione per gli acheni dei capolini di II ordine, dove l’analisi della varianza ha evidenziato comportamenti significativamente diversi, probabilmente a causa dell’assenza di capolini di quest’ordine in molti dei genotipi studiati. In particolare si è distinto il genotipo “S16” che ha dimostrato di allocare il 34,25% del peso dei propri semi nei capolini di II ordine.

Il II anno di prove ha confermato ancora una volta l’ampia eterogeneità di comportamento dei 18 genotipi allo studio, che hanno mostrato differenze significative in tutti i caratteri analizzati. Nella media, il comportamento dei genotipi di cardo domestico rispetto a quelli di cardo selvatico, ha confermato i dati del I anno, con differenze significative solamente in merito alla resa in biomassa secca ed all’energia teorica ottenibile, dimostrando per tutti gli altri caratteri analizzati una sostanziale similarità (Tab. 10.34 e 10.36).

La *resa in acheni*, nella media dei genotipi si è attestata a 0,70 t ha⁻¹. I genotipi più produttivi sono stati “S16” con 2,16 t ha⁻¹, “S14” con 2,06 t ha⁻¹, “S3” con 1,05 t ha⁻¹ ed “S2” con 1,02 t ha⁻¹; i valori minimi si sono osservati in “S23” ed “S17” con 0,14 t ha⁻¹. Cardi domestici “C” e cardi selvatici “S” in media non si sono differenziati significativamente.

Relativamente alla *resa in biomassa secca*, in media si è osservato un valore di 7,90 t ha⁻¹. “C4” con 14,08 t ha⁻¹, “S16” con 12,53 t ha⁻¹ ed “S14” con 12,10 t ha⁻¹ hanno mostrato la maggiore produzione di biomassa secca; il

valore minimo è stato osservato nel genotipo “S21” con 2,58 t ha⁻¹. Differenze significative si sono riscontrate tra il comportamento dei cardi domestici e i cardi selvatici.

I valori dell'*HI* in media sono stati di 8,54%. I valori massimi si sono registrati nei genotipi “S16” con 14,71%, “S14” con 14,58% ed “S3” con 10,46%; il valore minimo è stato osservato nel genotipo “S17” con 2,55%. Cardi domestici “C” e cardi selvatici “S” in media non si sono differenziati significativamente.

La *resa in olio teorica ottenibile* ha fornito una media di 0,17 t ha⁻¹. I genotipi con i valori maggiori sono stati “S16” con 0,58 t ha⁻¹, “S14” con 0,49 t ha⁻¹, “S2” ed “S3” con 0,27 t ha⁻¹; i valori minimi si sono osservati nei genotipi “S17” ed “S23” con 0,03 t ha⁻¹. Cardi domestici “C” e cardi selvatici “S” in media non si sono differenziati significativamente.

In merito alla *produzione di biodiesel teorica ottenibile*, i genotipi hanno fornito un valore medio di 170,52 kg ha⁻¹. “S16” con 576,91 kg ha⁻¹, “S14” con 487,22 kg ha⁻¹, “S3” con 274,30 kg ha⁻¹ ed “S2” con 266,51 kg ha⁻¹ sono risultati i genotipi più produttivi; “S17” con 33,22 kg ha⁻¹ ha fornito il valore minimo. Cardi domestici “C” e cardi selvatici “S” in media non si sono differenziati significativamente.

Relativamente all'*energia teorica ottenibile*, nella media dei genotipi allo studio si è registrato un valore di 130.433,33 MJ ha⁻¹. I genotipi maggiormente produttivi sono stati “C4” con 235.200 MJ ha⁻¹, “S16” con 210.504 MJ ha⁻¹ ed “S14” con 203.280 MJ ha⁻¹; i valori minimi sono stati riscontrati nel genotipo “S21” con 43.344 MJ ha⁻¹. Differenze significative si sono riscontrate tra il comportamento dei cardi domestici e i cardi selvatici.

In merito alla *distribuzione percentuale del peso degli acheni nei diversi ordini di capolini*, i valori medi relativi ai capolini principali, di I ordine e di II ordine sono stati rispettivamente 36,69%, 30,59% e 29,72%. I genotipi con maggiori percentuali in peso dei semi nei capolini principali sono stati “S7” con 72,01%, “S17” con 53,19% ed “S5” con 52,06%; per quanto riguarda i capolini di I ordine, i valori maggiori si sono riscontrati in “S14” con 69,61%, “S10” con 62,80% ed “S16” con 56,25%; nei capolini di

Il ordine hanno fornito percentuali maggiori i genotipi “S2” con 47,29%, “S17” con 40,90 % e “S23” con 40,65%. Non sono state registrate differenze significative tra i comportamenti dei cardi domestici “C” e dei cardi selvatici “S”.

Nel corso dei due anni di prova l’analisi della varianza ha confermato, nei genotipi allo studio, comportamenti significativamente diversi in tutti i caratteri presi in considerazione, confermando l’effetto della presenza di genotipi selvatici. Anche il fattore “anno” e l’interazione “genotipo” x “anno” sono risultati significativi (Tab. 10.37).

Per quanto riguarda la *resa in acheni*, nella media dei genotipi e degli anni di prova, è emerso un valore di 0,63 t ha⁻¹. I genotipi più produttivi sono risultati “S16” con 2,08 t ha⁻¹, “S14” con 1,84 t ha⁻¹ ed “S3” con 1,23 t ha⁻¹; il valore più basso si è registrato nel genotipo “S23” con 0,13 t ha⁻¹. Il secondo anno ha fornito, nella media dei genotipi, valori significativamente superiori al primo (Figg. 10.119 e 10.120).

La *resa in biomassa secca*, nella media dei genotipi e degli anni, è risultata pari a 7,47 t ha⁻¹. I genotipi che hanno prodotto più biomassa secca nella media dei due anni sono risultati “C5” con 12,4 t ha⁻¹, “S16” con 12,27 t ha⁻¹, “S14” con 11,69 t ha⁻¹ e “C4” con 11,21 t ha⁻¹; il valore minore si è verificato nel genotipo “S21” con 2,63 t ha⁻¹. Il secondo anno ha fornito, nella media dei genotipi, valori significativamente superiori al primo (Figg. 10.121 e 10.122).

Riguardo l’*HI*, nella media dei genotipi e dei due anni di prova, si è avuto un valore di 6,85%. I valori più alti sono stati raggiunti dai genotipi “S16” con 14,51%, “S14” con 13,99% ed “S3” con 12,81%; “S17” ha fornito il valore di HI più basso, con 2,45%. Il secondo anno ha fornito, nella media dei genotipi, valori significativamente superiori al primo (Figg. 10.123 e 10.124).

In merito alla *resa in olio teorica ottenibile*, nella media dei genotipi e degli anni, si è ottenuto un valore di 0,15 t ha⁻¹. I genotipi maggiormente produttivi sono risultati essere “S16” con 0,56 t ha⁻¹, “S14” con 0,43 t ha⁻¹ ed “S3” con 0,32 t ha⁻¹; il valore minore si è ottenuto da “S23” con 0,03 t ha⁻¹. Il

secondo anno ha fornito, nella media dei genotipi, valori significativamente superiori al primo (Figg. 10.125 e 10.126).

Per la *produzione di biodiesel teorica ottenibile*, nella media dei genotipi e degli anni, si è ottenuto un valore di 155,54 kg ha⁻¹. I genotipi maggiormente produttivi sono stati “S16” con 556,33 kg ha⁻¹, “S14” con 433,59 kg ha⁻¹ ed “S3” con 321,23 kg ha⁻¹; il valore minore si è osservato in “S23” con 31,25 kg ha⁻¹ di biodiesel prodotto. Il secondo anno ha fornito, nella media dei genotipi, valori significativamente superiori al primo (Figg. 10.127 e 10.128).

In merito all'*energia teorica ottenibile*, nella media dei genotipi e degli anni di prova, si è avuto un valore di 125,48 MJ ha⁻¹. “C5” con 208.320 MJ ha⁻¹, “S16” con 206.052 MJ ha⁻¹, “S14” con 196.308 MJ ha⁻¹ e “C4” con 188.244 MJ ha⁻¹ sono risultati i più produttivi. Il secondo anno ha fornito, nella media dei genotipi, valori significativamente superiori al primo (Figg. 10.129 e 10.130).

In merito alla *distribuzione percentuale del peso degli acheni nei diversi ordini di capolini*, nei due anni vi sono state delle differenze significative: nel I anno la maggiore percentuale sul peso degli acheni è stata fornita dai capolini principali e di I ordine, mentre nel II anno la situazione si è spostata a favore degli ordini di capolino superiori, con un aumento del 27,7% del peso in acheni nei capolini di II ordine. Le interazioni “genotipo” x “anno” sono risultate significative nel I e II ordine di capolini (Tab. 10.38).

In entrambi gli anni di prova è stata individuato un rapporto di correlazione tra i caratteri resa in acheni e resa in biomassa secca (figg. 10.131 e 10.132).

Genotipi	LAI	statura (cm)	altezza 1° capolino (cm)	n° capolini per pianta
C4	2,28 b	95,80 abc	86,67 a	3,00 d
C5	2,76 a	94,00 abc	84,68a	3,67 d
S1	0,27 g	70,17 bcd	50,27 cde	13,67 b
S2	1,36 c	90,00 abc	82,67 ab	3,33 d
S3	0,48 fg	62,17 bcd	56,67 cd	5,00 cd
S4	1,13 cd	85,50 abcd	51,69 cde	7,33 cd
S5	0,71ef	65,50 bcd	60,00 cd	5,33 cd
S6	0,49 fg	105,00 ab	61,67 bcd	3,33 d
S7	1,14 cd	76,00 abcd	70,00 abc	2,67 d
S10	0,73 ef	72,00 abcd	55,00 cd	4,67 cd
S11	0,32 g	102,00 ab	41,00 de	2,33 d
S14	0,86 de	118,00 a	70,33 abc	21,00 a
S16	0,88 de	107,00 ab	50,00 cde	10,33 bc
S17	0,48 fg	80,00 abcd	64,67 abcd	4,67 cd
S18	1,21 c	52,10 cd	64,67 abcd	4,00 d
S21	0,76 ef	39,70 d	30,33 e	3,67 d
S23	0,41 fg	58,67 bcd	51,67 cde	2,00 d
S24	0,71 ef	61,00 bcd	48,00 cde	2,67 d
media	0,95	79,7	60,00	5,70
significatività	***	***	***	***
LSD $p \leq 0,05$	0,23	27,64	14,62	4,08
CV (%)	14,5	20,9	14,7	43,2
Genotipi "C"	2,52 a	94,9	85,67 a	3,33
Genotipi "S"	0,75 b	77,8	56,81 b	6,00
significatività	***	ns	***	ns
LSD $p \leq 0,05$	0,39	28,66	15,96	5,95

Tabella 10.31 - Caratteri morfobiometrici nei genotipi allo studio relative all'anno 2008.

