

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLE PRODUZIONI AGRARIE E

ALIMENTARI

(D.I.S.P.A.)

Sez. Scienze Agronomiche

Dottorato di Ricerca in:

SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE TROPICALI E SUBTROPICALI

XXV ciclo: 2010/2012

MICHELE MINARDO

**“Valutazione Agronomica di Specie Oleaginose Annuali ai fini
Produttivi e Qualitativi per la Produzione di Biodiesel in
Ambiente Mediterraneo”**

TESI DI DOTTORATO

Coordinatore

Chiar.mo Prof. S. L. Cosentino

Tutor:

Prof. Orazio Sortino

Dott.ssa Cristina Patanè

ANNO ACCADEMICO 2011 – 2012

INDICE

PREMESSA

PARTE MONOGRAFICA

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUZIONE | 1 |
| 2. LA SITUAZIONE ENERGETICA MONDIALE | 2 |
| 3. LA SITUAZIONE ENERGETICA EUROPEA | 4 |
| 3.1 La Direttiva FER del 2009 | 5 |
| 4. LA SITUAZIONE ENERGETICA AL LIVELLO LOCALE | 8 |
| 5. LA SITUAZIONE ENERGETICA ITALIANA | 10 |
| 6. SCENARIO ENERGETICO DA OGGI AL 2020 | 14 |
| 7. LE AGROENERGIE | 16 |
| 7.1 Definizione e classificazione delle biomasse | 17 |
| 7.2 Classificazione delle colture da biomassa | 19 |
| 7.3 Il comparto dei biocarburanti | 20 |
| 8. II BIODIESEL | 24 |
| 8.1 La produzione mondiale di biodiesel | 24 |
| 8.2 La produzione europea di biodiesel | 24 |
| 8.3 La produzione di biodiesel a livello nazionale | 30 |
| 8.4 Un nuovo elemento normativo: il criterio di sostenibilità per biocombustibili e biocarburanti. | 30 |
| 8.5 Verso una maggiore sostenibilità dei biocarburanti | 32 |
| 8.6 Il biodiesel e l'ambiente | 33 |
| 8.7 Storia del biodiesel | 34 |
| 8.8 Olio di partenza per la produzione di biodiesel | 35 |
| 8.9 Processo di estrazione chimica dell'olio | 35 |
| 8.10 Processo di estrazione meccanica dell'olio | 41 |
| 8.11 Il processo di trans esterificazione | 44 |
| 8.12 Sottoprodotti dell'industria del biodiesel | 46 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 2.1.3 | Valutazione produttiva e confronto varietale di <i>Linum usitatissimum</i> | 5 |
| 2.2 | Analisi statistica | 6 |
| 3. | RISULTATI E DISCUSSIONI | 7 |
| 3.1 | Andamento termo - pluviometrico | 7 |
| 3.2 | Valutazione produttiva e confronto varietale di <i>Brassica napus</i> var. <i>Oleifera</i> e <i>Brassica carinata</i> | 9 |
| 3.2.1 | Durata del ciclo biologico | 9 |
| 3.2.2 | Caratteri morfo-biometrici | 11 |
| 3.2.3 | Caratteri produttivi | 11 |
| 3.3 | Valutazione produttiva e confronto varietale di <i>Camelina sativa</i> | 12 |
| 3.3.1 | Durata del ciclo biologico | 12 |
| 3.3.2 | Caratteri morfo-biometrici | 14 |
| 3.3.3 | Caratteri produttivi | 14 |
| 3.4 | Valutazione produttiva e confronto varietale di <i>Linum usitatissimum</i> | 15 |
| 3.4.1 | Durata del ciclo biologico | 15 |
| 3.4.2 | Caratteri morfo-biometrici | 17 |
| 3.4.3 | Caratteri produttivi | 17 |
| 4. | LINEA 2: Prova comparativa delle seguenti specie (<i>Brassica napus</i> var. <i>oleifera</i>, <i>Brassica carinata</i>, <i>Camelina sativa</i>, <i>Linum usitatissimum</i> e <i>Carthamus tinctorius</i>) | 19 |
| 4.1 | Materiali e metodi | 19 |
| 4.2 | Analisi di laboratorio | 21 |
| 4.3 | Analisi statistica | 22 |
| 5. | RISULTATI E DISCUSSIONI | 23 |
| 5.1 | Andamento termo – pluviometrico | 23 |
| 5.2 | Ciclo biologico delle specie oleaginose | 25 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 5.3 | Andamento della lunghezza radice | 27 |
| 5.4 | Andamento dell'altezza delle piante | 29 |
| 5.5 | Andamento della sostanza secca | 31 |
| 5.6 | Confronto dei dati biometrici | 34 |
| 5.7 | Confronto delle componenti della resa e Harvest Index | 35 |
| 5.8 | Confronto delle rese in granella, contenuto in olio e resa in olio | 36 |
| 5.9 | Confronto dell'andamento del CGR | 37 |
| 6. | QUALITÀ E COMPOSIZIONE DELL'OLIO DELLE SPECIE | |
| | OGGETTO DI STUDIO | 39 |
| 6.1 | Composizione dell'olio di colza | 40 |
| 6.2 | Composizione dell'olio di <i>Brassica carinata</i> | 40 |
| 6.3 | Composizione dell'olio di <i>Camelina sativa</i> | 41 |
| 6.4 | Composizione dell'olio di lino | 41 |
| 6.5 | Composizione dell'olio di cartamo | 41 |
| 6.6 | Confronto della composizione dell'olio nelle specie studiate | 42 |
| 7. | CONCLUSIONI | 47 |

BIBLIOGRAFIA

GALLERIA FOTOGRAFICA

PREMESSA

Il presente elaborato fa riferimento al lavoro di ricerca svolto nell'ambito delle attività collegate alla frequenza del corso di Dottorato di Ricerca in "Scienze e Tecnologie Agrarie Tropicali e Subtropicali" XXV ciclo, Dipartimento di Scienze della Produzioni Agrarie e Alimentari dell'Università degli Studi di Catania. L'oggetto della ricerca, sottoposto ad approvazione da parte del Collegio dei Docenti coordinato dal Prof. Salvatore Luciano Cosentino, ha riguardato il progetto di ricerca finanziato del (MIPAAF), dal titolo: "Valutazione di specie oleaginose ad alto erucico in ambiente mediterraneo per impieghi nel settore energetico in alternativa agli oli minerali ad elevato impatto ambientale".

Scopo del lavoro di dottorato è stato quello di studiare la valutazione agronomica di alcune specie annuali oleaginose (colza, *Brassica carinata*, *Camelina sativa*, lino e cartamo) per la produzione di biodiesel per valutarne l'adattamento al clima locale, in vista di una possibile introduzione negli ordinamenti colturali siciliani.

PARTE MONOGRAFICA

1. INTRODUZIONE

Le prospettive di sviluppo delle coltivazioni per scopi non alimentari, ovvero per la produzione di bioenergia, sono molto attuali e di grossa importanza, visto il continuo aumento del prezzo del petrolio. Diversi fattori concorrono alla crescita del ruolo delle fonti rinnovabili nell'approvvigionamento energetico europeo e mondiale. Negli ultimi anni la programmazione per l'approvvigionamento energetico ha evidenziato tendenze contraddittorie. Nonostante il ripetuto palesarsi degli effetti inquinanti di origine fossile e l'attuale prospettata esauribilità dei combustibili tradizionali, il modello di sviluppo predominante si caratterizza ancora per l'uso indiscriminato di queste risorse, instaurando rapporti di dipendenza determinati dalla "inevitabile importazione di energia", necessaria per soddisfare il consumo interno della maggior parte dei paesi industrializzati. Solo nei tempi recenti si è assistito a importanti cambiamenti nelle politiche nazionali e internazionali, che hanno accolto la necessità di diffondere e ottimizzare l'uso di fonti rinnovabili, quale fonte inesauribile del nostro pianeta, principalmente attraverso un più razionale utilizzo delle risorse locali, dal idraulico all'eolico, dalla biomassa al termico o al fotovoltaico. Tali risorse, prelevate in tempi adeguati, costanti e ripetuti, acquistano, se prodotte con andamento costante, un ulteriore vantaggio, in termini di inesauribilità, data la capacità di "rinnovabilità" dei giacimenti, identificati a partire dalla fonte (idraulico, eolico, biomassa, termico e fotovoltaico). Purtroppo per queste fonti di energia il ritmo di trasformazione non si presenta sempre in equilibrio, per cui si rende necessario progettare, anche in rapporto ai siti di produzione energetica ed a quelli di utilizzazione effettiva, un sistema integrato di approvvigionamento di risorse energetiche, fra cui vanno incluse le agro energie e fra queste le colture oleaginose. Le colture energetiche potrebbero giocare un ruolo strategico di particolare rilievo, anche alla luce del fatto che rappresentano una possibile alternativa alle produzioni agricole alimentari, per le quali sono prevedibili, a breve, situazioni assai complesse sul piano della competitività economica, soprattutto a causa dell'allargamento dei mercati e di una prevedibile minore protezione delle produzioni comunitarie. Considerazioni, queste, che naturalmente non possono prescindere dalla necessità di garantire, nel lungo periodo, uno sviluppo compatibile anche sul piano ambientale. Da questo punto di vista, le colture energetiche rappresentano una valida opportunità, soprattutto se inserite in una gestione ottimizzata delle risorse.

2. LA SITUAZIONE ENERGETICA MONDIALE

Di tutta l'energia prodotta nel mondo, il 36% proviene dal petrolio, il 24% dal carbone, il 20% dal gas naturale, l'11% dalle biomasse, il 2% dall'idroelettrico, il 7% dal nucleare, lo 0,6% dal geotermico, lo 0,35% dal solare e lo 0,05% dall'eolico (**fig. 1**).

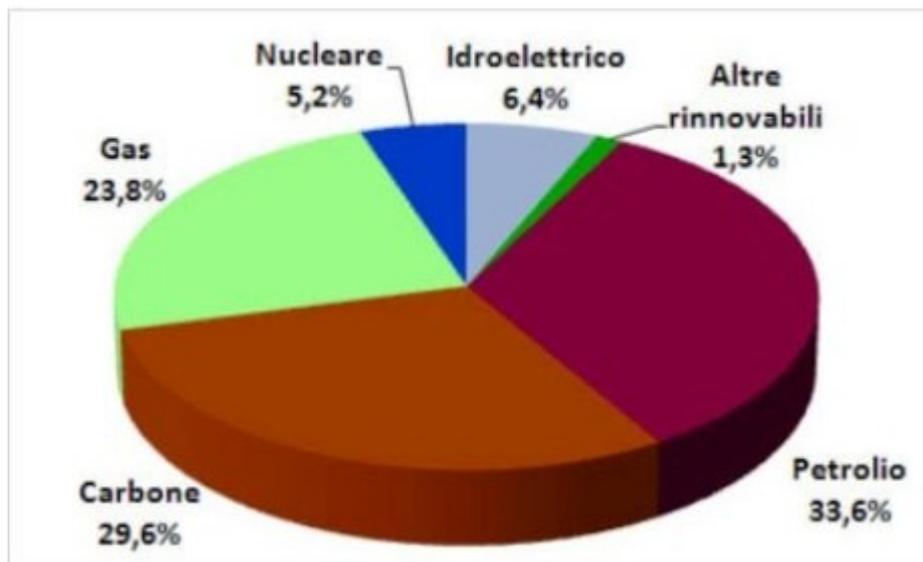


Fig. 1 - Consumi percentuali delle fonti primarie di energie nel mondo (Fonte: BP – Statistical review of world energy - giugno 2011)

L'Unione Europea importa il 50% del proprio fabbisogno energetico e più del 75% di petrolio grezzo, con una domanda in aumento pari all'1,9% annuo alla quale si potrà far fronte, in mancanza di fonti alternative, solo a costo di ulteriori rischi ambientali.

Per quanto riguarda l'UE, il mercato ammonta a circa 1.370 Mtep (milioni di tonnellate equivalenti di petrolio) dei quali il 42% derivanti da petrolio e la rimanente parte fornita dal gas naturale, dai combustibili solidi e da altre fonti. Il consumo medio di petrolio da parte dei Paesi UE si aggira intorno a 3,7 t/anno.

Il crescente utilizzo dei combustibili fossili ha contribuito e contribuisce in maniera sempre più evidente e preoccupante all'accentuazione dell'effetto serra determinato dall'aumento dell'anidride carbonica nell'atmosfera.

Secondo i dati forniti dal sesto Annuario Apat (Agenzia per la protezione dell'ambiente e dei servizi tecnici) 2007, riguardante i dati ambientali in Italia risulta evidente che tra il 1995 ed il 2005 le emissioni di CO₂ sono aumentate del 12,1%. Tale valore

rappresenta l'1,74% delle emissioni globali e rende estremamente difficile il raggiungimento degli obiettivi previsti dal Protocollo di Kyoto entro il 2012 (-6,5% dei livelli del 1990).

Le cause dell'incremento della produzione di anidride carbonica pari a 62,70 milioni di tonnellate sono da attribuirsi alle emissioni provenienti dai rifiuti (+1,41 Mt), dai processi produttivi (+4,25 Mt), dal settore residenziale e dei servizi (+16,91 Mt), ma soprattutto dalle industrie energetiche (+23,24 Mt) e dai trasporti (+27,50 Mt). E' altresì vero però che nel periodo compreso fra il 1990 ed il 2005, si è verificato un abbassamento del livello di CO₂ nell'industria manifatturiera (-6,96 Mt), dell'agricoltura (-3,36 Mt) e dall'uso dei solventi (-0,30 Mt).

La causa del peggioramento della qualità dell'aria è imputabile principalmente ai trasporti che, secondo l'Apat, sono responsabili del 43% delle concentrazioni del particolato (PM10) e del 65% di ossidi di azoto, provenienti rispettivamente per il 27% e per il 45% dal trasporto stradale. Tali valori superano addirittura la soglia del 70% nei grandi agglomerati urbani.

Risulta quindi evidente che l'attuale situazione richiede interventi rapidi da parte delle istituzioni che tenga conto della necessità di dover rivolgere adeguate attenzioni verso l'attuazione di politiche ambientali che favoriscano un utilizzo crescente delle fonti rinnovabili.

3. LA SITUAZIONE ENERGETICA EUROPEA

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.

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 (**fig. 2**), 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), e 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%).

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 (Euroserver Report, 2009).

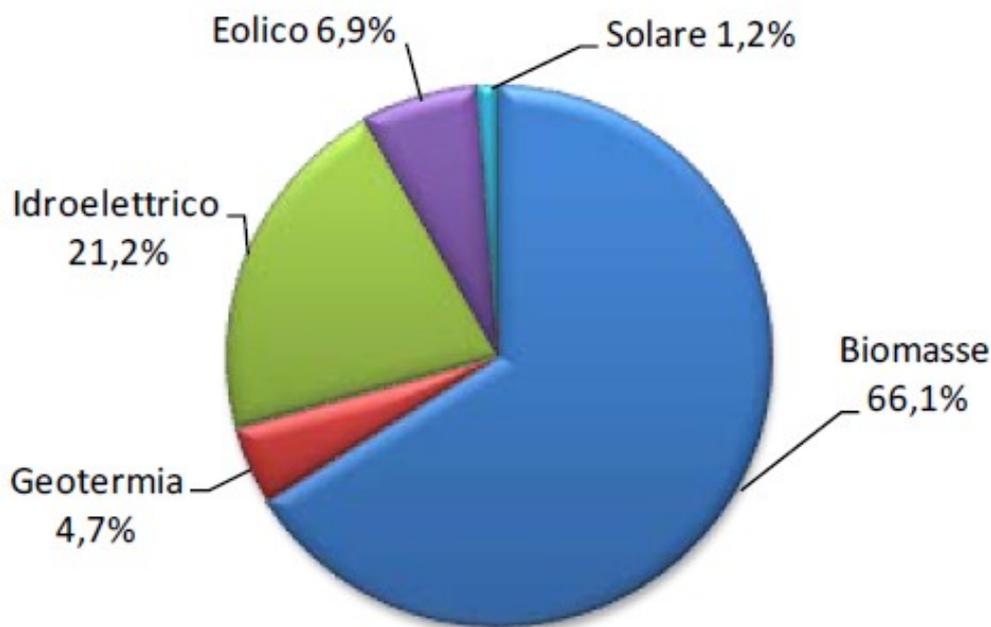


Fig. 2 - Consumi di energia primaria da fonti rinnovabili in UE nel 2008. (Fonte: EurObserv'ER 2010)

3.1. La Direttiva FER del 2009

I punti maggiormente innovativi introdotti dalla Direttiva sulle rinnovabili 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.

3.1.1. 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 d'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.

3.1.2. 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.

4. LA SITUAZIONE ENERGETICA ITALIANA

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 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) (**tab.1**).

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).

Tabella 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.

5. LA SITUAZIONE ENERGETICA AL 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 2 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.

Tabella 2 – Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili. Anni 2000-2008 (fonte: elaborazione REF)

| | 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 |

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%).

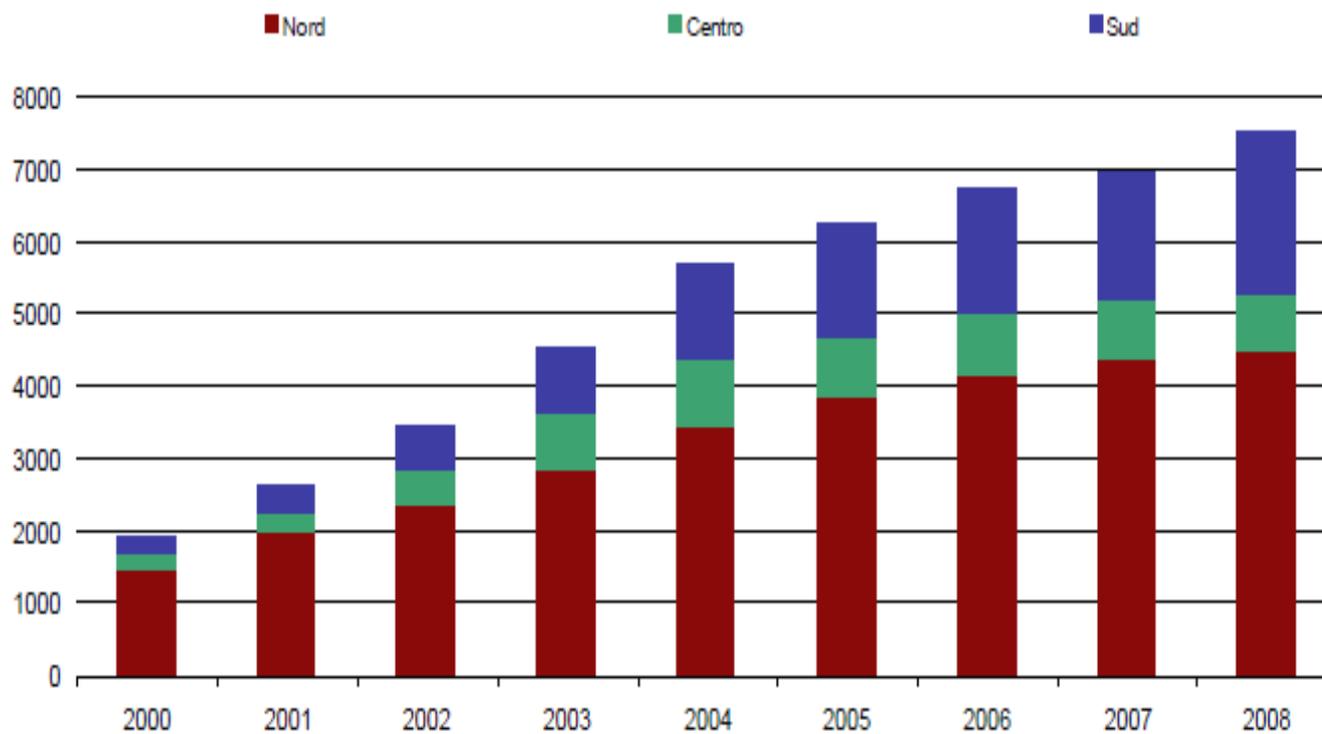
Sempre significativi gli incrementi registrati in Campania (+79%) ed Emilia Romagna (+65%). Valori di crescita inferiori al 27% nelle altre regioni, con valori negativi in tre regioni in cui ha prevalso il calo dell'idroelettrico. A livello nazionale la quota di Consumo Interno Lordo di energia elettrica 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%).

La produzione di energia elettrica tramite impianti alimentati da biomasse è quasi quadruplicata dal 2000 al 2008, come è possibile vedere dalla figura 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.

Fig. 3 – Andamento della produzione elettrica da biomasse nelle regioni. Anni 2000-2008 (GWh)



6. SCENARIO ENERGETICO DA OGGI AL 2020

Nelle politiche energetiche e nella lotta al cambiamento climatico, l'Italia tende ad allontanarsi dal rispetto degli accordi sanciti dal Protocollo di Kyoto, peggiora l'efficienza energetica, aumentano i consumi dei trasporti, le fonti rinnovabili sono in crescita, ma restano sotto la media europea.

Il rapporto *Ambiente Italia 2008* di Legambiente delinea lo scenario 2020: le politiche energetiche attuate in Italia dimostrano che anche da noi è possibile realizzare gli obiettivi fissati dall'UE al 2020 per il potenziamento dell'efficienza energetica, la diffusione delle fonti rinnovabili e la riduzione dell'emissione dei gas serra.

Gli obiettivi della strategia europea "20-20-20" (-20% di riduzione di CO₂, aumento del 20% dell'efficienza energetica, ottenimento del 20% di energia da fonti rinnovabili) sono raggiungibili già con le tecnologie a disposizione. La sfida è quella di indirizzare radicalmente l'Italia verso una progressiva riduzione circa l'emissione di anidride carbonica entro i prossimi anni.

Le maggiori opportunità sono legate, da un lato all'efficienza energetica nei trasporti, nell'industria e nell'edilizia e, dall'altro, allo sviluppo delle energie rinnovabili, in particolare solare termico, eolico e biomasse.

Legambiente traccia un quadro dove gli obiettivi di efficienza energetica al 2020 prevedono una riduzione del consumo interno lordo pari a circa 45 milioni di Milioni di tonnellate equivalenti di petrolio (Mtep) rispetto ai consumi attesi in quell'anno e pari ad una riduzione del 5% rispetto alla situazione attuale. Uno scenario che prevede di arrivare nel 2020 a una produzione da fonti rinnovabili, abbinata ad una sostituzione del metano di alcuni consumi petroliferi e ad una riduzione delle emissioni da centrali a carbone, potrebbe consentire di ridurre del 20% rispetto al 1990 le emissioni di anidride carbonica, superando gli obiettivi assegnati all'Italia dall'UE.

La strategia energetica delineata dall'Unione Europea, offre ai Paesi della Comunità una tripla opportunità al fine di contrastare il protrarsi dei cambiamenti climatici:

- sviluppare nuove attività industriali e di servizi ad alto contenuto tecnologico;
- ridurre la dipendenza energetica da Paesi caratterizzati da instabilità politica;
- migliorare nel contempo la qualità ambientale e della vita, riducendo altri fattori di inquinamento e di degrado.

A diversi anni dalla ratifica del protocollo di Kyoto, il nostro Paese deve ancora intraprendere un drastico cambio di rotta ed affrettarsi per recuperare il forte ritardo che lo vede tra gli ultimi Paesi europei nella corsa alla riduzione delle emissioni.

E' necessario fare uno sforzo ancora maggiore considerato che, rispetto al 1990, le nostre emissioni sono aumentate del 9% anziché diminuire del 6,5% come imposto dal Protocollo di Kyoto.

7. 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.

7.1. 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 mercantili 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:

- *materiale vegetale* prodotto da coltivazioni dedicate;
- *materiale vegetale* prodotto dal trattamento esclusivamente meccanico di coltivazioni agricole non dedicate;
- *materiale vegetale* prodotto da interventi selvicolturali, da manutenzione forestali e da potatura;

- *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;
- *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 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.

7.2. 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 richiesti altri 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.

7.3. 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 e/o animale;
- **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;
- **biodimetilere**, 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 dal 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 da 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 biocarburanti di prima generazione. Sono biocarburanti di seconda generazione quelli ottenuti da colture energetiche lignocellulosiche (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 tende 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.

8. II BIODIESEL

8.1. 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.

8.2. La produzione europea di biodiesel

La produzione europea di biodiesel è stata nel 2010 di 9.570 Mtep con un incremento rispetto al 2009, di 0,524 Mtep in cui la produzione è stata di 9.046 Mtep. L'incremento in termini percentuale è stata del 5,8%. Nell'ambito europeo Germania, Francia e Italia sono i maggiori produttori di biodiesel (Germania 2,861 Mtoe, Francia 1,91 e Italia 0,706) (Euroobserver 2011). (**fig. 4 e tab. 3**)

Con 13.903 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio (Mtep), il consumo di biocarburanti nel 2010 ha rappresentato una quota del 4,5% dei consumi totali di carburanti per il trasporto nell'Unione Europea.

Secondo EurObserv'ER, nel 2011(**tab. 4 e 5**) vi è stato un consumo di 13,903 Mtep nel 2010, 1,7 Mtep in più rispetto al 2009.

Fig. 4 Produzione europea di biodiesel nel 2010 (Fonte: EurObserv'ER 2011)

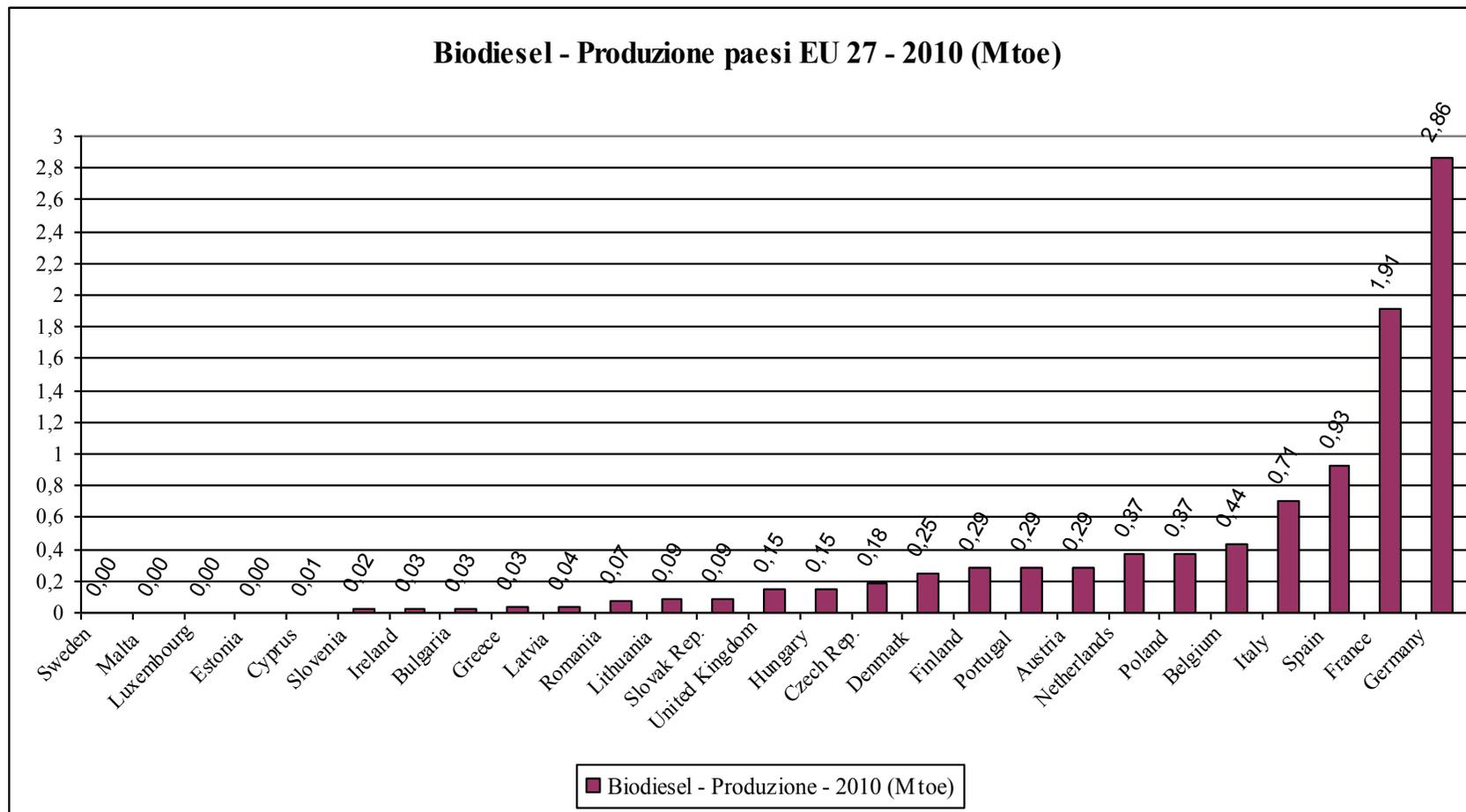


Tabella 3 – Produzione di biodiesel in Unione Europea negli anni 2009 e 2010 (fonte: EBB 2011)

| Pays/Country | 2009 | 2010* |
|--------------------|--------------|--------------|
| Germany | 2 539 | 2 861 |
| France | 1 959 | 1 910 |
| Spain | 859 | 925 |
| Italy | 737 | 706 |
| Belgium | 416 | 435 |
| Poland | 332 | 370 |
| Netherlands | 323 | 368 |
| Austria | 310 | 289 |
| Portugal | 250 | 289 |
| Finland** | 220 | 288 |
| Denmark/Sweden | 233 | 246 |
| Czech Republic | 164 | 181 |
| Hungary | 133 | 149 |
| United Kingdom | 137 | 145 |
| Slovakia | 101 | 88 |
| Lithuania | 98 | 85 |
| Romania | 29 | 70 |
| Latvia | 44 | 43 |
| Greece | 77 | 33 |
| Bulgaria | 25 | 30 |
| Ireland** | 17 | 28 |
| Slovenia | 9 | 22 |
| Cyprus | 9 | 6 |
| Estonia | 24 | 3 |
| Malta | 1 | 0 |
| Luxembourg | 0 | 0 |
| Total EU 27 | 9 046 | 9 570 |

* Estimations. ** Figures for Finland and Ireland include hydro-diesel production.
 Sujet à une marge d'erreur de +/- 5 %/Subject to a 5% margin of error.
 Note : 1 tonne de biodiesel est équivalente à 0,8837 tep. 1 tonne of biodiesel is equivalent to 0.8837 toe.
 Source: EBB 2011.

