



# UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTA' DI AGRARIA

*Dipartimento di Agronomia Ambientale e Produzioni Vegetali*  
*Corso di Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie Agrarie*

TESI DI LAUREA

**RISPOSTA DEL COLZA INVERNALE DA OLIO**  
*(Brassica napus L. var. oleifera)* **ALL' AZOTO:**  
**EFFICIENZA D'USO E PRODUZIONE DI GRANELLA**

**Relatore:** Ch.mo Prof. Giuliano Mosca

**Correlatore:** Dott. ssa Federica Zanetti

Dott. Enrico Rampin

**Laureando:** Federico Gecchele

ANNO ACCADEMICO 2011-2012



# INDICE

RIASSUNTO.....	7
ABSTRACT .....	9
1. INTRODUZIONE.....	11
1.1 IL COLZA ( <i>Brassica napus L. var. oleifera</i> ).....	11
1.1.1 Diffusione e importanza economica .....	11
1.1.2 Caratteri botanici e biologici.....	15
1.1.3 Fenologia .....	18
1.1.3.1 Scale per il riconoscimento fenologico: i codici BBCH .....	20
1.1.4 Esigenze pedo-climatiche .....	23
1.1.5 Miglioramento genetico e materiali disponibili.....	23
1.1.6 Tecnica di coltivazione .....	27
1.1.6.1 Avvicendamento .....	27
1.1.6.2 Lavorazioni.....	27
1.1.6.3 Semina .....	28
1.1.6.4 Concimazione .....	29
1.1.7 Lotta alle malerbe .....	33
1.1.8 Lotta alle avversità.....	35
1.1.8.1 Parassiti animali .....	35
1.1.8.2 Patogeni fungini .....	36
1.1.9 Raccolta .....	36
1.1.10 Utilizzi dell'olio di colza .....	37

1.1.11 Assorbimento ed efficienza d'uso dell'azoto in colza .....	39
2. SCOPO DEL LAVORO.....	43
3. MATERIALI E METODI.....	45
3.1 ANDAMENTO CLIMATICO .....	45
3.2 TERRENO.....	47
3.3 PROTOCOLLO SPERIMENTALE .....	48
3.3.1 Lavorazioni del terreno e concimazione di pre-semina .....	51
3.3.2 Semina, concimazione di copertura e raccolta.....	51
3.4 RILIEVI IN CAMPO .....	52
3.5 ANALISI DI LABORATORIO .....	52
3.5.1 Determinazione del contenuto di azoto ( <i>Kjeldahl</i> ).....	52
3.5.2 Determinazione del contenuto in olio ( <i>Soxhlet</i> ).....	53
3.5.3 Determinazione dell'umidità relativa dei semi ( <i>Brabender</i> ) .....	54
4. RISULTATI E DISCUSSIONE.....	55
4.1 BIOMASSA ACCUMULATA .....	55
4.2 CONCENTRAZIONE DI AZOTO NELLA BIOMASSA.....	57
4.3 ASSORBIMENTO AZOTATO .....	58
4.4 RESA IN SEME.....	60
4.5 PESO UNITARIO DEL SEME .....	62
4.6 HARVEST INDEX .....	63
4.7 CONCENTRAZIONE DI OLIO .....	64
4.8 TENORE IN PROTEINA GREZZA NEL SEME .....	65
4.9 EFFICIENZA D'USO DELL'AZOTO (NUE) .....	66

<i>4.10 EFFICIENZA DI UTILIZZO DELL'AZOTO (NU<sub>t</sub>E)</i> .....	68
<i>4.11 EFFICIENZA DI ASSORBIMENTO DELL'AZOTO (NU<sub>p</sub>E)</i> .....	69
<i>4.12 NITROGEN HARVEST INDEX (NHI)</i> .....	71
<i>4.13 BILANCIO APPARENTE DELL'AZOTO</i> .....	72
5. CONCLUSIONI.....	75
6. BIBLIOGRAFIA.....	77



## RIASSUNTO

La coltivazione di genotipi di colza N-efficienti capaci di rese granellari significative in condizioni nutritive sub-ottimali risulta imperativa in un'ottica di razionalizzazione dell'input azoto (N). Una riduzione delle applicazioni minerali è di fatto auspicabile per garantire sostenibilità ambientale ed economica ai sistemi culturali. In questo studio la risposta quanti-qualitativa e l'N-efficienza di tre cultivar di colza rappresentative delle principali tipologie genetiche disponibili per la specie (ibrido CHH, Excalibur, vs. ibrido CHH semi-nano, PR45D01, vs. varietà a impollinazione libera, Viking), sono state investigate in risposta ad apporti azotati primaverili decrescenti (150, 100, 50 e 0 kg N ha<sup>-1</sup>). Tale obiettivo è stato perseguito conducendo periodicamente campionamenti di biomassa così da valutare l'assorbimento azotato. In particolare, l'utilizzo di N da parte della coltura non concimata è stato usato come stima dell'N messo a disposizione dal suolo attraverso i processi di mineralizzazione. A maturazione, si è proceduto alla raccolta del seme attraverso la trebbiatura delle unità sperimentali. Successivamente, presso i laboratori del DAAPV, sub campioni di biomassa, residui colturali (paglie + valve delle silique) e seme sono stati sottoposti all'analisi Kjeldahl per la determinazione del tenore di N. Attraverso strumentazione Soxhlet invece, è stata stabilita la concentrazione di lipidi nella granella.

Considerando le diverse tesi di concimazione (com'era atteso), una maggiore disponibilità di N primaverile ha promosso lo sviluppo vegetativo della coltura, favorendo l'accumulo di biomassa, la concentrazione dell'elemento nella stessa e quindi, l'assorbimento azotato. La migliore nutrizione della pianta osservata alle dosi maggiori ha favorito la risposta produttiva della stessa; la resa in seme è risultata crescente fino alla dose di 100 kg N ha<sup>-1</sup> la quale non si è differenziata dal punto di vista statistico dalla tesi 150 N (rispettivamente 3,65 e 3,75 t ha<sup>-1</sup>; P>0,05). Apporti superiori alle 50 unità di N sono stati in grado di preservare anche la fertilità minerale del suolo, bilanciando l'elevata quantità di N uscente dal sistema colturale attraverso il prodotto agrario utile e di evitare surplus minerali potenzialmente lisciviabili.