Genotipi	LAI	statura (cm)	altezza l capolino (cm)	n° capolini per pianta
C4	2,39 b	100,00 abc	78,00 abc	6,00 defg
C5	3,01 a	124,00 a	98,00 ab	10,00 cd
S1	0,52 d	70,00 cd	63,00 cd	2,00 g
S2	1,57 c	105,00 abc	95,00 ab	3,00 fg
S3	0,73 cd	63,00 d	55,00 cd	4,00 efg
S4	1,44 cd	106,00 abc	61,00 cd	4,00 efg
S5	0,90 cd	80,00 bcd	71,00 bcd	2,00 g
S6	0,83 cd	121,00 a	102,00 a	6,00 defg
S7	1,18 cd	102,00 abc	94,00 ab	8,00 cde
S10	1,11 cd	110,00 ab	99,00 ab	11,00 c
S11	0,54 d	132,00 a	59,00 cd	6,00 defg
S14	1,12 cd	125,00 a	74,00 abcd	28,00 a
S16	1,22 cd	130,00 a	65,00 cd	16,00 b
S17	0,63 cd	82,00 bcd	76,00 abc	2,00 g
S18	1,39 cd	75,00 bcd	63,00 cd	6,00 defg
S21	1,09 cd	65,00 d	57,00 cd	8,00 cde
S23	0,48 d	59,00 d	30,00 e	7,00 def
S24	1,16 cd	71,00 cd	44,00 de	7,00 def
media	1,18	95,56	71,33	7,11
significatività	***	***	***	***
LSD $p \leq 0,05$	0,56	22,32	18,29	2,53
CV (%)	28,3	14,1	15,5	20,2
Genotipi "C"	2,70 a	112,00	88,00 a	4,00
Genotipi "S"	0,99 b	93,50	69,25 b	7,50
significatività	***	ns	*	ns
LSD $p \leq 0,05$	0,51	30,88	24,53	7,28

Tabella 10.32 - Caratteri morfobiometrici nei genotipi allo studio relativi all'anno 2009.

Genotipi	resa acheni (t ha ⁻¹)	resa biomassa secca (t ha ⁻¹)	HI (%)	resa olio teorica ottenibile (t ha ⁻¹)	produzione biodiesel teorica ottenibile (kg ha ⁻¹)	energia teorica ottenibile (MJ ha ⁻¹)	distribuzione del peso degli acheni nei diversi ordini di capolini (%)		
							principale	I ordine	II ordine
C4	0,77 cd	13,41 a	5,44 bc	0,20 c	202,31 c	225288,00 ab	52,02	47,98	0,00 b
C5	0,87 c	10,80 bc	7,46 bc	0,23 c	230,81 c	181440,00 bc	41,95	57,87	18,00 b
S1	0,45 de	9,52 cd	4,54 bc	0,11 d	111,63 e	159936,00 cd	41,81	58,19	0,00 b
S2	0,77 cd	8,23 de	8,51 b	0,20 c	199,43 c	138264,00 de	36,95	60,06	2,99 b
S3	1,41 b	7,94 def	15,09 a	0,37 b	368,16 b	133392,00 def	26,55	57,88	15,57 b
S4	0,22 e	6,87 ef	3,16 c	0,05 d	52,69 d	115416,00 ef	54,58	45,42	0,00 b
S5	0,26 e	7,30 def	3,38 c	0,06 d	63,03 d	122640,00 def	55,95	44,05	0,00 b
S6	0,26 e	5,82 efg	4,32 bc	0,06 e	64,95 d	97776,00 efg	47,59	51,83	0,58 b
S7	0,23 e	5,49 fg	3,95 bc	0,5 e	45,40 d	92232,00 fg	48,40	51,60	0,00 b
S10	0,40 e	5,65 fg	6,54 bc	0,8 d	78,62 d	94920,00 fg	53,70	46,30	0,00 b
S11	0,28 e	4,01 gh	6,46 bc	0,06 e	60,14 d	67200,00 gh	49,86	50,14	0,00 b
S14	1,61 b	11,27 bc	12,50 a	0,38 b	380,01 b	189336,00 bc	33,03	62,00	4,97 b
S16	2,01 a	12,03 ab	14,30 a	0,54 a	535,74 a	201600,00 ab	14,47	51,28	34,25 a
S17	0,14 e	5,98 efg	2,29 c	0,03 d	32,42 d	100464,00 efg	70,85	25,27	3,88 b
S18	0,08 e	2,46 h	3,29 c	0,02 d	19,51 d	41328,00 h	57,64	42,36	0,00 b
S21	0,10 e	2,69 h	3,62 bc	0,02 d	22,11 d	45192,00 h	67,50	32,50	0,00 b
S23	0,11 e	4,00 gh	2,79 c	0,03 d	28,54 d	67200,00 gh	63,54	36,46	0,00 b
S24	e	3,20 h	4,64 bc	0,03 e	34,72 d	53760,00 h	70,30	29,70	0,00 b
media	0,56	7,04	0,06	0,14	140,57	118188,00	0,49	0,47	0,03
significatività	***	***	***	***	***	***	ns	ns	***
LSD p ≤ 0,05	0,27	1,68	3,00	0,06	68,22	28155,94	0,40	0,39	0,09

Tabella 10.33 - Caratteri produttivi nei genotipi allo studio rilevati nell'anno 2008.

Genotipi	resa acheni (t ha ⁻¹)	resa biomassa secca (t ha ⁻¹)	HI (%)	resa olio teorica ottenibile (t ha ⁻¹)	produzione biodiesel teorica ottenibile (kg ha ⁻¹)	energia teorica ottenibile (MJ ha ⁻¹)	distribuzione del peso degli acheni in base ai capolini di provenienza (%)		
							principale	I ordine	II ordine
C4	0,72 cd	14,08 de	4,85 bcde	0,19 d	187,96 d	236544,00 de	50,38 bc	16,26 efgh	33,36 abc
C5	0,67 cd	11,43 a	5,57 cde	0,18 d	178,87 d	192024,00 a	43,67 bcd	40,54 c	15,78 de
S1	0,62 cde	10,00 cd	5,84 bcde	0,15 d	153,07 d	168000,00 cd	25,79 efg	41,77 c	32,44 abc
S2	1,02 b	11,30 bc	8,30 bcd	0,27 c	266,51 c	189840,00 bc	49,88 bc	2,82 h	47,29 a
S3	1,05 b	9,01 de	10,46 b	0,27 c	274,30 c	151200,00 de	39,47 bcde	27,17 de	33,35 abc
S4	0,52 cde	6,70 ef	7,25 bcde	0,12 defg	123,05 defg	112560,00 ef	34,16 cdef	37,79 cd	28,05 bc
S5	0,31 efg	7,00 ef	4,30 de	0,07 efgh	77,47 efgh	117600,00 ef	52,06 b	11,90 fgh	36,04 abc
S6	0,48 cdef	6,70 ef	6,62 bcde	0,12 defg	117,47 defg	112560,00 ef	38,57 bcde	26,64 de	34,78 abc
S7	0,41 defg	5,80 f	6,63 bcde	0,08 efgh	82,76 efgh	97440,00 f	72,01 a	15,28 efgh	12,72 de
S10	0,74 c	7,69 def	9,87 bc	0,15 de	147,15 de	129192,00 def	31,86 def	62,80 ab	5,34 e
S11	0,66 cd	7,80 def	9,51 bcd	0,14 def	142,46 def	131040,00 def	47,82 bc	19,40 efg	32,78 abc
S14	2,06 a	12,10 ab	14,58 a	0,49 b	487,22 b	203280,00 ab	15,94 fg	69,61 a	14,44 de
S16	2,16 a	12,53 ab	14,71 a	0,58 a	576,91 a	210504,00 ab	19,70 fg	56,25 b	24,04 cd
S17	0,14 g	5,50 f	2,55 e	0,03 h	33,22 h	92400,00 f	53,19 b	5,91 gh	40,90 ab
S18	0,20 fg	3,30 g	5,58 bcde	0,05 h	45,47 h	55440,00 g	27,18 efg	39,37 c	33,45 abc
S21	0,31 efg	2,58 g	6,23 bcde	0,07 gh	68,77 gh	43344,00 g	21,84 fg	42,91 c	35,25 abc
S23	0,14 g	3,15 g	4,15 de	0,03 h	33,95 h	52920,00 g	46,63 bcd	12,72 fgh	40,65 ab
S24	0,33 efg	5,60 f	5,55 bcde	0,07 fgh	73,39 fgh	94080,00 f	44,32 bcd	21,38 ef	34,30 abc
media	0,70	7,90	8,54	0,17	170,52	132776,00	39,69	30,59	29,72
significatività	***	***	***	***	***	***	***	***	***
LSD p ≤ 0,05	0,20	1,70	0,03	0,05	47,21	28605,51	9,96	9,67	10,03

Tabella 10.34 - Caratteri produttivi nei genotipi allo studio relativi all'anno 2009.

	resa acheni (t ha ⁻¹)	resa biomassa secca (t ha ⁻¹)	HI (%)	resa olio teorica ottenibile (t ha ⁻¹)	produzione biodiesel teorica ottenibile (kg ha ⁻¹)	energia teorica ottenibile (MJ ha ⁻¹)	distribuzione del peso degli acheni nei diversi ordini di capolini (%)		
							principale	I ordine	II ordine
CV (%)	29,2	14,4	29,3	29,3	29,3	14,4	42,9	57,3	200,3
Genotipi "C"	0,82	12,11 a	6,44	0,22	216,56	203364,00 a	0,47	0,53	0,00
Genotipi "S"	0,53	6,40 b	6,16	0,13	131,07	107541,00 b	0,50	0,47	0,04
significatività	ns	***	ns	ns	ns	***	ns	ns	ns
LSD p ≤ 0,05	0,27	3,30	4,89	0,17	174,19	55356,76	0,31	0,27	0,10

Tabella 10.35 - Caratteri produttivi distinti tra genotipi domestici e selvatici nei genotipi allo studio relativi all'anno 2008.

	resa acheni (t ha ⁻¹)	resa biomassa secca (t ha ⁻¹)	HI (%)	resa olio teorica ottenibile (t ha ⁻¹)	produzione biodiesel teorica ottenibile (kg ha ⁻¹)	energia teorica ottenibile (MJ ha ⁻¹)	distribuzione del peso degli acheni in base ai capolini di provenienza (%)		
							principale	I ordine	II ordine
CV (%)	17,2	13,2	24,9	16,7	16,7	13,2	15,2	19,2	20,3
Genotipi "C"	0,70	11,50 a	6,03	0,18	183,41	193200,00 a	47,03	28,40	24,57
Genotipi "S"	0,70	7,30 b	7,69	0,17	168,93	122587,50 b	38,78	30,86	30,36
significatività	ns	**	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
LSD p ≤ 0,05	0,68	3,59	4,24	0,17	174,05	60387,34	17,11	23,16	13,99

Tabella 10.36 - Caratteri produttivi distinti tra genotipi domestici e selvatici nei genotipi allo studio relativi all'anno 2009.

MEDIA	anno	Principale	I ordine	II ordine
significatività LSD $p \leq 0,05$	2008	56,11% a	41,08% a	2,81% b
	2009	39,68% b	30,44% b	29,88% a
		***	**	***
CV (%)		6,72%	6,58%	2,24%
Interazione Genotipo x Anno		36,6	48,0	35,8
		ns	*	***

Tab. 10.38 Distribuzione del peso acheni dei diversi ordini di capolino (%) nei due anni di prova.

	Statura	Altezza primo capolino	LAI	Resa acheni	Resa biomassa secca	HI	Resa olio	Produzione biodiesel	Resa energetica	Numero capolini per pianta
Fattore										
Genotipo (A)	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Anno (B)	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Interazioni										
(A) x (B)	ns	***	ns	***	***	***	**	**	***	***

Tabella 10.37 - Distribuzione delle significatività nei diversi caratteri produttivi, nei diversi genotipi allo studio e nei due anni di prova.