Tabella 4 – Consumi di biodiesel nei paesi dell'Unione Europea nell' anno 2009.
(fonte: EBB 2011)

Biofuel consumption for transport in the European Union in 2009* (in toe)

| Pays/ Country | Bioéthanol/ Bioethanol | Biodiesel/ Biodiesel | Autres*/ Others* | Consommation totale/ Total consumption |
|--------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------|---|
| Germany | 581 686 | 2 224 349 | 88 373 | 2 894 407 |
| France | 410 404 | 2 041 063 | – | 2 451 468 |
| Italy | 118 014 | 1 051 639 | – | 1 169 653 |
| Spain | 152 347 | 907 951 | – | 1 060 298 |
| United Kingdom | 160 505 | 822 872 | – | 983 377 |
| Poland | 150 000 | 569 564 | – | 719 564 |
| Austria | 64 488 | 321 678 | 118 420 | 504 586 |
| Sweden | 198 183 | 159 962 | 35 254 | 393 399 |
| Netherlands | 137 360 | 135 072 | – | 372 433 |
| Belgium | 42 391 | 285 729 | – | 328 121 |
| Portugal | 0 | 225 051 | – | 225 051 |
| Romania | 53 274 | 131 328 | – | 184 601 |
| Czech Republic | 48 326 | 124 837 | – | 173 163 |
| Hungary | 46 971 | 121 499 | – | 168 471 |
| Slovakia | 39 983 | 122 838 | – | 162 821 |
| Finland | 75 451 | 57 442 | 4 | 132 898 |
| Ireland | 23 241 | 52 910 | 1 322 | 77 473 |
| Greece | 0 | 76 001 | – | 76 001 |
| Lithuania | 14 091 | 37 770 | – | 51 861 |
| Luxembourg | 740 | 39 915 | – | 40 656 |
| Slovenia | 1 855 | 27 993 | – | 29 852 |
| Cyprus | 0 | 15 024 | – | 15 024 |
| Denmark | 6 238 | 3 280 | – | 9 518 |
| Bulgaria | 0 | 5 803 | – | 5 803 |
| Latvia | 1 120 | 3 570 | – | 4 690 |
| Malta | 0 | 583 | – | 583 |
| Estonia | 0 | 0 | – | 0 |
| Total EU 27 | 2 326 675 | 9 665 725 | 243 373 | 12 235 772 |

* *Motors végeltálasz utóbbiasz puresz puszr (Néemagne, Néutriche, Néirlande, biogaz carburant puszr la Suedde et la Finlande. Pure vegetable oils used for Germany, Austria, Ireland, biogaz fuel for Sweden and Finland.*
Source: Eurobarometer 2011.

Tabella 5 – Consumi di biodiesel nei paesi dell’Unione Europea nell’ anno 2010.(fonte: EBB 2011)

Biofuel consumption for transport in the European Union in 2010* (in toe)

| Pays/ Country | Bioethanol/ Bioethanol | Biodiesel/ Biodiesel | Autres**/ Others** | Consommation totale/ Total consumption |
|--------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|---|
| Germany | 746 776 | 2 281 791 | 53 908 | 3 082 475 |
| France | 490 112 | 2 138 627 | - | 2 628 739 |
| Spain | 233 179 | 1 192 627 | - | 1 425 807 |
| Italy | 139 940 | 1 254 013 | - | 1 393 953 |
| United Kingdom | 316 495 | 823 660 | - | 1 140 155 |
| Poland | 187 184 | 710 713 | 3 180 | 901 078 |
| Austria | 63 457 | 354 858 | 119 175 | 537 489 |
| Sweden | 203 943 | 198 340 | 49 355 | 451 638 |
| Belgium | 52 119 | 305 917 | - | 358 036 |
| Portugal | 0 | 325 981 | - | 325 981 |
| Czech Republic | 61 262 | 172 494 | - | 233 756 |
| Romania | 45 142 | 185 583 | - | 230 725 |
| Netherlands | 134 136 | 94 555 | - | 228 695 |
| Slovakia | 45 142 | 132 560 | - | 177 701 |
| Hungary | 57 615 | 117 005 | - | 174 625 |
| Finland | 73 517 | 62 745 | 58 | 136 320 |
| Greece | 0 | 124 810 | - | 124 810 |
| Ireland | 27 324 | 79 245 | 2 036 | 108 610 |
| Lithuania | 10 412 | 34 731 | - | 45 144 |
| Slovenia | 2 904 | 41 724 | - | 44 628 |
| Luxembourg | 720 | 40 043 | - | 40 763 |
| Denmark | 34 179 | 820 | - | 34 999 |
| Bulgaria | 0 | 34 387 | - | 34 387 |
| Latvia | 8 419 | 18 698 | - | 27 117 |
| Cyprus | 0 | 14 944 | - | 14 944 |
| Malta | 0 | 884 | - | 884 |
| Estonia | 0 | 0 | - | 0 |
| Total EU 27 | 2 933 977 | 10 741 771 | 227 712 | 13 903 460 |

* Estimation. ** Huiles végétales utilisées pour l'Allemagne, l'Autriche, l'Irlande, biogaz carburant pour la Suède et la Finlande. Pure vegetable oils used for Germany, Austria, Ireland, biogas fuel for Sweden and Finland.
Source: Eurobarometer 2011.

L'Unione Europea dovrà raggiungere il 10% entro il 2020, secondo quanto fissato dall'attuale Direttiva 2009/28/CE.

I dati sul consumo mostrati nelle tabelle 4 e 5 sono stati raccolti da EurObserv'ER e forniti, principalmente, dagli enti statistici degli Stati membri dell'Unione Europea, ai 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 incluso 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.

8.3. 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. (tab.6)

Tabella 6 – Statistiche nazionali sul biodiesel. (fonte: ENEA 2011)

| ANNO 2010 | | | | |
|----------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|------------------------------|
| <i>Capacità produttiva</i> | <i>Produzione</i> | <i>Importazioni</i> | <i>Esportazioni</i> | <i>Immissioni in consumo</i> |
| Tonn | Tonn | Tonn | Tonn | Tonn |
| 2.145.916 | 731.844 | 639.684 | 107.956 | 1.321.139 |
| ANNO 2009 | | | | |
| <i>Capacità produttiva</i> | <i>Produzione</i> | <i>Importazioni</i> | <i>Esportazioni</i> | <i>Immissioni in consumo</i> |
| Tonn | Tonn | Tonn | Tonn | Tonn |
| 2.127.194 | 795.118 | 463.390 | 88.680 | 1.185.573 |

8.4. 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).

8.5. 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).

8.6. Storia del biodiesel

Il biodiesel (FAME: Fatty Acid Methyl Esters) è un estere metilico derivanti da fonti rinnovabili quali oli vegetali e grassi animali, analogo al gasolio dal petrolio (Gallo G., 2007).

Contrariamente a quanto si crede comunemente il biodiesel non è un olio vegetale puro e semplice, bensì il risultato di un processo chimico (trans esterificazioni con alcol etilico) a partire da questi o altri componenti biologici. Alla fine della reazione si ottiene una miscela di esteri metilici che non contengono Zolfo e composti aromatici, caratterizzata da una quantità elevata di ossigeno (Gallo G., 2007).

La trans esterificazione dell'olio vegetale era stata condotta già nel 1853. dagli scienziati E. Daffy e J. Patrick, molti anni prima che il primo motore Diesel diventasse funzionale. Il primo modello di Rudolf Diesel, un singolo cilindro in ferro di 3 metri con un volano alla base, funzionò per la prima volta ad Augusta(Germania) il 10 agosto 1893. In ricordo di questo evento, il 10 agosto è stata dichiarata Giornata Internazionale del Biodiesel. Diesel in seguito presentò il suo motore all'Esposizione Mondiale di Parigi del 1898, questo motore rimase come esempio della visione di Diesel, poiché era alimentato da olio di arachidi – un biocarburante, anche se non strettamente biodiesel, perché non era trans esterificato. Diesel credeva che l'utilizzo di un carburante ottenuto dalla biomassa fosse il vero futuro del suo motore. In un discorso del 1912 disse: *“L'uso di oli vegetali per il carburante dei motori può sembrare insignificante oggi, ma tali oli*

possono diventare, nel corso del tempo, importanti quanto i derivati dal petrolio e dal carbone dei nostri giorni”.

Nel corso degli anni '20, i produttori di motori diesel modificarono i loro propulsori per sfruttare la minore viscosità del carburante fossile (pretriodiesel) a scapito dell'olio vegetale, un carburante di biomassa.

Le industrie petrolifere furono in grado di far breccia nel mercato dei carburanti perché il loro prodotto era più economico da produrre rispetto alle alternative ricavate dalla biomassa. Il risultato fu, per molti anni, la quasi completa eliminazione dell'infrastruttura di produzione del carburante di biomassa. Solo recentemente le preoccupazioni circa l'impatto ambientale e una differenza di costo in diminuzione hanno reso i carburanti come il biodiesel, un'alternativa sempre più valida.

Negli anni '90, la Francia ha lanciato la produzione di biodiesel ottenuto dalla transesterificazione dell'olio di colza. Viene misciato in proporzione del 5% nel normale carburante diesel, e in proporzione del 30% nel carburante diesel di alcune flotte di mezzi (trasporto pubblico). Renault, Peugeot e altri produttori hanno certificato dei motori da autocarro per l'utilizzo con questo biodiesel parziale. Sono in corso esperimenti per impiegare un biodiesel al 50%.

8.7. Il biodiesel e l'ambiente

Dal punto di vista ambientale, il biodiesel presenta alcune differenze rispetto al gasolio: riduce le emissioni nette di ossido di carbonio (CO) del 50% circa e di anidride carbonica del 78.45% perché il carbonio delle sue emissioni è quello che era già presente nell'atmosfera e che la pianta ha fissato durante la sua crescita e non, come nel caso del gasolio, carbonio che era rimasto intrappolato in tempi remoti nella crosta terrestre.

Il biodiesel praticamente non contiene idrocarburi aromatici; le emissioni di idrocarburi aromatici polinucleati (benzopireni) sono ridotti fino ad un massimo del 17%. Il biodiesel non ha emissioni di diossido di zolfo (SO₂), dato che non contiene zolfo e riduce l'emissione di polveri sottili fino ad un massimo del 65%.

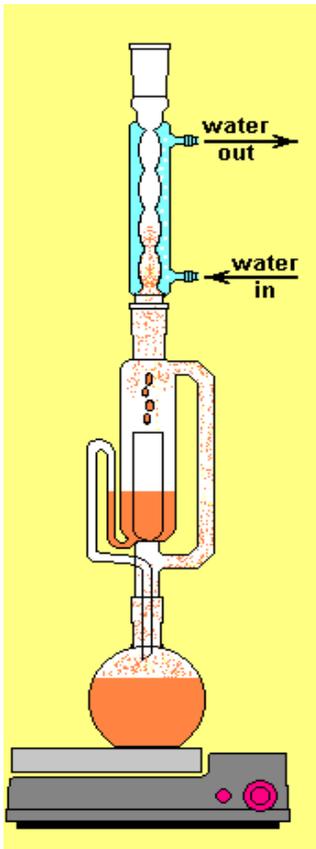
Il biodiesel produce più emissioni di ossidi di azoto del gasolio; inconveniente che può essere contenuto riprogettando i motori diesel e dotando gli scarichi di appositi catalizzatori.

8.8. Olio di partenza per la produzione di biodiesel

Una varietà di biolipidi può essere usata per produrre il biodiesel. Tra questi troviamo:

- **Oli vegetali vergini;**
- **Olio vegetale di scarto;**
- **Grassi animali;**

Molti sostenitori suggeriscono che l'olio di scarto sia la migliore fonte di olio per la produzione del biodiesel. Comunque, le forniture disponibili sono decisamente meno della quantità di carburante derivato dal petrolio che viene bruciato per i trasporti e il riscaldamento domestico. Anche se economicamente vantaggioso usare gli oli vegetali di scarto per produrre il biodiesel, è ancor più profittevole utilizzarli per convertirli in prodotti come il sapone. Perciò, la gran parte degli oli vegetali di scarto non viene gettato in discarica, ma usato per altri scopi. I grassi animali hanno limitazioni simili nella disponibilità, e non sarebbe efficiente allevare animale solo per il loro grasso. Per avere una fonte rinnovabile di olio, dovrebbero essere considerate coltivazioni apposite.



Le coltivazioni di alghe unicellulari per estrarre l'olio per biodiesel non è stata ancora intrapresa commercialmente, anche se ci sono in corso degli studi per stimarne l'efficacia. Ci sono filoni di ricerca per trovare coltivazioni con una rendita di olio più elevata, ma con le tecniche attuali vaste aree di terreno dovrebbero essere messe in produzione per ottenere abbastanza olio per sostituire l'attuale uso dei combustibili fossili, entrando in competizione con le coltivazioni alimentari o comunque esponendo ulteriori aree di terreno all'erosione e al rischio di desertificazione

8.9. Processo di estrazione chimica dell'olio

L'olio prodotto dalle diverse specie oleaginose viene estratto chimicamente tramite diversi metodi, i più diffusi sono:

- a. **Estrattore Soxhlet** Il dispositivo Soxhlet è usato per l'estrazione delle resine, di oli pesanti e di resinoidi, nessuno dei quali è particolarmente volatile e quindi sono scarsamente adatti all'estrazione con vapore. Queste sostanze

sono estratte in modo efficiente impregnandole in un solvente e utilizzando appunto un Soxhlet. Come si può vedere, il solvente è riscaldato nella caldaia in basso ed il vapore puro sale attraverso il tubo di bypass, unico percorso possibile, e raggiunge la parte superiore del contenitore di Soxhlet, che è chiuso in basso. Il vapore continua ad salire fino a che non viene a contatto del condensatore, allora il liquido gocciola giù nel ditale (sostituibile) che contiene il materiale dal quale desideriamo estrarre le sostanze. Questo ditale è poroso, in modo che trattiene non solo il prodotto solido, come semi o bacche, ma agisce anche da filtro evitando che il materiale blocchi il tubo del sifone. Quando il livello del liquido nel contenitore di Soxhlet raggiunge lo stesso livello della parte superiore del sifone, il liquido contenente i residui dissolti è travasato nuovamente dentro la caldaia. Il risultato finale è che il materiale nel ditale è sottoposto ad un ripetuto impregnamento nel solvente puro, e questo rende il processo molto più efficiente di un'impregnazione continua in un solvente che in cui la concentrazione dei residui estratti aumenta costantemente, giacché forma uno strato che ne impedisce progressivamente la liberazione della matrice.

b. La tecnica dell'estrazione con CO₂ supercritico

Attualmente, la tecnica dell'estrazione con CO₂ supercritico sostituisce industrialmente il comune solvente organico utilizzato per estrarre il componente attivo dei prodotti naturali. Il diagramma di stato del biossido di carbonio (v. avanti), visualizza le varie fasi (solido, liquido, vapore) in funzione della pressione e della temperatura. Il biossido di carbonio, alla temperatura di 37,7 °C e pressione di 68 atm, si trova nello stato supercritico, in cui non c'è distinzione fra fase vapore e fase liquida. Aumentando la temperatura a pressione costante (68 atm), il CO₂ rimane nello stato supercritico, e così anche aumentando la pressione a temperatura costante (37,7 °C): si individuano così due semirette - rispettivamente parallele all'asse delle temperature ed a quello delle pressioni - che definiscono la zona in cui si ha lo stato supercritico. In particolare, all'interno di questo stato, le varie combinazioni possibili di pressione e temperatura variano le proprietà solubilizzanti del biossido di carbonio.

Anche se i fluidi supercritici sono molto caldi e l'estrazione industriale deve considerare il costo della produzione e della relativa sicurezza e protezione dell'ambiente, il CO₂ è un fluido supercritico ideale per l'estrazione perché è poco costoso, si ottiene facilmente e la temperatura e la pressione critiche sono più basse ed il calore latente di evaporazione è anche più basso. I vantaggi del CO₂ supercritico sono i seguenti:

- la capacità estrattiva del CO₂ supercritico dipende dalla densità del liquido, dalle condizioni operative (pressione e temperatura) che possono cambiare le sue proprietà solventi e realizzare l'estrazione selettiva. Poiché la permeabilità è forte, il tempo di estrazione estrattivo può essere notevolmente più breve di quello richiesto dall'estrazione con il comune solvente;
- il CO₂ è inodore, non tossico, non danneggia lo strato di ozono e non contamina prodotti e ambiente. Conformandosi ai più elevati requisiti della moderna qualità produttiva industriale, il materiale residuo può essere riciclato senza alcun trattamento;
- la temperatura di lavoro è vicina alla temperatura ambiente, particolarmente adatta a materiale sensibile al calore, che verrebbe decomposto dal trattamento termico. L'elevata efficienza estrattiva e la qualità del prodotto ottenuto non possono essere ottenuti con altri metodi estrattivi;
- il CO₂ supercritico è poco costoso, non brucia e non esplosivo, rimuovendo il pericolo dall'estrazione con solventi organici. Così è sicuro;
- il ricupero del solvente è semplice e conveniente e può risparmiare risorse energetiche;
- riunisce l'estrazione e la rimozione in una tecnica unica, abbreviando notevolmente i tempi di lavorazione in modo semplice e conveniente.

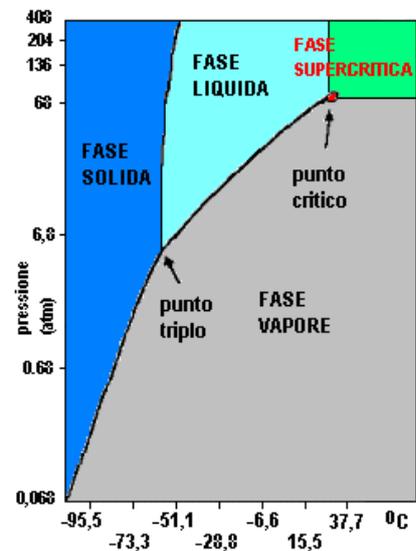
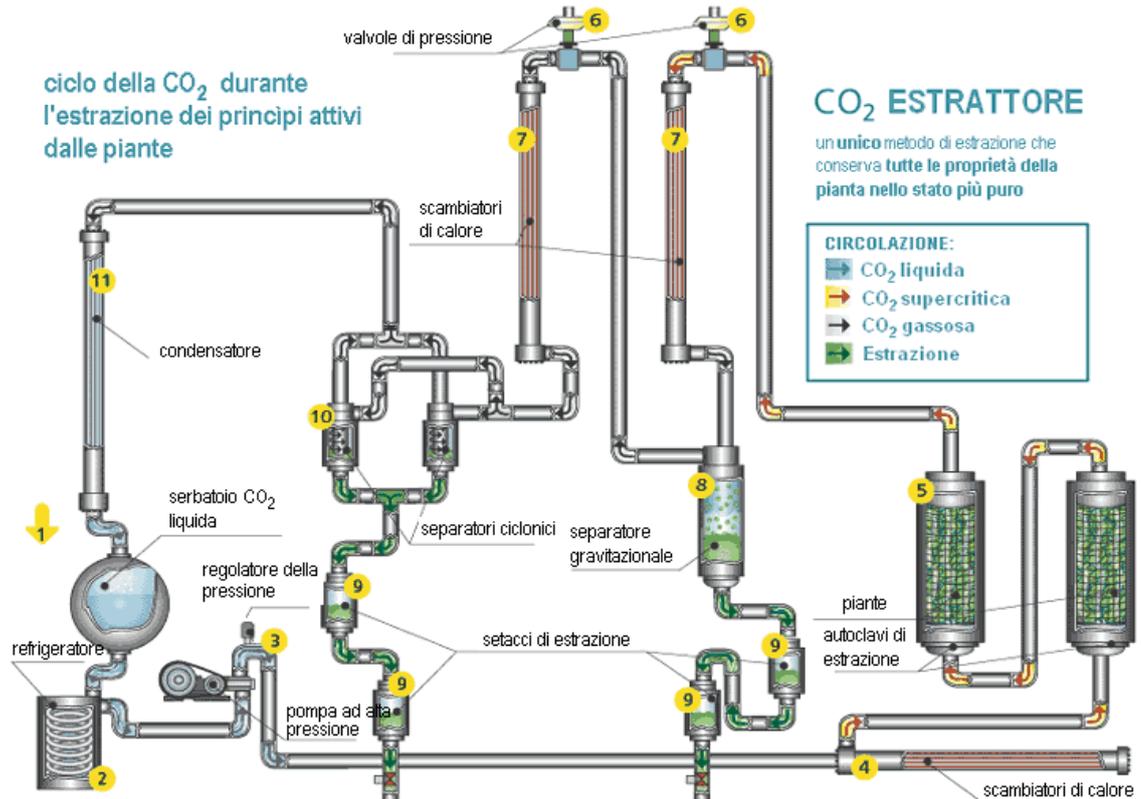


Diagramma di fase del biossido di carbonio.

A fronte di questi vantaggi, presenta un'unica limitazione rispetto ai solventi organici: una minor capacità solubilizzante per i composti solubili in acqua.

Schema semplificato del processo estrattivo di droghe vegetali mediante CO₂ supercritico.



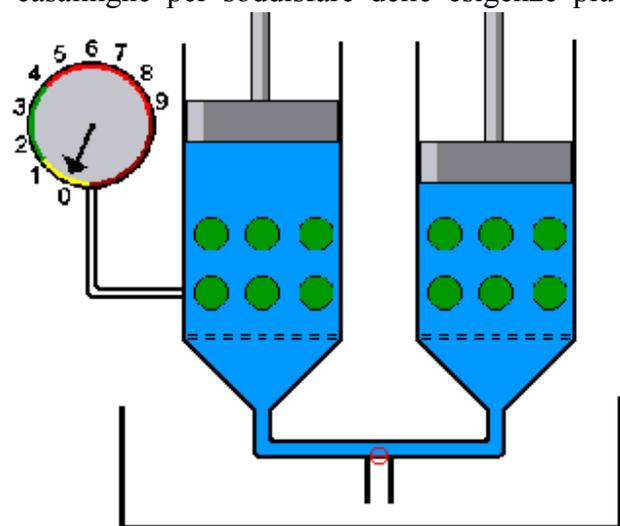
c. Naviglio Estrattore o Estrattore Rapido Solido-liquido Dinamico

L'estrattore rapido solido-liquido dinamico rappresenta una tecnologia innovativa di estrazione solido-liquido che permette di esaurire in tempi brevi, paragonato alle altre tecniche estrattive attualmente esistenti, le matrici solide contenenti sostanze estraibili in un solvente organico o inorganico ed in loro miscele. La novità dell'estrattore sta nel fatto che cambia la filosofia estrattiva poiché viene invertita la tendenza dei metodi attuali che mirano a riscaldare il sistema estrattivo per aumentare la resa ed accelerare i tempi di estrazione; il Naviglio Estrattore effettua l'estrazione a temperatura ambiente o sub-ambiente e sfrutta un aumento di pressione del liquido estraente sulla matrice solida

da estrarre. L'importanza di estrarre a basse temperature risiede nel fatto che in questo modo viene evitato lo stress termico a carico di sostanze termolabili. Perciò è possibile, ad esempio, riprodurre fedelmente la composizione delle sostanze contenute nelle piante officinali senza indurre trasformazioni a carico dei principi attivi, che in genere sono i composti più "delicati" da estrarre in quanto risentono degli effetti della temperatura. Alla base delle camere di estrazione (i due cilindri muniti di pistone mobile) sono posti due setti porosi che lasciano passare il liquido e le sostanze in esso disciolte, mentre bloccano le particelle grossolane di materiale solido. Le due camere di estrazione sono messe in comunicazione tramite un condotto su cui viene inserita una elettrovalvola che resta chiusa per tutto il tempo totale dell'estrazione per ed è utilizzata solo per la raccolta del solvente. Il materiale solido da estrarre viene posto nelle camere di estrazione che in séguito vengono riempite completamente con il solvente estraente (organico o inorganico o loro miscele). Quando i pistoni spingono contemporaneamente si ha l'aumento di pressione del sistema e di conseguenza la "fase di statica"; quando i pistoni vengono spostati dalla posizione di equilibrio inizia la "fase di dinamica", che viene completata con l'alternarsi delle spinte dei due pistoni. Questa nuova tecnologia estrattiva sostituisce ottimamente tutte le tecniche estrattive solido-liquido attualmente esistenti ed apporta delle considerevoli novità e vantaggi nell'ottenimento di estratti di qualità. Innanzitutto non è necessario riscaldare il sistema estrattivo in quanto l'azione esercitata è di tipo meccanico; le tecniche estrattive attuali (percolazione, Soxhlet, distillazione in corrente di vapore, ultrasuoni) tendono ad aumentare la temperatura per aumentare l'efficienza estrattiva, poiché esse si basano sulla diffusione e sull'osmosi, principi dipendenti entrambi dalla temperatura; nel caso di composti termolabili l'aumento di temperatura contribuisce alla loro degradazione. Nel Naviglio Estrattore, essendo l'azione estrattiva di tipo meccanico, bastano pochi cicli estrattivi, circa venti, che si concludono in circa due ore, per portare a completo esaurimento qualsiasi matrice solida che contiene del materiale estraibile. Perciò, nei confronti della macerazione, che è un metodo ufficiale di estrazione in molti processi, l'estrazione è rapida ed esauriente allo stesso tempo. Inoltre, è possibile effettuare una estrazione acquosa grazie ai ridotti tempi di estrazione, cosa impossibile da realizzare per macerazione. Il Naviglio Estrattore è una tecnica poco costosa e richiede un dispendio energetico minimo, se paragonata all'estrazione con fluidi supercritici (Anidride carbonica supercritica) o all'estratte ASE (Accelerated Solvent Extraction) brevetto della Dionex americana. Riassumendo, i principali vantaggi del Naviglio Estrattore sono: esaurimento in tempi

brevi delle matrici solide, contenenti sostanze estraibili, a temperature operative basse (Ambiente o sub-ambiente) e, in aggiunta, riproducibilità dell'estrazione; di conseguenza gli estratti risultano standardizzati per il contenuto di principi attivi. Queste caratteristiche garantiscono la produzione di estratti di qualità. Nessuna tecnica di estrazione solido-liquido attualmente esistente fornisce contemporaneamente tutti i vantaggi sopra esposti. L'impiego più importante del Naviglio Estrattore è nel settore delle piante officinali; la Farmacopea Ufficiale impone una estrazione di ventuno giorni in macerazione per l'ottenimento dell'estratto; industrialmente l'estrazione viene condotta utilizzando dei percolatori che consentono di ottenere una grande quantità di estratto in tempi brevi, impiegando un blando riscaldamento del sistema e sacrificando la completezza della estrazione. Prove analitiche di confronto hanno evidenziato che gli estratti ottenuti con il Naviglio Estrattore contengono una quantità di principi attivi maggiore di quella ottenibile con le tecniche ufficiali ed industriali. In questo settore l'importanza di ottenere estratti con principi attivi non degradati sta nel fatto che aumenta l'attività farmacologica degli estratti stessi. Anche nell'industria delle bevande trova utile impiego il Naviglio Estrattore rispetto alla macerazione per tutta una serie di bevande alcoliche derivanti da estratti in alcol etilico di bucce di agrumi (limone, mandarino, arancio etc.) oppure da erbe come nel caso degli amari. Nell'industria dei profumi è ancor possibile ottenere degli estratti di piante odorose e aromatiche in alternativa alla macerazione.