Tuttavia una gestione oculata di questo macroelemento, oltre alle performance produttive della coltura deve considerare anche la relazione negativa che è emersa tra la dose di concime e l'efficienza d'uso da parte della coltura. Di fatto, per tutti i parametri

di N efficienza considerati (i.e., NUE, NUtE, NUpE), sono stati calcolati valori decrescenti all'aumentare della concimazione. Nonostante ciò, le dosi 50 e 100 kg N ha<sup>-1</sup> hanno fornito valori di NUE (kg seme / kg N disponibile dal suolo e dal concime) e NUpE (Kg N assorbito / kg N disponibile dal suolo e dal concime) superiori alla tesi 150 N.

Alla luce di quanto emerso, piani di concimazione razionali per la coltura dovrebbero considerare dosi di N di 50-100 kg N ha<sup>-1</sup> in grado di sostenere le performance produttive del sistema colturale senza comprometterne la sostenibilità ambientale.

Considerando le cultivar a confronto, è auspicabile orientare la scelta varietale su tipologie genetiche ibride a taglia convenzionale. In questa sperimentazione, l'ibrido convenzionale è stato caratterizzato da un elevato vigore vegetativo che si è tradotto in notevoli produzioni di biomassa e utilizzi azotati. Anche se in maniera non significativa, Excalibur ha prodotto la resa in seme maggiore riconducibile ad un elevato peso unitario dei semi. Le elevate potenzialità del genotipo ibrido convenzionale si sono confermate anche dal punto di vista qualitativo con tenori in olio nei semi prossimi al 50%.

Excalibur ha fatto intravedere inoltre una N-efficienza migliore soprattutto per l'uso (NUE) e l'assorbimento (NUpE), risultando quindi più idoneo delle altre cultivar a confronto per sistemi colturali impostati su un contenimento della concimazione azotata di copertura.

## ABSTRACT

Oilseed rape (OSR) is a widespread oil crop and its production has undergone rapid increases in recent decades. Yield increases are mainly due to breeding of high potential hybrids and to greater input applications, especially nitrogen (N) fertilization. OSR is characterized by a low N efficiency leading to high N balance surpluses. Consequently integrated N management based on high N-efficiency varieties is needed to prevent environmental pollution. Aiming at evaluating the response of various new winter OSR genotypes to different spring N fertilizations (0, 50, 100 e 150 kg N ha<sup>-1</sup>), in term of N uptake in the biomass, seed yield and N-efficiency, a conventional hybrid (Excalibur), a semi-dwarf hybrid (PR45D01), and an open pollinated variety (Viking), were compared. Crop growth and N recovery were monitored from flowering to harvest. Dried shoot biomass was weighed and N Kjeldahl was revealed. Seed yield and total biomass for each plot were measured at harvest.

Considering spring fertilizations, as expected, N uptake significantly increased with N applications. Among N fertilization, significant differences emerged also for seed yield ( $P \leq 0.05$ ); the plots fertilized with 100 and 150 kg N ha<sup>-1</sup> showed the highest values (3.65 e 3.75 t DM ha<sup>-1</sup> respectively;  $P > 0.05$ ).

N fertilization affected significantly also N-efficiency; decreasing nitrogen use efficiency (NUE: kg seeds / kg N available from soil and fertilization) and nitrogen uptake efficiency (NUpE: kg N absorbed / kg N available from soil and fertilization) were highlighted when N rates increased. Both parameters showed the highest values in the unfertilized controls (0 N) and the lowest in 150 N. The doses 50 and 100 N provided intermediate NUE and NUpE.

About genotypes, conventional hybrid (Excalibur) showed the highest dry matter production and N recovery. Regarding seed yield, NUE and NUpE, significant differences were not detected among genotypes, whereas Excalibur provided the greatest values. Semi-dwarf hybrid (PR45D01) showing lower N uptake but seed yield comparable to those of the other genotypes, resulted particularly efficient in N utilization (i.e., NUtE)

In conclusion, intermediate N rates (i.e., 50-100 kg N ha<sup>-1</sup>) appeared the optimal doses for OSR cropping system in North-East Italy environment, able to satisfy crop needs avoiding N surpluses. Among genotypes, conventional hybrid characterized by higher

yield potential and N recovery, could be successfully implemented in cropping systems based on integrated N management.

# 1. INTRODUZIONE

## 1.1 IL COLZA (*Brassica napus L. var. oleifera*)



### 1.1.1 Diffusione e importanza economica

Il colza, allo stato spontaneo, era originariamente presente in Europa e in alcune regioni nord-africane. L'addomesticamento assieme al ravizzone pare sia iniziato quando il valore del seme e dell'olio in esso contenuto cominciò ad essere apprezzato. Le due specie, si presume siano state coltivate per l'olio in quei paesi dove non erano ancora diffusi l'olivo e il papavero. A causa della difficoltà di distinguere i semi appartenenti alle due specie, poco si sa circa la distribuzione geografica distinta per ciascuna coltivazione. Le più antiche testimonianze si trovano in alcuni scritti sanscriti indiani

risalenti al periodo compreso tra il 1500 e il 200 a.C. La letteratura giapponese riporta che la specie colza fu introdotta in Giappone dalla Cina e dalla Corea circa 2000 anni or sono.

Si suppone che la coltura si sia diffusa in Europa nel XIII secolo ma qualche Autore è del parere che ciò non sia avvenuto prima del XVII secolo. Nell'Europa settentrionale, nel tardo Medio Evo, l'olio era certamente impiegato nell'illuminazione pubblica e privata, mentre in epoca moderna, con lo sfruttamento dei derivati del petrolio ed infine del gas naturale, l'olio di colza è entrato in forte competizione con gli altri oli tipici dei Paesi tropicali e subtropicali (palma e palmisto).

Alla fine del 1700 l'Olanda era l'unico Paese europeo che coltivava colza per granella, successivamente la coltura si diffuse in Germania e nel resto dell'Europa.

In Canada, oggigiorno uno dei maggiori Paesi esportatori mondiali, la coltura fu introdotta negli anni '40 con il proposito di ricavare olio per alimentare i motori marini. La seconda guerra mondiale e la generale carenza di olio che ne scaturì, cambiarono drasticamente la situazione colturale in diverse parti del mondo. La ricerca di fonti alternative per la produzione di grassi e lipidi, spinse numerose nazioni a considerare il colza una delle principali colture da olio alimentare.