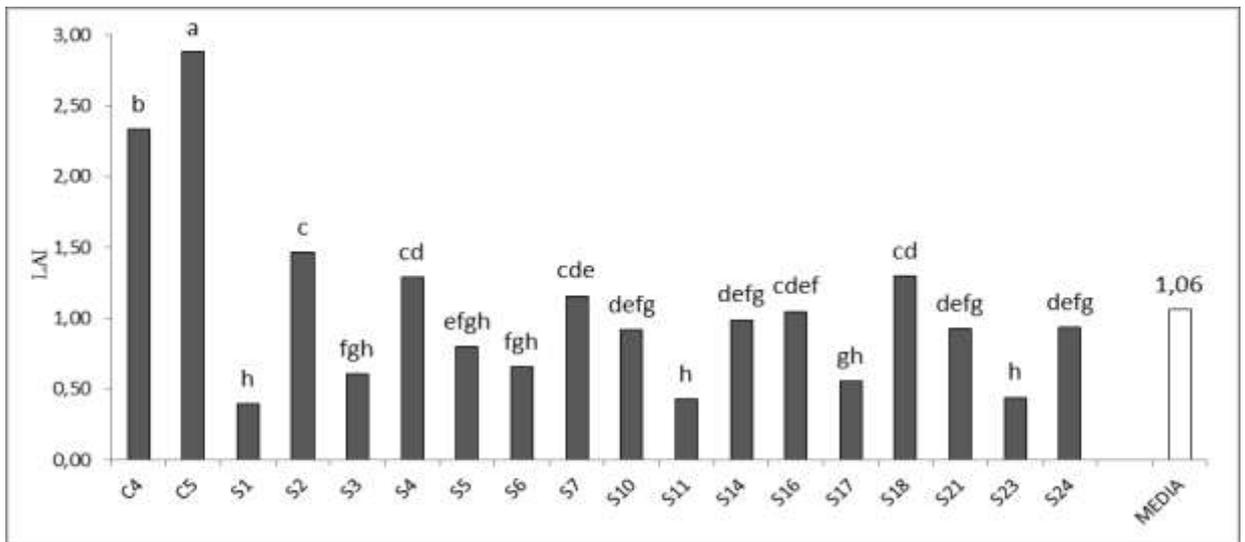


Fig. 10.111 Interazione di primo ordine “genotipo x anno” nel LAI.

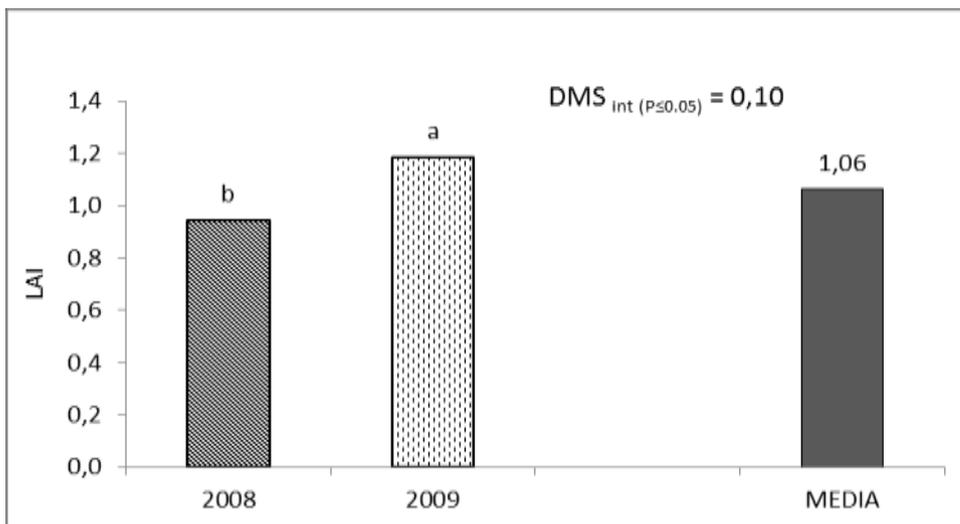


Fig. 10.112 LAI nei due anni di prova.

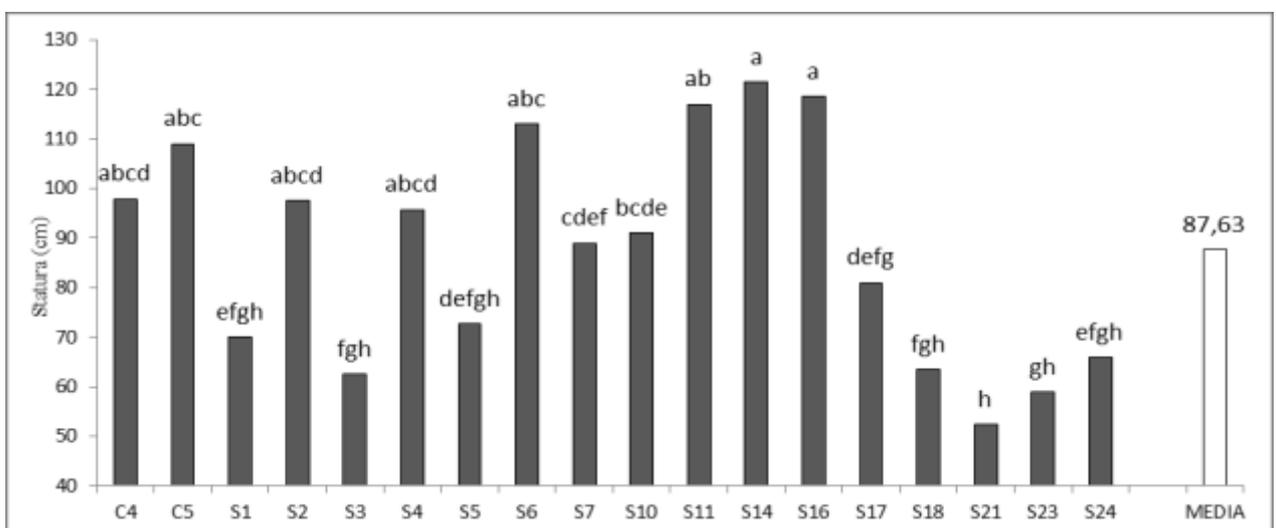


Fig. 10.113 Interazione di primo ordine “genotipo x anno” nella statura delle piante.

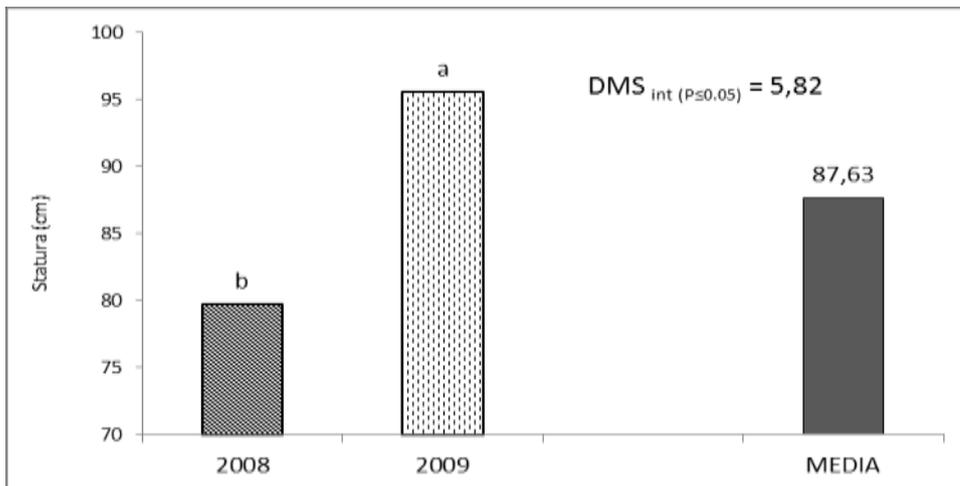


Fig. 10.114 Statura delle piante nei due anni di prova.

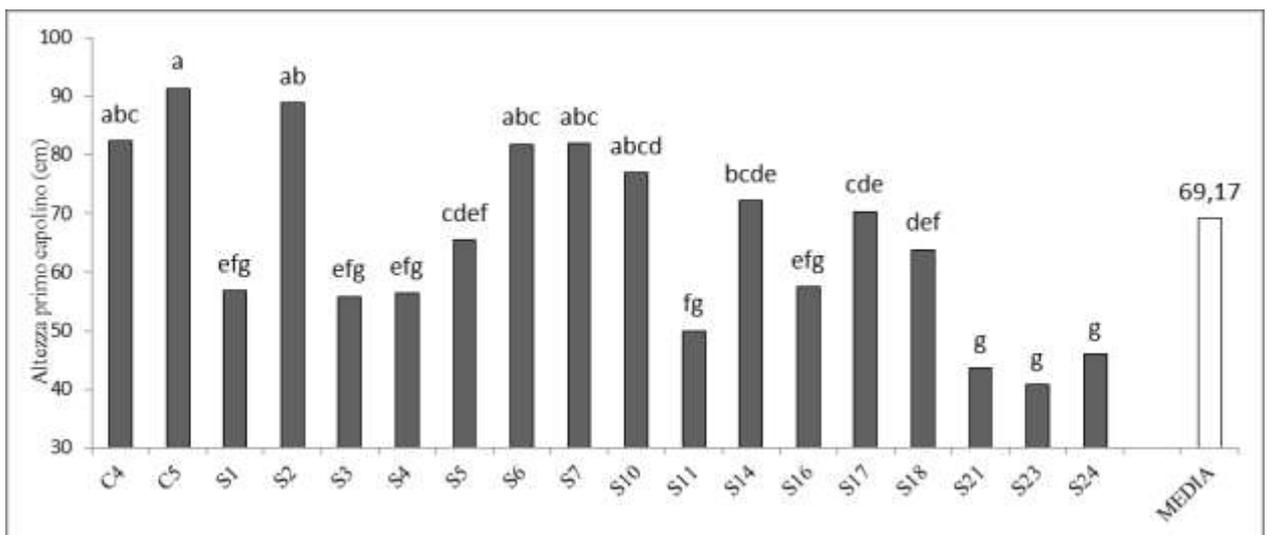


Fig. 10.115 Interazione di primo ordine “genotipo x anno” nell’altezza del primo capolino.

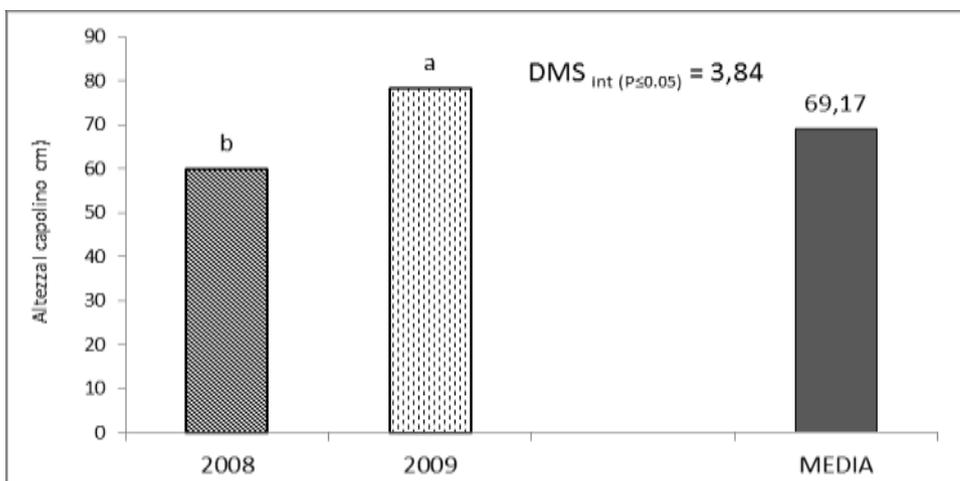


Fig. 10.116 Altezza del primo capolino nei due anni di prove.