Il Naviglio Estrattore è dimensionabile a diverse grandezze, da quelle industriali (100-1000 L) fino a quelle di laboratorio o casalinghe per soddisfare delle esigenze più limitate di produzione. Ad esempio, il modello per uso laboratorio che lavora dai 50 ai 500 mL è un'ottima alternativa al metodo di estrazione ufficiale del Soxhlet; esso consente di ridurre i tempi nella preparazione del campione, aumenta la resa dell'estrazione e, nel caso di composti termolabili evita la loro degradazione. Nella figura a fianco sono schematizzate le camere di estrazione con la matrice solida da estrarre ed il solvente estraente. Il riempimento avviene a pressione atmosferica e l'indicatore di pressione



segna il valore zero. Sul fondo delle due camere cilindriche di estrazione sono posti due setti porosi che consentono il passaggio del liquido e bloccano la matrice solida ed eventuali parti grossolane di materiale. Il sistema, dopo il riempimento, viene chiuso e messo sotto pressione dall'azione meccanica di due pistoni spinti ad aria compressa. La pressione esercitata dai pistoni viene trasferita a tutta la massa liquida poiché le due camere di estrazione sono collegate tramite un condotto. Successivamente, nella fase di statica, quando viene raggiunto il valore massimo di pressione impostata (5 Atm), il sistema viene fermato per il tempo necessario a stabilire un equilibrio tra l'interno e l'esterno della matrice solida; il liquido penetra all'interno del solido e permea tutti gli spazi vuoti attraversando anche le pareti cellulari dei vegetali in una maniera più efficace rispetto alla macerazione. Nella fase di dinamica, i pistoni vengono rapidamente messi in movimento, generando così un abbassamento immediato della pressione nel sistema (1 atm). Inizia così la fase estrattiva; le sostanze estraibili (schematizzate da quadretti colorati in rosso e giallo) vengono trasferite nel solvente estraente per un effetto di "risucchio" dovuto al gradiente di pressione negativo venuto a crearsi tra l'interno e l'esterno della matrice solida. Inoltre, il movimento dei pistoni produce un rimescolamento del liquido in tutto il sistema che evita la formazione di zone di soprassaturazioni dei composti estratti in prossimità della superficie del solido. L'alternarsi di una fase di statica con una di dinamica costituisce un ciclo estrattivo; reiterando più cicli estrattivi si giunge al completo esaurimento della matrice solida. Alla fine dell'estrazione il solvente estraente viene espulso attraverso una elettrovalvola e raccolto in un apposito contenitore.

8.10. Processo di estrazione meccanica dell'olio

L'olio vegetale combustibile viene ricavato dalla spremitura a freddo di semi delle colture oleaginose. In questo processo non avviene alcuna raffinazione chimica. La tecnica di estrazione dell'olio è di tipo meccanico, normalmente si impiegano delle presse idrauliche o presse meccaniche a vite, oppure chimico con l'impiego di solventi (esano). La resa in olio che si può ottenere dalla spremitura meccanica varia dal 30 - 40 %; contemporaneamente si estrae il pannello proteico o expeller, un co-prodotto dell'olio vegetale utilizzato nella razione alimentare di suini, vacche da latte e vitelloni, in sostituzione della soia integrale. L'estrazione meccanica dell'olio, avviene mediante una pressa meccanica a vite o coclea. Le principali fasi sono:

- Pulizia: i semi vengono caricati in una tramoggia e trasportati per mezzo di una coclea all'interno dell'impianto di spremitura (**fig. 5 e 7**). Si procede inizialmente alla loro ripulitura da eventuali impurità (residui della raccolta, terriccio, ecc.), allo scopo di ottenere un prodotto di buona qualità e garantire allo stesso tempo una buona funzionalità dell'impianto.
- Macinazione: all'interno di un cilindro forato (**fig.6**) i semi subiscono lo schiacciamento e la conseguente rottura delle cellule oleifere, esercitato dalla coclea a vite continua.
- Pulizia dell'olio: in questa fase si procede all'eliminazione dei residui solidi (particelle) presenti nell'olio, con decantatori o centrifughe.
- Filtrazione: è necessaria per rimuovere completamente le impurità contenute nell'olio; si esegue con diversi sistemi di filtraggio, in modo tale da migliorare le qualità dell'olio da impiegare come biocarburante.

Fig. 5 Tramoggia



Fig. 6 Cilindro e pannello



Fig. 7 Spremitrice del DISPA



8.11. Il processo di trans esterificazione

Gli oli vegetali sono caratterizzati da una viscosità più elevata (70-80 centiStokes o cSt) rispetto a quella che caratterizza il gasolio (3,5-5,0 cSt), ciò può determinare l'otturazione dei filtri presenti nel motore.

Pertanto, al fine di evitare il verificarsi di questo inconveniente, occorre ridurre il grado di viscosità degli oli vegetali sottoponendo questi ultimi, previa raffinazione, ad un processo detto di *transesterificazione* (fig.8) che conferisce loro una fluidità rendendoli idonei all'uso nei motori diesel. Esso consiste nella rottura di ciascuna delle molecole dei trigliceridi che compongono gli oli vegetali, in tre molecole più piccole: ne consegue una notevole riduzione della viscosità (2,0-4,5 cSt) dell'olio vegetale che viene così trasformato in biodiesel utilizzabile in sostituzione del gasolio.

Gli oli vegetali estratti dai semi delle oleaginose, dopo aver subito il processo di raffinazione, vengono fatti reagire con il metanolo o alcool metilico (CH₃OH). Quest'ultimo è un idrocarburo liquido, volatile ed incolore che viene miscelato con l'olio vegetale secondo un rapporto 6:1 (pari a 6 moli del mix alcool-catalizzatore ed 1 mole di olio), in presenza di un catalizzatore alcalino come l'idrossido di potassio (KOH) o l'idrossido di sodio (NaOH). Questi ultimi aumentano la velocità e l'efficienza della reazione consentendone lo svolgimento a temperature e pressioni non molto elevate.

Fig. 8 - Procedimento di trasformazione dell'olio vegetale in biodiesel: reazione di transesterificazione



Il bilancio di massa semplificato dell'intero processo è il seguente:

1000 kg di olio raffinato + 100 kg di metanolo=1000 kg biodiesel + 100 kg glicerolo

Poiché il metanolo non è totalmente solubile nell'olio a temperatura ambiente, occorre riscaldare ed agitare preventivamente la miscela. La conversione in estere metilico, a reazione ultimata, è molto alta ovvero pari a 97-98%, con recupero dell'alcool in eccesso che verrà re immesso nel ciclo.

Nel caso in cui l'olio di partenza sia caratterizzato da un livello di acidità elevato, l'utilizzo di catalizzatori alcalini può favorire la formazione di saponi, ragion per cui in tal caso è preferibile utilizzare catalizzatori acidi. Il sottoprodotto del processo è una fase acquosa a base di glicerolo.

La bontà del processo di trans esterificazione viene valutata in base all'indice di acidità totale che esprime i milligrammi di idrossido di potassio necessari per neutralizzare gli acidi grassi liberi in un grammo di olio; questi, infatti, sono molto più soggetti a ossidazione rispetto agli acidi grassi legati, quindi venendo a contatto con il metallo dei serbatoi di stoccaggio o del motore, formano molto più facilmente dei sali che ne determinano il danneggiamento.

Le soluzioni impiantistiche adeguate per la conversione degli oli vegetali raffinati in biodiesel tramite il processo di trans esterificazione possono essere le seguenti:

- a temperatura ambiente ed a pressione atmosferica, per impianti di 1.000-3000 t/ha;
- a temperatura medio - alta (70°C) e pressione atmosferica, per taglie d'impianto di 20.000-25.000 t/anno, usando come catalizzatore l'idrossido di potassio;
- a temperatura elevata (200°C) e ad alta pressione (5MPa). Questa soluzione è adatta anche per gli oli caratterizzati da elevati valori di acidità (fino al 4%), può essere utilizzato un catalizzatore acido.

Gli impianti possono funzionare in continuo o in discontinuo. L'elevata efficienza generale del processo favorisce la riduzione dei consumi di reagenti chimici ed un limitato apporto di energia.

Gli impianti funzionanti in continuo, essendo gestiti da due computer, permettono una totale automazione nel controllo e nell'impostazione delle condizioni operative in tempo reale, inoltre, consentono un'immediata rilevazione delle eventuali anomalie di

funzionamento dell'impianto medesimo e una conseguente segnalazione acustica agli operatori.

8.12. Sottoprodotti dell'industria del biodiesel

8.12.1. 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.

8.12.2. Pannello

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).

8.12.3. Glicerina

Nella produzione di biodiesel il principale sottoprodotto risulta essere la glicerina (o glicerolo). Questa sostanza, se pura, si presenta incolore, inodore ed atossica ed ha la possibilità di essere utilizzata in moltissimi modi. Vengono elencate di seguito alcune modalità di utilizzo della glicerina:

- **Cosmesi.** La glicerina grazie alla sua igroscopicità ha la capacità di idratare la pelle, per questo motivo entra a far parte di numerose preparazioni ad uso cosmetico: creme, saponi, gelatine, oli. Nell'industria cosmetica la glicerina è un'importante materia prima per la produzione di sapone inoltre, non

manifestando effetti di tossicità e di allergenicità, si presta per la preparazione di numerosi prodotti cosmetici: dentifrici, creme, ecc.

- **Alimentazione.** La glicerina, grazie al suo elevato potere solvente, viene comunemente usata, come additivo, nella produzione di molti coloranti, essenze e aromi. Viene utilizzata in sciroppi e bibite, nell'industria della birra, nella conservazione delle uova e nei prodotti da forno, conservazione della frutta e degli ortaggi.
- **Farmacopea.** La glicerina si utilizza nell'industria farmaceutica come solvente e come supporto umido nella produzione di pastiglie. Ha un'azione antisettica grazie alla capacità di disidratare i batteri. E' considerata un ottimo solvente con proprietà stabilizzanti e conservanti. Somministrata per via rettale ha una azione lassativa grazie alla capacità di irritare direttamente la muscolatura liscia; rende le feci morbide e ne lubrifica il transito. Le formulazioni ad attività lassativa, contenenti glicerina, sono principalmente supposte, microclimi e clismi. Assunta per via orale è utile sia come lassativo che per diminuire la pressione intraoculare grazie alla capacità di aumentare la pressione osmotica del sangue.
- **Agricoltura.** La glicerina è utilizzata come additivo per impiego fitoiatrico. Nel settore dell'allevamento animale la glicerina viene utilizzata come integratore alimentare. Nella dieta del suino la somministrazione di glicerina determina fattori positivi quali una diminuzione dell'acido linoleico nel grasso di copertura della coscia fresca a vantaggio dell'acido oleico, assieme ad una riduzione di parametri di drip loss (perdita di sgocciolamento) e cooking loss (perdita di cottura) nella carne fresca (Mourot, 1994). Si è visto inoltre che la sostituzione del 5 per cento di farina di mais con glicerolo puro non modifica le prestazioni produttive degli animali (A. Rossi et G. Della Casa, 2008). Anche la soluzione acquosa, che ovviamente non comporta costi di raffinazione, può essere utilizzata nell'alimentazione zootecnica.

8.13. Caratteristiche qualitative del biodiesel

Per l'identificazione delle miscele si ricorre alla siglatura BD (analoga alla BA per le miscele contenenti bio-alcool). Al biodiesel puro viene assegnata la sigla BD100, alle miscele un numero corrispondente alla percentuale di

biodiesel contenuto (ad esempio, BD20 per un gasolio tagliato al 20% con biodiesel).

Negli Stati Uniti la siglatura è simile, ma senza la D (B100, B20, B50, eccetera.).

Le specifiche internazionali standard per il biodiesel sono fissate nella norma ISO 14214; gli Stati Uniti fanno riferimento inoltre alla specifica ASTM D 6751; la Germania ad una apposita specifica DIN che identifica tre tipi di biodiesel:

- RME (esteri metilici dell'olio di colza - DIN E 51606)
- PME (esteri metilici di soli oli vegetali - DIN E 51606)
- FME (esteri metilici di grassi vegetali e animali - DIN V 51606)

Le specifiche fissano alcuni punti importanti nei processi di produzione del biodiesel:

- completezza della reazione
- rimozione del glicerolo
- rimozione del catalizzatore
- rimozione degli alcoli
- assenza di acidi grassi liberi

La conformità a queste caratteristiche viene generalmente verificata tramite gascromatografia.

Il carburante ottenuto secondo questi standard qualitativi risulta molto poco tossico; la dose letale LD50 è maggiore di 50 ml/kg, ben dieci volte superiore a quella del sale da cucina.

Il biodiesel può essere mescolato con il gasolio in ogni proporzione ed impiegato nei moderni motori diesel, anche se alcuni autoveicoli possono subire una degradazione di tubi e giunti in gomma per via del maggior potere solvente del biodiesel rispetto al gasolio tradizionale. La gomma sciolta dal biodiesel può poi formare depositi o intasare le linee dell'alimentazione del veicolo. L'adozione di gomme più resistenti nei veicoli di recente fabbricazione (dal 1992 in poi) dovrebbe aver risolto questo inconveniente, senza contare che il maggior potere solvente del biodiesel aiuta a mantenere pulito il motore sciogliendo residui eventualmente presenti. Il biodiesel puro (BD100 o B100)

può essere utilizzato in qualsiasi motore Diesel a petrolio, anche se viene più comunemente utilizzato in concentrazioni inferiori. In alcune zone è richiesto l'uso di diesel a bassissimo contenuto di zolfo, che riduce la naturale viscosità e lubrificazione del carburante poiché sono stati rimossi lo zolfo e certe altre sostanze. Per far sì che scorra propriamente nei motori sono richiesti degli additivi, e il biodiesel è una popolare alternativa. Concentrazioni fino al 2% (BD2 o B2) si sono mostrate in grado di restituire la lubrificazione. Inoltre, molte municipalità hanno iniziato ad usare il biodiesel al 5% (BD5 o B5) nei mezzi per la rimozione della neve e in altri sistemi. Usato come additivo al gasolio, ne migliora il potere lubrificante. Poiché il biodiesel viene più spesso utilizzato in miscela con il diesel di petrolio, ci sono meno informazioni e studi formali sugli effetti del biodiesel puro sui motori non modificati e sui veicoli attualmente in uso, tuttavia non ci si attendono particolari problemi nell'utilizzo del biodiesel puro con i motori attuali, quantomeno finché tutte le parti del motore siano compatibili con il suo maggior potere solvente. Il punto di fusione del biodiesel è influenzato dalla natura e dalla quantità di esteri che contiene. La maggior parte di esso tuttavia, compreso quello ottenuto dall'olio di soia, ha un punto di fusione superiore a quello del gasolio; questo rende necessario il riscaldamento dei serbatoi di stoccaggio, soprattutto nelle zone a clima rigido. Il biodiesel ha un numero di cetano superiore a quello del gasolio, si incendia quindi più facilmente quando viene iniettato nel motore. Il biodiesel, rispetto al gasolio, non è esplosivo, con un flash point posto a 150 °C per il biodiesel rispetto ai 64 °C del gasolio. Contrariamente al gasolio, è biodegradabile e non tossico, e riduce significativamente le emissioni tossiche quando viene bruciato come carburante.

Le proprietà come combustibile del biodiesel sono state standardizzate in Italia dalla CUNA (Commissione Tecnica di Unificazione nell'Autoveicolo) e CTI (Comitato Termo tecnico Italiano) che hanno definito le caratteristiche atte a garantire la qualità e quindi le proprietà fisico-chimiche del prodotto (**tab 7**).

Tabella 7: Analisi chimica di un biodiesel posto sul mercato

| Caratteristica | Unità | Valore |
|-----------------------|--------------|---------------|
| <i>Metilestere</i> | <i>% m/m</i> | <i>98 min</i> |
| In saponificabile | % m/m | 1,5 max |
| Monogliceridi | % m/m | 0,8 max |
| Di gliceridi | % m/m | n.d. |
| Trigliceridi | % m/m | n.d. |
| Glicerina libera | % m/m | 0,03 max |
| Glicerina totale | % m/m | 0,25 max |
| Metanolo | % m/m | 0,10 max |
| Acidità libera | % m/m | 0,30 max |
| Neutralizzazione | Mg KOH/g | 0,6 max |
| Sodio | Ppm | 1 max |
| Fosforo | Ppm | 20 max |
| Saponi | Ppm | 30 max |

I valori dei più importanti parametri per il biodiesel e gasolio tradizionale sono riportati nella seguente tabella 8:

Tabella 8: Valori dei più importanti parametri per il biodiesel

| Proprietà | Unità | Biodiesel | Gasolio |
|-----------------------------|--------------|------------------|----------------|
| Filtrabilità a freddo | °C | -17 | -18 |
| Densità a 15° | Kg/l | 0,883 | 0.810 – 0.890 |
| Numero di cetano | -- | 51,8 | 47,0 |
| Punto di infiammabilità | °C | 120 | 55 |
| Punto di scorrimento | °C | -12/-14 | -2/-6 |
| Viscosità a 37.8 °C | CSt | 4,70 | 3,26 |
| Potere calorifico superiore | KJ/l | 35,302 | 38,584 |

In particolare si riportano ora alcune informazioni sulle caratteristiche chimico-fisiche principali del biodiesel:

1. Potere calorifico

Gli oli e i loro esteri hanno un potere calorifico inferiore dal 4% al 6% rispetto a quello del gasolio (**tab 9**). Il minore potere calorifico è causa di un decremento delle prestazioni. Sono state studiate varie soluzioni di cui tra le più accreditate vi è la realizzazione di un impianto di iniezione autoadattante che automaticamente inietta più carburante quando viene impiegato il biodiesel. Si è riusciti così a contenere il calo di prestazioni da un 10% a un 3% circa, ma con un inevitabile aumento dei consumi di carburante.

Tabella 9: Valori del potere calorifero del biodiesel

| Proprietà | Unità | Biodiesel | Gasolio |
|-----------------------------|--------------------|------------------|----------------|
| Potere calorifico inferiore | MJ/Kg | 37-38 | 42,0 |
| Densità | Kg/dm ³ | 0,874 | 0,852 |

Fonte: US DOE-NREL. 1998, Thompsn 1996

Il punto di infiammabilità è molto vicino ai valori osservabili per il gasolio per il biodiesel da cotone, mentre per gli altri metilesteri è nettamente superiore (**tab 10**). Tale caratteristica dipende dal contenuto di alcoli residui nel metilestere. La normativa tecnica europea fissa a 120 °C il valore minimo per il biodiesel.

Tabella 10: Punto di infiammabilità dei metilesteri da oli di colture

| Combustibile | Punto di infiammabilità |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Metilestere di olio di soia | 155 °C |
| Metilestere di olio di girasole | 182 °C |
| Metilestere di olio di cotone | 110 °C |
| Metilestere di olio di colza | 160 °C |
| Etilestere di olio di soia | 160 °C |
| Gasolio 2D (Valore medio) | 72 °C |

Fonte: DOE-NREL. 1998, Thompsn 1996

L'elevato punto di infiammabilità del biodiesel aumenta fortemente la sicurezza, riducendo i rischi di incendio e di scoppio relativi alla movimentazione e allo stoccaggio del prodotto.

2. *Contenuto di fosforo*

Il biodiesel contiene meno di 10 ppm di fosforo, perciò l'unico problema può presentarsi nel caso di impieghi in turbine a gas.

3. *Distillazione*

La curva di distillazione migliora sensibilmente rispetto all'olio. Il punto iniziale è sempre più alto in confronto con il gasolio (280-320 °C), mentre il punto finale non supera i 400 °C, perciò i problemi di craking sono sensibilmente ridotti.

4. *Massa volumica*

La massa volumica di qualsiasi metilestere dipende dalla massa volumica dell'olio grezzo di origine. Il valore medio si aggira attorno a 0.88 kg/dm³.

5. *Numero di cetano*

L'indice di cetano che misura l'attitudine all'autoaccensione di un combustibile è basso nel caso degli oli vegetali puri. Migliora dai 15 ai 20 punti dopo l'esterificazione raggiungendo un livello superiore rispetto a quello del gasolio. Dipende, oltre che dalla specie oleaginosa di partenza, anche dalle condizioni climatiche della zona in cui cresce la coltura, in quanto climi diversi determinano una diversa composizione chimica dei semi. Il numero di cetano dipende anche dalla miscela di acidi grassi presenti nel metilestere.

6. *Viscosità*

Gli oli vegetali sono nettamente più viscosi del gasolio. L'esterificazione permette di abbassare la viscosità ad un livello simile a quello del gasolio; durante la reazione la molecola di trigliceride si "rompe" e forma tre molecole di metilesteri, più piccole e quindi meno viscosi. (Peterson et Al, 1997). Il metilestere di olio di soia sembra avere la viscosità più bassa (4 cSt), mentre il metilestere di olio di colza sembra essere il più viscoso con circa 6 cSt, mediamente comunque la viscosità di un metilestere supera di 1,3 - 2,1 volte quella del gasolio americano D2. (Peterson et Al, 1997; DOE-NREL 1998; Clements D.L., 1996). I valori normali di viscosità per un metilestere di olio vegetale si aggirano attorno a 4,5 - 5 cSt (centiStokes). La presenza di glicerolo

determina un aumento della viscosità, ma tale parametro è ovviamente influenzato anche dalla composizione in esteri della miscela del biocombustibile.

7. Proprietà di solvente

Il biodiesel è un ottimo solvente che causa sia la diluizione dell'olio lubrificante, sia problemi di compatibilità con altri materiali quali le gomme e le materie plastiche.

Nel primo caso, riducendo lo spazio vuoto fra cilindro e pistone, si può contenere la diluizione del biodiesel nell'olio lubrificante da un 20-25% circa a un 5% circa.

Nel secondo caso, è sufficiente usare gomme e plastiche compatibili con l'uso del biodiesel (ad esempio è certificata l'idoneità al contatto con biodiesel della gomma nitrile con inserto tessile in viscosa o in nylon).

Da un punto di vista tecnico, i problemi che si hanno impiegando il biodiesel allo stato puro cioè non miscelato, sono superabili totalmente soltanto intervenendo sui motori, cosa questa molto difficile essendo le case automobilistiche poco orientate a ciò in quanto tese a difendere i costosi investimenti nelle proprie fabbriche.

8.14. Il bilancio energetico

Scopo dell'analisi del bilancio energetico della filiera produttiva è il verificare il rapporto fra l'energia spesa per produrre tale carburante e l'energia che da esso si può ricavare. Tale analisi è particolarmente complessa a causa dell'elevato numero di parametri da prendere in considerazione. Bisogna, infatti, analizzare l'intera filiera e quantificare l'energia spesa per ogni differente passaggio (coltivazione, raccolta, stoccaggio e trasporto della materia prima, trasformazione industriale, distribuzione del prodotto finito) nonché l'energia spesa per l'ottenimento del materiale di partenza (sementi). Tale quantificazione deve essere comparata alla resa energetica del prodotto finale.

Un ruolo importante rivestono i sottoprodotti ottenuti durante il processo di lavorazione che, a seconda del loro utilizzo, possono influire significativamente sul computo del bilancio energetico.

I valori assoluti dei bilanci variano sensibilmente a seconda delle ipotesi prese in considerazione.

Dalla tabella 11 seguente si vede che per ogni unità di energia spesa per produrre biodiesel, si ricavano 1,95 unità di energia.

Tabella 11: Il bilancio energetico del biodiesel

| | ATTIVITA' | ENERGIA GJ/ha |
|---------------------|----------------------|----------------------|
| INPUT ENERGIA | AGRICOLTURA | 21,7 |
| | LAVORAZIONE | 12,6 |
| | INDUSTRIALE | |
| | TOTALE INPUT | 34,3 |
| OUTPUT ENERGIA | BIODIESEL | 41,0 |
| | PANNELLO | 24,0 |
| | GLICERINA | 1,6 |
| | TOTALE OUTPUT | 66,6 |
| BILANCIO ENERGETICO | | 32,3 |
| RAPPORTO ENERGETICO | | 1,95 |

Fonte: Novaol, 2005

In Italia studi più attinenti alla nostra realtà agricola, portati avanti dal CTI (Comitato Termo tecnico Italiano) sono giunti alle conclusioni che sostituendo il gasolio con il 100% di biodiesel, si ottiene un risparmio del 95% del consumo di energia fossile, in quanto il biodiesel produce 3,2 unità di energia per ogni unità di energia fossile consumata. Nel rapporto finale si afferma che: "il bilancio energetico della produzione del biodiesel è largamente positivo rispetto al gasolio; conseguentemente si hanno benefici anche per quanto attiene le emissioni di anidride carbonica di origine fossile, con riduzioni valutabili tra il 30 ed il 60% rispetto al gasolio". Questo significa che "l'impiego di un Kg di biodiesel al posto del gasolio per produrre la stessa quantità di energia, comporta la riduzione di 2,1 Kg di CO₂ fossile".

Sicuramente i progressi tecnologici attesi permetteranno di migliorare il bilancio energetico della filiera. In particolare si parla di:

- introduzione di specie di girasole e colza a più alta resa (+15-20%);
- tecniche colturali più economiche attraverso la riduzione dei fertilizzanti e con l'utilizzazione di concimi azotati non sintetici o di origine animale;
- utilizzo nelle fasi agricole degli stessi biocarburanti in sostituzione dei carburanti fossili attualmente utilizzati;

- ottimizzazione delle operazioni industriali.

8.15. L'impatto ambientale: confronto con il gasolio fossile

Un importante contributo ambientale del biodiesel è dato dalle basse emissioni di inquinamento, messe in evidenza dal confronto con le esalazioni del gasolio tradizionale, a pari potenza e motore, e dal suo elevato valore di biodegradabilità (**tab 12**).

Tabella 12: Emissioni e confronti fra gasolio tradizionale e biodiesel

| Proprietà | Unità | Gasolio | Diesel-Bi | Differenza |
|-----------------|-------|----------|-----------|------------|
| Potenza | KW | 153,9 | 153,3 | |
| Numero di giri | Rpm | 2100 | 2100 | |
| Nox | g/KWh | 11,31 | 11,31 | |
| CO | g/KWh | 0,87 | 0,63 | -27,6% |
| Idrocarburi | g/KWh | 1,38 | 0,64 | -53,6% |
| Fumosità Bosch | | 0,83 | 0,36 | -53,6% |
| SO ₂ | % | 0,2-0,3% | 0 | |

Fonte: Assobiodiesel 1999

In sintesi, il biodiesel ha una significativa serie di vantaggi rispetto al normale gasolio:

- diminuisce la fumosità dei gas di scarico emessi dai motori diesel e dagli impianti di riscaldamento (- 70 %) e conseguentemente l'emissione di particolato (- 20/60 %);
- non contenendo zolfo, il biodiesel non produce una sostanza altamente inquinante come il biossido di zolfo e consente maggiore efficienza alle marmitte catalitiche;
- riduce le emissioni di monossido di carbonio (-35 %) e di idrocarburi incombusti (- 90 %) emessi nell'atmosfera;
- non contribuisce all' "effetto serra" poiché restituisce all'aria solo la quantità di anidride carbonica utilizzata dalle colture (colza, soia e girasole) durante la loro crescita (1kg di gasolio sostituito con il biodiesel significa 2,5 kg di CO₂ risparmiata); questo aspetto, è economicamente rilevante, visto che il credito di emissione previsto dagli accordi di Kyoto potrà essere ceduto e acquistato, creando un mercato che secondo alcuni studi, potrebbe portare il suo prezzo fino a 40 euro a tonnellata di CO₂;

- riduce a meno di un terzo le esternalità (cioè i costi che ricadono non sul produttore ma su tutta la collettività, come i costi sanitari, sociali ed ambientali) altrimenti dovute all'uso di prodotti petroliferi;
- non contiene sostanze pericolosissime per la salute quali gli idrocarburi aromatici (benzene, toluene ed omologhi) o policiclici aromatici;
- riduce i pericoli nelle fasi di trasporto e stoccaggio, grazie alla minore infiammabilità ed alla maggiore biodegradabilità (75% in 28 giorni, contro il 40% del gasolio).
- ha un superiore potere detergente che previene le incrostazioni dei motori.

Nei due grafici (**fig 9 e 10**), sono riportati i risultati sperimentali ottenuti con un test di lunga durata svolto dall'Università di Idaho negli Stati Uniti. I dati si riferiscono a due anni di prove, impiegando 7 automezzi e percorrendo una media di oltre 90.000 km con ogni autoveicolo. Si evidenzia: una decisa riduzione della fumosità, dell'ossido di carbonio (CO) e degli idrocarburi incombusti (HC) e una diminuzione degli ossidi di azoto(NOx).