Nell'attuale scenario internazionale le zone di maggiore coltivazione sono principalmente dislocate in India, Cina, Pakistan e nel già citato Canada, mentre in Europa i principali Paesi produttori sono quelli nordici e centrali, dove la coltura è ben adattata: Germania, Francia, Polonia, Gran Bretagna, Repubblica Ceca, Danimarca, Svezia e più di recente la Russia (Toniolo e Mosca, 2001).

Nel 2008 la superficie mondiale si aggirava attorno ai 31 milioni di ettari (di cui più di un quinto riguarda il colza biotec). In Europa la produzione unitaria si aggira sulle 2,6 t ha<sup>-1</sup> con concentrazioni in grassi del 42%. Si raggiungono però anche punte di 3,5-4 t ha<sup>-1</sup>, con il 45% di olio.

Produzione (.000t)	2004	2005	2006	2007	2008	2009
EU-27	15462	15454	15903	18231	18160	n.p.
Rep. Ceca	934	769	880	1031	1061	1128
Danimarca	468	342	434	596	637	n.p.
Germania	5276	5051	5336	5320	5159	6306
Francia	3993	4532	4144	4683	4854	5562
Ungheria	290	282	338	495	663	565
Austria	120	104	137	144	174	171
Polonia	1632	1449	1651	2129	2084	2496
Rep. Slovacca	262	235	259	321	445	386
Svezia	227	198.2	220	222	243	301
Gran Bretagna	1608	1706	1674	1896	n.p.	1951
Romania	98	147	175	361	732	571
Italia	5	6	6	14	24	50

*Figura 1. Produzione europea di colza (Eurostat 2009).*

In Europa è la quarta coltura più diffusa, dopo frumento, mais e orzo (Eurostat 2009) ed è la coltura oleaginosa che riveste la maggiore importanza occupando il 36% della superficie destinata a questo tipo di coltivazioni (Figura 2).

Superfici (.000ha)	2004	2005	2006	2007	2008	2009
EU-27	4575	4800	5340	6511	6262	n.p.
Rep. Ceca	259	267	292	337	356	354
Danimarca	122	111	125	179	172	n.p.
Germania	1283	1343	1429	1548	1373	1471
Francia	1125	1231	1405	1615	1462	1470
Ungheria	104	122	142	225	251	267
Austria	35	35	42	48	56	56
Polonia	538	550	623	796	771	810
Romania	49	87	110	364	378	430

*Figura 2. Superfici coltivate a colza in Europa (Eurostat 2009).*



Figura 3. Areale di coltivazione del colza in Italia ([www.agrsci.unibo.it](http://www.agrsci.unibo.it), 05/10/2011)

I terreni nazionali investiti a colza sono aumentati considerevolmente negli ultimi anni poiché l'olio prodotto dalla spremitura dei semi può essere utilizzato per scopi sia alimentari sia energetici. La coltura è anche interessante come alternativa ai cereali autunno-vernini, con il vantaggio di una maturazione più precoce e la possibilità di un eventuale secondo raccolto.

Anno	Superficie (ha)
2010	20219
2009	24545
2008	12553
2007	7065
2006	3535
<b>Media</b>	<b>13583</b>

Figura 4. Superficie Italiana di colza dal 2006 al 2010 (Dati ISTAT).

Le superfici italiane destinate a colza negli ultimi anni hanno fatto registrare incrementi considerevoli passando dai 3535 ha del 2006 ai 24545 ha del 2009 e con un successivo leggero calo nel 2010, pari a una superficie di 20219 ha (*Figura 4*). Per quanto riguarda la superficie di quest'autunno (2011), è prevista in parte costante se rapportata ai dati ISTAT 2010, leggermente in aumento se rapportata alle stime di Assosementi (16000 ha nel 2010; 18-20000 ha nel 2011). Il Veneto rappresenta la seconda regione italiana dopo la Lombardia come investimento a colza; nella nostra Regione, infatti, nel 2010 sono stati investiti a colza 3802 ha.

Le produzioni unitarie di seme italiano si aggirano sulle 2,2 t ha<sup>-1</sup> in media (*Figura 5*), con valori minimi di 1,7 t ha<sup>-1</sup> (2006) e valori massimi di 2,6 t ha<sup>-1</sup> (2008).

<b>Anno</b>	<b>Produzione (t ha<sup>-1</sup>)</b>
2010	2,5
2009	2,1
2008	2,6
2007	2,1
2006	1,7
<b>Media</b>	<b>2,2</b>

*Figura 5. Variazioni dal 2006 al 2010 delle rese unitarie (t ha<sup>-1</sup>) di seme prodotto in Italia (Dati ISTAT).*

### 1.1.2 Caratteri botanici e biologici

Famiglia: *Brassicaceae*

Genere: *Brassica*

Specie: *Brassica napus* L. var. *Oleifera* Metzg.

In accordo con quanto proposto da U (U N., 1935) (*Figura 6*), all'interno del genere *Brassica* sono presenti numerose relazioni tra le varie specie coltivate. Tale raffigurazione si sviluppa da tre specie-base: *B. nigra*, *B. oleracea* e *B. campestris*. Il

colza, *Brassica napus*, deriva per ibridazione naturale tra *B. oleracea* e *B. campestris*, dalle quali ha ereditato la somma dei singoli numeri cromosomici. In seguito all'interno della stessa specie, per incrocio e selezione naturale, si sono creati due differenti tipi: uno da seme (forma *oleifera*), il colza, e uno da radice, la rapa (Toniolo e Mosca, 1986). Il colza coltivato è una pianta annua con radice fittonante, moderatamente ramificata, che può agevolmente raggiungere i 70-80 cm di profondità (anche se la maggior parte della massa radicale è concentrata nei primi 30-40 cm) con colletto leggermente ingrossato; foglie della rosetta lisce e carnose; fusto eretto, ramificato, fino a 1,50 m di altezza con foglie inferiori tirate, mentre le superiori, di minore dimensione, risultano essere indivise, sessili, più o meno amplessicauli. L'infiorescenza è a grappolo, con fioritura scalare; 4 petali disposti a croce con corolla di colore giallo (raramente bianco), 6 stami e ovario supero. Il frutto è una siliqua formata da due carpelli, separati da un falso setto (replum) su cui sono inseriti i semi.

Il numero di semi per siliqua varia da 15 a 40 semi. A maturità i due carpelli possono aprirsi spontaneamente (deiscenza). La resistenza alla deiscenza è variabile nelle diverse specie e varietà.

Il seme è rotondeggiante, liscio, di colore bruno rossastro (peso di 1000 semi: 3,5-5 mg); nei tipi invernali è più pesante che nei primaverili.