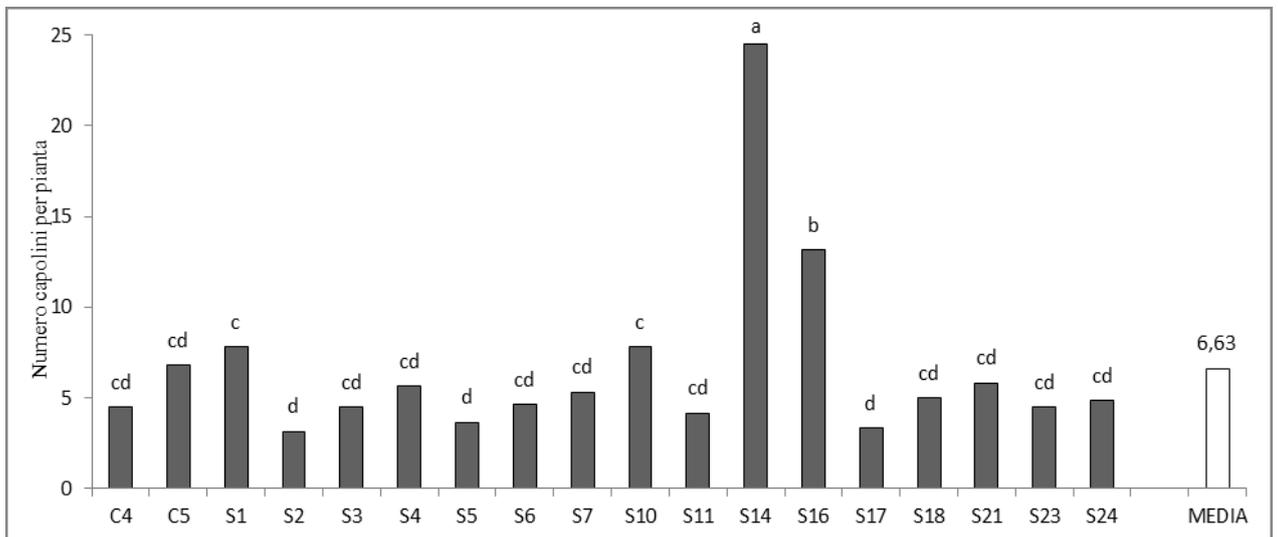


Fig. 10.117 Interazione di primo ordine “genotipo x anno” nel numero di capolini per pianta.

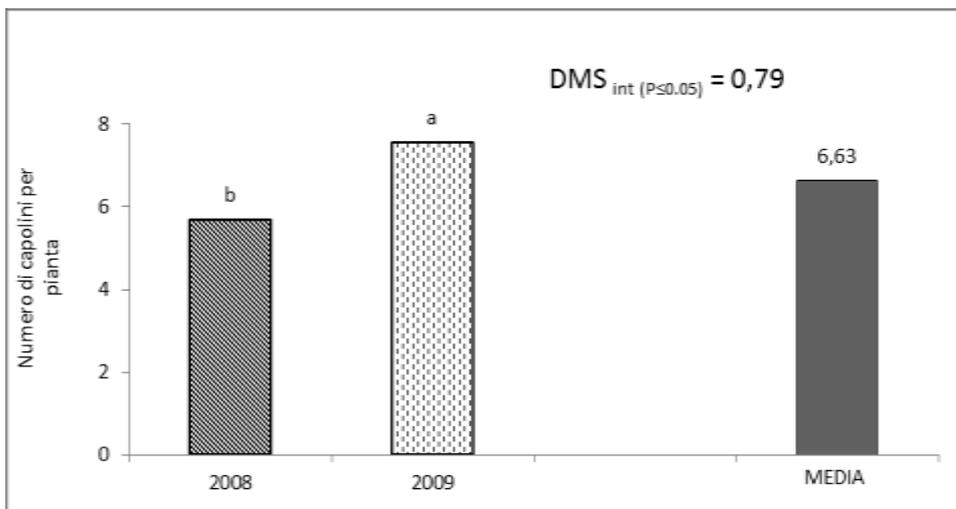


Fig. 10.118 Numero capolini per pianta nei due anni di prova.

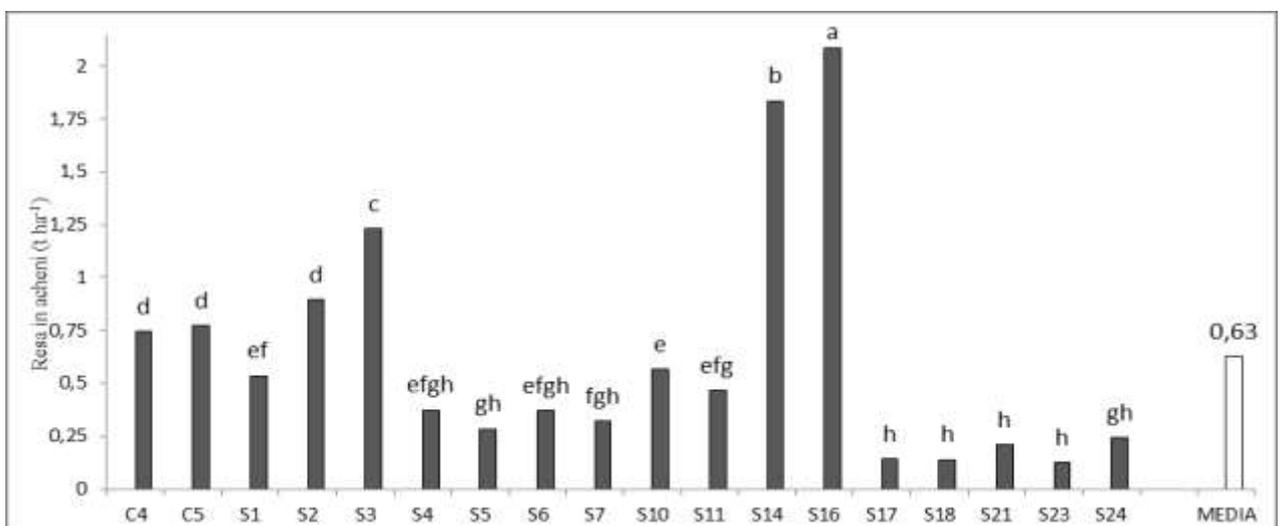


Fig. 10.119 Interazione di primo ordine “genotipo x anno” nella resa in acheni.

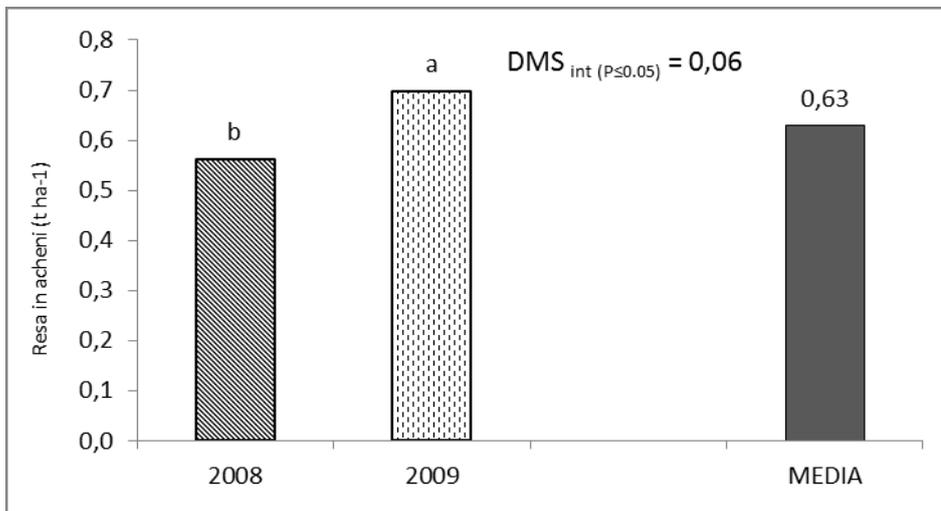


Fig. 10.120 Resa in acheni nei due anni di prova.

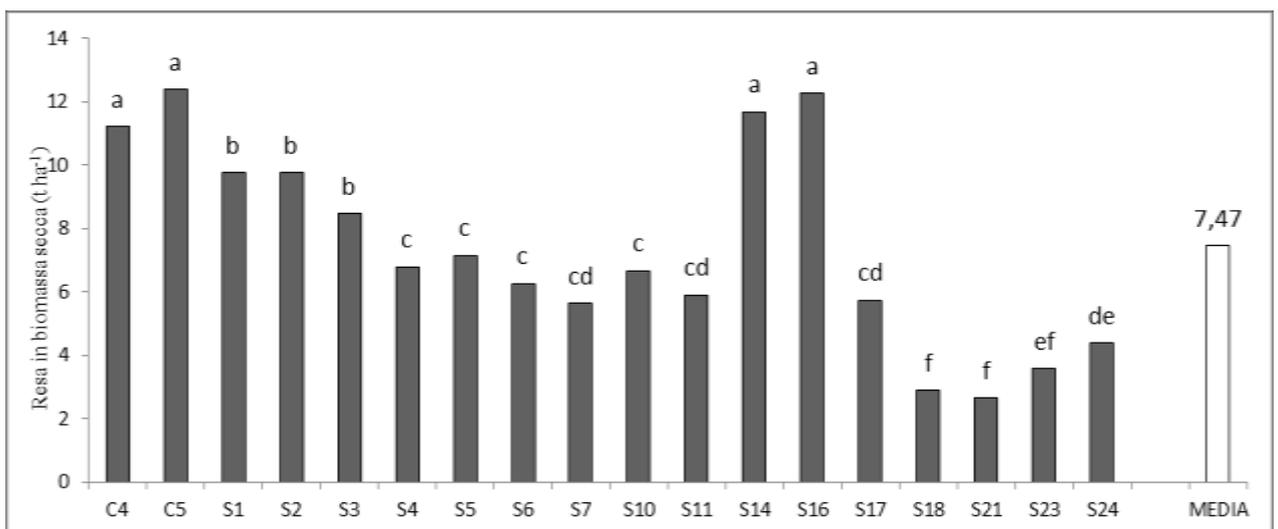


Fig. 10.121 Interazione di primo ordine “genotipo x anno” nella resa in biomassa secca.

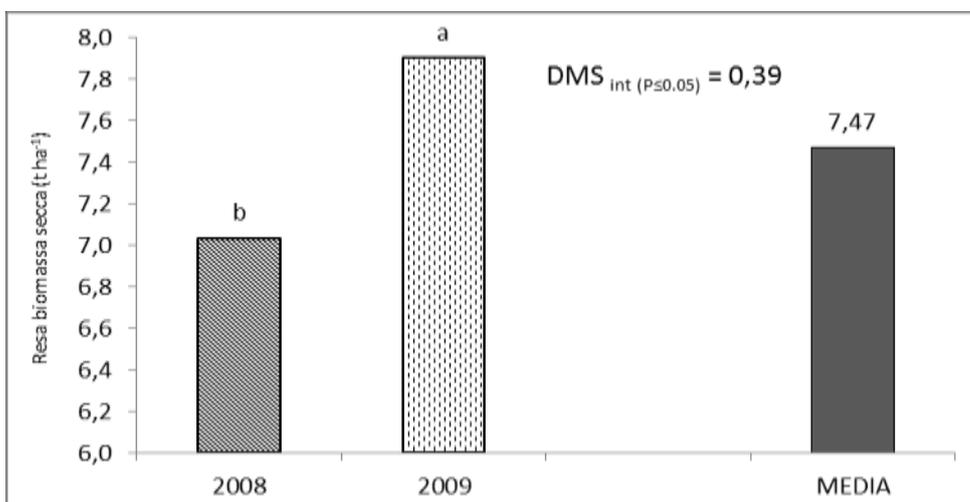


Fig. 10.122 Resa in biomassa secca nei due anni di prova.