Fig. 9: Raffronto emissioni inquinanti

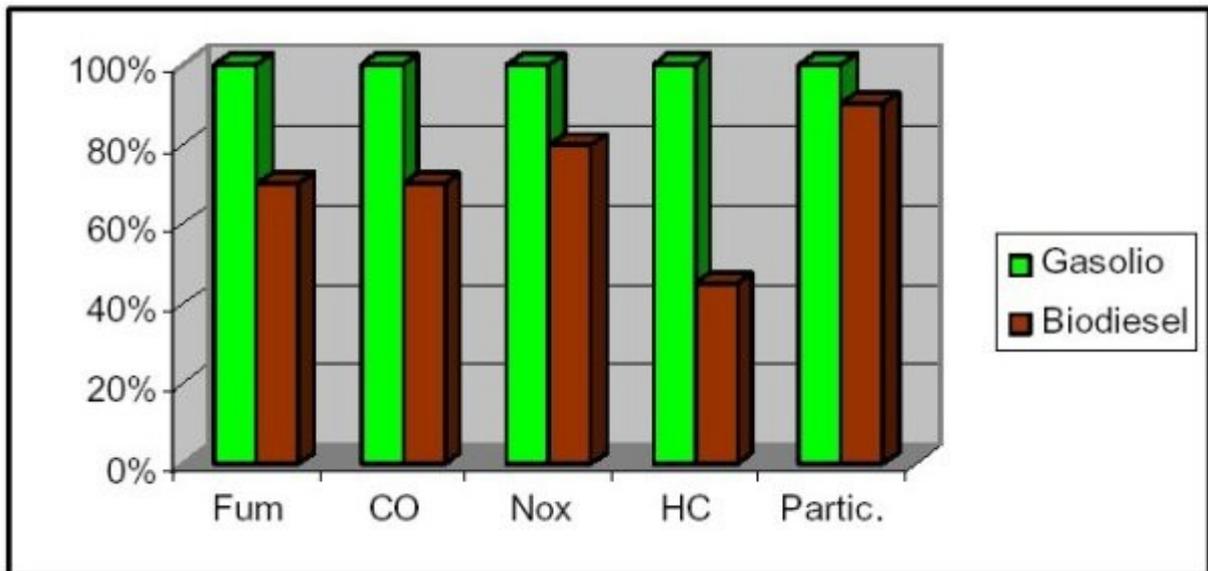
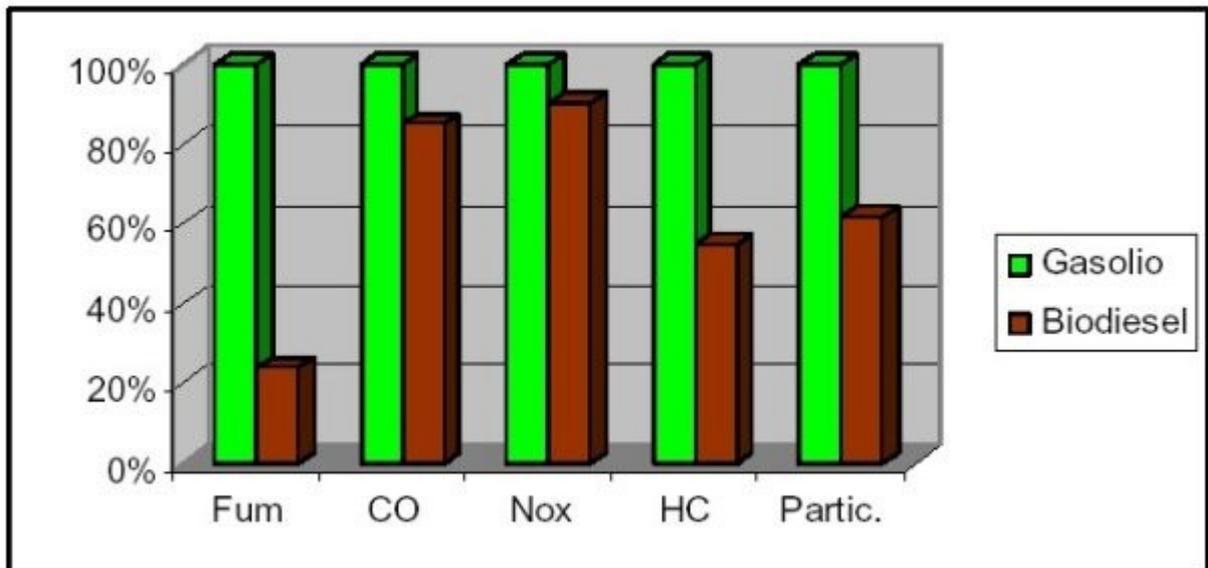


Fig. 10 Raffronto emissioni inquinanti



Fonte: Mercedes Benz, 2000

Nei paragrafi seguenti saranno espone alcune digressioni sul rapporto fra biodiesel e i principali inquinanti.

8.15.1. Biossido di Zolfo (SO₂)

Caratteristica principale del biodiesel è quella di non contenere zolfo, poiché la materia prima dalla quale è ottenuto il biodiesel è di origine vegetale e inoltre tale elemento non entra in alcuna fase del ciclo produttivo. Al contrario il gasolio contiene circa lo 0,2-0,3% di zolfo che è il principale responsabile delle piogge acide sotto forma di anidride solforosa che provoca effetti nocivi sia per gli alberi, i palazzi e i monumenti artistici che per la salute umana. A tal proposito è da ricordare la Direttiva europea CEE 93/12 applicata da tutti gli stati membri, che fissa i contenuti massimi di zolfo consentiti nel gasolio: 0,2% in peso dal 01/10/1994 e 0,05% in peso dal 01/10/1996. Tale modifica era in linea alle misure adottate dall'EPA (Environmental Protection Agency).

Ovviamente la miscelazione del gasolio con il biodiesel comporta l'aumento di emissioni di SO₂ in percentuale uguale al contenuto di combustibile fossile.

8.15.2. Bilancio CO₂ ed effetto serra

Il biodiesel non influisce in alcun modo sull'effetto serra, in quanto il bilancio delle emissioni di anidride carbonica è neutro: essendo il biodiesel una fonte di energia rinnovabile, la quantità di CO₂ rilasciata nell'atmosfera durante la fase di combustione coincide con quella assorbita durante la fase di crescita delle piante da cui vengono poi estratti gli oli vegetali. Appare chiaro pertanto che l'accumulo di anidride carbonica, causa principale dell'effetto serra è dunque azzerato. Un minimo apporto di CO₂ fossile nel bilancio del biodiesel è determinato dal metanolo utilizzato nel processo di trans esterificazione. Qualora anche tale composto chimico provenisse da fonti rinnovabili (biomassa) allora anche tutta la CO₂ prodotta dalla combustione del biodiesel sarebbe rinnovabile.

Indipendentemente dal concetto di rinnovabilità l'emissione di CO₂ al tubo di scappamento di un motore alimentato con biodiesel è pressoché uguale rispetto a quella misurabile per lo stesso motore alimentato a gasolio (Fosseen, 1994; Taberiski, 1998, Arcoumanis, 1999, PSA, 1998).

8.15.3. Monossido di carbonio (CO)

Le emissioni di CO sono mediamente inferiori del 40% (per il B100) rispetto al gasolio; il biodiesel in miscela al 20% emette mediamente il 15% in meno di CO.

Il monossido di carbonio però nell'ambito motoristico non crea grandi problemi e può essere considerato un inquinante minore, ma è invece indice di cattiva combustione in quanto si produce in carenza di ossigeno. Maggiore è il quantitativo emesso e maggiori sono i problemi della combustione. L'ossigeno contenuto nei combustibili vegetali (mediamente il 10% nel biodiesel contro il 2% nel gasolio) favorisce la combustione e diminuisce le emissioni di CO.

8.15.4. Composti aromatici

Grazie all'assenza nella materia prima vegetale di idrocarburi aromatici e di policiclici aromatici, il biodiesel non contiene tali composti e quindi non produce esalazione di sostanze volatili dannose per la salute degli addetti ai lavori; tutto ciò non implica d'altra parte assenza dai fumi di tali composti cancerogeni in quanto una certa quantità di questi prodotti si forma spontaneamente durante la combustione.

8.15.5. Ossidi di azoto (Nox)

Il problema degli ossidi di azoto, attualmente considerati tra i composti maggiormente pericolosi, è il punto dolente del biodiesel. Mediamente si parla di un aumento delle emissioni di NOx del 10-13% rispetto al gasolio a causa dell'elevato contenuto di ossigeno del biocombustibile. In questo caso le miscele causano un aumento minore della emissione di NOx che si attesta attorno al 2-3 % per il B20 sempre rispetto al gasolio. Negli anni novanta sorsero polemiche in Germania a seguito di notizie provenienti dall'UBA (Agenzia Tedesca per l'Ambiente) sulla produzione, in fase di coltivazione della colza, di Protossido di azoto N_2O , gas ad effetto serra, le cui emissioni verrebbero ad annullare il beneficio che l'utilizzo del biodiesel porta su tale fenomeno. Altri studi, oltre a ribadire che qualsiasi coltura vegetale emette quantitativi di N_2O , hanno considerato l'aspetto delle emissioni da un punto di vista globale, fornendo dati che smentiscono le affermazioni dell'UBA.

In particolare uno studio dell'ADEME (Agenzia francese per l'ambiente e per lo sviluppo dell'energia), dopo una valutazione dell'insieme delle emissioni di gas ad

effetto serra della filiera, conclude che la filiera del gasolio emette cinque volte più gas ad effetto serra rispetto alla filiera biodiesel. E' stato calcolato che l'uso del biodiesel consente il risparmio di 2,2 tonnellate di anidride carbonica per ogni tonnellata di gasolio sostituito.

8.15.6. Fumosità

Il contenuto delle prestazioni a pieno carico del motore al banco indica una riduzione della fumosità (indice Bosch) a seguito dell'assenza di composti aromatici. La riduzione rispetto al gasolio è come risulta dalla tabella già vista, quasi del 60%.

8.15.7. Biodegradabilità

Un'altra importante proprietà del biodiesel è la sua biodegradabilità: prove svolte presso la Stazione Sperimentale per le Industrie degli oli e dei grassi di Milano (test condotti secondo il metodo Strum) hanno dimostrato che si degrada del 76,6% in 28 giorni (la biodegradabilità totale è più del 98%). Ciò potrebbe evitare i disastri ecologici che si verificano quando si ha il versamento accidentale del petrolio e dei suoi derivati nel mare, nei fiumi e sul territorio in genere.

8.15.8. Particolato (PM)

Parlare semplicemente di particolato è fuorviante perché esistono ben precise definizioni che classificano questo componente e spesso si fa confusione tra PM, PM10, PM2,5. Inoltre il tema del particolato merita un approfondimento in quanto non basta verificare se un combustibile emette più o meno particelle di un altro, ma bisogna considerare la sua composizione in quanto la pericolosità del particolato varia molto in funzione delle specie chimiche che lo compongono e delle dimensioni medie delle sue particelle.

Sulle particelle solide è adsorbita una certa quantità di sostanze aromatiche che sono considerate più o meno cancerogene e mutagene. Il biodiesel è invece costituito da particelle più grosse e quindi meno inalabili di quelle prodotte dal gasolio.

8.15.9. Idrocarburi incombusti (HC)

Gli Idrocarburi prodotti durante la combustione del biodiesel (B100) sono mediamente inferiori 15-20 % rispetto a quelli prodotti dal gasolio., contenendo una minore percentuale di molecole aromatiche rispetto al gasolio, produce quantità inferiori di tali sostanze e quindi i suoi effetti sulla salute sembrerebbero meno pericolosi. Secondo studi recenti sembra infatti che il particolato emesso dal biodiesel sia mediamente meno pericoloso rispetto a quello emesso dalla combustione del gasolio (**tab 13**).

Tabella 13: Confronto emissioni di HC (biodiesel vs gasolio)

| Autore/Fonte | Tipo di combustibile Biodiesel- Gasolio | Variazione rispetto al gasolio |
|---|--|---|
| Sharp C. | B100-2D | -80/-90% |
| Sharp C. | B20-2D | -20/-30% |
| PSA Peugeot | B30-EN590 – MOTORE DI | +3% |
| PSA Peugeot | B30-EN590 – MOTORE IDI | -4% |
| PSA Peugeot | B30-EN590 – MOTORE HDI | +11% |
| PSA Peugeot | B100-EN590 – MOTORE DI | -30% |
| PSA Peugeot | B100-EN590 – MOTORE IDI | -36% |
| PSA Peugeot | B100-EN590 – MOTORE HDI | +10% |
| Acidità libera | B100-2D | -93% |
| Neutralizzazione | B20-2D | -30% |
| Sodio | B20-2EPA Diesel | -26.4% |
| DI: Iniezione diretta IDI: Iniezione a precamera HDI: Cammon Rail | | |

Fonte: Assobiodiesel 1999

9. COLTURE OLEAGINOSE DI INTERESSE PER GLI AMBIENTI MERIDIONALI

Le materie prime fornite dall'agricoltura per produrre energia possono essere residui di coltivazioni destinate ad altri usi, o colture energetiche “*dedicate*” (*energy crops*), ossia appositamente coltivate e completamente destinate alla produzione di energia.

Secondo quanto implicitamente contenuto nella loro definizione, per colture “*dedicate*” alla produzione di energia si intendono tutte quelle specie erbacee e/o arboree che presentano proprietà genetiche, comportamenti fisiologici, esigenze colturali e caratteristiche produttive tali da renderle idonee alla produzione di biomassa, utilizzabile nei diversi processi tecnologici di conversione energetica.

Le “colture dedicate” possono contribuire a diversificare le scelte degli agricoltori ed incrementare la biodiversità funzionale degli agroecosistemi.

Le specie che sono state oggetto del mio lavoro di ricerca sono state le seguenti:

- *Brassica napus* var. *Oleifera*
- *Brassica carinata*
- *Camelina sativa*
- *Linum usitatissimum*
- *Carthamus tinctorius*

9.1. Colza (*Brassica napus* L. var. *oleifera* D.C.)

9.1.1. Origine diffusione e caratteristiche della coltura

Il colza allo stato spontaneo era originariamente presente in Europa ed in alcune regioni Nord africane. Alla fine del 1700 l'Olanda era l'unico Paese europeo che coltivava colza per granella. Successivamente la coltura si diffusa in Germania e poi nel resto dell'Europa.

Attualmente le zone di maggiore coltivazione nel mondo sono dislocate principalmente in India, Cina, Pakistan ed in Canada dove la coltura fu introdotta sul finire degli anni '40 del 1900 con il proposito di ricavare olio per i motori marini.

In Europa i Paesi in cui la coltura è ben adattata sono: Germania, Francia, Polonia, Gran Bretagna, Repubblica Ceca, Danimarca e Svezia.

Le superfici coltivate a colza a livello mondiale sono aumentate in misura piuttosto continua nel corso degli anni '90 del 1900, raggiungendo il massimo nel 1999 con 1,54 t/ha per poi diminuire nel triennio successivo con una produzione pari a 1,49 t/ha nel 2002 (FAO, 2002).

I primi produttori a livello mondiale sono Cina e UE che concentrano il 60% dei volumi complessivi. In Italia il colza è coltivato su 5.200 ha pari allo 0,2% delle superfici comunitarie e all'1% delle colture oleaginose del nostro Paese. Le superfici destinate a questa coltura sono aumentate considerevolmente dopo la riforma Mac-Sherry per poi diminuire rapidamente a partire dal 1998 con perdite medie annue di 11.000 ha.

La semina di colza, in Italia, viene effettuata soprattutto nelle regioni nord-occidentali (35,3%) con una resa pari a 2,1 t/ha, e nelle regioni del Centro (31,4%) con una resa pari a 1,5%.

Le destinazioni produttive che caratterizzano il colza sono rappresentate dalla produzione di olio per uso alimentare venduto miscelato ad altri oli vegetali come olio di semi vari (arachide, soia, vinaccioli, etc.), produzione di farina derivante dalla macinazione dei semi precedentemente disoleati e che si caratterizza per l'elevato contenuto in fibra (circa il 30 %) e proteine (circa il 40 %) ed inoltre per la produzione di olio destinato ad entrare nella filiera dei biocarburanti.

9.1.2. Caratteristiche botaniche

Il colza appartiene alla famiglia delle *Brassicaceae*, genere *Brassica*.

A questo genere appartengono tre specie : *Brassica nigra* (n=8), *Brassica oleracea* (n=9) e *Brassica campestris* (n=10). Per ibridazione naturale sono state ottenute tre nuove specie caratterizzate da un numero cromosomico pari alla somma del numero cromosomico delle specie di base: *B. carinata* (n=17) derivata da *B. nigra* x *B. oleracea*, *B. juncea* (n=18) derivata da *B. nigra* x *B. campestris*, *B.napus* (n=19) ottenuta da *B. oleracea* x *B. campestris*.

Il colza deriva da *B. napus* var. *oleifera*, esso può essere coltivato anche in terreni marginali non sufficientemente vocati per frumento e bietola. Preferisce suoli leggeri che facilitano una precoce ripresa primaverile e l'approfondimento dell'apparato radicale. Inoltre, si adatta bene anche a terreni argillosi, calcarei e torbosi, purché ben drenati.

Il colza coltivato è una pianta annua a ciclo autunnale e primaverile. Esso preferisce temperature relativamente basse alla fioritura, mentre durante la formazione del seme è più tollerante alle alte temperature purché non siano accompagnate ad siccità. In tal caso, infatti, l'azione congiunta dei due fattori può causare una diminuzione della dimensione dei semi e del loro contenuto in olio.

Esso presenta una radice fittonante, moderatamente ramificata che può raggiungere i 70-80 cm di profondità, la maggior parte della massa radicale è concentrata nei primi 40 cm, presenta il colletto leggermente ingrossato. Le foglie, lisce e carnose, sono disposte a rosetta; il fusto è eretto, ramificato, alto 1,50 m con foglie inferiori lirate, mentre le foglie superiori sono intere, sessili ed amplessi cauli. Presenta inoltre un'infiorescenza di colore giallo, raramente bianco, a grappolo con fioritura scalare. Il frutto è una siliqua formata da due carpelli separati da un falso setto (*replum*) sul quale sono inseriti i semi il cui numero varia da 15 a 40 per siliqua a seconda del genere *Brassica* considerato. A maturità i carpelli possono aprirsi spontaneamente (deiscenza), in talune varietà sussiste invece una certa resistenza alla deiscenza.

Il seme è tondeggiante, liscio, di colore giallo nelle varietà primaverili e bruno-rossastro nelle varietà autunnali. Esso contiene il 45% in olio e proteine. Nelle varietà a seme giallo il tegumento di rivestimento del seme è più sottile cosicché la quantità di fibra è minore a favore della quantità di olio e proteine. Incroci con queste varietà migliorano al digeribilità e la qualità delle farine destinate all'alimentazione zootecnica, specialmente per i monogastrici.

Il contenuto in olio del seme di colza invernale aumenta fino a quando la siliqua assume la tipica colorazione gialla, mentre tende a diminuire verso la maturazione piena. Nel colza primaverile, invece, l'incremento del contenuto in olio risulta continuo fino alla maturazione.

Le varietà del genere *Brassica* sono prevalentemente autogame ma presentano una elevata percentuale di eterogamia che va dal 25 al 30%.

9.2. *Brassica carinata*

9.2.1. Origine diffusione e caratteristiche della coltura

La *Brassica carinata* è ritenuta originaria dell'Africa orientale (altipiani dell'Etiopia), recentemente ha suscitato notevole interesse anche in altri paesi con caratteristiche climatiche non molto favorevoli alla coltivazione del colza (Spagna e California). Le ragioni sembrerebbero risalire ad una maggiore resistenza a stress biotici e abiotici. Inoltre la particolare composizione dell'olio, ricco di acido erucico, linolenico e glucosinolati, lo renderebbero indicato per usi industriali. La presenza di questi composti nelle farine di estrazione ne suggerirebbero un efficace utilizzo come prodotto ammendante del terreno e nematocida.

9.2.2. Caratteristiche botaniche

La *Brassica carinata* è una dicotiledone, appartenente alla famiglia delle *Brassicaceae*, genere *Brassica*, è una specie erbacea derivata dall'ibridazione interspecifica e successivo allelotetraploide ($n=17$) di *Brassica nigra* ($n=8$) e *Brassica oleracea* ($n=9$). L'ibridazione potrebbe essersi verificata in diverse circostanze, tuttavia prove genetiche indicano che *Brassica nigra* è stato il genitore di sesso femminile.

La pianta erbacea, dal ciclo annuale e dal portamento eretto, è costituita da un fusto robusto, parzialmente lignificato alla base, sul quale, a partire da una posizione mediana e distale si inseriscono numerose ramificazioni. Nel complesso, la taglia della pianta è generalmente superiore rispetto a quella del tradizionale colza da olio (*Brassica napus* var. *Olifera*).

Da studi condotti sul territorio nazionale, la pianta sembra raggiungere altezze di circa 2,8 metri nelle zone del centro-nord Italia, mentre nel sud non supera i 2,2 metri. In media, comunque, l'altezza che la pianta raggiunge è compresa tra 1,4-2 metri. Anche il numero delle ramificazioni ed il livello di inserzione di queste sul fusto principale è risultato diverso nei genotipi di *Brassica carinata* rispetto a quelli di *Brassica napus* geneticamente migliorati (00): i primi hanno mostrato spesso un maggiore numero di ramificazioni inseriti ad un livello più basso nel fusto principale.

Le foglie, glabre o leggermente pelose e dal tipico colore glauco-pruinoso, durante la fase di rosetta (inverno) si presentano picciolate, mentre durante la fase di levata differenziano foglie indivise, lanceolate e semiamplessiculi. Sulla base di alcune

ricerche eseguite nel territorio toscano, la superficie fogliare di *B. carinata* sembra mantenersi fotosinteticamente attiva più a lungo rispetto alle cultivar di *B. napus*, risultando mediamente superiore a quest'ultime in fase di inizio fioritura. Ciò potrebbe in parte giustificare la maggiore potenzialità produttiva della carinata dato che l'elevata attività fotosintetica in pre-fioritura sembra positivamente correlata con la resa in granella.

L'infiorescenza è un racemo terminale con numero di fiori variabile in relazione allo sviluppo della pianta, da 50 a 200 e più. La fioritura è scalare all'interno del racemo ed inizia nella sua parte basale per procedere poi verso quella apicale. Il fiore è ermafrodita ed ha petali di colore variabile dal giallo al bianco, o talvolta bianco con venature violacee. I petali hanno generalmente dimensioni inferiori rispetto a quelli di *B. napus*. La *B. carinata* è una specie autogama, ma in campo si ritiene che possono verificarsi fecondazioni incrociate per mezzo del vento o dei pronubi, in misura variabile dal 5 al 35%.

Il frutto è una siliqua, di forma e dimensioni anche molto diverse in relazione ai differenti genotipi della specie. La lunghezza può raggiungere i 10 cm, la sezione è generalmente ovale.

9.3. *Camelina Sativa* (*Camelina Sativa* L. Crantz)

9.3.1. Origine diffusione e caratteristiche della coltura

La *Camelina Sativa* conosciuta anche come falso lino è una pianta oleaginosa originaria dell'Asia. È stata introdotta in Europa intorno al XVI secolo, per scopi alimentari.

La coltivazione della *Camelina*, abbastanza estesa un tempo nei paesi del Nord Europa, ha occupato fino al dopoguerra aree limitate in Francia, Olanda, Germania e Russia. Non si hanno precise notizie di coltivazioni intensive di *Camelina* attuate in Italia, a causa di ciò la disponibilità di germoplasma risulta limitata.

9.3.2. Caratteristiche botaniche

La *Camelina Sativa* (L. Crant), appartiene alla famiglia delle *Brassicaceae*, è una specie annuale, si trova nel Lazio, in Abruzzo, Sicilia e Sardegna fino a una altitudine di 1350 metri s.m.l. presenta una radice fittonante, fusto eretto alto 80-100 cm, con

abbondante ramificazione e provvisto di infiorescenze terminali, le foglie basali sono lineari – spatolate, quelle cauline sono lineari – sagittate, dotata di 2 laciniette stipuliformia abbraccianti il fusto e si presentano glabre o con peli sparsi.

Le infiorescenze sono racemi allungati; i fiori, autogami, hanno sepali di 3-4 mm, eretti e bianchi sul bordo, con petali di colore giallo, spatolati, lunghi 4-5 mm. Le casulette (3-5 x 5-8 mm), arrotondate all'apice e ristrette alla base con valve papiracee, si presentano erette, lisce all'esterno e più o meno clavate e internamente plurisetate, divise in logge ognuna delle quali contiene in media 15-20 semi.

I semi sono molti piccoli, caratterizzati da un colore giallo-rossastro a maturità e contenenti un quantitativo percentuale di olio variabile dal 25 al 40 % in media. Il peso dei 1000 semi oscilla intorno agli 0,8 – 1.8 g, a seconda delle varietà e condizioni di crescita. La *Camelina* è una pianta caratterizzata da notevole rusticità che ben si adatta a terreni sabbiosi o calcarei anche poco profondi, pur prediligendo suoli freschi, di medio impasto e ricchi di sostanza organica.

Per quanto riguarda il clima, non tollera il freddo intenso, si adatta a condizioni marginali quali la siccità e salinità.

La *Camelina* è una coltura a bassi input agronomici, se paragonata alle altre oleaginose; per produrre 1 quintale di granella la coltura asporta 5,4 Kg di azoto, 6,5 Kg di potassio e 5,5 di calcio (Bonjean, 1993).

9.4. Lino (*Linum usitatissimum* L.)

9.4.1. Origine diffusione e caratteristiche della coltura

Originario probabilmente dell'Asia superiore, successivamente si diffuse in Cina, in India e poi in Egitto da dove i Fenici, mercanti e navigatori, lo introdussero in Europa e successivamente i coloni in America.

In Italia le statistiche indicano per il lino una superficie di 1121 ettari esclusivamente destinati alla produzione di seme. Le Regioni interessate alla coltivazione del lino sono la Puglia con 671 ha, la Basilicata con 383 ha e la Sicilia con 67 ha per una produzione complessiva di 824,6 t. la resa più alta in seme per unità di superficie si registra in Sicilia con 1,52 t/ha, quasi doppia rispetto alla media nazionale di 0,75 t.

9.4.2. Caratteristiche botaniche

Il *Linum usitatissimum* appartiene alla famiglia delle Linaceae ed è l'unica fra le 200 specie appartenenti al genere *Linum*, ad essere coltivata a scopi industriali.

Il lino è una pianta erbacea annuale con ciclo autunnale e /o primaverile. Essa è caratterizzata dal fatto di avere una radice fittonante, sottile e poco ramificata, con fusto eretto, ramificato nelle varietà a seme, poco ramificato nelle varietà da fibra, raramente supera il metro di altezza; le foglie sono sessili, intere, raramente opposte; i fiori, solitari o riuniti in corimbi, sono di colore bianco o azzurro.

Il frutto è una capsula a 5 carpelli, ciascuno diviso in due logge uni seminali. I semi sono di piccole dimensioni, allungati, lucenti, con un contenuto in olio variabile in funzione della varietà e dell'ambiente di coltura, che può superare il 40%. Inoltre sono ricchi in proteine con valori intorno al 22-25%. L'area di coltura del lino è molto estesa e comprende ambienti climatici fra loro molto diversificati che vanno dalle fredde regioni del Nord-Europa dove il lino viene coltivato in primavera, alle calde regioni dell'India dove il lino viene coltivato in autunno, mentre nelle regioni dell'Europa centrale viene coltivato sia in autunno che in primavera. A seconda della destinazione produttiva si è soliti operare una distinzione tra lino da fibra e lino da olio.

Il *lino da fibra* comprende le forme a taglia alta, stelo elastico, fibre lunghe, infiorescenze poco sviluppate, semi piccoli e scuri. Esso predilige ambienti costieri, freschi, senza forti escursioni termiche.

Il *lino da olio* comprende forme a taglia ridotta, con portamento rigido, steli corti e robusti, ramificati alla base con fibre corte e grossolane. Le infiorescenze sono molto sviluppate, con fiori azzurri, talvolta violacei. Produce semi grandi, scuri o tendenti al rossastro; predilige ambienti caldi e assolati.

Le esigenze idriche della coltura aumentano durante il periodo di allungamento dello stelo che va dai 20 ai 60 giorni dopo l'emergenza. La carenza idrica ad inizio fioritura può inoltre compromettere la produzione quantitativa di seme. La fioritura avviene ad una temperatura di 25°C ragion per cui la produzione di fibra è favorita dai climi nordici mentre la produzione dei semi è favorita dai climi caldo-aridi.

Il lino preferisce terreni profondi, sciolti, freschi pertanto nelle regioni caratterizzate da clima caldo-arido si rende necessaria l'irrigazione.

Per le varietà a ciclo primaverile, in Italia le epoche di semina più adatte variano a seconda della latitudine: tra la fine di febbraio ed i primi di marzo in Emilia-Romagna;

prima decade di ottobre per le regioni del Centro; fine ottobre per le regioni meridionali; metà dicembre nelle isole.

9.5. Cartamo (*Carthamus tinctorius* L.)

9.5.1. Origine diffusione e caratteristiche della coltura

Il cartamo, è una pianta annuale di origine policentrica, dall'Asia continentale (Iran, Pakistan) all'Africa orientale (Sudan, Etiopia). E' stata coltivata fin dall'antichità in Egitto, in Cina, nelle aree mediterranee e lungo la valle del Nilo fino all'Etiopia. La coltura, nel mondo, occupa una superficie di 1.134.000 ha, con una resa media di 0,73 t/ha (FAO, 2000). Il cartamo è diffuso soprattutto in Asia, prevalentemente in India che ne è il maggior produttore a livello mondiale, con 710.000 ha ettari coltivati su 820.000 ha complessivamente coltivati nel continente asiatico. Seguono con superfici notevolmente inferiori il Messico (103.000 ha), gli USA (79.720 ha) e l'Europa (6.700 ha) dove esso viene coltivato solo in Spagna ed in Portogallo.