Il seme privato del tegumento, che rappresenta il 12-20% in peso, è composto dai due cotiledoni, contenenti circa il 50% in olio e proteina, e dall'embrione. Nelle varietà a seme giallo il tegumento è più sottile cosicché la quantità di fibra è minore a favore di olio e proteina. Incroci con queste varietà migliorano la digeribilità e la qualità delle farine per l'impiego zootecnico, specialmente per i monogastrici.

La struttura del tegumento seminale è molto variabile ed è carattere differenziale tra specie e tra varietà; il suo contenuto in olio è assai modesto, mentre è particolarmente elevata la componente fibrosa.

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 è continuo fino a maturazione.

Le varietà botaniche del genere *Brassica* sono prevalentemente autogame con un'elevata percentuale di eterogamia, variabile dal 25 al 30%. Questo fenomeno aumenta l'adattabilità alle diverse condizioni climatiche: vi sono varietà invernali che sopravvivono a temperature molto basse o che si adattano a un fotoperiodo inferiore alle 10 h, accanto a tipi primaverili coltivati fino al circolo polare artico, con fotoperiodo di

quasi 24 h. La grande capacità di adattamento fa intravedere un interessante futuro per il colza se la qualità dell'olio e della farina di estrazione saranno ulteriormente migliorate.

Per quanto riguarda le esigenze climatiche si rileva che, in raffronto a gran parte delle oleaginose, il colza preferisce temperature relativamente basse alla fioritura. Durante la formazione del seme è più tollerante alle alte temperature, purché non accompagniate da siccità. L'azione congiunta dei due fattori può, infatti, causare una diminuzione della dimensione dei semi e del loro contenuto in olio (Toniolo e Mosca, 2001).

La resa in granella oscilla notevolmente nei diversi ambienti, potendo raggiungere 3,5-3,8 t ha<sup>-1</sup> in semina autunnale nell'Italia settentrionale e valori molto più bassi, 1,8-2 t ha<sup>-1</sup> in semina primaverile a causa del ciclo più breve. Il tenore in olio dei semi è superiore al 40%, con valori massimi del 48% in condizioni ambientali particolarmente favorevoli (Vameralli e Zanetti, 2007).

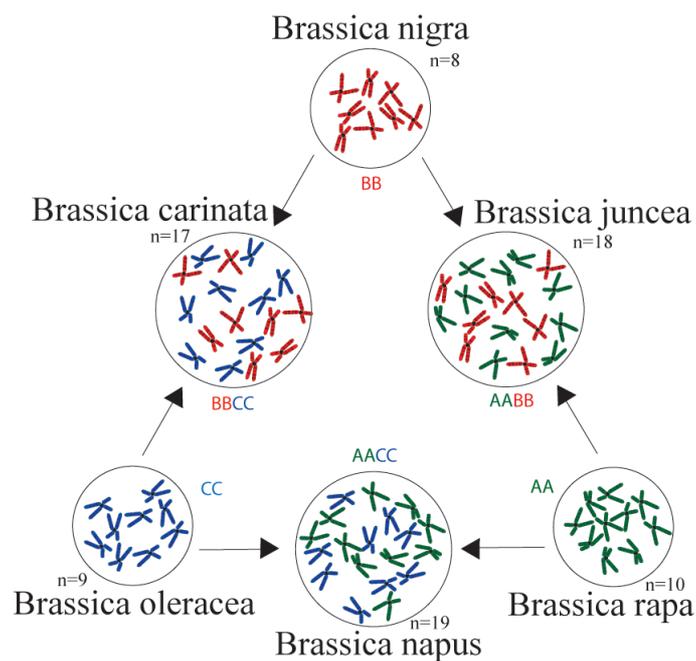


Figura 6. Il triangolo di U (www.wikipedia.com, 05/10/2011)

### 1.1.3 Fenologia

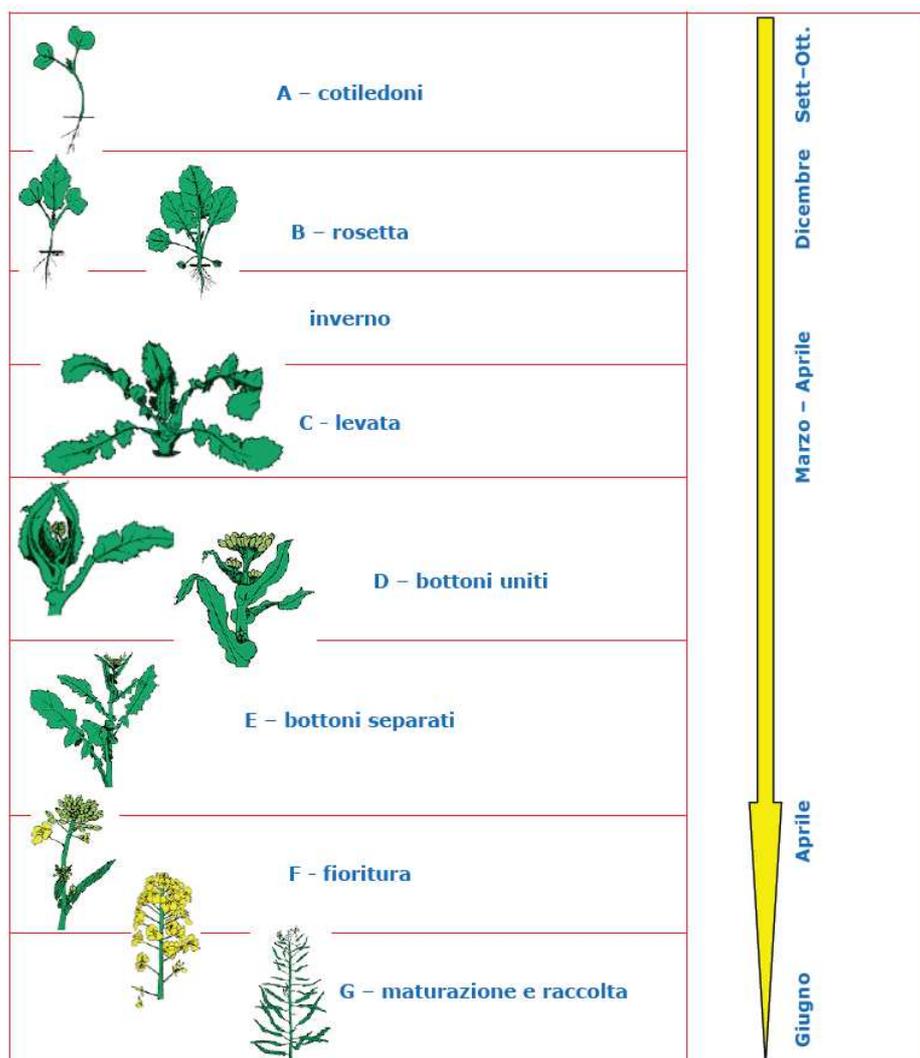


Figura 7. Fasi fenologiche del colza ([www.agrodinamica.it](http://www.agrodinamica.it), 10/10/2011).