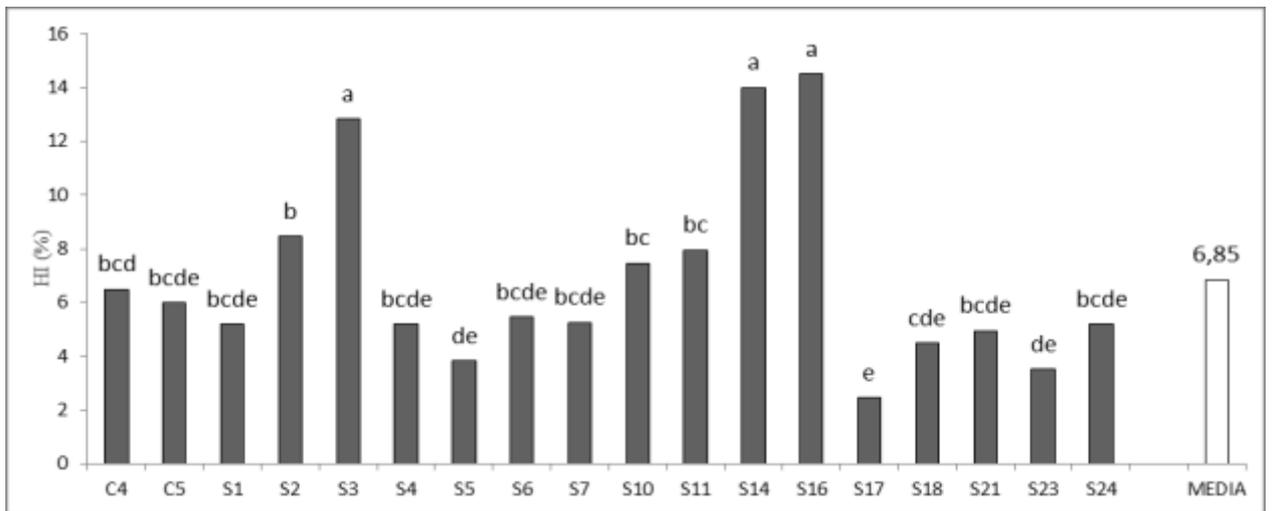


Fig. 10.123 Interazione di primo ordine “genotipo x anno” nel valore dell’HI.

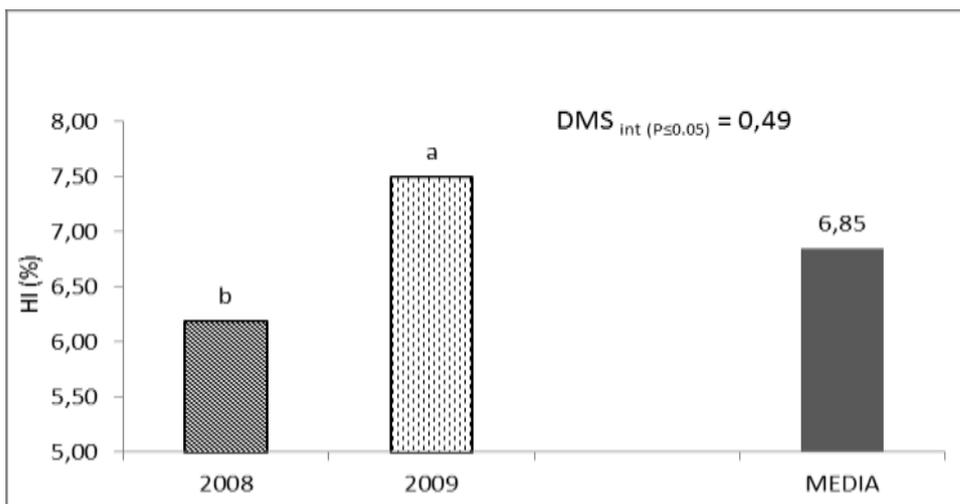


Fig. 10.124 HI nei due anni di prova.

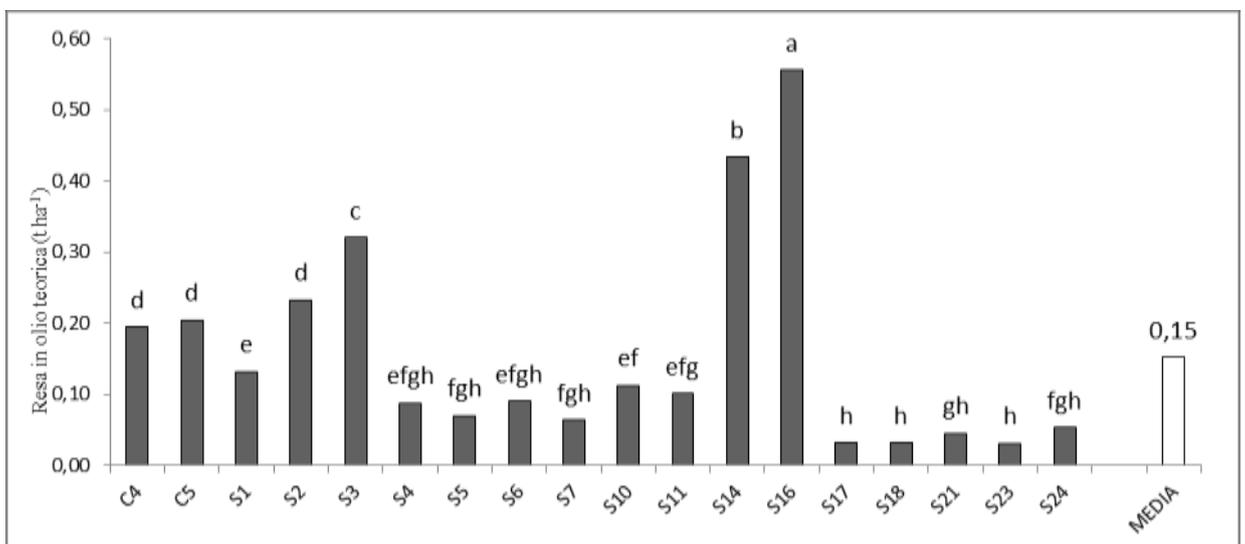


Fig. 10.125 Interazione di primo ordine “genotipo x anno” nella resa in olio teorica ottenibile.

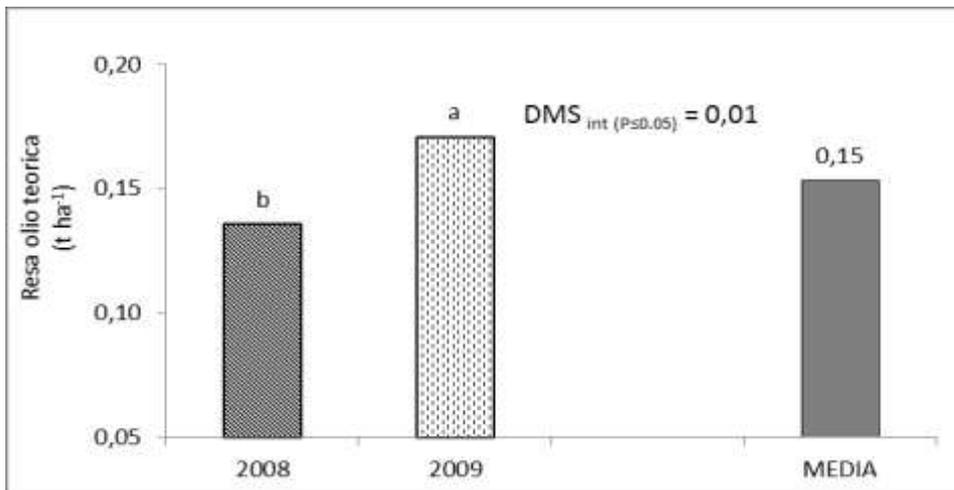


Fig. 10.126 Resa in olio teorica ottenibile nei due anni di prova.

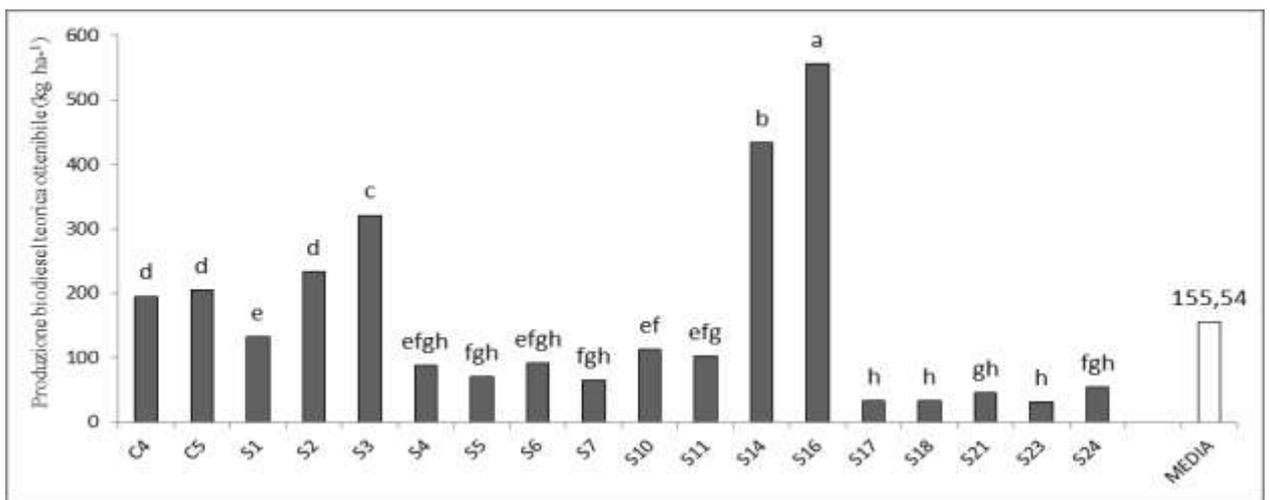


Fig. 10.127 Interazione di primo ordine “genotipo x anno” nella produzione di biodiesel teorica ottenibile.

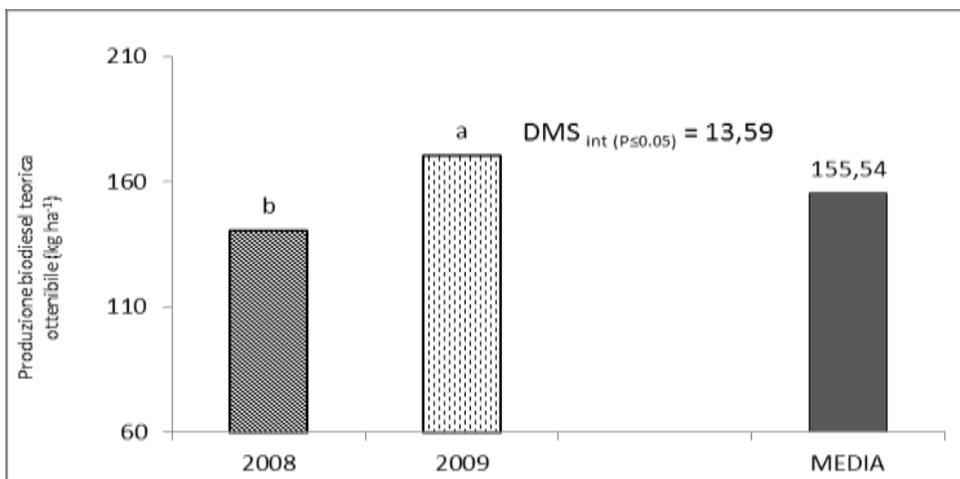


Fig. 10.128 Produzione di biodiesel teorica ottenibile nei due anni di prova.