9.5.2. Caratteristiche botaniche

Il cartamo appartiene alla famiglia delle *Asteraceae*, ha fusto eretto recante numerose ramificazioni con altezza variabile da 40 a 120 cm in relazione alla varietà. La radice principale è fittonante mentre quelle secondarie sono plagiotropiche, essa spingendosi a notevole profondità consente di soddisfare le proprie esigenze idriche. Le foglie sono alterne e sessili, quelle poste più in basso sono oblunghe e inerme, mentre quelle poste più in alto sono spinescenti. Le infiorescenze, di colore giallo-arancio, sono dei capolini costituiti da 20 a 100 fiori e sono circondate da brattee involucri: le più esterne sono separate, fogliose, talora spinescenti mentre le più interne sono concatenate. La pianta può presentare da 90 a 150 capolini in relazione all'investimento e alla varietà. Il frutto è un achenio, impropriamente chiamato "seme", simile a quello del girasole ma più piccolo e con pericarpo di colore bianco o crema.

Il cartamo è una pianta da rinnovo a ciclo primaverile-estivo; inoltre, è una pianta longigiurna, necessita di luce ad elevata intensità e di temperature elevate durante tutte le fasi del ciclo biologico.

Poiché teme i ristagni idrici, mal si adatta ai terreni argillosi eccezion fatta per quelli dotati di buona struttura, inoltre non tollera un'elevata umidità atmosferica . Il pH deve essere neutro o sub alcalino, inoltre resiste bene ai terreni salini. Necessita di elevate quantità di azoto e di potassio e più basse di fosforo.

PARTE SPERIMENTALE

1. SCOPO DEL LAVORO

Lo studio di specie tradizionali e di altre di nuova introduzione ha lo scopo di valutare le loro potenzialità nell'Areale Mediterraneo e la loro possibile introduzione quali colture alternative per i coltivatori siciliani, per una maggiore sostenibilità della produzione e del consumo energetico. Le colture da biodiesel costituiscono una risposta ai problemi ambientali, all'esaurimento delle fonti tradizionali di energia (fonti fossili) ed alla dipendenza energetica nei confronti dei Paesi esportatori di petrolio.

In tale ottica si è proseguita l'azione di ricerca e sperimentazione verso alcune specie oleaginose tropicali con lo scopo di valutarne l'adattamento al clima locale e le prestazioni agronomiche, in vista di una possibile introduzione negli ordinamenti colturali siciliani. La presente ricerca è stata mirata a incrementare la conoscenza delle potenzialità delle specie attualmente considerate tra le più promettenti colture energetiche annuali per l'ambiente Mediterraneo.

La ricerca è stata articolata nelle seguenti due linee di attività:

- **Linea 1: prova comparativa di cultivar diverse nell'ambito delle seguenti specie:** *Brassica napus* var. *oleifera*, *Brassica carinata*, *Camelina sativa*, *Linum usitatissimum*
- **Linea 2: prova comparativa delle seguenti specie** (*Brassica napus* var. *oleifera*, *Brassica carinata*, *Camelina sativa*, *Linum usitatissimum* e *Carthamus tinctorius*)

2. LINEA 1: prova comparativa di cultivar diverse nell'ambito delle seguenti specie: *Brassica napus var. oleifera*, *Brassica carinata*, *Camelina sativa*, *Linum usitatissimum*

2.1. Materiali e metodi

Le prove sperimentali sono state condotte nell'anno 2010-2011 in una località costiera della Sicilia Orientale, sita nella provincia di Ragusa (Ispica, 46 m s.l.m, 36°46' Lat N, 14°54' Long E). Il terreno, le cui caratteristiche fisiche, chimiche ed idrologiche, sono riportate nella tabella 1, è classificabile in un tipico suolo Xerochrepts -calcixerollic Xerochrepts-litica Xerorthents (USDA, 1999). Per tutta la stagione di crescita delle colture, la temperatura massima e minima giornaliera dell'aria, le precipitazioni, l'evaporazione, sono stati registrati usando un stazione elettronica (CR10, Campbell Scientific, Logan UT) situata a circa 50 m dal campo sperimentale.

Tutte le prove sono state eseguite senza apporti irrigui, poiché le specie utilizzate sono a ciclo autunno-vernino.

Tab. 1 Caratteristiche fisiche, chimiche e idrologiche del terreno (Ispica)

| | |
|---|------|
| Sabbia (%) metodo Gattorta | 39 |
| Limo (%) metodo Gattorta | 23 |
| Argilla (%) metodo Gattorta | 38 |
| pH (metodo potenziometrico) | 7,32 |
| Calcare totale (%) (Scheibler) | 28,5 |
| Calcare attivo (%) (Drouineau) | 6,63 |
| Azoto totale (%) (Kjeldahl) | 0,15 |
| P ₂ O ₅ assim.(p.p.m.) (Ferrari) | 25 |
| K ₂ O scamb.(p.p.m.) (Internazionale) | 325 |
| Capacità idrica di campo (% in peso) | 27,8 |
| Coefficiente di appassimento (% in peso) | 11,6 |
| Peso specifico apparente (g m ³) (metodo cilindretto) | 1,22 |

2.1.1. Valutazione produttiva e confronto varietale di *Brassica napus* var. *Oleifera* e *Brassica carinata*

Le prove sperimentali sono state predisposte con uno schema sperimentale a blocchi randomizzati ripetuti tre volte, con parcelle elementari di 6 m² (3 x 2 m). Sono stati studiati e confrontati quattro genotipi di *Brassica carinata* a ciclo autunnale – vernino (Sincron, CT 180, CT 204 e ISCI 7) e due genotipi di *Brassica napus* var. *oleifera* a ciclo autunnale – vernino (Hybrilord e Hybristar), per valutarne la capacità produttiva, usando il colza come testimone. Il terreno è stato uniformemente lavorato alla profondità di 30-35 cm, amminutato e mantenuto libero da malerbe fino al momento della semina. I concimi fosfatici e potassici sono stati apportati interamente prima della semina in quantità di 80 kg ha⁻¹ e 70 kg ha⁻¹ di P₂O₅ e K₂O. L'azoto è stato somministrato in due frazioni distinte in fase di pre-semina e in copertura in quantità rispettivamente di 20 e 40 kg ha⁻¹. La semina è stata effettuata a file il 2 Novembre 2010, su parcelle elementari di 6 m² (3 x 2 m) con una densità di 100 semi m⁻² per la *Brassica carinata* e 60 semi m⁻² per il colza (*Brassica napus* var. *oleifera*).

Durante il ciclo biologico della *Brassica napus* var. *oleifera* e della *Brassica carinata* sono stati registrati i principali parametri meteorologici, e rilevate le seguenti fasi fenologiche:

- emergenza;
- fioritura;
- inizio formazione silique;
- maturazione cerosa;
- maturazione fisiologica.

Considerando tali fasi valide, nel momento in cui almeno il 50% delle piante di ciascuna parcella hanno evidenziato tali stadi. Alla raccolta (14/06/2011), su un campione costituito da dieci piante per parcella, sono state prese in esame su ciascuna pianta, le seguenti caratteristiche:

- Statura della pianta;
- Numero branche;
- Numero silique/pianta

- Peso biomassa epigea totale;
- Produzione di seme;
- Numero silique;
- Numero semi per silique;
- Peso 1000 semi.

2.1.2. Valutazione produttiva e confronto varietale di *Camelina sativa*

Le prove sperimentali sono state realizzate utilizzando uno schema sperimentale a blocchi randomizzati ripetuti tre volte, con parcelle elementari di 6 m² (3 x 2 m). Sono stati studiati e confrontati quattro genotipi di *Camelina sativa* (CAM 219, CAM 172, CAM 225) forniti dalla Banca del Seme IPK di Lipsia (DE), confrontate con la due genotipi Calena (A. e B.) usati come testimone. Il terreno dove è stata effettuata la prova è stato lavorato con una aratura di 30-35 cm; un ulteriore affinamento delle zolle grossolane è stato conseguito utilizzando un motocoltivatore. Con riferimento alla concimazione presemina, sono stati distribuiti 80 kg ha⁻¹ di P₂O₅, sottoforma di perfosfato minerale e 70 kg ha⁻¹ di K₂O. L'azoto è stato somministrato in due frazioni distinti in fase di pre-semina e in copertura in quantità rispettivamente di 20 e 40 kg ha⁻¹. La semina è stata eseguita a file il 11 novembre 2010, su parcelle elementari di 6 m² (3 x 2 m) con una densità di 400 semi m⁻².

Durante il ciclo biologico della *Camelina sativa* sono stati rilevati i principali parametri meteorologici, e registrate le seguenti fasi fenologiche:

- emergenza;
- fioritura;
- inizio formazione silique;
- maturazione cerosa;
- maturazione fisiologica.

Considerando tali fasi valide, nel momento in cui almeno il 50% delle piante di ciascuna parcella hanno evidenziato tali stadi. Alla raccolta (11/05/2011 per CAM 225, CAM 172 e Calena A – 18/05/2011 per Calena B e CAM 119), su un campione costituito da dieci piante per parcella, sono state prese in esame su ciascuna pianta i seguenti dati:

- Statura della pianta;
- Numero branche;
- Numero silique/pianta;
- Peso biomassa epigea totale;
- Produzione di seme;
- Numero silique;
- Numero semi per silique;
- Peso 1000 semi.

2.1.3. Valutazione produttiva e confronto varietale di *Linum usitatissimum*

La prova sperimentale è stata condotta con uno schema sperimentale a blocchi randomizzati ripetuti tre volte, con parcelle elementari di 6 m² (3 x 2 m). Sono stati studiati e confrontati quattro genotipi di lino a ciclo autunnale – vernino (Oural, Glacial, Oleal e Hivernal) per investigare sulla capacità produttiva in ambiente mediterraneo. Il terreno è stato arato alla profondità di 30-35 cm, e amminutato utilizzando una fresa. Sono stato distribuiti alla semina 80 kg ha⁻¹ e 70 kg ha⁻¹ di P₂O₅ e K₂O. L'azoto è stato distribuito in fase di pre-semina e in copertura in quantità rispettivamente di 20 e 40 kg ha⁻¹. La semina è stata effettuata a file il 3 Novembre 2010, su parcelle elementari di 6 m² (3 x 2 m) con una densità di 500 semi m².

Durante il ciclo biologico del *Linum usitatissimum* sono stati registrati i principali parametri meteorologici, e rilevate le seguenti fasi fenologiche:

- emergenza;
- fioritura;
- inizio formazione silique;
- maturazione cerosa;
- maturazione fisiologica;

Considerando tali fasi valide, nel momento in cui almeno il 50% delle piante di ciascuna parcella hanno evidenziato tali stadi. Alla raccolta (08/06/2011 tranne per il Glacial che è stata eseguita il 12/06), su un campione costituito da dieci piante per parcella, sono state rilevati i seguenti dati biometri e produttivi:

- Statura della pianta;
- Numero branche;
- Numero silique/pianta;
- Peso biomassa epigea totale;
- Produzione di seme;
- Numero silique;
- Numero semi per silique;
- Peso 1000 semi.

2.2. Analisi statistica

I dati biometrici, della resa in seme e dei suoi componenti (peso 1000 semi, numero silique/capsule/capolini per pianta, numero semi per siliqua/capsula/capolino) sono stati analizzati statisticamente attraverso l'analisi della varianza ad una via (ANOVA) utilizzando il software CoStat 6.003. Il test Student-Newman-Keuls (SNK) è stato eseguito per valutare le differenze significative tra le medie, secondo Snedecor e Cochran (1989).

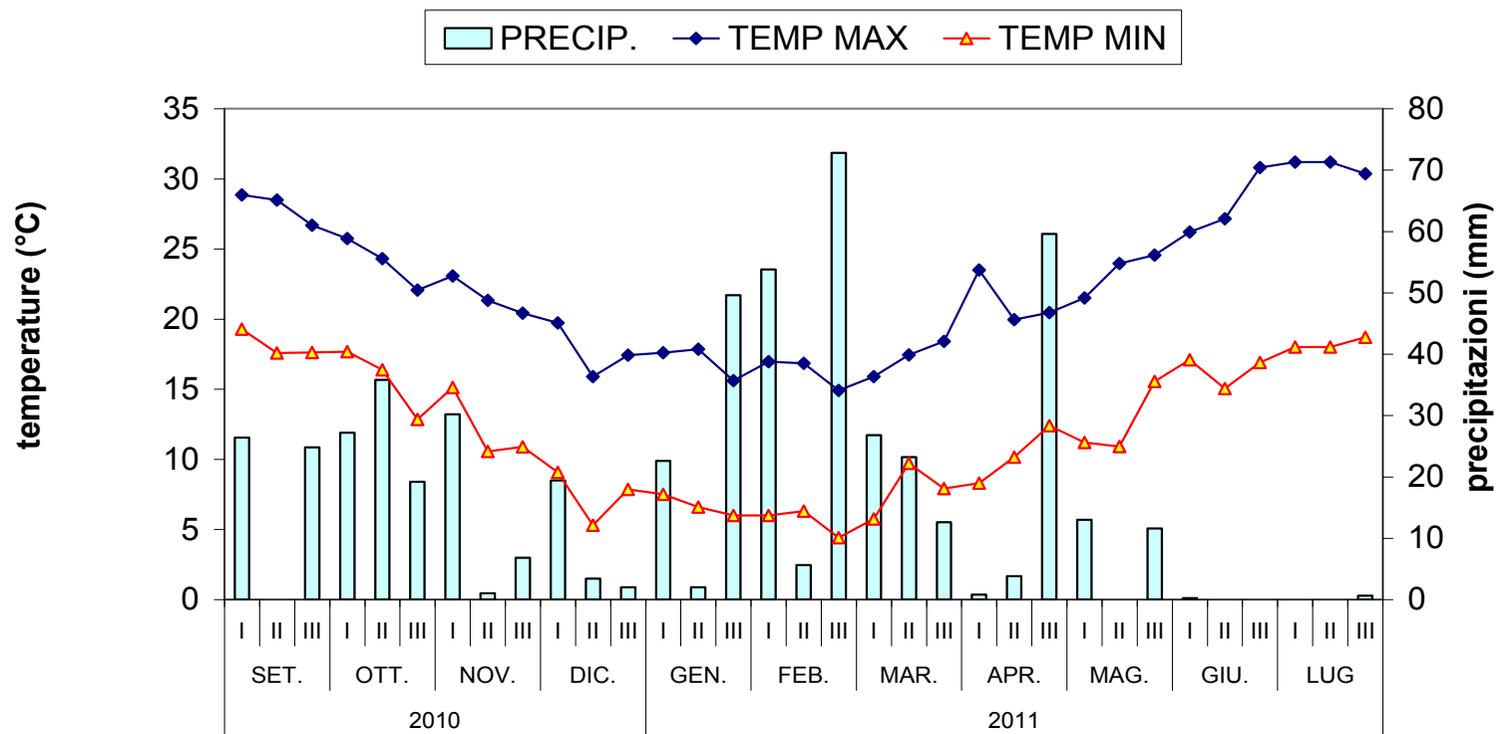
3. RISULTATI E DISCUSSIONI

3.1. Andamento termo-pluviometrico

L'andamento termo-pluviometrico registrato durante le prove sperimentali, è riportato nella figura 1.

In particolare, nel primo anno di prova (2010-2011) a Ispica la piovosità si è attestata sui 550 mm. Nello stesso periodo (da settembre 2010 a luglio 2011) le temperature minime hanno fatto registrare valori in assoluto minori nella terza decade di febbraio con un valore medio di 4,4 °C e le massime hanno evidenziato il valore più alto nella prima decade di luglio con 31,2 °C.

Fig. 1 CAMPO SPERIMENTALE DI ISPICA
Andamento termo-pluviometrico - set. 2010- lug. 2011

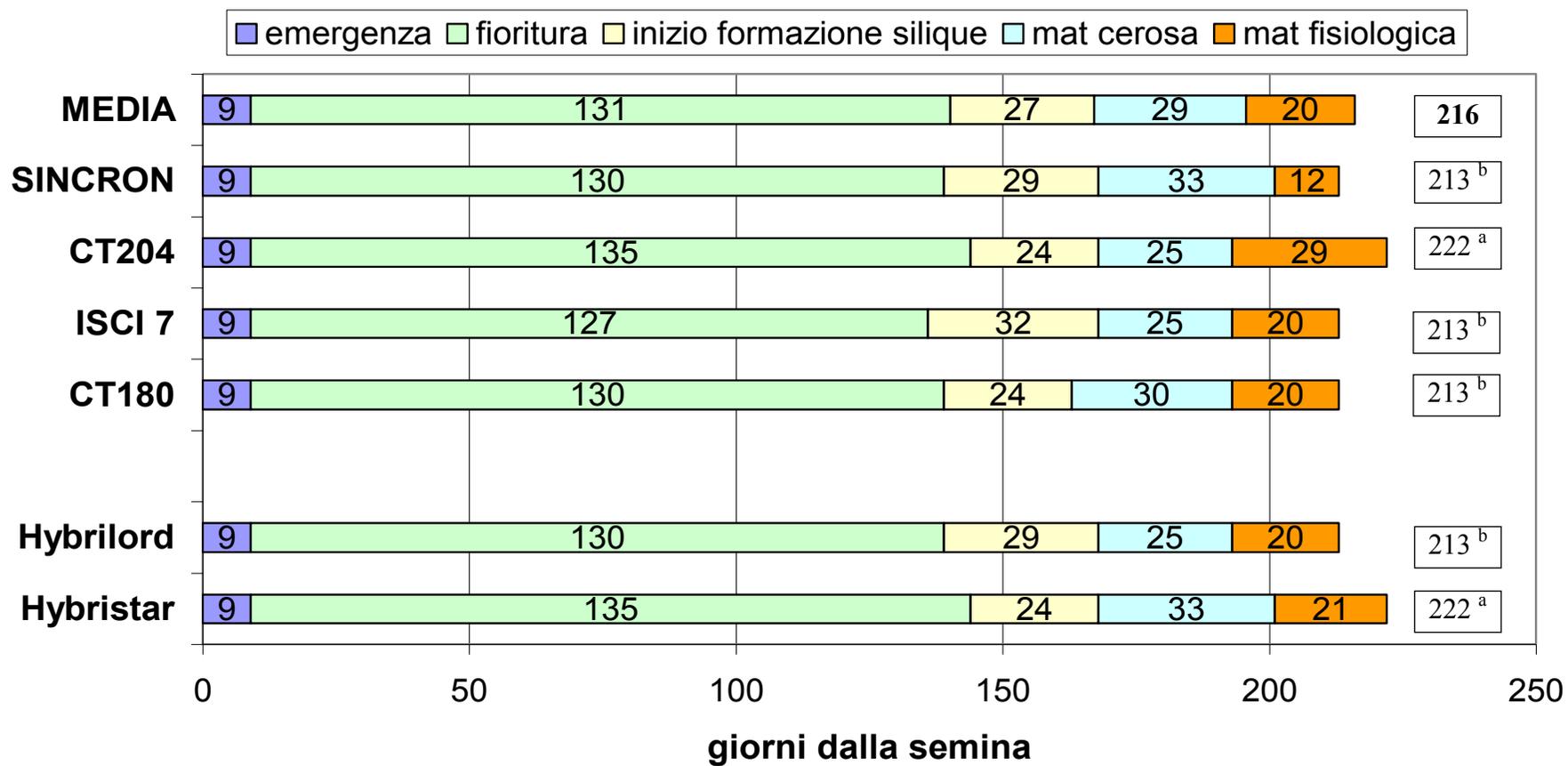


3.2. Valutazione produttiva e confronto varietale di *Brassica napus* var. *Oleifera* e *Brassica carinata*

3.2.1 Durata del ciclo biologico

In tutti i genotipi allo studio si è osservata una fioritura regolare: questa, nella media è avvenuta a 135,67 giorni dalla semina (GDS); precoci sono apparsi i genotipi di *Brassica napus*, Hybristar e Hybrilord, e per la *Brassica carinata* i genotipi CT180 e CT204 (127 GDS), tardivi alcuni genotipi di *Brassica carinata*, ISCI 7 e Sincron (153 GDS). La maturazione del seme è avvenuta, nella media dei genotipi, a 216 GDS. I genotipi più precoci sono risultate Sincron, ISCI 7 e CT180 per la *Brassica carinata* e Hybrilord per la *Brassica napus*. Differenze significative sono state riscontrate nel genotipo Hybristar rispetto a Hybrilord. Differenze significative sono emerse anche tra il genotipo CT204 e gli altri genotipi della *Brassica carinata* (**fig. 2**).

**Fig. 2 - DURATA DEL CICLO BIOLOGICO E DI ALCUNE SUE FASI -
COLZA E BRASSICA - ANNO 2010-2011**



3.2.2 Caratteri morfo-biometrici

Dall'analisi dei caratteri biometrici, è emerso che la statura delle piante nel colza è stata 161 e 149 cm rispettivamente in Hybristar e Hybrilord, differenziandosi statisticamente. Per quanto riguarda i genotipi di *Brassica carinata*, non sono state riscontrate differenze significative, ed il valore massimo si è avuto in ISCI7 (192 cm) e quello più basso in Sincron (140 cm). Per quanto riguarda il numero delle ramificazioni per pianta, nel colza non si sono evidenziate differenze significative, Hybrilord ha fatto registrare il valore più alto con 16,53 ramificazioni. La *Brassica carinata* ha mostrato differenze significative fra i genotipi CT 204 e Sincron; in quest'ultima si è registrata il valore più basso 6,20 (**tab.2**).

Tab.2 – Altezza e numero di ramificazioni delle piante

| Caratteri Genotipi | Altezza pianta (cm) | Ramificazioni (n) |
|-------------------------------------|------------------------|----------------------|
| Hybristar | 161 ^a | 12,46 ^{ab} |
| Hybrilord | 149 ^b | 16,53 ^a |
| | | |
| CT180 | 158 ^b | 10,73 ^{ab} |
| ISCI 7 | 192 ^b | 10,20 ^{ab} |
| CT204 | 161 ^b | 16,33 ^a |
| SINCRON | 140 ^b | 6,20 ^b |
| MEDIA | 160,17 | 12,08 |
| MDS | 17,41 | 5,10 |
| <i>significatività</i> | ** | ** |
| Significatività: ** P≤ 0,01. | | |

3.2.3 Caratteri produttivi

Nella media dei genotipi allo studio si è registrata una resa in seme pari a 3,44 t ha⁻¹. Gli ibridi di *Brassica napus* Hybristar e Hybrilord hanno prodotto in media 4,64 t ha⁻¹, mostrando differenze significative rispetto a tutti i genotipi di *Brassica carinata*, che hanno prodotto rese comprese tra 3,88 e 2,18 t ha⁻¹. Fra le componenti della resa il peso

dei 1000 semi è risultato statisticamente differente tra i genotipi allo studio; i valori sono oscillati da 4,86 g di Hybrilord a 3,98 Sincron. Il numero di silique per pianta è variato significativamente evidenziando valori compresi tra 213,4 di Hybristar e 165 di Sincron; anche il carattere numero di semi per siliqua si è differenziato statisticamente con valori compresi tra 17,4 di Hybristar e 11,6 di Sincron (**tab. 3**)

La produzione più elevata è stata ottenuta da Hybristar con 4,77 t ha⁻¹. Tra i genotipi di *Brassica carinata*, i migliori sono stati CT180 e ISCI 7 con 3,18 e 3,11 t ha⁻¹ rispettivamente, la meno produttiva è risultata Sincron con 2,18 t ha⁻¹.

Tab.3 – Resa in granella (t ha⁻¹) e le sue componenti in relazione ai genotipo allo studio

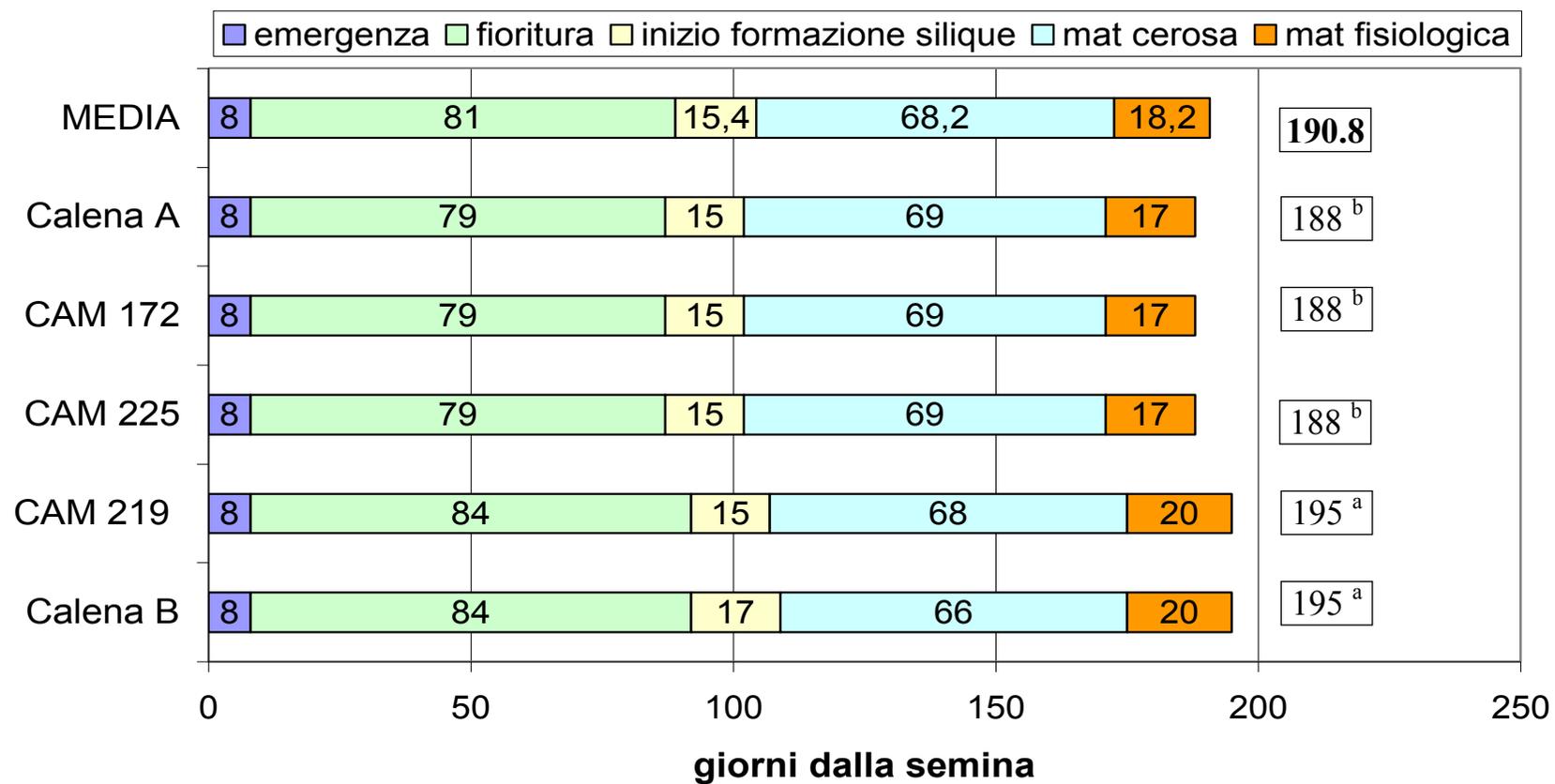
| Caratteri Genotipi | Resa (t ha ⁻¹) | Peso 1000 semi (g) | silique/pianta (n) | semi/silique (n) |
|--|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| Hybristar | 4,77 ^a | 4,11 ^{ab} | 213,40 ^a | 17,44 ^a |
| Hybrilord | 4,51 ^a | 4,86 ^a | 190,93 ^b | 14,99 ^{ab} |
| CT180 | 3,18 ^b | 4,29 ^{ab} | 165,47 ^c | 14,98 ^{ab} |
| ISCI 7 | 3,11 ^b | 3,99 ^b | 179,20 ^{bc} | 14,71 ^{ab} |
| CT204 | 2,87 ^b | 4,66 ^a | 146,53 ^d | 13,09 ^{bc} |
| SINCRON | 2,18 ^c | 3,98 ^b | 165,00 ^c | 11,61 ^c |
| MEDIA | 3,44 | 4,31 | 176,76 | 14,47 |
| MDS | 0,45 | 1,36 | 11,76 | 2,04 |
| <i>significatività</i> | *** | <i>ns</i> | *** | ** |
| Significatività: ns = non significativo, ** P≤ 0,01; *** P≤ 0,001. | | | | |

3.3 Valutazione produttiva e confronto varietale di *Camelina sativa*

3.3.1 Durata del ciclo biologico

Il ciclo biologico della *Camelina sativa* è durato in media 190,8 giorni. I genotipi più precoci con 188 giorni dalla semina (GDS), sono stati Calena A, CAM 172 e CAM 225. I più tardivi, con 195 (GDS), sono stati i genotipi CAM 219 e Calena B, che si sono differenziati statisticamente, rispetto ai genotipi più precoci (**fig. 3**).