Il ciclo biologico del colza è di tipo autunno-primaverile. Seminato tra la metà e la fine di settembre, il seme emerge dopo 10-15 giorni sviluppando due foglie cotiledonari.

La parte centrale del seme di colza presenta un tessuto meristematico dal quale si sviluppa la radichetta (radice), l'ipocotile (fusto) e l'epicotile (apice vegetativo).

Per la germinazione sono richieste una certa umidità e un'adeguata temperatura del terreno; il successivo sviluppo del germinello, fino all'emergenza, avviene a carico delle sostanze di riserva.

Dopo la germinazione, iniziano a susseguirsi vari stadi fenologici caratterizzanti il colza, ognuno associato ad un particolare aspetto morfologico.

Come proposto dalla scala CETIOM-INRA (1996), (*Figura 7*) superato lo stadio cotiledonare, comincia la differenziazione delle prime foglie vere. Raggiunto il numero di 6-8 si realizza lo stadio di **rosetta**, (assenza d'internodi tra i piccioli fogliari). È proprio questo lo stadio (6-8 foglie, fittone di 15-20 cm e colletto del diametro di 6-7 mm) di massima resistenza al freddo: fino a diversi gradi sotto zero (-15 °C), purché non vi siano ristagni d'acqua. Nel corso dell'inverno, avviene il viraggio dell'apice, pertanto il meristema apicale cessa di formare foglie per differenziare gli abbozzi fiorali. È fondamentale che le varietà autunnali passino un periodo a basse temperature per soddisfare il fabbisogno di vernalizzazione. La necessità di freddo è soddisfatta con la permanenza della coltura per circa 40 giorni a temperature inferiori ai 10 °C.

Di norma lo stadio di **levata** inizia verso la seconda metà di marzo, quando nel fusto comincia il distanziamento degli internodi e sono visibili gli abbozzi dell'infiorescenza principale. Si possono individuare due sottostadi durante la levata: il primo in cui si evidenziano la comparsa di giovani foglie alla ripresa vegetativa e il secondo in cui gli internodi sono ben visibili lungo il fusto.

Nello stadio successivo avviene lo sviluppo dei **bottoni fiorali** (stadio D. *Figura 7*). Inizialmente essi sono tutti ravvicinati tra loro e nascosti dalle foglie apicali (D1), successivamente ben visibili (D2).

A un certo punto inizia l'allungamento dei peduncoli fiorali, a iniziare da quelli periferici, ed il loro successivo distanziamento. Questo è lo stadio E (*Figura 7*), caratteristico per la presenza di **bottoni fiorali separati**.

Contemporaneamente a questa crescita vegetativa, i bottoni fiorali più bassi del racemo principale si schiudono, dando inizio all'epoca di **fioritura**. Questa fase, particolarmente abbondante nel colza, oltre a conferire un piacevole aspetto alla coltura, ha forti implicazioni sull'efficienza della chioma; molti fiori soprattutto quelli sbocciati per ultimi, non giungono a maturazione, inoltre, molti ovuli abortiscono. La fase di massima riduzione della potenzialità riproduttiva si registra in seguito all'antesi in cui, l'estesa superficie fogliare e la grande massa di fiori, causano un forte autombreggiamento, quindi una drastica riduzione dell'attività fotosintetica (Mendham, 1980).

Lo **sviluppo delle silique e dei semi** (stadio G. *Figura 7*) rappresenta lo step finale del ciclo colturale. Tale stadio va dalla caduta dei primi petali fino alla maturazione. Lo

stadio si suddivide in: G1 (caduta dei primi petali, le silique basali hanno una lunghezza inferiore ai 2 cm), fino a G5 (semi colorati).

Come riportato precedentemente, il contenuto in olio nelle tipologie a ciclo autunno-vernino, aumenta fino a quando la siliqua assume la tipica colorazione gialla e tende a diminuire verso la maturazione piena; mentre nel colza primaverile si ha una continua crescita fino alla maturazione.

A maturità la pianta si presenta completamente defogliata e con la parte terminale dello stelo e delle ramificazioni coperte di silique ingiallite.

#### ***1.1.3.1 Scale per il riconoscimento fenologico: i codici BBCH***

Il ciclo di sviluppo di una pianta si compone di una serie di eventi in parte visibili all'occhio umano.

Lo sviluppo fenologico del colza invernale è definito principalmente da fattori ambientali, quali la temperatura (inclusa la vernalizzazione) e il fotoperiodo. Questi, in condizioni di pieno campo variano di continuo e simultaneamente, determinando il contemporaneo sviluppo degli organi vegetativi e riproduttivi (Diepenbrock, 2000; Rathke et al., 2006).

A prescindere dal tipo di scala adottata, l'osservazione fenologica classica si basa sull'individuazione di fasi ben precise rilevabili a vista o al tatto, senza operare interventi distruttivi sulla pianta. Questa metodologia prevede l'individuazione di un numero contenuto di piante e l'osservazione del loro sviluppo fino alla fine del ciclo (Barbieri et al., 1989).

La metodologia di rilevazione non si basa solo sulla scelta della scala fenologica di riferimento e sulla sua applicazione, ma deve considerare alcuni elementi importanti per limitare gli errori di rilevazione e ottenere risultati rappresentativi.

Innanzitutto è necessario adottare tutti quegli accorgimenti che permettano di omogeneizzare i rilievi effettuati da osservatori diversi e limitare la soggettività dell'osservazione. Allo scopo si utilizzano schede di rilevazione normalmente accompagnate da note metodologiche per l'esecuzione dei rilievi.