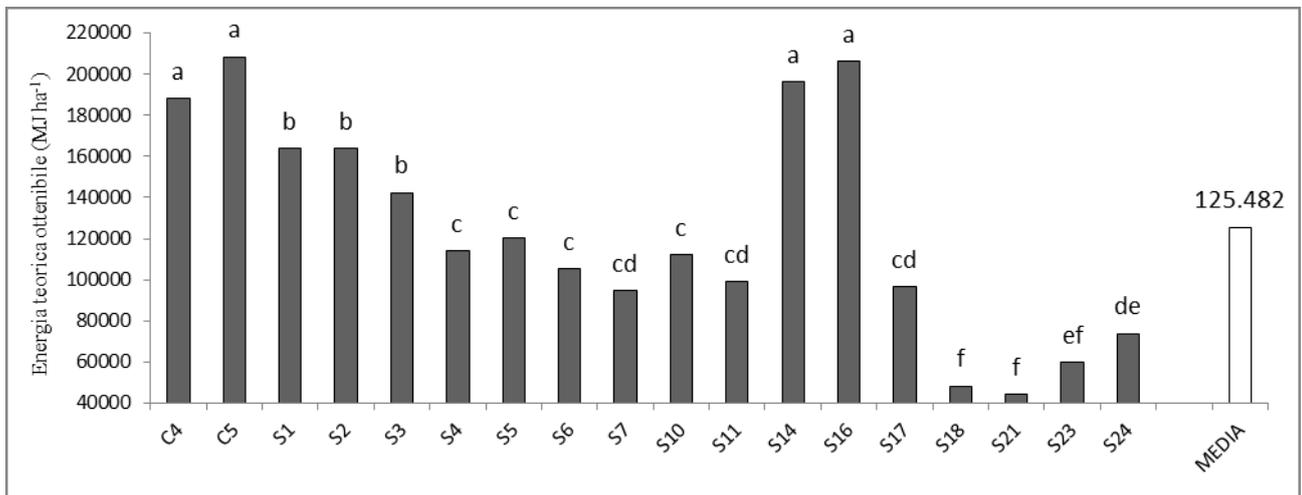


Fig. 10.129 Interazione di primo ordine “genotipo x anno” nella resa in energia teorica ottenibile.

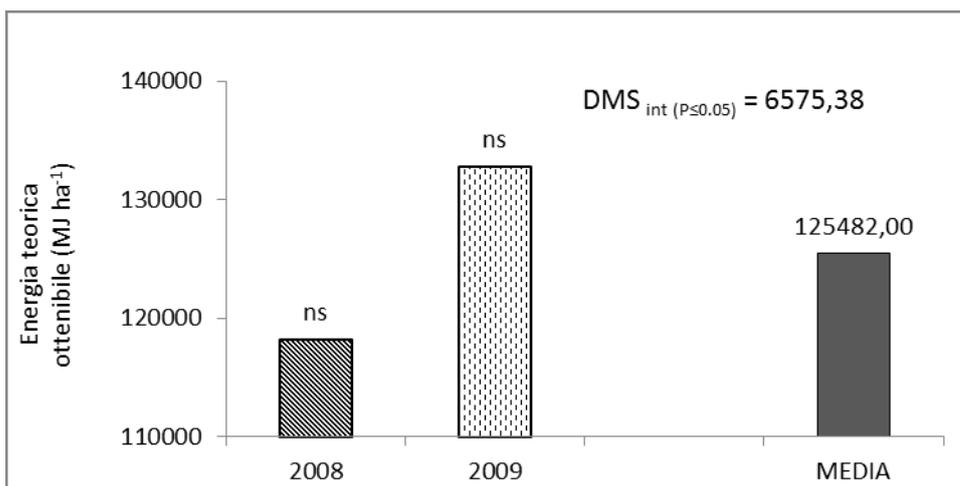


Fig. 10.130 Resa in energia teorica ottenibile nei due anni di prova.

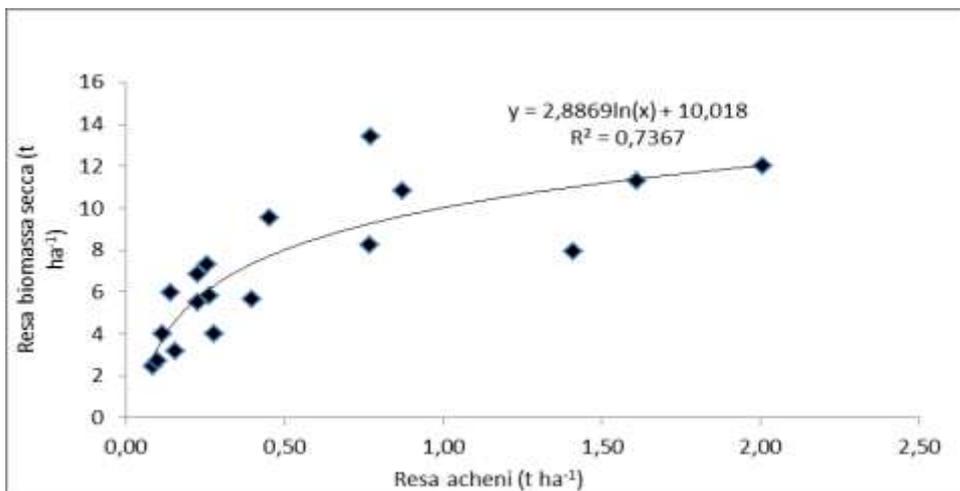


Fig. 10.131 Correlazione tra resa in acheni e resa in biomassa secca nell’anno 2008 ($r = 0,755003$; $p = 0,0002$).

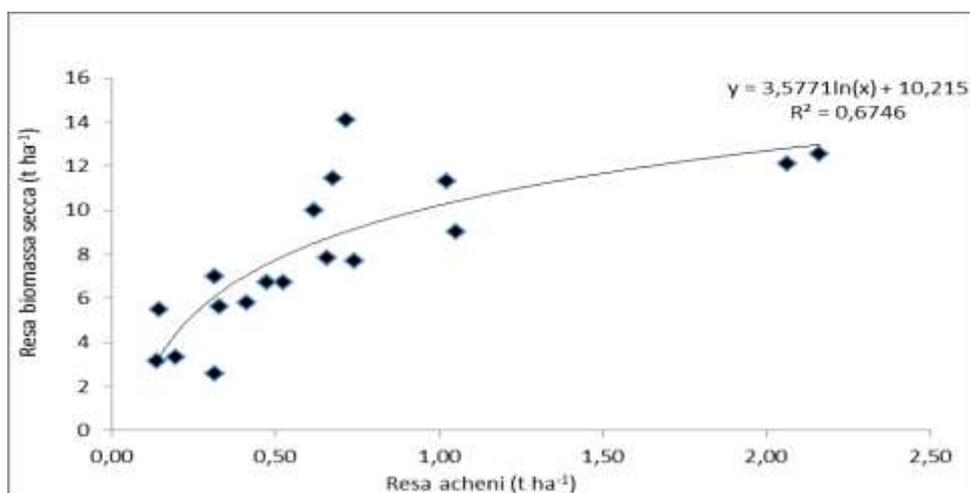


Fig. 10.132 Correlazione tra resa in acheni e resa in biomassa secca nell'anno 2009 ($r= 0,727969$; $p=0.0004$).

11. CONCLUSIONI

Il presente lavoro intende offrire utili informazioni a favore della introduzione del ricino e del cardo in coltivazioni a ciclo poliennale, nell'ambiente Mediterraneo e ha lo scopo di evidenziarne le grandi potenzialità di adattamento e di produttività in olio per biodiesel, anche su terreni marginali, a bassi livelli di input agronomici.

Con riferimento al *Ricinus communis*, la "Prova A" ha dimostrato la buona capacità di adattamento della specie a tecniche di coltivazione a bassi livelli di input: i caratteri produttivi analizzati, infatti, pur staccandosi significativamente dai livelli del regime ad alti input, hanno fornito dei risultati più che soddisfacenti (3,50 t ha⁻¹ di seme prodotto nella media degli anni, a bassi input), con una interessante produzione di biodiesel (1496,03 kg ha⁻¹, nella media degli anni, in regime a bassi input), manifestando inoltre un maggiore livello di HI.

La “Prova B”, indagando gli effetti della raccolta tramite taglio della chioma del ricino, ha evidenziato, nella media degli anni, un’inaspettata mancanza di significatività nella quasi totalità dei caratteri produttivi, tra i due trattamenti “NP” e “P”. Ciò rappresenta un risultato di particolare rilievo, in considerazione del fatto che le piante sottoposte al taglio hanno dovuto ricostituire, per intero, l’apparato fotosintetico; tale risultato dimostra che la raccolta del ricino previo taglio dell’intera parte epigea, non influirebbe sulla resa dell’anno successivo e farebbe supporre che la pianta, durante il ciclo annuale, immobilizzi la maggior parte delle sue riserve nella parte ipogea, rendendole prontamente disponibili per una totale ricostituzione della parte aerea.

Nella media dei trattamenti di raccolta e degli anni, la “Prova B” ha inoltre mostrato una complessiva superiore capacità produttiva in biodiesel del genotipo “Brasile” (2111,59 kg ha⁻¹ nella media degli anni e dei trattamenti di raccolta), che ha fornito i valori significativamente più elevati in entrambi i trattamenti di raccolta ed ha altresì dimostrato un elevato HI (62,15% nella media degli anni e dei trattamenti di raccolta).

Per contro, la spiccata scalarità nella maturazione delle capsule, rilevata nella “Prova B”, ha imposto l’esecuzione di diverse raccolte e ciò rappresenta un punto di criticità relativo a tecniche di raccolta che prevedano un unico passaggio con taglio della parte aerea. Tale problema emerge proprio nel tipo di conduzione a ciclo poliennale, e per genotipi selvatici, in quanto, una volta raggiunta la maturità sessuale la pianta tende a fiorire ininterrottamente con temperature favorevoli, nel clima Mediterraneo, fornendo produzione di granella da marzo-aprile fino a settembre-ottobre (Tab. 10.11 e 10.14). In tale ottica, ulteriori sforzi nella ricerca devono essere indirizzati nell’individuazione di genotipi o tecniche agronomiche (defogliazione delle piante) che favoriscano una maggiore contemporaneità di maturazione dei racemi.

I risultati riguardanti il *Cynara cardunculus*, nella “Prova C” hanno messo in evidenza l’influenza marcata della densità d’impianto sulla produttività, che ha dimostrato le migliori prestazioni degli impianti più fitti.