**Fig. 3 - DURATA DEL CICLO BIOLOGICO E DI ALCUNE SUE FASI -
CAMELINA ANNO 2010-2011**



3.3.2 Caratteri morfo-biometrici

Con riferimento alla statura della pianta, si è registrata una altezza media di 104,20 cm. Non vi sono state differenze statisticamente significative tra i genotipi allo studio. Il valore più alto è risultato il genotipo Calena A con 109,93, mentre la statura più bassa è stata quella di Calena B 95,67 cm. Il numero branche per pianta più alto si è registrato in Calena B attestandosi a 15,10. Per quanto riguarda questo carattere non si sono evidenziate differenze significative tra i genotipi (**tab. 4**)

Tab.4 – Dati biometrici dei genotipi allo studio di *Camelina sativa*

| Caratteri Genotipi | Statura pianta (cm) | Branche (n) |
|--|------------------------|--------------------|
| CALENA B | 95,67 ^a | 15,10 ^a |
| CAM 219 | 107,93 ^a | 14,63 ^a |
| CAM 225 | 103,27 ^a | 13,77 ^a |
| CAM 172 | 105,11 ^a | 14,43 ^a |
| CALENA A | 109,93 ^a | 11,87 ^a |
| MEDIA | 104,2 | 13,96 |
| MDS | 11,23 | 5,70 |
| <i>significatività</i> | ns | ns |
| Significatività: ns = non significativo. | | |

3.3.3 Caratteri produttivi

La resa in seme dei genotipi allo studio è risultata variata tra 1,10 e 2,55 t ha⁻¹, con un valore medio di 1,51 t ha⁻¹; in particolare le rese più alte sono state fornite dal genotipo Calena B (2,55 t ha⁻¹) e dal genotipo CAM 219 (1,53 t ha⁻¹) (**tab.5**). Il peso 1000 semi, risultato in media di 1,16 g., ed è variato tra valori di 1,20 g. del genotipo Calena B e i 1,12 g. del genotipo CAM 225; non risultano significative le differenze tra i genotipi più produttivi. Il numero capsule per pianta, in media 423,86, con il valore più alto nel genotipo Calena B (533,76) e quello più basso in CAM 225 (283,47) non ha evidenziato

differenze significative nei genotipi pi produttivi (Calena B e CAM 219), mentre ha mostrato differenze altamente significative negli altri genotipi.

Per quanto riguarda il numero di semi per capsula; il valore più alto e quello più basso sono stati rispettivamente, 11,55 di CAM 219 e 8,57 di CAM 172. Le differenze tra i genotipi sono state statisticamente significative.

Tab.5 – Resa ($t\ ha^{-1}$) e le sue componenti dei genotipi allo studio di *Camelina sativa*

| Caratteri Genotipi | Resa ($t\ ha^{-1}$) | Peso 1000 semi (g) | silique/pianta (n) | semi/silique (n) |
|--|--------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------|
| CALENA B | 2,55 ^a | 1,20 ^a | 533,76 ^a | 10,77 ^{ab} |
| CAM 219 | 1,53 ^b | 1,19 ^a | 539,10 ^a | 11,55 ^a |
| CAM 225 | 1,30 ^c | 1,12 ^b | 283,47 ^d | 11,42 ^a |
| CAM 172 | 1,09 ^c | 1,14 ^b | 417,03 ^b | 8,57 ^c |
| CALENA | 1,10 ^c | 1,14 ^b | 345,93 ^c | 10,10 ^b |
| MEDIA | 1,51 | 1,16 | 423,86 | 10,48 |
| MDS | 0,19 | 0,03 | 46,35 | 1,00 |
| <i>significatività</i> | *** | ** | *** | *** |
| Significatività: ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$. | | | | |

3.4 Valutazione produttiva e confronto varietale di *Linum usitatissimum*

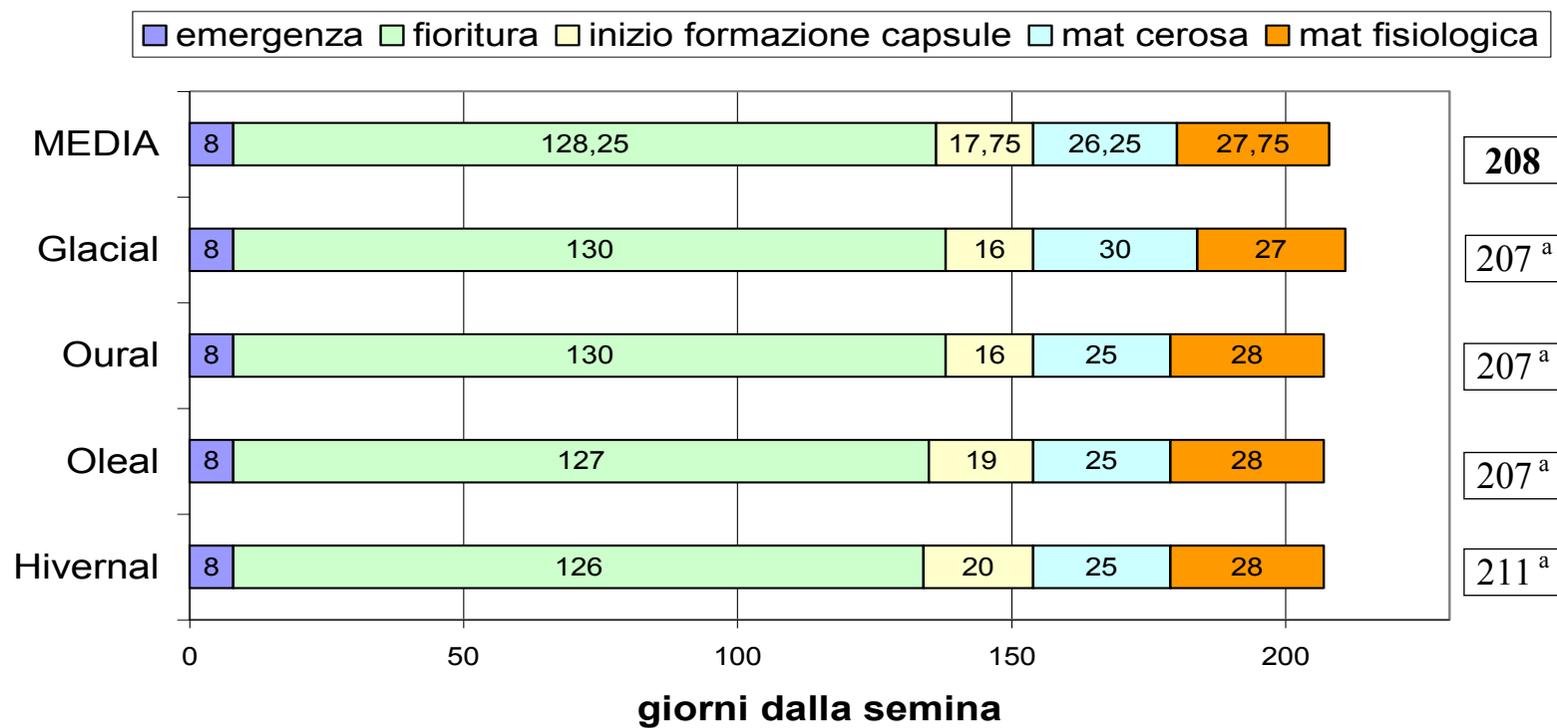
3.4.1 Durata del ciclo biologico

La durata di maturazione delle capsule è avvenuta tra l'8 giugno (genotipi *Glacial*, *Oural* e *Oleal*) e il 12 giugno (genotipo *Hivernal*). La durata dell'intervallo "semina – maturazione" in media pari a 208 giorni (**fig.4**).

Più precoci sono risultati i genotipi *Oleal*, *Oural*, e *Glacial* (207 , 207 e 207 giorni), mentre *Hivernal*, con 211 giorni è apparsa la più tardiva.

Con riferimento al primo intervallo, durato in media 128,3 giorni, è stato registrato un campo di variazione compreso tra i 126 giorni della genotipi *Hivernal* e 130 giorni di *Glacial* e *Oural*. Non sono state riscontrate differenze significative fra i genotipi.

Fig. 4 - DURATA DEL CICLO BIOLOGICO E DI ALCUNE SUE FASI - LINO - ANNO 2010-2011



3.4.2 Caratteri morfo-biometrici

I caratteri morfologici esaminati, statura e numero di ramificazioni per pianta, sono risultati significativamente differenti tra i genotipi allo studio (**tab. 6**). La statura della pianta, in media pari a 84,64 cm, è oscillata tra 79,39 cm di *Glacial* e 94 cm *Hivernal*; quest'ultimo si è differenziato statisticamente rispetto a tutti gli altri genotipi. Il numero di ramificazioni in media pari a 2,87, è variato significativamente tra 2,62 di *Hivernal* e 3,54 di *Glacial*. (**tab. 6**).

Tab.6 – Statura e numero di ramificazioni della pianta

| Caratteri Genotipi | Statura pianta (cm) | Branche (n) |
|---|------------------------|-------------------|
| Hivernal | 94,44 ^a | 2,62 ^b |
| Oural | 86,13 ^b | 2,87 ^b |
| Oleal | 86,66 ^b | 2,47 ^b |
| Glacial | 79,39 ^b | 3,54 ^a |
| MEDIA | 86,64 | 2,87 |
| MDS | 6,03 | 0,41 |
| <i>significatività</i> | ** | ** |
| Significatività: ns = non significativo; * P≤ 0,05; ** P≤ 0,01. | | |

3.4.3 Caratteri produttivi

Dall'analisi dei risultati produttivi si è osservato un differente comportamento dei genotipi allo studio (**tab. 7**). In media si è registrata una produzione di 2,45 t ha⁻¹. I genotipi *Hivernal*, con 3,47 t ha⁻¹, ha fornito la produzione più elevata, peraltro, differenziandosi statisticamente. Le meno produttive sono apparse *Oleal* e *Glacial*, rispettivamente con 1,98 e 2,00 t ha⁻¹. Fra le componenti della resa, variazioni statisticamente significative sono state riscontrate nel peso dei 1000 semi, numero di capsule per pianta e semi per capsula (**tab. 7**). Il peso dei 1000 semi è variato tra 7,74 e

5,19 g, il numero di capsule per pianta tra 8,35 e 6,75, per tutti questi caratteri i valori maggiori si sono avuti nel genotipo *Hivernal*.

Tab.7 – Resa ($t\ ha^{-1}$) e le sue componenti dei genotipi allo studio di lino

| Caratteri Genotipi | Resa ($t\ ha^{-1}$) | Peso 1000 semi (g) | capsule/pianta (n) | semi/capsule (n) |
|--|--------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------|
| Hivernal | 3,47 ^a | 7,74 ^a | 57,28 ^a | 8,35 ^a |
| Oural | 2,34 ^b | 5,54 ^a | 42,27 ^b | 8,05 ^a |
| Oleal | 1,98 ^b | 5,19 ^b | 34,83 ^b | 7,38 ^b |
| Glacial | 2,00 ^b | 7,52 ^b | 32,91 ^b | 6,75 ^b |
| MEDIA | 2,45 | 6,50 | 41,82 | 7,63 |
| MDS | 0,43 | 0,63 | 9,31 | 0,63 |
| <i>significativà</i> | *** | *** | ** | ** |
| Significatività: ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$. | | | | |

4 LINEA 2: Prova comparativa delle seguenti specie (*Brassica napus* var. *oleifera*, *Brassica carinata*, *Camelina sativa*, *Linum usitatissimum* e *Carthamus tinctorius*)

4.1 Materiali e metodi

Le prove sperimentali sono state condotte nell'anno 2011-2012 in una località sita nella provincia di Siracusa (Noto, 15 m s.l.m., Lat 36°49' Lat N, 15°05' Long E). Il terreno, le cui caratteristiche fisiche, chimiche ed idrologiche, sono riportate nella tabella 8, è classificabile in un tipico suolo Xerochrepts –calcixerollic Xerochrepts-litica Xerorthents (USDA, 1999). Per tutta la stagione di crescita delle colture, la temperatura massima e minima giornaliera dell'aria, le precipitazioni, l'evaporazione, sono stati registrati usando un stazione elettronica (CR10, Campbell Scientific, Logan UT) situata a circa 50 m dal campo sperimentale: Tutte le prove sono state eseguite senza irrigazione, poiché le specie utilizzate sono a ciclo autunno-vernino.

Tab. 8 Caratteristiche fisiche, chimiche e idrologiche del terreno (Noto)

| | |
|---|------|
| Sabbia (%) metodo Gattorta | 35 |
| Limo (%) metodo Gattorta | 28 |
| Argilla (%) metodo Gattorta | 37 |
| pH (metodo potenziometrico) | 7,15 |
| Calcare totale (%) (Scheibler) | 25,5 |
| Calcare attivo (%) (Drouineau) | 6,14 |
| Azoto totale (%) (Kjeldahl) | 1,15 |
| P ₂ O ₅ assim.(p.p.m.) (Ferrari) | 23 |
| K ₂ O scamb (p.p.m.) (Internazionale) | 285 |
| Capacità idrica di campo (% in peso) se | 29,8 |
| Coefficiente di appassimento (% in peso) | 13,5 |
| Peso specifico apparente (g m ³) (metodo cilindretto) | 1,25 |

Le prove sperimentali sono state predisposte con uno schema sperimentale a blocchi randomizzati ripetuti tre volte, con parcelle elementari di 6 m² (3 x 2 m). Sono state

messe a confronto cinque specie oleaginose annuali (*Brassica napus* var. *oleifera*, *Brassica carinata*, *Camelina sativa*, *Linum usitatissimum* e *Carthamus tinctorius*). Per il colza (*Brassica napus oleifera*) è stato testato un ibrido (PR46W31) fornito dalla ditta sementiera “Pioneer”, per la *Brassica carinata* è stato testato un genotipo CT 180, per la *Camelina sativa* il genotipo Calena B, per il lino il genotipo Sideral e per il Cartamo il genotipo Sabina. Il terreno destinato alla prova è stato uniformemente lavorato alla profondità di 30-35 cm, amminutato e mantenuto libero da malerbe fino al momento della semina. I concimi fosfatici e potassici sono stati apportati interamente prima della semina in quantità di 80 kg ha⁻¹ e 70 kg ha⁻¹ di P₂O₅ e K₂O. L’azoto è stato somministrato in due frazioni distinti in fase di pre-semina e in copertura in quantità rispettivamente di 20 e 40 kg ha⁻¹. La semina è stata effettuata a file giorno 14 dicembre 2011, su 0.5 ha, con una densità di 80 semi m⁻² per il colza, 100 semi m⁻² per la *Brassica carinata*, 400 semi m⁻² per la *Camelina sativa*, 500 semi m⁻² per il lino e 60 semi m⁻² per il cartamo.

Durante il ciclo biologico di tutte le specie, sono stati registrati i principali parametri meteorologici e rilevate le seguenti fasi fenologiche:

- emergenza;
- fioritura;
- inizio formazione silique/capsule/capolini;
- maturazione cerosa;
- maturazione fisiologica.

Considerando tali fasi valide, nel momento in cui almeno il 50% delle piante di ciascuna parcella hanno evidenziato tali stadi. Alla raccolta, differente nelle varie specie; su un campione costituito da dieci piante per parcella, sono state rilevati i seguenti dati biometri e produttivi:

- Statura della pianta;
- Numero branche;
- Numero silique/capsule/capolini/pianta
- Peso biomassa epigea totale;
- Produzione di seme;
- Numero silique/capsule/capolini;

- Numero semi per silique/capsule/capolini;
- Peso 1000 semi.

Le date di raccolta, sono state il 12/05/2012 per il lino e la *Camelina sativa*; il 16/07/2012 per colza e la *Brassica carinata* e 23 luglio 2012 per il cartamo.

Dopo la raccolta, al fine di evidenziare i diversi comportamenti produttivi è stato calcolato l'indice di accrescimento CGR (crop growth rate), che esprime l'incremento del peso secco per unità di area di suolo nell'unità di tempo (g m⁻² d⁻¹) ed è espresso dalla formula:

$$\text{CGR} = \frac{W_2 - W_1}{(t_2 - t_1) S}$$

Dove W_1 e W_2 sono i pesi secchi rilevati in due prelevamenti successivi fatti rispettivamente ai tempi t_1 e t_2 e S è la superficie di terreno sulla quale W è stato rilevato. Tale indice è stato calcolato per tutte le specie, in varie date, in corrispondenza dell'inizio fioritura, tranne per il lino calcolato a partire dall'inizio formazione capsule.

4.2 Analisi di laboratorio

Il contenuto in olio dei semi (% s.s.) è stato determinato in accordo con la procedura UNI EN ISO 659-2009 mediante apparato Soxhlet, utilizzando etere di petrolio 40-60° come solvente. L'estratto lipidico è stato privato del solvente residuo in evaporatore rotante e poi disidratato con Na₂SO₄ e filtrato. La composizione acidica dell'olio è stata valutata seguendo il procedimento ISO 5508-1990. Precisamente, il campione di olio è stato prima sottoposto a trans esterificazione per derivare gli esteri metilici degli acidi grassi e poi sottoposto ad analisi gas cromatografica. Quest'ultima è stata eseguita mediante apparecchio HRGC Mega 2 (Carlo Erba Instruments) dotato di rivelatore a ionizzazione di fiamma (FID). La fase stazionaria era rappresentata da colonna Supelcowax fused silica 30 m lunghezza, 0,25 mm diametro interno, 0,25 µm spessore film.

Le condizioni operative adottate sono state le seguenti: temperatura iniettore e rivelatore, 250 e 270°C, rispettivamente; programma forno da 190°C a 250°C con incremento di 2,5°C/min.

Gas di trasporto, He a 115 kPa; gas ausiliari: aria cromatografica a 310 ml/min., H a 30 ml/min. Make-up: N a 30 ml/min. E' stato iniettato μ l di campione.

L'identificazione dei singoli acidi grassi è stata eseguita per confronto con i tempi di ritenzione di una miscela standard di metilesteri (Sigma Chemical Co.), e la concentrazione dei singoli composti è stata espressa come percentuale dell'area sottesa al picco corrispondente rispetto all'area totale di tutti i picchi.

4.3 Analisi statistica

I dati biometrici, della resa in seme e delle sue componenti (peso 1000 semi, numero silique/capsule/capolini per pianta, numero semi per siliqua/capsula/capolino), l'harvest index e la resa in olio sono stati analizzati statisticamente attraverso l'analisi della varianza ad una via (ANOVA) utilizzando coorte Software CoStat 6.003.

Il test Student-Newman-Keuls (SNK) è stato eseguito per valutare le differenze significative tra le medie, secondo Snedecor e Cochran (1989).

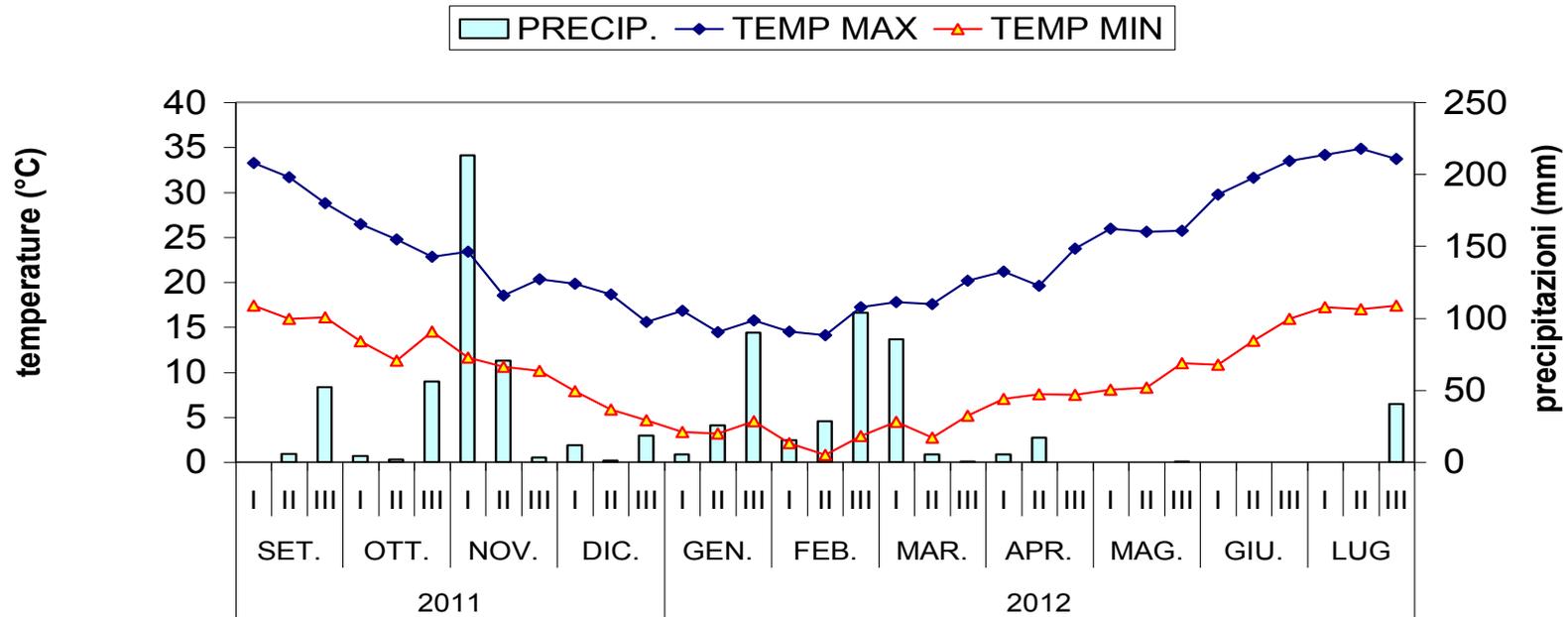
5 RISULTATI E DISCUSSIONI

5.1 Andamento termo-pluviometrico

L'andamento termo-pluviometrico registrato durante la prova sperimentale è riportato nella figura 5.

Nel secondo anno di prove (2011-2012) a Noto le precipitazioni si sono attestate su 860 mm. Nello stesso periodo (da settembre 2011 a luglio 2012) le temperature minime hanno fatto registrare valori in assoluto minori nella seconda decade di febbraio con un valore medio di 0,8 °C e le massime hanno evidenziato il valore più alto nella seconda decade di luglio con 34,8 °C.

Fig.5 CAMPO SPERIMENTALE DI NOTO
Andamento termo-pluviometrico - set. 2011- lug. 2012



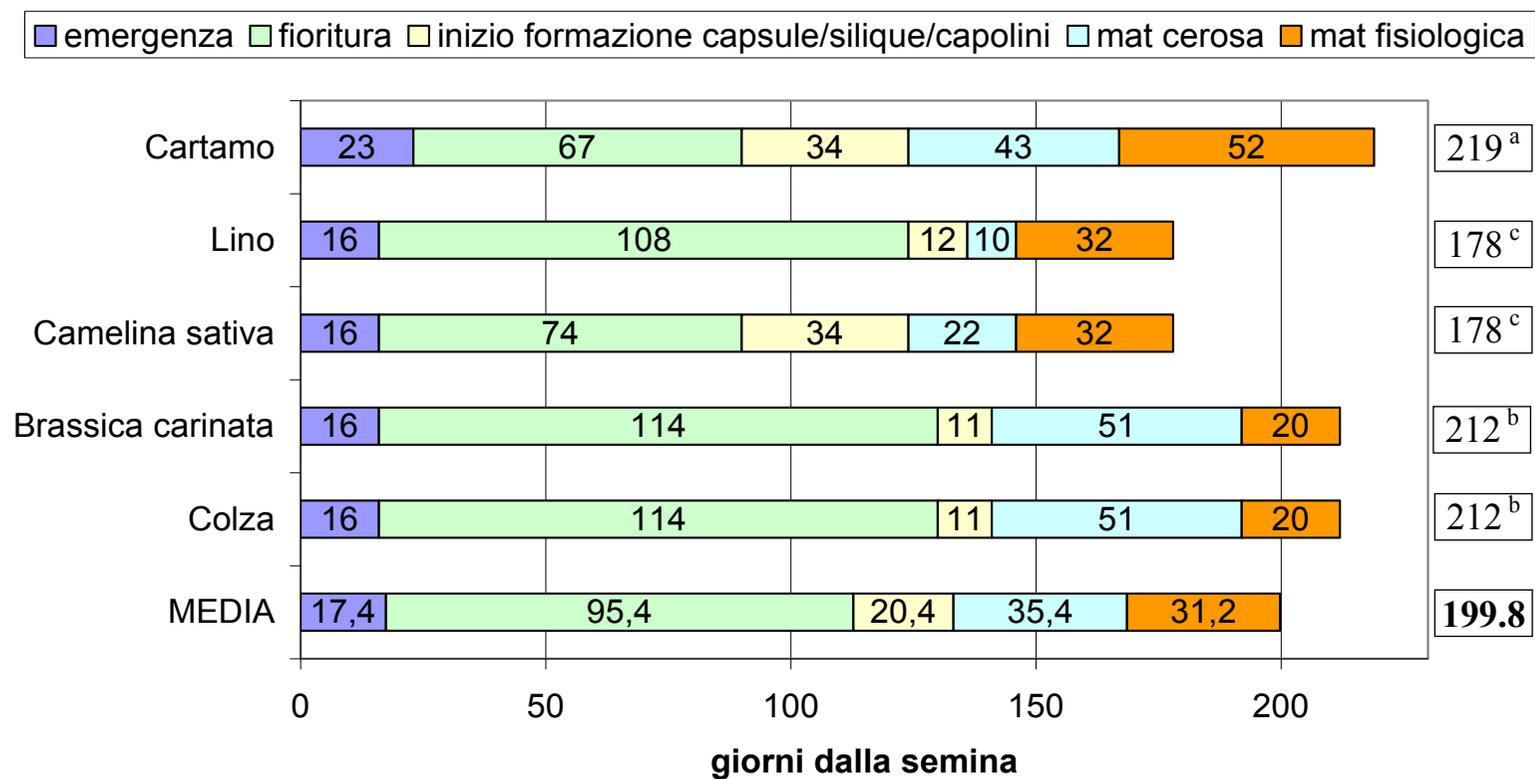
5.2 Ciclo biologico delle specie oleaginose

In tutte le specie allo studio si è osservato un ciclo più precoce rispetto alle prove dello scorso anno, poiché la semina è stata posticipata di circa un mese, a causa delle avverse condizioni meteorologiche, infatti, nel mese di novembre 2011 si sono registrate circa 290 mm di precipitazioni (**fig. 5**).

La fioritura è avvenuta a 130 giorni dalla semina (GDS) nel colza e nella *Brassica carinata*; a 124 giorni dalla semina (GDS) nel lino; a 90 giorni dalla semina (GDS) nella *Camelina sativa* e nel cartamo.

Il lino e la *Camelina sativa* sono stati i più precoci concludendo il ciclo a 178 giorni dalla semina (GDS); il colza e la Brassica hanno concluso il ciclo a 212 giorni dalla semina (GDS); il cartamo, il più tardivo, ha concluso il ciclo a 219 giorni dalla semina (GDS). Differenze significative sono state riscontrate nel cartamo rispetto alle altre specie. Inoltre sono state rilevate differenze significative fra il colza e la *Brassica carinata* rispetto al lino e alla *Camelina sativa* (**fig.6**).