Solitamente nelle note delle schede sono definiti i principali criteri da rispettare per la scelta dell'azienda, dell'appezzamento e per la scelta dei siti e delle piante da osservare all'interno dell'appezzamento. Le note sono normalmente integrate con iconografie e

immagini fotografiche, che permettono di riconoscere in modo dettagliato lo stadio fenologico della pianta (Barbieri et al., 1989).

Oggi giorno una delle scale maggiormente applicate nel riconoscimento dell'evoluzione fenologica di piante coltivate e spontanee è la scala fenologica BBCH (1997), ispirata alla metodologia proposta da Zadoks (Zadoks, 1974).

La scala BBCH è un sistema decimale che permette di descrivere e codificare gli stadi fenologici di piante mono e dicotiledoni, suddividendoli in fasi principali e secondarie. È il risultato della collaborazione tra il Centro federale di ricerca biologica per l'agricoltura e le foreste (BBA - Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft), l'Ufficio federale delle varietà vegetali (BSA - Bundessortenamt), l'Istituto per le colture orticole ed ornamentali di Grossbeeren / Erfurt (IGZ - Institut für Gemüse und Zierpflanzenbau Grossbeeren / Erfurt) e l'Associazione agrochimica tedesca (IVA - Industrieverbandes Agrar).

L'abbreviazione "BBCH" deriva dalle iniziali "Biologische Bundesanstalt", "Bundessortenamt" e "Chemical industry".

L'intero ciclo biologico delle piante è suddiviso in dieci stadi di sviluppo principali indicati con i numeri da 0 a 9 (*Figura 8*).

All'interno degli stadi principali sono presenti sottostadi secondari che definiscono momenti di sviluppo molto precisi (00-99). Gli stadi di sviluppo secondari possono essere espressi con numeri ordinali o percentuali; per esempio lo stadio 3 può rappresentare: la terza foglia, il terzo culmo, il terzo nodo, il 30% della lunghezza finale, il 30% della fioritura.

Dalla combinazione di numeri e stadi di sviluppo principali e secondari, risulta un codice composto da due cifre che permette di definire precisamente gli stadi di sviluppo fenologico per la maggior parte delle specie vegetali.

L'utilizzo di una scala numerica in grado di codificare il ciclo colturale in funzione di precisi tratti morfologici della pianta permettere di aumentare l'accuratezza dei rilievi fenologici, consentendo di determinare con precisione e oggettività il momento in cui avviene ciascuno stadio di crescita. Inoltre, i sistemi informatici a supporto dei processi decisionali legati al management colturale, nonché i modelli fenologici previsionali, richiedono una codifica numerica del processo fenologico di agevole archiviazione.

<b>0. Germinazione</b>		<b>1. Sviluppo delle foglie</b>		<b>2. Sviluppo dei germogli laterali</b>		<b>3. Allungamento fusto</b>		<b>4. Svil. parti veget. raccogliabili</b>	
00	Seme secco	10	Cotiledoni completamente distesi	20	Nessun germoglio laterale	30	Inizio dell'allungamento dello stelo	40	-
01	Inizio dell'imbibizione del seme	11	Prima foglia vera distesa	21	1 germoglio laterale visibile	31	1 internodo allungato visibile	41	-
03	Imbibizione del seme completata	12	2 foglie vere distese	22	2 germogli laterali visibili	32	2 internodi allungati visibili	42	-
05	Fuoriuscita della radice del seme	13	3 foglie vere distese	23	3 germogli laterali visibili	33	3 internodi allungati visibili	43	-
07	Ipocotile con i cotiledoni fuoriesce dal seme	14	4 foglie vere distese	24	4 germogli laterali visibili	34	4 internodi allungati visibili	44	-
08	Accrescimento dell'ipocotile con i cotiledoni verso la superficie del terreno	1.	Formazione delle foglie successive fino a 9	2.	Formazione di germogli laterali successivi fino a 9	3.	Allungamento di successivi internodi fino a 9	4.	-
09	Emergenza	19	9 o più foglie vere distese	29	9 o più germogli laterali visibili	39	9 o più internodi allungati visibili	49	-
<b>5. Emissione delle infiorescenze</b>		<b>6. Fioritura</b>		<b>7. Sviluppo del frutto</b>		<b>8. Maturazione</b>		<b>9. Senescenza</b>	
50	Boccioli presenti ancora chiusi fra le foglie	60	Primi fiori aperti	71	10% delle siliquie hanno raggiunto la dimensione finale	80	Inizio maturazione: semi verdi, riempimento della siliqua	97	Piante morte e secche
51	Boccioli visibili dall'alto (" <i>green bud</i> ")	61	10% dei fiori aperti nel racemo principale, allungamento del racemo principale	73	30% delle siliquie hanno raggiunto la dimensione finale	81	10% delle siliquie mature con semi secchi e duri	99	Prodotto raccolto
52	Boccioli liberi a livello delle foglie più giovani	63	30% dei fiori aperti nel racemo principale	75	50% delle siliquie hanno raggiunto la dimensione finale	83	30% delle siliquie mature con semi secchi e duri		
53	Boccioli al di sopra delle foglie più giovani	65	Piena fioritura: fiori aperti nel racemo principale, caduta dei petali più vecchi	77	70% delle siliquie hanno raggiunto la dimensione finale	85	50% delle siliquie mature con semi secchi e duri		
55	Boccioli singoli (infiorescenza principale) visibili ma ancora chiusi	67	Rallentamento della fioritura, maggioranza dei petali caduta	79	Quasi tutte le siliquie hanno raggiunto la dimensione finale	87	70% delle siliquie mature con semi secchi e duri		
57	Boccioli singoli (infiorescenza secondaria) visibili ma ancora chiusi	69	Fine fioritura			89	Maturazione piena		
59	Primi petali visibili, boccioli fiorali individuali ancora chiusi (" <i>yellow bud</i> ")								

Figura 8. Fasi fenologiche e chiavi di identificazione BBCH per colza (Fonti: Weber e Bleiholder, 1990; Lancashire et al. 1991).

#### **1.1.4 Esigenze pedo-climatiche**

Il colza predilige climi temperati, umidi e non troppo soleggiati. Di norma massimizza il proprio potenziale in terreni profondi, freschi, fertili e leggeri, si adatta a quelli argillosi, calcarei e torbosi, purché ben drenati.

Tollera deboli livelli di salinità mentre il valore ottimale del pH del terreno si aggira attorno a valori di 6,5-7.

Il colza quindi è una specie adattabile a diverse condizioni pedo-climatiche ed essendo in grado di valorizzare anche modesti input agronomici si può adeguare alla coltivazione anche su terreni marginali non idonei alle colture più tradizionali (Bordin e Guercini, 2007).