Infatti, nel livello più alto di investimento unitario (8 piante m⁻²) le rese in seme sono risultate superiori alla tonnellata ha⁻¹, in entrambi gli anni e conseguentemente anche la produzione in biodiesel è risultata maggiore, nella media degli anni, in corrispondenza della densità più alta con valori di 308,81 kg ha⁻¹ (densità di 8 piante m⁻²). Degno di nota è anche il risultato significativamente superiore dell'HI, nei livelli più alti di densità d'impianto (12,19%, nella media degli anni, relativo ad 8 piante m⁻²). Infine l'altezza del primo capolino, nella media dei due anni e degli investimenti unitari, non è mai scesa sotto i 70 cm, confermando la sua adattabilità alla raccolta meccanica. I due genotipi non hanno mostrato comportamenti significativamente differenti, ad eccezione della resa in biomassa secca, nella quale "C5" ha fornito migliori risultati (11,51 t ha⁻¹ nella media degli anni).

Nella "Prova D" i genotipi saggiati hanno evidenziato notevoli differenze, sia sotto l'aspetto biometrico, che in quello produttivo a causa della grande ricchezza di germoplasma degli individui spontanei. I genotipi di cardo domestico si sono distinti da quelli selvatici per la maggiore produttività in biomassa secca (11,81 t ha⁻¹ nella media degli anni). I genotipi che si sono distinti, nella media dei due anni, per maggiore produzione di biodiesel sono stati "S16" (556,33 kg ha⁻¹), "S14" (433,62 kg ha⁻¹) e "S3" (321,23 kg ha⁻¹). La resa energetica, nella media degli anni, ha evidenziato i genotipi "C4" (230.244 MJ ha⁻¹), "S16" 206.052 (MJ ha⁻¹) e "S14" (196.308 MJ ha⁻¹). I più promettenti genotipi a "duplice attitudine" (biodiesel ed energia da biomassa) sono risultati quindi "S16" e "S14". Questi genotipi rappresentano un importante punto di partenza per il lavoro di miglioramento genetico.

I risultati ottenuti in questi anni di sperimentazione aprono la strada ad altre e più approfondite ricerche e pongono le basi per una prosecuzione del lavoro di caratterizzazione genotipica e di individuazione di valide tecniche agronomiche allo scopo di introdurre negli ordinamenti colturali mediterranei queste promettenti colture energetiche poliennali.

BIBLIOGRAFIA

- **S.V. Archontoulis, J. Vos, X. Yin, L. Bastiaans, N.G. Danalatos, P.C. Struik** - Temporal dynamics of light and nitrogen vertical distributions in canopies of sunflower, kenaf and cynara. *Field Crops Research* 122 (2011) 186–198. **2011.**
- **Lima et al.** Blends of castor meal and castor husks for optimized use as organic fertilizer. *Industrial Crops and Products* 33 (2011) 364–368. **2011.**
- **D. Vamvuka, S. Sfakiotakis** - Effects of heating rate and water leaching of perennial energy crops on pyrolysis characteristics and kinetics. *Renewable Energy* 36 (2011) 2433 – 2439. **2011.**
- **Diniz L. et al.** Castor bean meal for cattle finishing: 1 — Nutritional parameters. **2011.**
- **ALTHESIS - Strategic Consultants.** Osservatorio Agroenergia. Il settore delle agroenergie in Italia. **2011.**
- **Gordon D.R. et al.** Assessing the invasive potential of biofuel species proposed for Florida and the United States using the Australian Weed Risk Assessment. *biomass and bioenergy* 35 (2011) 74 e79. **2011.**
- **Canoira L. et al.** Fatty acid methyl esters (FAMES) from castor oil: Production process assessment and synergistic effects in its properties. *Renewable Energy* 35 (2010) 208–217. **2010.**
- **S. V. Archontoulis , P. C. Struik, X. Yin, L. Bastiaans, J. VOS and N . G. Danalatos** - Inflorescence characteristics, seed composition, and allometric relationships predicting seed yields in the biomass crop *Cynara cardunculus*. *GCB Bioenergy* (2010) 2, 113–129. **2010.**
- **Sengo I. et al.** Response surface modeling and optimization of biodiesel production from *Cynara cardunculus* oil. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2010, 112, 310–320. **2010.**
- **Valente O. et al.** Fuel consumption and emissions from a diesel power generator fuelled with castor oil and soybean biodiesel. *Fuel* 89 (2010) 3637–3642. **2010.**
- **Assessorato dell’Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità. Regione Siciliana.** Dati sulla produzione ed offerta di energia elettrica aggiornati al mese di gennaio 2010. **2010.**

- **Mutlu & Meier.** Castor oil as a renewable resource for the chemical industry. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2010, 112, 10–30. **2010.**
- **EUROSTAT.** Eurostat Yearbook 2010. **2010.**
- **Martin C. et al.** Fractional characterisation of jatropha, neem, moringa, trisperma, castor and candlenut seeds as potential feedstocks for biodiesel production in Cuba. **2010.**
- **EurObserv'ER.** Il barometro dei biocarburanti. **2010.**
- **Reddy & Matcha.** Quantifying nitrogen effects on castor bean (*Ricinus communis* L.) development, growth, and photosynthesis. **2010.**
- **Ierna et Mauromicale.** *Cynara cardunculus* L. genotypes as a crop for energy purposes in a Mediterranean environment. *Biomass and bioenergy* 34 (2010) 754–760. **2010.**
- **Carneiro J.F. et al.** Caracterizacao de sementes de linhagens avancadas de mamoneira. V Congresso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, João Pessoa, PB – 2010 – pag 1627. **2010.**
- **ENEA.** Ricerca ed innovazione per un future low-carbon. Le fonti Rinnovabili 2010. **2010.**
- **FAO.** Making sustainable biofuels work smallholders farmers and rural households. **2009.**
- **Nassi N. et al.,** *Cynara cardunculus* L.: valutazione della produzione di biomassa per usi energetici durante undici anni di sperimentazione. *Italian Journal of Agronomy*, 2009, 4 Suppl. **2009.**
- **Baldwin B.S. & Cossar R.D.,** Castor yield in response to planting date at four locations in the south-central United States. *Industrial Crops and Products* 29 316–319. **2009.**
- **Mantineo M. et al.,** Biomass yield and energy valance of three perennial crops for energy use in the semi-arid Mediterranean environment. *Field Crops Research* 114 (2009) 204-213. **2009**
- **A. Gholizadeh et al.** - Evaluation of SPAD Chlorophyll Meter in Two Different Rice Growth Stages and its Temporal Variability. *European Journal of Scientific Research.* N°4 (2209), pp.591-598. **2009.**
- **Mendes R.C. et al.** Tratamentos pre-germinativos em sementes de mamona (*Ricinus communis* L.). **2009.**
- **ENEA.** Energia dalle biomasse Tecnologie e prospettive. **2008.**
- **ENEA.** Rapporto Energia ed Ambiente 2008. **2008.**

- **Sortino O. et al.** Effect of Plant Density on Oil Yield in *Cynara Cardunculus* L. to Produce Biodiesel. **2008.**
- **United Nation Conference on Trade and Development.** Biofuel production technologies: status, prospects and implications for trade and development. **2008.**
- **Salvatore Bracco et al.** – Prime Valutazioni sull’Impatto delle Produzioni Agroenergetiche in Sicilia – XLV Convegno SIDEA, **2008.**
- **DOVE-BIOTECH.** Castor bean (*Ricinus communis*) an international botanical answer to biodiesel production & renewable energy. **2008.**
- **Silva et al.** Desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamoneira sob estresse salino. **2008.**
- **Fedrizzi L. et al.** *Cynara cardunculus* exploitation for energy applications: development of a combine head for threshing and concurrent residues collecting and utilization. **2008.**
- **Ministry of Energy and Water Development. Zambia.** Renewable energy study – energy crops – reviewed final report. **2008.**
- **Gowda et al.** Evaluation of castor (*Ricinus communis*) seed cake in the total mixed ration for sheep. **2008.**
- **Jeong G. & Park D.** Optimization of Biodiesel Production from Castor Oil Using Response Surface Methodology. **2008.**
- **Scholza V. et da Silva N.J.** Prospects and risks of the use of castor oil as a fuel. **2008.**
- **Falasca, S., y Ulberich, A.** “El agroclima del cardo *Cynara cardunculus* como cultivo energético en áreas semiáridas de Argentina”. En: CD rom XXX Congreso ASADES y XV Reunión de la IASEE. San Luis, 13-16 de noviembre de 2007 y en prensa Revista AVERMA (Avances en Energías Renovables y Medioambiente) - **2007.**
- **Calliope Panoutsou.** Socio-economic impacts of energy crops for heat generation in Northern Greece. *Energy Policy* 35 (2007) 6046–6059 – **2007.**
- **ISTAT.** Agricultura ed Ambiente. **2007.**
- **Sonnante G. et al.** On the origin of artichoke and cardoon from the *Cynara* gene pool as revealed by rDNA sequence variation. *Genet Resour Crop Evol* (2007) 54:483–495 – **2007.**
- **Agencia Andaluza de la Energía,** “*Situación de la biomasa en Andalucía*”. Conserjería de Inno-vación, Ciencia y Empresa. 87 pp. - **2007.**

- **Pasqualino Jorgelina Cecilia**, *Cynara cardunculus* a san alternative crop for biodiesel production, Tesi di Dottorato, Universitat Rovina I Virgili – **2007**.
- **Aho M. et al.** A pilot-scale fireside deposit study of co-firing *Cynara* with two coals in a fluidised bed. **2007**.
- **Galli Mariassunta e Pampana Silvia**, “Le fonti rinnovabili per la produzione di energia: il ruolo delle biomasse.”, Laboratorio Land Lab, Scuola Superiore Sant’Anna, Pisa; Dipartimento di Agronomia e Gestione dell’Agroecosistema, Università di Pisa – **2007**.
- **Raccuia S. et Melilli G.** Biomass and grain oil yields in *Cynara cardunculus* L. genotypes grown in a Mediterranean environment. *Field Crops Research* 101 (2007) 187–197. **2007**.
- **Fedrizzi M. e Pasini L.**, “*Cynara cardunculus*: coltura non-food per produrre energia.” - progetto BIOCARD - Global Process to Improve *Cynara cardunculus* Exploitation for Energy Applications – **2006**.
- **Fernández J., María Dolores Curt, Pedro Luis Aguado** - Industrial applications of *Cynara cardunculus* L. or energy and other uses - Departamento de Produccion Vegetal: Botanica y Proteccion Vegetal, Universidad, Politecnica de Madrid, 28040 Madrid, Spain – *Industrial Crops and Products* 24 (2006) 222–229. **2006**.
- **Carvalho et al.** Evaluation of oil composition of some crops suitable for human nutrition. **2006**.
- **Raccuia et Melilli.** Biomass and grain oil yields in *Cynara cardunculus* L. genotypes grown in a Mediterranean environment. **2006**.
- **Müller & von Fragstein.** Organic fertilizers derived from plant materials Part I: Turnover in soil at low and moderate temperatures. **2006**.
- **Falasca, S, y Bernabé, M.A.**, “Impacto regional en la zona semiárida argentina implantando cultivos para biodiesel”. IX Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra. Santiago de Chile – **2006**.
- **International Energy Agency**, *World Energy Outlook 2006*, pagina 8 - **2006**.
- **F.Zanetti et al.** – Can We Cultivate” Erucic Acid in Southern Europe? – *Ital Journal Agronomy*. 1:3-10. **2006**
- **Cvengros et al.** Properties of alkyl esters base on castor oil. **2006**.