**Fig.6 - DURATA DEL CICLO BIOLOGICO E DI ALCUNE SUE FASI
NELLE SPECIE STUDIATE 2011-12**



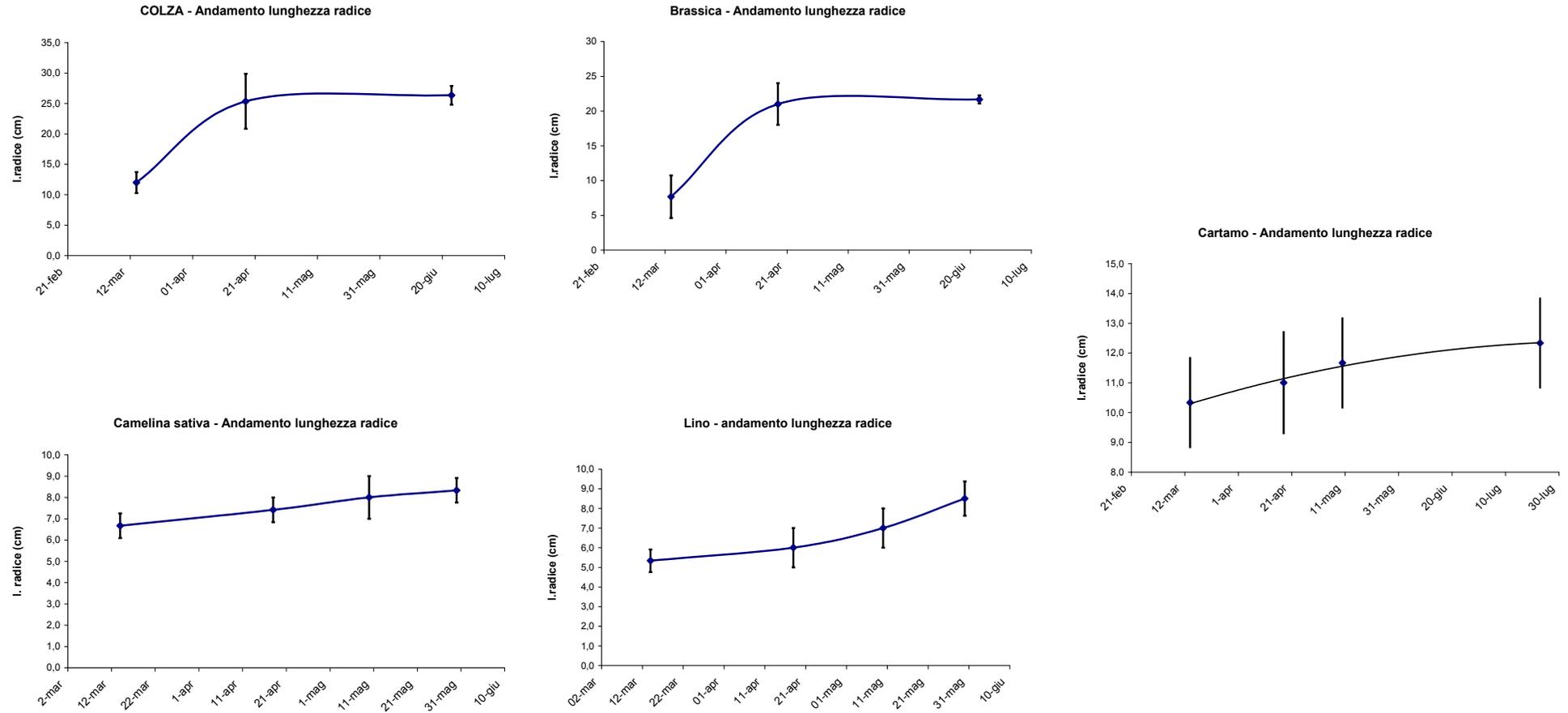
5.3 Andamento della lunghezza radice

Fra i caratteri presi in esame, si è rilevata la lunghezza radice in tutte le specie, in più date del ciclo biologico, al fine di valutare lo strato di terreno esplorato.

Per quanto riguarda il confronto dell'andamento della lunghezza radice, si è registrata nel colza nel periodo compreso tra la fase inizio formazione silique e maturazione cerosa (05/05/2012 – 26/06/2012), la lunghezza massima di 26,3 cm, valore massimo rispetto le altre specie. Anche la *Brassica carinata*, ha mostrato un andamento sovrapponibile a quello del colza, seppur raggiungendo un valore massimo inferiore, pari a 21,7 cm. La *Camelina sativa* ha mostrato il maggior accrescimento dell'apparato radicale nel periodo che va dalla fase di maturazione cerosa alla maturazione fisiologica (10/05/2012 – 12/06/2012). Il lino ha fatto registrare il valore massimo nel periodo che va dalla fase di maturazione cerosa alla maturazione fisiologica (10/05/2012 – 12/06/2012). Per quanto riguarda il cartamo, avendo avuto un ciclo biologico più lungo rispetto a tutte le altre specie, ha raggiunto il valore massimo di accrescimento radicale durante la fase di inizio maturazione fisiologica (23/07/2012).

Osservando i vari andamenti della lunghezza radice, si è evidenziato che i valori massimi dello sviluppo della radice, in tutte le specie, si sono registrate nel periodo che va da fine aprile a giugno, ciò dovuto alla maggiore attività fotosintetica che ha comportato valori massimi di accumulo della biomassa, così come evidenziato nell'andamento del CGR (crop growth rate). (**fig. 7 e 10**).

Fig. 7 Andamento della lunghezza radice nelle specie studiate. Le barre verticali indicano la deviazione standard.

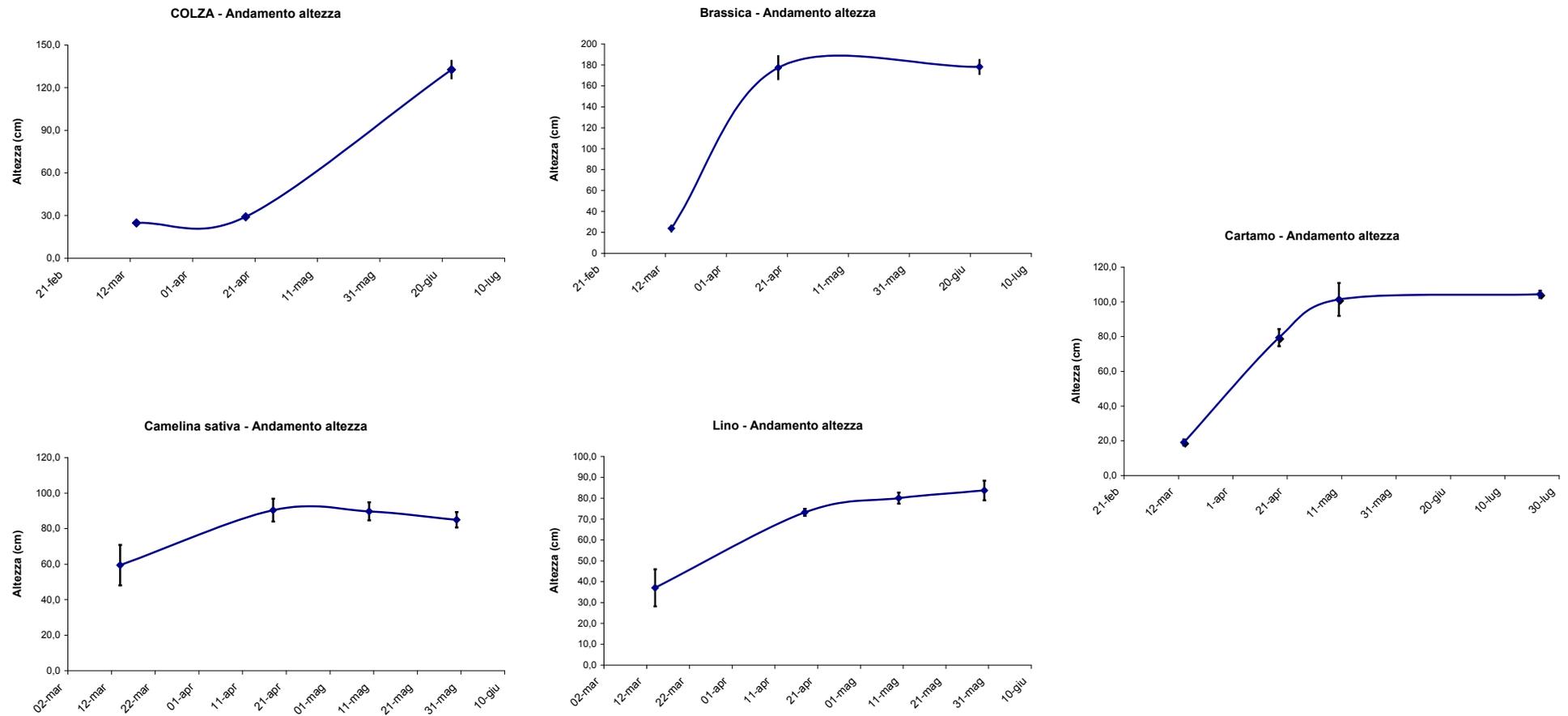


5.4 Andamento dell'altezza delle piante

Dal confronto dell'andamento della statura delle specie studiate, è emerso che, il colza ha fatto registrare un incremento dell'altezza soprattutto nella fase di fioritura (21/04/2012) fino a raggiungere il valore massimo di 132,7 cm nella fase di maturazione cerosa (26/06/2012). La *Brassica carinata*, ha fatto registrare il valore massimo di accrescimento rispetto tutte le altre specie con 178 cm nel periodo della fioritura (18/04/2012). La *Camelina sativa* si è sviluppata fino a una altezza massima di 84,9 cm nella fase di inizio formazione silique (18/04/2012). Il lino ha fatto registrare una altezza massima di 83,7 cm durante la fase di maturazione cerosa. Il cartamo ha evidenziato il maggior sviluppo dell'altezza durante la fase di maturazione cerosa fino al un valore massimo di 104,3 cm a fine ciclo.

Osservando gli andamenti della statura delle piante, e le temperature massime e minime dell'andamento termo-pluviometrico, è emerso, che tutte le specie hanno avuto il maggior sviluppo dell'altezza in corrispondenza dell'innalzamento delle temperature, a partire da fine marzo e dell'attività fotosintetica. (**fig. 5 e 8**).

Fig. 8 Andamento della statura delle piante nelle specie studiate. Le barre verticali indicano la deviazione standard.



5.5 Andamento della sostanza secca

L'andamento della sostanza secca del colza, ha avuto un andamento crescente per tutto il ciclo biologico, più moderato nel primo periodo, fino all'inizio della fase di levata (30/03/2012), mentre nel periodo che va dalla fioritura alla maturazione, l'accumulo di biomassa ha raggiunto il valore massimo di 47,4 g pianta⁻¹.

L'andamento della sostanza secca della *Brassica carinata*, è stato caratterizzato da un elevato accumulo di biomassa per tutto il ciclo biologico, con valori compresi tra 38,4 nella fase di inizio fioritura, e ha raggiunto un valore massimo di 77,3 g pianta⁻¹ a maturazione fisiologica.

La *Camelina sativa* ha avuto un accumulo di biomassa crescente per tutto il ciclo, con valori compresi tra 6,0 a inizio fioritura e 13,3 g pianta⁻¹ in piena maturazione cerosa (30/05/2012).

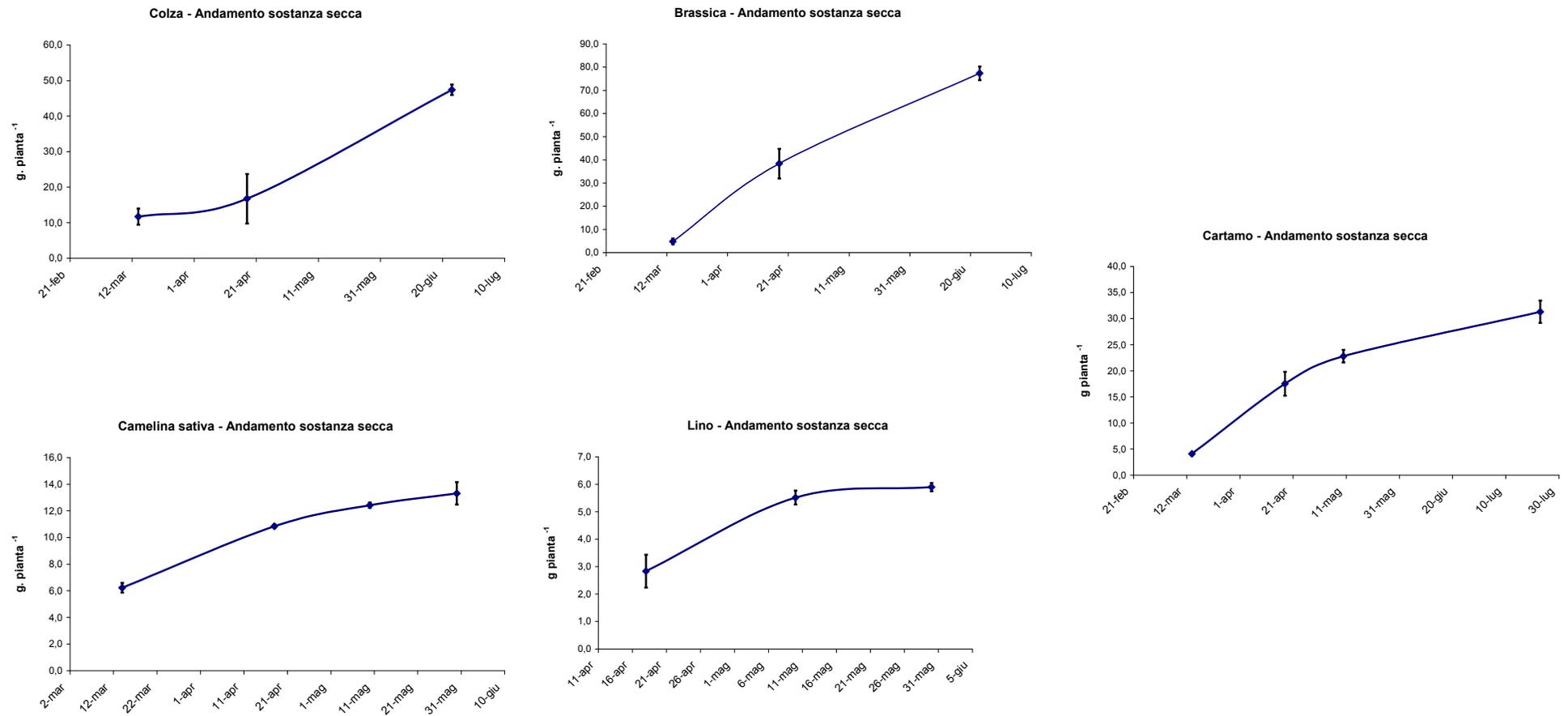
La sostanza secca del lino ha avuto un andamento crescente, molto evidente, nel primo periodo, che va dalla fase di bottoni fiorali fino a inizio maturazione cerosa (passando da 1,8 a 5,5 g pianta⁻¹), mentre nel periodo che va dalla maturazione cerosa a fine ciclo, l'accumulo di biomassa si è mantenuto più o meno costante (5,9 g pianta⁻¹).

Il cartamo ha avuto un andamento crescente, significativo nel primo periodo, dalla fase di inizio fioritura a inizio formazione capolini (passando da 4,1 a 17,5 g pianta⁻¹), mentre nel periodo che va dalla formazione capolini alla maturazione, l'accumulo di biomassa ha avuto un andamento più lineare, raggiungendo il valore massimo di 31,3 g pianta⁻¹ (**fig. 9**). Dal confronto dell'andamento della sostanza secca, sono emerse, delle differenze nell'accumulo di sostanza secca. In particolare:

- il colza ha avuto un accumulo massimo significativo (47,4 g pianta⁻¹), inferiore a quello della *Brassica carinata*, che ha fatto registrare il valore più alto in assoluto (77,3 g pianta⁻¹) rispetto a tutte le altre specie;
- la *Camelina sativa* ha mostrato un andamento dell'accumulo della sostanza secca, rispetto alle altre *Brassicaceae* più contenuto con un valore finale di 13,3 g pianta⁻¹.
- il lino ha avuto un accumulo di biomassa più ridotto rispetto a tutte le altre specie, attestandosi a fine ciclo a 5,9 g pianta⁻¹.

- il cartamo ha avuto una prima fase più crescente, rispetto le altre specie, per poi passare a un accumulo di biomassa più lineare, fino a raggiungere un valore massimo di 31,3 g pianta⁻¹.

Fig. 9 Andamento della sostanza secca nelle specie studiate. Le barre verticali indicano la deviazione standard.



5.6 Confronto dei dati biometrici

Con riferimento ai caratteri biometrici, si è registrata nelle specie studiate, una altezza delle piante in media di 116,72 cm, rilevando dati significativamente più alti nella *Brassica carinata* 178 cm. La lunghezza radice è risultata significativa, con valori più alti nel colza (26,33 cm) e nella *Brassica carinata* (21,67 cm). Il numero delle ramificazioni per pianta, in media 8,97, è variato statisticamente nelle specie, con valori più alti nella *Brassica carinata* (tab. 9).

Tab. 9 Caratteri biometrici delle specie studiate

| Specie | Altezza (cm) | Lunghezza radice (cm) | Numero branche (n) |
|--------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Colza | 132,67 ^b | 26,33 ^a | 7,67 ^b |
| Brassica carinata | 178,00 ^a | 21,67 ^b | 16,33 ^a |
| Camelina sativa | 84,92 ^d | 8,33 ^d | 9,50 ^b |
| Lino | 83,67 ^d | 8,5 ^d | 5,67 ^b |
| Cartamo | 104,33 ^c | 12,33 ^c | 5,67 ^b |
| Media | 116,72 | 15,43 | 8,97 |
| LSD | 9,93 | 2,38 | 3,98 |
| Significatività | *** | *** | ** |

Significatività: ** P ≤ 0,01; *** P ≤ 0,001.

5.7 Confronto delle componenti della resa e Harvest Index

Per quanto riguarda le componenti della resa, esaminando il carattere numero di silique/capsule/capolini in media il si è attestato a di 143,14, il colza e la *Camelina sativa* si sono differenziate significativamente rispetto alle altre specie. Il valore più basso si è avuto nel cartamo con 12,11. Il numero semi per silique/capsule/capolini, (in media 16,72), si è distinto significativamente in tutte le specie, registrando valori più alti nel colza (31,63). Il peso mille semi, (in media 7,15) è risultato statisticamente significativo nel cartamo (24,18). Interessante è risultato il valore dell'harvest index, più alto nel colza e nella *Camelina sativa*, risultando significativo rispetto alle altre specie (**tab. 10**).

Tab. 10 Componenti della resa delle specie studiate

| Specie | Numero silique/capsule /capolini (n) | Numero semi per silique/capsu le/capolini (n) | Peso 1000 semi (g) | Harvest index |
|--------------------------|---|---|--------------------------|-------------------|
| Colza | 273 ^a | 31,63 ^a | 3,83 ^b | 0,22 ^a |
| Brassica carinata | 105,67 ^b | 14,98 ^b | 3,12 ^b | 0,05 ^d |
| Camelina sativa | 277,83 ^a | 12,43 ^{bc} | 3,15 ^b | 0,22 ^a |
| Lino | 47,08 ^c | 9,5 ^c | 3,43 ^b | 0,19 ^b |
| Cartamo | 12,11 ^d | 15,05 ^b | 24,18 ^a | 0,11 ^c |
| Media | 143,14 | 16,72 | 7,15 | 0,16 |
| LSD | 31,93 | 3,18 | 3,75 | 0,016 |
| Significatività | *** | *** | *** | *** |

Significatività: *** $P \leq 0,001$.

5.8 Confronto delle rese in granella, contenuto in olio e resa in olio

La resa in granella è risultata statisticamente significativa (in media 2,69 t ha⁻¹), con valori che si attestano all'interno di un range che vanno da 3,65 t ha⁻¹ del colza a 1,42 t ha⁻¹ del cartamo. Per quanto riguarda la resa in olio, primeggia il colza con (42,6%), seguito dal lino (37,8%), dalla *Brassica carinata* (36,8%), dalla *Camelina sativa* (36,4%) e dal cartamo (31,9%). Dalla combinazione dei valori di resa in seme per ettaro, espressi in tonnellate e di contenuto in olio nei semi, valutato in percentuale sul totale, è stato possibile dedurre la produzione di olio per ettaro, equivalente alla quantità di biodiesel ottenibile attraverso successivi passaggi di filiera. Tale quantità risulta di 1,55 t ha⁻¹ di olio per il colza, che è la specie più produttiva, seguita dal lino con 1,46 t ha⁻¹, dalla *Brassica carinata* con 1,11 t ha⁻¹, dalla *Camelina sativa* 0,94 t ha⁻¹ e dal cartamo 0,46 t ha⁻¹ (**tab.11**).

Tab. 11 Confronto delle rese in granella, contenuto in olio e resa in olio

| Specie | Resa in granella (t ha ⁻¹) | Contenuto in olio (%) | Resa in olio (t ha ⁻¹) |
|--------------------------|--|-----------------------|------------------------------------|
| Colza | 3,65 ^a | 42,6 | 1,55 ^a |
| Brassica carinata | 3,02 ^b | 36,8 | 1,11 ^b |
| Camelina sativa | 2,58 ^b | 36,4 | 0,94 ^c |
| Lino | 2,78 ^b | 37,8 | 1,05 ^{bc} |
| Cartamo | 1,42 ^c | 31,9 | 0,45 ^d |
| Media | 2,69 | 37,1 | 1,02 |
| LSD | 0,36 | | 0,12 |
| Significatività | *** | | *** |

Significatività: *** P ≤ 0,001

5.9 Confronto dell'andamento del CGR

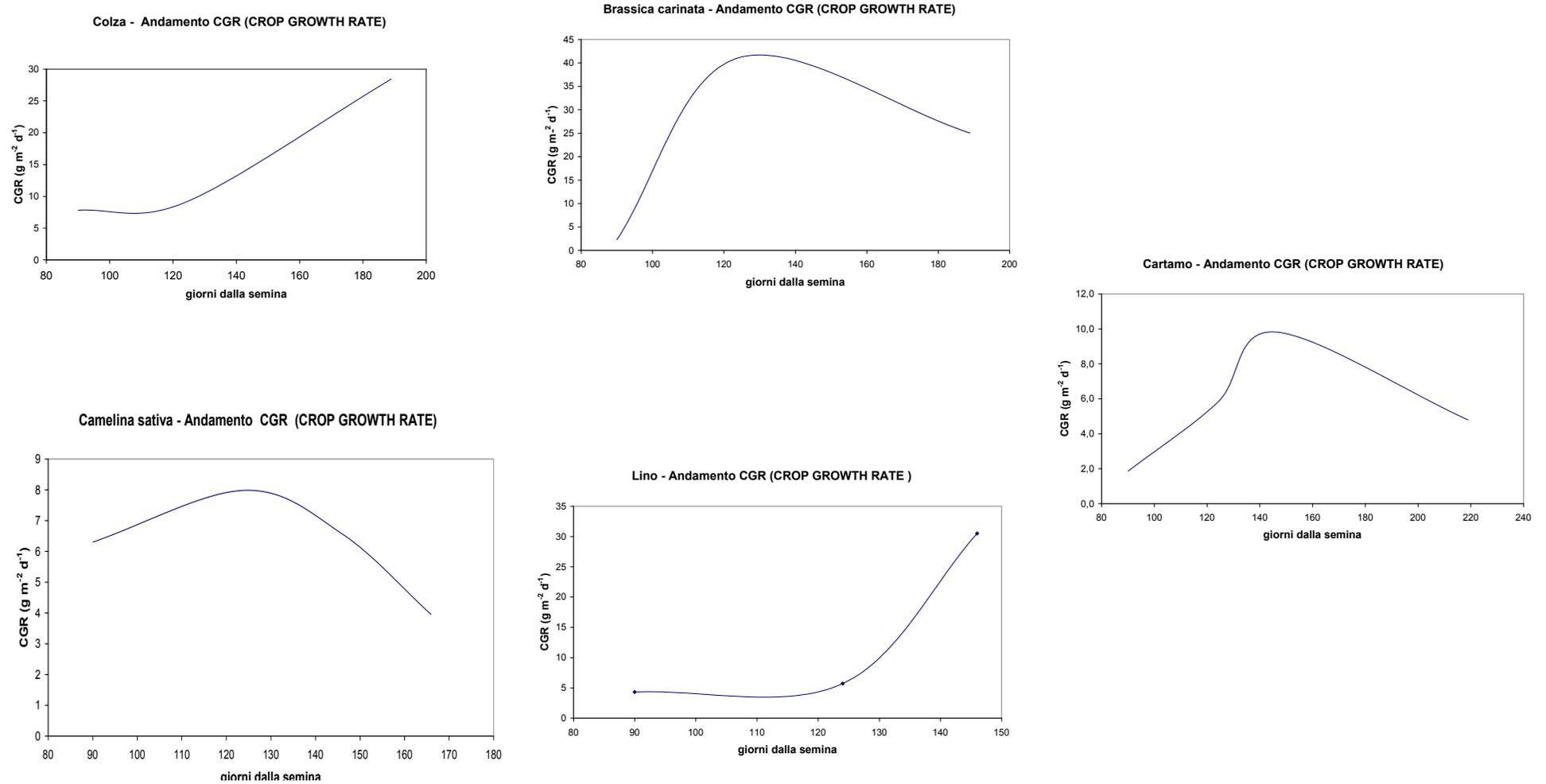
L'esame dell'indice della crescita CGR (CROP GROWTH RATE) relativa alle specie studiate (**fig. 10**), che esprime l'incremento della biomassa ottenuto nell'unità di tempo per unità di superficie di terreno, ha mostrato, un andamento differente in rapporto alle specie esaminate.

Il confronto tra le specie, a parità di fase biologica, ha messo in evidenza che:

- per quanto riguarda il colza, si è registrata una crescita elevata in corrispondenza della fase di maturazione cerosa ($28 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).
- la *Brassica carinata* ha avuto il massimo accrescimento nella fase di formazione siliqua ($41 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).
- la *Camelina sativa* ha mostrato una elevata capacità di assimilazione durante la fase di maturazione cerosa ($8 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).
- il lino ha mostrato un picco di accrescimento ($30 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) durante la fase di maturazione cerosa.
- il cartamo ha avuto il massimo di accrescimento durante la fase di maturazione cerosa ($10 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

Dal confronto delle specie studiate si è evidenziato che il maggior accrescimento ed accumulo di biomassa, si è avuto nella *Brassica carinata* (circa $41 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

Fig. 10 – Andamento del CGR dell'accumulo della biomassa epigea nelle specie studiate



6 QUALITÀ E COMPOSIZIONE DELL'OLIO DELLE SPECIE OGGETTO DI STUDIO

Al fine di poter valutare la qualità dell'olio da trasformare in biodiesel, si è utilizzato un grafico triangolare, riscontrato in bibliografia, proposto da Ramos et al., (2009).

Ramos et al., (2009) hanno proposto un grafico triangolare (**fig.11**) per rappresentare la qualità del biodiesel prodotto dagli oli vegetali. Rappresentando e intersecando gli acidi grassi saturi, monoinsaturi e polinsaturi nel triangolo, si determina nell'area un punto in cui il biodiesel soddisfa i limiti imposti dall' UNI-EN 14214 (2003).

Gli oli vegetali con un'alta presenza di acidi grassi monoinsaturi sono i più appropriati per la produzione di biodiesel (Ramos et al., 2009).

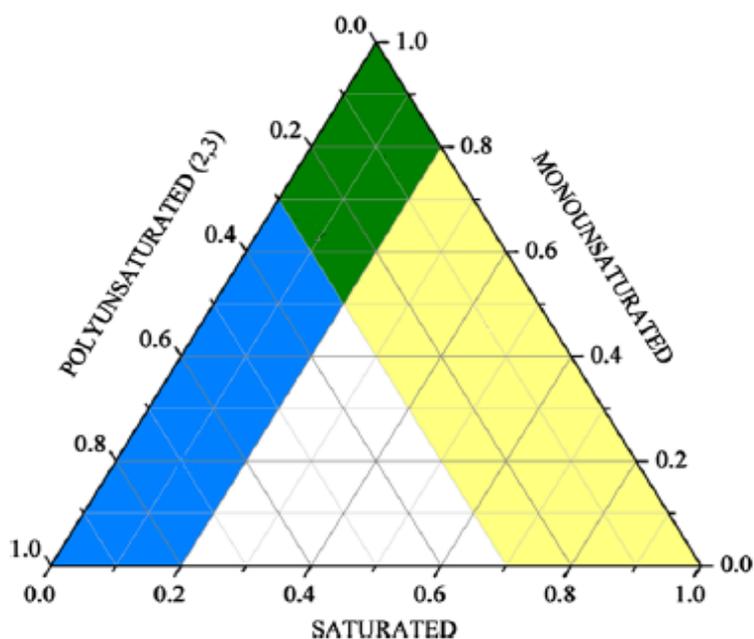


Fig. 11 Biodiesel da acidi grassi monoinsaturi, polinsaturi e saturi. Zone conformi ai parametri della norma europea UNI-EN 14214; la zona gialla rappresenta il numero di cetano ed il valore di iodio ottimali; la zona blu rappresenta CFPP* ottimale. Il verde rappresenta l'area in cui i parametri del biodiesel soddisfano quanto previsto dalla norma UNI-EN 14214.

* punto di intasamento a freddo dei filtri

6.1 Composizione dell'olio di Colza

L'olio è risultato composto da acidi grassi saturi come 5,00% di acido palmitico (C16:0), 1,50% di acido stearico (C18:0), 0,40% di acido lignocerico (C24:0), e da acidi grassi insaturi come 59,0% di acido oleico (C18:1), 20,0% di acido linoleico (C18:2), 9,0% di acido linolenico (C18:3). Come la maggior parte degli oli vegetali, i componenti principali dell'olio sono acidi grassi a 18 atomi di carbonio (**tab.12**).

Gli acidi grassi saturi sono risultati 8,42%, mentre quelli monoinsaturi sono risultati 63,17% e quelli polinsaturi 28,40% (**tab.14**).

Inserendo i dati sopra descritti nel grafico triangolare proposto da (Ramos et al., 2009), l'olio di colza risulta essere ottimale per la trasformazione in biodiesel in quanto soddisfa la norma UNI-EN 14214 (**fig.11**). Dato l'alto valore del rapporto acido oleico/linoleico (**tab. 13**) risulta avere una stabilità ossidativa alta. La stabilità ossidativa influenza fortemente l'uso del biodiesel a causa del suo alto contenuto di esteri metilici polinsaturi (Knothe, 2006) e decresce con l'incremento di acidi polinsaturi.