Il fabbisogno termico dell'intero ciclo è circa 1200-1300 GDD (*Growing Degree Days*). Lo zero di vegetazione del colza è attorno agli 0°C.

Preferisce temperature relativamente basse alla fioritura; nella fase riproduttiva è più tollerante a quelle più elevate purché non manchi l'acqua. La concomitanza di questi due fattori (alte temperature e poca acqua nella fase di riempimento) porta alla riduzione delle dimensioni del seme e a un abbassamento del tenore in olio.

Gli eccessi d'acqua possono favorire attacchi fungini sulle radici e diminuire la resistenza alle basse temperature invernali (Toniolo e Mosca, 1986).

#### **1.1.5 Miglioramento genetico e materiali disponibili**

Il miglioramento genetico della specie, latente nel nostro Paese dalla fine degli anni 90 in poi, ha dovuto approvvigionarsi andando per lo più ad attingere da genotipi selezionati nell'Europa centrale (Germania, Francia e Danimarca) vera culla del *breeding* del colza a livello mondiale.

Una possibile distinzione delle cultivar disponibili nel panorama varietale della specie può essere fatto in funzione del ciclo colturale:

- invernali (non alternative): queste varietà per indurre a fiore hanno bisogno di passare un certo periodo a basse temperature (*vernalizzazione*), sono seminate a fine estate, in modo da arrivare allo stadio di rosetta prima della stagione invernale.

- primaverili (alternative): queste varietà per l'induzione a fiore non hanno bisogno di basse temperature, e si possono quindi seminare in primavera, ottenendo però una produzione in granella e un contenuto in olio inferiori rispetto alle varietà autunno-primaverili.

Altra distinzione può essere fatta in base al contenuto di acido erucico e glucosinolati:

- "HEAR" (*high erucic acid rapeseed*), alto contenuto di acido erucico;
- "0" basso tenore di acido erucico;
- "00" con un contenuto in pratica nullo di acido erucico e un quantitativo massimo di 1-5  $\mu\text{m}$  di glucosinolati per grammo di farina disoleata;
- "000", basso tenore di acido erucico, glucosinolati e fibra.

Va sottolineato come il miglioramento genetico per il colza sia particolarmente avanzato, in rapida e costante evoluzione; infatti, negli ultimi anni sono stati introdotti ibridi a fertilità maschile ristorata (CHH), ibridi di taglia ridotta (*semi-dwarf*), linee ibride composte (CHL) e varietà a impollinazione libera, quest'ultime decisamente più produttive di quelle disponibili sul mercato solo pochi anni or sono.

Le potenzialità produttive dei nuovi materiali tuttavia sono valorizzate in un idoneo ambiente di coltivazione, soprattutto perché questi genotipi non derivano da una selezione condotta sul territorio nazionale, ma sono d'importazione. Spesso ciò può portare all'ottenimento di rese che si collocano ben al di sotto alle aspettative (Mosca e Zanetti, 2007).

### ***Ibridi CHH convenzionali***

I genotipi ibridi (CHH), ottenuti da ciascuna casa sementiera con tecniche di maschiosterilità proprie, presentano fertilità maschile ristorata al 100%.

Producono piante vigorose che garantiscono il raggiungimento di rese in granella più elevate rispetto alle varietà tradizionali (Frauen et al., 2003; Budewig e Leon, 2003) o ai tipi *semi-dwarf* (Sieling e Kage, 2007). Per contro il loro seme risulta particolarmente costoso.

L'accrescimento particolarmente vigoroso di questi materiali li rende idonei anche a semine ritardate, comunque non oltre i primi giorni di ottobre.

Le potenzialità produttive dei materiali più recenti, e ora disponibili sul mercato, raggiungono e superano senza problemi le 4-4,5 t ha<sup>-1</sup> di granella (s.s.) (Mosca e Zanetti, 2007).

Gli ibridi offrono in generale:

- una migliore adattabilità con rese più elevate e stabili;
- possibilità di eseguire la semina su sodo con riduzione dei costi;
- possibilità di ridurre la densità di semina con uno sviluppo più regolare della pianta e una maturazione più uniforme;
- emergenza più regolare e rapida con minori rischi di fallanze;
- elevata resistenza al freddo con minori diradamenti invernali;
- rapida ripresa vegetativa a fine inverno con veloce copertura del terreno;
- fioriture uniformi con maturazione più regolare;
- spiccata riduzione della deiscenza delle silique.

### ***Ibridi CHH semi-dwarf***

I genotipi *semi-dwarf* (semi-nani) sono quelli di più recente introduzione sul mercato italiano, si contraddistinguono per l'*habitus* vegetativo ridotto, gli internodi ravvicinati e un accrescimento più contenuto rispetto agli ibridi convenzionali.

Normalmente le potenzialità produttive dei tipi *semi-dwarf* sono più limitate rispetto agli ibridi normali (-5, -10%), ma in condizioni particolari possono avere un buon vantaggio competitivo rispetto a questi ultimi, dato che la loro taglia contenuta limita l'incidenza dell'allettamento, che nel colza può causare consistenti perdite alla raccolta (fino al 20-30%).

Va ricordato che i tipi *semi-dwarf* nel Nord Italia necessitano di semine precoci (dal 15 al 25 settembre) allo scopo di consentire alla pianta di formare un'adeguata rosetta di 4-6 foglie, con un pivot radicale robusto in grado di resistere allo scalzamento dovuto all'alternanza di gelo e disgelo invernali. Le potenzialità produttive di questi ibridi vanno poste in relazione all'ambiente di coltivazione e possono raggiungere le 4 t ha<sup>-1</sup> di seme (Mosca e Zanetti, 2007).

### ***Linee ibride composte***

Le linee ibride composte (CHL Composite Hybrid Line) o varietà associate, sono ottenute da una mescolanza tra seme di una linea maschiosterile (circa l'80%) e di una

linea impollinante (circa il 20%). Il loro vantaggio produttivo è circa il 5-10% in più rispetto alle normali varietà; tuttavia, se non si realizza la completa fecondazione incrociata, ci sarà una diminuzione del vigore ibrido e nessun incremento di resa. Per diminuire questo inconveniente si aumenta il numero di linee impollinanti nella varietà associata.