- **Velasco et al.** Fatty acid and tocopherol accumulation in the seeds of a high oleic acid castor mutant. **2005.**
- **Agenzia Internazionale dell’Energia (AIE)** - “World Energy Outlook 2005” – **2005.**
- **Pahl Greg,** “Biodiesel: coltivare una nuova energia”, Franco Muzzio Editore – **2005.**
- **Fernández, J., Curt, M.D.,** State-of-the-art of *Cynara cardunculus* as an energy crop. In: Sjunnesson, L., Carrasco, J.E., Helm, P., Grassi, A. (Eds.), Proceedings of the 14th European Biomass Conference, Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 17–21 October. Paris, France. ETA-Renewable Energies and WIP Renewable Energies (Pub.), pp. 22–27 - **2005.**
- **Ogunniyi D.S.** Castor oil: A vital industrial raw material. **2005.**
- **Fernández, J., Hidalgo, M., Del Monte, J.P., Curt, M.D.,** *Cynara cardunculus* L. as a perennial crop for non irrigated lands: yields and applications. In: Bianco, V.V., Calabrese, N., Rubatzky, V. (Eds.), Proceedings of the 4th International Congress on Artichoke, 17–21 October 2000, Valenzano, Italy. Acta Hort. 681, 109–113 - **2005.**
- **Iacomelli Aldo** – “Oltre Kyoto”, Franco Muzzio Editore - **2005**
- **Portis E. et al.** Genetic structure of island populations of wild cardoon [*Cynara cardunculus* L. var. *sylvestris* (Lamk) Fiori] detected by AFLPs and SSRs. **2005.**
- **Curt, M.D., Sánchez, G., Fernández, J.,** *Cynara cardunculus* a source of silymarin. In: Bianco, V.V., Calabrese, N., Rubatzky, V. (Eds.), Proceedings of the 4th International Congress on Artichoke, 17–21 October 2000, Valenzano, Italy. Acta Hort. 681, 461–467 - **2005.**
- **Dahl, J., Obernberger, I.,** “Evaluation of the combustion characteristics of four perennial energy crops (*Arundo donax*, *Cynara cardunculus*, *Miscanthus x giganteus* and *Panicum virgatum*).” In: Van Swaaij, W.P.M., Fjällström, T., Helm, P., Grassi, A. (Eds.), Proceedings of the Second World Biomass Conference, Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10–14 May, vol. II. Rome, Italy. ETA-Florence and WIP-Munich (Pub.), pp. 1265–1270 - **2004.**
- **Gonzales J. et al.** Combustion optimisation of biomass residue pellets for domestic heating with a mural boiler. **2004.**

- **Fernández González, J. y García Muller, M.** “Sistema de separación fraccionada de la biomasa integral de cardo, *Cynara cardunculus*”. Instituto Madrileño de Investigación Agraria. Universidad Politécnica de Madrid. 11 pp - **2004.**
- **Fernández, J., Curt, M.D.,** Low cost biodiesel from *Cynara*. In: Van Swaaij, W.P.M., Fjällström, T., Helm, P., Grassi, A. (Eds.), Proceedings of the Second World Biomass Conference, Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10–14 May, vol. I. Rome, Italy. ETA-Florence and WIP-Munich (Pub.), pp. 109–112 - **2004.**
- **Barajas C.L.** Biodiesel from castor oil: a promising fuel for cold weather. **2004.**
- **Yuldasheva N.K. et al.** LIPIDS OF *Ricinus communis* SEEDS. Chemistry of Natural Compounds, Vol. 38, No. 5, 2002. **2002.**
- **Encinar, J.M., González, J.F., Rodríguez, J.J., Tejedor, A.,** Biodiesel fuels from vegetable oils: transesterification of *Cynara cardunculus* L. oils with ethanol. Energy Fuel 16 (2), 443–450 - **2002b.**
- **Curt, M.D., Sánchez, G., Fernández, J.,** The potential of *Cynara cardunculus* L. for seed oil production in a perennial cultivation system. Biomass Bioenergy 23 (1), 33–46 - **2002.**
- **Canakci M, Van Gerpen J.** - Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids. - **2001**
- **Piscioneri, H., Sharma, N., Baviello, G., Orlandini, S.,** Promising industrial energy crop, *Cynara cardunculus*: a potential source for biomass production and alternative energy. Energy Convers. Manage. 41, 1091–1105 - **2000.**
- **Gominho, J., Fernández, J., Pereira, H.,** *Cynara cardunculus* L. A new fiber crop for pulp and paper production. Ind. Crops Prod. 13, 1–10 - **2000.**
- **European Commission.** Green Paper: Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply. ISBN 92-894-0319-5. Luxembourg. **2000.**
- **Antunes, A., Amaral, E., Belgacem, M.N.,** - *Cynara cardunculus* L.: chemical composition and soda–anthraquinone cooking. Ind. Crop Prod. 12 (2), 85–91 - **2000.**
- **Cajarville, C., González, J., Repetto, J.L., Alvir, M.R., Rodríguez, C.A.,** Nutritional evaluation of cardoon (*Cynara cardunculus*) seed for ruminants. Anim. Feed Sci. Technol. 87, 203–214 - **2000.**

- **Raccuia, S.A., Patanè, C., Melilli, M.G.,** Multiple utilisation of the plant in *Cynara cardunculus* L. var. *sylvestris* Lam.: inulyn yield. Fourth International Congress on Artichoke, Valenzano, Bari, 17-21, Acta Horticulturae, in press - October **2000**.
- **Srivastava A, Prasad R.** - Triglycerides-based diesel fuels. Renewable and Sustainable Energy Reviews. – **2000**.
- **Verýssimo, L., Fernàndez, J.,** Water use efficiency of the cardoon (*Cynara cardunculus* L.) crop. In: Kyritsis, S., Beenackers, A.A.C.M., Helm, P., Grassi, A., Chiaramonti, D. (Eds.), Proceedings of the 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, 5–9 June. Seville, Spain. James and James Science Publishers Ltd., London, pp. 1870–1872 - **2000**.
- **Grigoriou & Ntalos.** The potential use of *Ricinus communis* L. (Castor) stalks as a lignocellulosic resource for particleboards. **2000**.
- **Foti, S., Mauromicale, G., Raccuia, S.A., Fallico, B., Fanella, F., Maccarone E.,** Possible alternative utilization of *Cynara* spp. I. Biomass, grain yield and chemical composition of grain.” Ind. Crops Prod. 10, 219–228 - **1999**.
- **Koutroubas S.D.** Adaptation and yielding ability of castor plant (*Ricinus communis* L.) genotypes in a Mediterranean climate. European Journal of Agronomy 11 (1999) 227–237. **1999**.
- **Verýssimo, L.,** Effect of soil water availability on the yield of cardoon (*Cynara cardunculus* L.). Ph.D. Thesis. Universidad Polit´ecnica de Madrid, Department of Plant Production: Botany and Plant Protection, 197 pp - **1999**.
- **Jodice R.,** Nuove possibilit`a di produzione ed impiego di energia da fonti rinnovabili. Il caso delle biomasse combustibili prodotte dal comparto agrario- **1999**.
- **Maccarone, E., Fallico, B., Fanella, F., Mauromicale, G., Raccuia, S.A., Foti, S.,** Possible alternative utilization of *Cynara* spp. II. Chemical characterization of their grain oil. Ind. Crops Prod. 10, 229–237 - **1999**.
- **Maccarone, E., Fallico, B., Fanella, F., Mauromicale, G., Raccuia, S.A., Foti, S.,** Possible alternative utilization of *Cynara* spp. II. Chemical characterization of their grain oil. Ind. Crops Prod. 10, 229–237 - **1999**.

- **Encinar, J.M., González, J.F., Sabio, E., Ramiro, M.J.**, Preparation and properties of biodiesel from *Cynara cardunculus* L. oil. Ind. Eng. Chem. Res. 38 (8), 2927–2931 - **1999**.
- **Cajarville, C., González, J., Repetto, J.L., Rodríguez, C.A., Martínez, A.**, Nutritive value of green forage and crop by-products of *Cynara cardunculus*. Ann. Zootech. 48, 353–365 - **1999**.
- **Foti, S., Mauromicale, G., Raccuia, S.A., Fallico, B., Fanella, F., Maccarone E.**, Possible alternative utilization of *Cynara* spp.I. Biomass, grain yield and chemical composition of grain. Ind. Crops Prod. 10, 219–228 - **1999**.
- **Gebbart, R.**, Inhibition of cholesterol biosynthesis in primary cultured rat hepatocytes by artichoke (*Cynara scolymus* L.) extracts. J. Pharmacol. Exp. Ther. 286, 3 - **1998**.
- **Fernández, J.**, Cardoon. In: El Bassam, N. (Ed.), Energy Plant Species. James & James Sci. Pub. Ltd., London, pp. 113–117. Fernández, J., 1998b. *Cynara cardunculus* network. Final Report AIR CTT 921089. Commission of the European Communities, Brussels, 248 pp - **1998a**.
- **Gebbart, R.**, Anti oxidative and protective properties of extract from leaves of the artichoke (*Cynara scolymus* L.) against hydroperoxide- induced oxidative stress in cultured rat hepatocytes. Toxicol. Appl. Pharmacol. 144, 279–286 - **1997**.
- **Amaral, S.** - Producción Agropecuaria 1810-1850. En: Academia Nacional de la Historia Argentina. Buenos Aires. Planeta. V 6 , 41-64 - **1997**.
- **Fernández, J., Márquez, L., Venturi P.**, Technical and economic aspects of *Cynara cardunculus* L.: an energy crop for the Mediterranean region. Medit, CIHEAM-IAM 1/97, 48–51 - **1997**.
- **European Commission.** Energy for the Future: Renewable Sources of Energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan. COM (97) 599. Luxembourg. **1997**.
- **United Nations.** Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Kyoto. **1997**.
- **Fernández, J., Márquez, L.**, Energetisches Potential von *Cynara cardunculus* L. aus landwirtschaftlichem Anbau in Trockengebieten des Mittelmeerraumes. Der Tropenlandwirt (J. Agric. Trop. Subtrop.) 53, 121–129 - **1995**.

- **Raccuia, S.A.**, Caratteristiche di qualità del capolino e della biomassa di colture del genere *Cynara* in rapporto alle possibili utilizzazioni. Thesis Doctoral. Università degli studi di Catania, Italy - **1994**.
- **Dalianis, C., Christou, M., Sooter, C., Kyritsis, S., Zafiris, C., Sanmiotakis, G.**, “Adaptation and biomass productivity of *Cynara cardunculus* in abandoned, marginal fields.” In: Hall, D.O., Grassi, G., Scheer, H. (Eds.), Proceedings of the 7th European Conference on Biomass for Energy and Industry, 5–9 October 1992. Florence, Italy. Ponte Press, Bochum, pp. 1235–1240 - **1994**.
- **Fernández, J., Manzanares, P.**, *Cynara cardunculus* L., a new crop for oil, paper pulp and energy. In: **Grassi, G., Gosse, G., Dos Santos, G. (Eds.)**, Proceedings of the 5th International Conference on Biomass for Energy and Industry, 9–13 October 1989. Lisbon, Portugal. Elsevier Science Publishers Ltd., Barking, pp. 1184–1189 - **1990a**.
- **Fernández, J., Manzanares, P.**, Lignocellulosic biomass production from annual energy crops. Report CCE EUR 12631. EN-C.Fernández, J., Marquez, L., 1995. Energetisches Potential von *Cynara cardunculus* L. aus landwirtschaftlichem Anbau in Trockengebieten des Mittelmeerraumes. Der Tropenlandwirt (J. Agric. Trop. Subtrop.) 53, 121–129 - **1990b**.
- **Marzocca, A.**, Manual de malezas. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina – **1976**.