6.2 Composizione dell'olio della *Brassica carinata*

L'olio è risultato composto da acidi grassi saturi come 3,31% di acido palmitico (C16:0), 1,04% di acido stearico (C18:0), 0,43% di acido lignocerico (C24:0), e da acidi grassi insaturi come 10,88% di acido oleico (C18:1), 17,81% di acido linoleico (C18:2), 13,78% di acido linolenico (C18:3). Come la maggior parte degli oli vegetali, i componenti principali dell'olio sono acidi grassi a 18 atomi di carbonio (**tab. 12**).

Gli acidi grassi saturi sono risultati 12,72%, mentre quelli monoinsaturi sono risultati 52,92% e quelli polinsaturi 34,34% (**tab.14**). L'olio della *Brassica carinata*, in base al parametro oleico/linoleico, risulta essere un olio con una buona stabilità ossidativa. Tuttavia inserendo i dati nel triangolo proposto da (Ramos et al., 2009) risulta essere non adeguato per quanto riguarda il numero di iodio e numero di cetano (**fig. 11**).

6.3 Composizione dell'olio della *Camelina sativa*

L'olio è risultato composto da acidi grassi saturi come 5,97% di acido palmitico (C16:0), 2,48% di acido stearico (C18:0), 0,18% di acido lignocerico (C24:0), e da acidi grassi insaturi come 15,32% di acido oleico (C18:1), 18,79% di acido linoleico (C18:2), 34,40% di acido linolenico (C18:3). Come la maggior parte degli oli vegetali, i componenti principali dell'olio sono acidi grassi a 18 atomi di carbonio (**tab.12**).

Gli acidi grassi saturi sono risultati 24,00%, mentre quelli monoinsaturi sono risultati 19,34% e quelli polinsaturi 56,66% (**tab.14**). Inserendo i dati sopra descritti nel triangolo proposto da (Ramos et al., 2009) l'olio non si presta alla trasformazione in biodiesel (**fig. 11**).

6.4 Composizione dell'olio di Lino

L'olio è risultato composto da acidi grassi saturi come 6,13% di acido palmitico (C16:0), 4,06% di acido stearico (C18:0), 0,08% di acido lignocerico (C24:0), e da acidi grassi insaturi come 16,69% di acido oleico (C18:1), 15,23% di acido linoleico (C18:2), 56,99% di acido linolenico (C18:3). Come la maggior parte degli oli vegetali, i componenti principali dell'olio sono acidi grassi a 18 atomi di carbonio (**tab.12**).

Gli acidi grassi saturi sono risultati 10,56%, mentre quelli monoinsaturi sono risultati 16,97% e quelli polinsaturi 72,47% (**tab. 14**). L'olio del lino, in base al parametro oleico/linoleico, risulta essere un olio con una buona stabilità ossidativa. Tuttavia inserendo i dati nel triangolo proposto da (Ramos et al., 2009) risulta essere non adeguato per quanto riguarda il numero di iodio e numero di cetano (**fig. 11**).

6.5 Composizione dell'olio di Cartamo

L'olio è risultato composto da acidi grassi saturi come 6,02% di acido palmitico (C16:0), 1,94% di acido stearico (C18:0), 0,10% di acido lignocerico (C24:0), e da acidi grassi insaturi come 79,16% di acido oleico (C18:1), 11,38% di acido linoleico (C18:2), 0,11% di acido linolenico (C18:3). Come la maggior parte degli oli vegetali, i componenti principali dell'olio sono acidi grassi a 18 atomi di carbonio (**tab.12**).

Gli acidi grassi saturi sono risultati 8,48%, mentre quelli monoinsaturi sono risultati 79,94% e quelli polinsaturi 11,58% (**tab.14**). Inserendo i dati sopra descritti nel grafico

triangolare proposto da (Ramos et al., 2009), l'olio di cartamo risulta essere il migliore per la trasformazione in biodiesel in quanto soddisfa pienamente la norma UNI-EN 14214 (**fig.11**), per l'alto valore del rapporto acido oleico/linoleico che si attestato a 6,96 (**tab. 13**) risulta avere una la stabilità ossidativa più alta.

6.6 Confronto della composizione dell'olio nelle specie studiate

Dall'analisi della composizione dell'olio delle specie oggetto di studio, è emerso che il colza e il cartamo hanno il maggior contenuto di acido oleico (rispettivamente 59% e 79,16%) rispetto le altre specie (**tab. 12**).

Per quanto riguarda il contenuto di acidi saturi, la *Camelina sativa* e la *Brassica carinata* hanno mostrato i valori più alti (rispettivamente 24% e 12,72%), gli acidi insaturi sono risultati più elevati nel colza e nel cartamo rispettivamente 91,57% e 91,52% rispetto alle altre specie (**tab.14**).

Interessanti sono risultati i rapporti tra gli acidi grassi contenuti nell'olio, il colza e il cartamo hanno mostrato un rapporto acido oleico/acido linoleico molto alto, rispettivamente 2,95 e 6,96, rispetto alle altre specie (**tab. 13**). Tale rapporto (oleico/linoleico) è un indice della stabilità ossidativa dell'olio. Gli oli vegetali con un'alta presenza di acidi grassi monoinsaturi sono i più appropriati per la produzione di biodiesel (Ramos et al., 2009). A tale riguardo, gli oli estratti dal colza e dal cartamo, risultano essere i migliori per trasformazioni in biodiesel.

Tab. 12 Contenuto (%) dei principali acidi grassi dell'olio estratto dai semi delle specie prese in esame

| Acido grasso | Struttura | Specie oleaginose annuali | | | | |
|-----------------------|-----------|---------------------------|----------------------|-------|--------------------|---------|
| | | Colza | Brassica carinata | Lino | Camelina sativa | Cartamo |
| Acido palmitico | C16:0 | 5,00 | 3,31 | 6,13 | 5,97 | 6,02 |
| Acido palmitoleico | C16:1 | 0,50 | 0,19 | 0,10 | 0,13 | 0,19 |
| Acido margarico | C17:0 | 0,10 | 0,04 | 0,07 | 0,05 | 0,03 |
| Acido stearico | C18:0 | 1,50 | 1,04 | 4,06 | 2,48 | 1,94 |
| Acido oleico | C18:1 | 59,0 | 10,88 | 16,69 | 15,32 | 79,16 |
| Acido linoleico | C18:2 | 20,0 | 17,81 | 15,23 | 18,79 | 11,38 |
| Acido linolenico | C18:3 | 9,0 | 13,78 | 56,99 | 34,40 | 0,11 |
| Acido eicosenoico | C20:0 | 1,50 | 6,83 | 0,12 | 13,79 | 0,23 |
| Acido lignocerico | C24:0 | 0,40 | 0,43 | 0,08 | 0,18 | 0,10 |
| Acido miristico | C14:0 | 0,10 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,10 |
| Acido erucico | C22:1 | 5,0 | 37,61 | 0,12 | 2,70 | - |

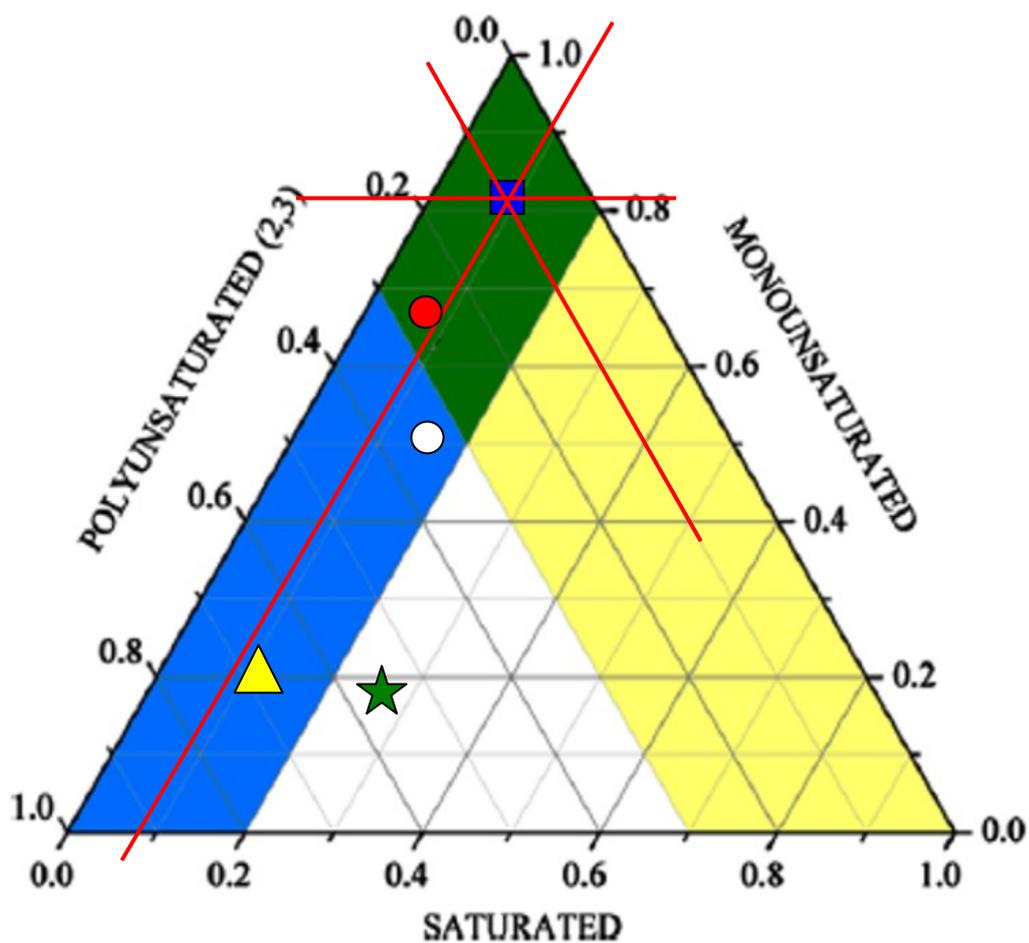
Tab. 13. Rapporti tra acidi grassi contenuti nell'olio dei semi estratto delle specie prese in esame

| Specie | Saturi/ monoins. | Saturi/ polins. | Monoins./ polins. | Insaturi/ saturi | a.oleico/ a.linoleico |
|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Colza | 0,13 | 0,30 | 2,22 | 10,88 | 2,95 |
| Brassica carinata | 0,24 | 0,37 | 1,54 | 6,86 | 0,61 |
| Camelina sativa | 1,24 | 0,42 | 0,34 | 3,17 | 0,82 |
| Lino | 0,62 | 0,15 | 0,23 | 8,47 | 1,10 |
| Cartamo | 0,11 | 0,73 | 6,90 | 10,79 | 6,96 |

Tab. 14 Composizione (%) per categoria di acidi grassi dell'olio estratto dai semi delle specie prese in esame

| Specie | Saturi. | Monoinsaturi. | Polinsaturi |
|------------------------|----------------|----------------------|--------------------|
| Colza | 8,42 | 63,17 | 28,40 |
| Brassica | 1,72 | 52,92 | 34,34 |
| Lino | 10,56 | 16,97 | 72,47 |
| Camelina sativa | 24,00 | 19,34 | 56,66 |
| Cartamo | 8,48 | 79,94 | 11,58 |

Inserendo, nel grafico triangolare (**fig. 11**) proposto da (Ramos et al., 2009), i dati relativi alla percentuale degli acidi grassi per categoria delle specie oleaginose studiate (**tab. 14**) è emerso che gli oli estratti dal colza e dal cartamo, sono risultati di ottima qualità ed idonei alla utilizzazione in biodiesel (**fig. 12**). Per quanto riguarda le altre specie, *Brassica carinata*, lino e *Camelina sativa*, l'olio non risulta ottimale per la trasformazione in biodiesel. Per tali specie deve essere studiata la possibilità di miscelare gli oli per la trasformazione in biodiesel.



Legenda:

| | | | | | |
|---|---------|---|----------|---|----------|
|  | Colza |  | Lino |  | Camelina |
|  | Cartamo |  | Brassica | | |

Fig. 12 – Grafico triangolare che rappresenta la qualità dell'olio, per la utilizzazione in biodiesel.

Il colza e il cartamo ricadono all'interno delle area verde (quindi adatti alla trasformazione in biodiesel), mentre la *Brassica carinata*, lino e *Camelina sativa*, ricadendo nelle aree azzurre e bianche non sono ottimali per la trasformazione in biodiesel.

7 CONCLUSIONI

Lo studio condotto nell'ambito della tesi di dottorato e durante il triennio di ricerca 2010-2012, con lo scopo di studiare e valutare le potenzialità produttive e l'adattabilità all'ambiente mediterraneo di alcune specie oleaginose annuali per la produzione di olio, ha permesso di affermare quanto segue:

- Con riferimento alla prima linea di ricerca, in particolare tra le colture annuali prese in esame le *Brassicaceae* (colza e *Brassica carinata*) hanno prodotto dei risultati positivi in termini di produzione, tranne per la *Camelina sativa* che ha fatto registrare produzioni inferiori. Il lino ha mostrato una discreta produzione;
- Con riferimento alla seconda linea di ricerca, tra le *Brassicaceae*, il lavoro ha dimostrato come il colza rappresenti una valida coltura energetica per l'ottenimento del biodiesel sia per gli alti livelli produttivi, per la qualità dell'olio, che per l'assenza della deiscenza delle silique alla raccolta, fattore molto importante per l'inserimento negli ordinamenti colturali del meridione d'Italia, in quanto l'agricoltore ha l'opportunità di poter meglio gestire la data di raccolta e la meccanizzazione della coltura. La *Brassica carinata* ha mostrato un buon adattamento e ottime caratteristiche produttive. Il lino e la *Camelina sativa* hanno confermato le buone produzioni del primo anno di ricerca, che incoraggiano un proseguimento della ricerca. Il cartamo ha risposto bene, dimostrato un ottimo comportamento nelle condizioni pedo-climatiche locali e buone produzioni, che spingono anche per questa specie ulteriori attività di ricerca e sperimentazione in quanto la qualità dell'olio del cartamo sembra avere le caratteristiche migliori per la trasformazione in biodiesel.
- Dall'analisi della composizione dell'olio, è emerso che il colza e il cartamo hanno il maggior contenuto in acido oleico (rispettivamente 59% e 79.16%) rispetto alle altre specie; inoltre, esaminando il rapporto acido oleico/acido linoleico, è emerso un valore alto, rispettivamente 2.95 e 6.96. Tale rapporto (oleico/linoleico), e un'alta presenza di acidi grassi monoinsaturi sono indici di qualità, in quanto aumentano la stabilità ossidativa dell'olio. A tale riguardo, gli oli estratti dal colza e dal cartamo,

risultano essere i migliori per trasformazioni in biodiesel. Per quanto riguarda le altre specie, *Brassica carinata*, lino e *Camelina sativa*, l'olio non risulta ottimale per la trasformazione in biodiesel poiché non soddisfa i requisiti previsti dalla norma UNI-EN 14214. Per tali specie deve essere studiata la possibilità di miscelare gli oli per la trasformazione in biodiesel.

In conclusione, le specie studiate si adattano in maniera ottimale alle condizioni pedoclimatiche dell'ambiente mediterraneo. Da sottolineare le prestazioni del colza, che è risultata la specie più produttiva, sia in termini di resa in seme, per un'alta percentuale di olio nei semi, che per la qualità dell'olio ai fini della trasformazione in biodiesel. Il cartamo pur avendo caratteristiche qualitative migliori rispetto a tutte le altre specie, è risultato il meno produttivo e quello con il più basso contenuto di olio nei semi. Per quanto riguarda il lino e la *Camelina sativa* sembrano essere quelle meno adatte alla produzione di olio, pur avendo mostrato delle buone produzioni.

Lo studio delle colture oleaginose, offre l'opportunità di poter investigare su nuove colture alternative e di poter contare su più risorse energetiche. Infatti, le colture da olio per biodiesel possono contribuire a dare una possibile risposta ai problemi ambientali, all'esaurimento delle fonti tradizionali di energia e alla dipendenza energetica nei confronti dei paesi produttori di petrolio.

BIBLIOGRAFIA

- Althesis** - Strategic Consultants. Osservatorio Agroenergia. Il settore delle agroenergie in Italia. 2011.
- Anastasi U., Copani V., Cosentino S. (2011)**, Brassicacee da olio per biodiesel in Sicilia, Pubblicato sul volume: Lo sviluppo delle Colture Energetiche in Italia, a Cura del CRA, pp.391-412.
- Arcoumanis C. (1999)**. Emission factors of alternative fuels for transportation. Bechel Ltd.
- Assirelli A. (2006)**, “Le biomasse vegetali ad uso energetico”, Seminario “Energia dalle Biomasse”, Ferrara (FE), 3 Luglio 2006, Centro Ricerche Produzioni Animali, Reggio Emilia.
- Auricchio S. (2007)**, “Il glicerolo un derivato del biodiesel. I sottoprodotti nella produzione di carburante "non" derivati dal petrolio ma da coltivazione nel campo”, GREEN, Consorzio Interuniversitario "La Chimica per l'Ambiente" (INCA), N°5, Aprile 2007, pp. 34-41.
- Berman P., Nizri S., Wiesman Z. (2011)**, “Castor oilnbiodiesel and its blends as alternative fuel”, Biomassn and Bioenergy n°35, pp.2861-2866.
- Clements D.L. (1996)**. Blending rules for formulating biodiesel fuel. University of Nebraska. ASAE.
- Coaloe D., Grignetti A. (2011)**, Valutazioni economiche:colza, girasole e Brassica carinata, Pubblicato sul volume: Lo sviluppo delle Colture Energetiche in Italia, a Cura del CRA, pp.441-452.
- Colombo R., Poli M. (2000)**, “Lino da olio, le varietà e la tecnica colturale”, Agricoltura, Maggio 2000, pp. 33- 35.
- Copani V., Mantineo M., Sortino O., Patanè C., Terranova G. (2007)**, “Comportamento agronomico di brassicaceae diverse ad alto contenuto di acido erucico per lo sviluppo di bioraffinerie nel sud Italia”.
- Copani V., Santonoceto C., Sortino O., Anastasi U. (1997)**, “Caratteristiche biologiche e produzione di seme in lino (*Linum usitatissimum* L.): influenza dell’investimento unitario in ambiente mediterraneo”, Sementi Elette Anno XLIII n°2, Marzo-Aprile, pp.45-50.
- Copani V., Sortino O., Abbate V. (1993)**, “Yield and seed oil content of Castor bean (*Ricinus communis* L.) in relation to different environmental condition in

- mediterranean countries”, Proceedings 2nd European Symposium on Industrial Crops and Products, 22-24 Novembre, Pisa.
- Corleto A. (2001)**, “Introduzione del cartamo nelle rotazioni del Meridione”, L’Informatore agrario, n° 27, Anno 2001, pp.28-31.
- Cosentino S.L. (2008)**, “Colture da biocombustibili e da biomassa annuali e poliennali in ambiente caldo-arido mediterraneo”, Giornata dimostrativa: “La Brassica carinata in Sicilia”, Ispica, 23 Maggio 2008.
- Cosentino S.L., Bona S., Copani V., Patanè C., Mantineo M., D’Agosta G., (2006)**. Atti del Workshop: L’agricoltura per l’energia rinnovabile: i futuri scenari, Potenza 23-24 novembre.
- Cosentino S.L., Copani V., D’Agosta G. M., Bezz G., Tassan Mazzocco G., (2005)**. Colture erbacee e poliennali da biomassa per energia di possibile introduzione in Italia. Agroindustria, vol. 4 n. 1, pp. 35-48.
- C.T. Garten and S.D. Wüllschleger, J. Environ. (2000) Qual.**, vol. 29, pp. 645-653,
- Del Gatto A. (2011)**, Classificazione e risorse genetiche della Brassica carinata, Pubblicato sul volume: Lo sviluppo delle Colture Energetiche in Italia, a Cura del CRA, pp.319-321.
- Di Somma M. R. (2010)**, “I biocarburanti: quale futuro?”, **The bioenergy international Italia**, n°1, Gennaio 2010, pp. 12.
- Direttiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio** dell’8 Maggio 2003, Gazzetta ufficiale dell’Unione europea, L 123/42-46.
- Direttiva 2009/29/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio** del 23 Aprile 2009, Gazzetta ufficiale dell’Unione europea, L 140/63-87.
- DOE - NREL 1998**. Life cycle inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus. NREL/SR-580-24089 UC 1503.
- EBB General Assembly (2011)**, Future of biofuels – An agricultural policy perspective, Commissione Europea, Bruxelles.
- ENEA (2004)**, Noi per lo sviluppo sostenibile, Opuscolo 18 di Sviluppo Sostenibile, Roma.
- ENEA. (2010)**. Ricerca ed innovazione per un future low-carbon. Le fonti Rinnovabili
- EurObserv’ER**. Il barometro dei biocarburanti. 2010.
- EurObserv’ER (2012)**, Biofuels barometer, SYSTEMES SOLAIRES - le journal des énergies renouvelable N° 210 - Anno 2012.

- EurObserv'ER (2012)**, The state of Renewable Energies in Europe, 11th EurObserv'ER Report, Parigi.
- Favilli R. (1988)**, “Le oleaginose minori e quelle poco conosciute: aspetti colturali e prospettive di diffusione”, Atti del convegno “Stato attuale e prospettive delle colture oleaginose erbacee in Italia”, Pisa, 24-25-26 Febbraio 1988, Pacini Editore, pp. 153-193.
- Foti S., Cosentino S. L., (2001)**. Colture erbacee annuali e poliennali da energie. Rivista di Agronomia, anno XXXV n.3, pp. 200-215.
- Fosseen, (1994)**, DDC 6V-71N Emission testing on diesel and biodiesel blend. NSDB Contract n. 219-1; Final report per National Soydiesel Development Board.
- Gallo G., (2007)** biodiesel. <http://it.wikipedia.org/wiki/biodiesel>.
- G. T. (2010)**, “La questione della sostenibilità ambientale nei biocarburanti”, The bioenergy international Italia, n°1, Gennaio 2010, pp.12.
- Gestore Servizi Energetici (GSE), Rapporto statistico (2010)** Impianti a Fonti Rinnovabili.
- Graniglia N. (2010)**, I biocarburanti, Corso di TEFÉ, UNISI, A.A. 2010-2011
- Graniglia N.**, Fonti energetiche rinnovabili, UNISI.
- 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.
- Knothe, G., (2006)**. Analyzing biodiesel: standards and other methods. J. Am. Oil Chem. Soc. 83, 823-833.
- Hunsaker D. J., French A. N., Clarke T. R., El-Shikha D. M. (2011)**, “Water use, crop coefficients, and irrigation management criteria for camelina production in arid regions”, Irrigation Science, Volume 29, pp. 27-43.
- Iaboni V., De Stefanis P. (2003)** – “La valorizzazione delle scorie di combustione dei rifiuti urbani”, Energia Ambiente e Innovazione Vol. 4 pag. 54.
- International Energy Agency (2011), Key World Energy Statistics 2011, Parigi.
- Kassabian M. (2009)**, Il biodiesel nel mondo, Bioenergy International Italia, n° 1, Febbraio 2009.
- Lari A. (2008)**, I biocarburanti – Indagine sullo scenario attuale, lo stato dell’arte e le prospettive future di ricerca, Laboratorio di studi rurali Sismondi, Pisa, Working paper n°3.

- Lavanya C., Murthy I.Y.L.N., Nagaraj G., Mukta N., 2012.** Prospects of castor (*Ricinus communis* L.) genotypes for biodiesel production in India. *Biomass and Bioenergy* xxx, 1-6.
- Lazzeri L. (2008),** “Bioenergie sostenibili per la realtà agricola italiana. La filiera degli oli vegetali”, Progetto bioenergie, Giornata dimostrativa: “La Brassica carinata in Sicilia”, Ispica, 23 Maggio 2008.
- Lo Cascio B., Leto C., Monti M. (1988),** La risposta produttiva del cartamo nelle aree interne siciliane, Atti del convegno “Stato attuale e prospettive delle colture oleaginose erbacee in Italia”, Pisa 24-25-26 Febbraio 1988, Pacini Editore, pp. 195-203.
- 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.
- Mezzadri M. (2008),** “Le politiche UE in materia di biocarburanti”, *The bioenergy international Italia*, n° 2, Agosto 2008, pp. 10.
- Mosca G. (1998),** *Oleaginose non alimentari*, Edagricole, Bologna.
- Nardo F.,** “Dai semi oleosi il combustibile verde: biodiesel”, *Research and Technologic Innovation. Agency for the Sustainable Development (R&TIA). National Renewable Lab. US Department of Energy, Biodiesel – Handling and use Guidelines.*
- Pahl G. (2006),** *Biodiesel: coltivare una nuova energia*, Franco Muzzio Editore, Roma.
- Pantanelli E. (1964),** *Coltivazioni erbacee*, Edizioni agricole Bologna, pp.275-279.
- Pari L., Assirelli A., Suardi A. (2011),** Brassicacee: scelta della raccogliatrice in funzione delle perdite, Pubblicato sul volume: *Lo sviluppo delle Colture Energetiche in Italia*, a Cura del CRA, pp.415-427.
- Peterson C., Reece D., Hammond B., Thompson J., Beck S. 1995.** Making and testing a biodiesel fuel made from ethanol and waste french fry oil. Idaho Department of Water Resources Report.
- Peterson C.L., Reece D.L., Hammond B.L., Thompson J., Beck S.M., 1997.** Processing, characterisation and performance of eight fuels from lipids. University of Idaho, department of agricultural engineering.
- Peterson C.L., Hammond B.L., Reece D.L., 1996.** Engine performance and emissions with Methyl and Ethyl esters of rapeseed oil. University of Idaho.

- Piva G., Masoero F. (1988)**, Prodotti secondari delle oleaginose erbacee nell'alimentazione zootecnica, Atti del convegno "Stato attuale e prospettive delle colture oleaginose erbacee in Italia", Pisa 24-25-26 Febbraio 1988, Pacini Editore, pp. 557-571.
- Presidente del Consiglio dei Ministri, decreto dell'8 Marzo 2002**, Disciplina delle caratteristiche merceologiche dei combustibili aventi rilevanza ai fini dell'inquinamento atmosferico, nonché delle caratteristiche tecnologiche degli impianti di combustione, Gazzetta Ufficiale n°60 del 12 Marzo 2002.
- PSA Peugeot - Citroen, 1998**. International liquid biofuels congress. The comment of PSA to Biodiesel. Curitiba, Parana, Brasile Luglio 1998.
- Ramos M.J., Fernández C.M., Casas A., Rodríguez L., Pérez Á., 2009**. Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. *Bioresour Technol*, 100: 261-268.
- Sortino O. (2005)**, "Un pieno d'energia dalle piante", *Terra*, n° 5, Settembre-Ottobre 2005, pp.60-61.
- Sortino O., Cartabellotta D., Terranova G., Cosentino S. L. (2007)**, "Primi risultati sulla coltivazione di brassicaceae diverse per la produzione di biodiesel nell'altopiano ibleo", Abstract presentato al XXXVII Convegno della Società di Agronomia, Catania, 13-14 Settembre, pp. 141-142.
- Sortino O., Cosentino S. L., Patanè C. (1991)**, "Primi risultati sul comportamento bioagronomico di varietà di lino da seme nella Sicilia orientale", *L'Informatore Agrario XLVII*, n°29, pp. 46-48.
- Sortino O., Dipasquale M., Cosentino S. L., Boncoraglio R. (2010)**, "Effetti della riduzione degli input colturali nella coltura di *Camelina sativa* in ambiente mediterraneo", Atti del XXXIX Convegno Nazionale Società Italiana di Agronomia, Roma, 20-22 Settembre 2010, pp. 175-176.
- Sortino O., Sanzone E., Dipasquale M., Terranova G. (2009)**, "Valutazione di specie oleaginose autunnovernine in Sicilia", Atti del XXXVIII Convegno SIA, Firenze, 21-23 Settembre, pp. 267-268.
- Sortino O., Sidella S., Dipasquale M.**, "Caratterizzazione bio-agronomica di genotipi di *Camelina sativa* L. in ambiente mediterraneo", Atti XL Convegno Nazionale Società Italiana Agronomia, Teramo, 7-9 Settembre 2011, pp. 400-401.
- Taberiski J.S., Peterson C.L., 1998**. Dynamometer emissions test comparison on a 5.9L direct injected diesel powered pickup.

Thompson J.C., Peterson C.L., Reece D.L., Beck S.M., 1996 - Two year storage study with Methyl and Ethyl Esters of Rapeseed. 1996. University of Idaho.

Weiss E. A. (1983), Oilseed crops, Tropical Agriculture Series, Longman, London and New York.

World Commission on Environment and Development, ONU (1987), Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future.

GALLERIA FOTOGRAFICA



Colza in fase di “rosetta”



Colza in piena fioritura



Brassica carinata in fase di inizio levata



Brassica carinata in fase di fioritura



Lino in fase vegetativa



Lino in fioritura



Camelina sativa in fase di differenziazione bottoni fiorali



Camelina sativa in fase di maturazione cerosa



Cartamo in fase vegetativa



Cartamo in fase di levata