### ***Varietà a impollinazione libera***

Queste cultivar, a impollinazione libera, sono generalmente quelle che sul mercato hanno un prezzo più contenuto; la loro produttività è buona, soprattutto se ci si deve confrontare con un ambiente di coltivazione particolarmente ostile o comunque poco consono al colza.

Hanno un accrescimento notevolmente, meno vigoroso degli ibridi, ma le loro potenzialità produttive si attestano ugualmente tra le 3,5 e le 4 t ha<sup>-1</sup> di sostanza secca.

I livelli di resa indicati possono essere raggiunti solo adottando un'ideale data di semina, che per il Nord Italia si può collocare nell'ultima settimana di settembre (Mosca e Zanetti, 2007).

### ***Varietà transgeniche***

Le varietà transgeniche si ottengono con tecniche d'ingegneria genetica, introducendo nelle linee pure uno o più caratteri d'interesse agronomico (geni presi da altre specie o da altri generi di piante), come resistenza a un erbicida, tolleranza a malattie e/o a insetti, ecc. Senza dubbio, sarebbe allettante per l'agricoltore diserbare una sola volta in post-emergenza con un erbicida totale, non doversi più preoccupare di controllare insetti e malattie, avere la possibilità di produrre oli con le caratteristiche richieste dall'industria, ecc., come promettono i costitutori degli organismi transgenici; tuttavia, prima di rendere disponibile questo materiale è necessario accertarsi se il loro impiego comporti rischi per l'uomo e per l'ambiente.

In Italia per il momento non è ancora possibile far uso di queste nuove varietà OGM, ampiamente coltivate in molteplici Paesi.

### **1.1.6 Tecnica di coltivazione**

Con riferimento al colza italiano, la definizione di un idoneo iter colturale desta crescente interesse tra ricercatori e tecnici; la sua recente introduzione negli avvicendamenti colturali, le scarse conoscenze sulla sua gestione tecnica e la crescente importanza economica del suo olio per utilizzi no-food, ha stimolato l'avvio di numerose sperimentazioni nazionali tese ad affinare la tecnica di coltivazione per tale oleifera. L'attuale sviluppo tende soprattutto a determinare gli accorgimenti tecnici più economici e coerenti con le recenti esigenze di tutela ambientale.

#### ***1.1.6.1. Avvicendamento***

Il colza, essendo una coltura a ciclo autunno-primaverile, nell'avvicendamento occupa lo stesso posto del frumento (Toniolo e Mosca, 2001). La sua precocità di semina e di raccolta, se da un lato ne rende difficile la successione con colture a maturazione tardiva, dall'altro garantisce l'ottenimento di un eventuale secondo raccolto estivo oppure l'agevole preparazione del letto di semina per la coltura in successione.

Il corretto inserimento del colza negli avvicendamenti deve tenere conto delle problematiche fitopatologiche comuni ad altre specie coltivate. In particolare il colza è ospite di *Heterodera schachtii*, nematode tipico della barbabietola da zucchero, ed è colpita da *Sclerotinia sclerotiorum*, fungo in comune con girasole e soia e che permane nel terreno per molti anni con la sua forma di resistenza ("sclerozi").

Ne consegue la necessità di adottare avvicendamenti ampi (ritorno sullo stesso terreno dopo 3-4 anni) e/o di realizzare la coltivazione in zone ove non siano diffusi i suddetti patogeni. E' consigliabile, in una rotazione stretta bietola – colza, inserire una coltura intercalare di specie biocidi ad esempio il rafano.

#### ***1.1.6.2 Lavorazioni***

La lavorazione del terreno è uno degli aspetti più delicati della tecnica colturale del colza. Essa, considerate le ridotte dimensioni del seme, deve consentire la massima regolarità e uniformità d'emergenza, quindi un adeguato investimento colturale. Inoltre,

è ritenuto prioritario che la preparazione del letto di semina dia la possibilità alla coltura di svilupparsi sufficientemente prima della stasi di sviluppo invernale e garantisca nel medesimo periodo un tempestivo allontanamento delle acque in eccesso. In tal senso non sembra al momento possibile definire una tecnica di lavorazione in grado di essere generalizzata e, quindi, adottabile nelle più diverse condizioni climatiche.

A prescindere dall'itinerario tecnico adottato per la lavorazione del terreno, le migliori condizioni di sviluppo per il colza si manifestano in suoli caratterizzati da uno strato superficiale con zolle di 3 cm di diametro, uno strato di terra fine dove sarà deposto il seme e uno strato più profondo privo di suola di lavorazione (Toniolo e Mosca, 1986). Indicativamente, nei nostri ambienti, ciò si ottiene attraverso un'aratura a 20-25 cm di profondità, un'estirpatura e una successiva erpicatura (Mosca e Zanetti, 2007).

Interessanti valutazioni sulla scelta della tecnica di lavorazione si deducono considerando la tessitura del terreno. Numerose esperienze realizzate ponendo a confronto la tradizionale aratura del terreno con le tecniche di minima e non-lavorazione in differenti tipologie di suoli, hanno evidenziato diversi risultati produttivi. La semina diretta ha fornito incrementi di resa rilevanti nel corso di annate siccitose e in terreni argillosi senza eccessivi problemi di ristagno idrico superficiale. In suoli sciolti e sensibili al compattamento è apparso invece sempre conveniente il ricorso alla lavorazione tradizionale, con il rovesciamento degli strati superficiali almeno fino a 20-25 cm di profondità.

### ***1.1.6.3 Semina***

La semina deve garantire emergenze rapide e omogenee. Il colza deve nascere e svilupparsi rapidamente, per arrivare prima dell'inverno allo stadio di rosetta a 6-8 foglie con un diametro della radice al colletto di 7-8 mm, fase fenologica che garantisce resistenza al freddo.

Seminare preferibilmente con seminatrici pneumatiche che consentono una densità ed una emergenza più regolare e sono in grado di distribuire quantitativi ridotti di seme. In alternativa è possibile adottare seminatrici da grano.

Orientativamente per la messa a dimora della coltura ci si può basare su i seguenti parametri.

**Interfila:** da 30 cm (seminatrice da grano) a 45 cm (seminatrice pneumatica).

**Profondità:** di norma a 2 – 3 cm; in caso di terreno secco aumentare la profondità, non superare comunque i 4 cm.

**Densità di semina:** la quantità di seme distribuito varia in funzione della cultivar, delle condizioni del terreno e dell'epoca di semina. Nel colza, la massima intercettazione solare e di conseguenza i migliori risultati produttivi, si raggiungono con densità di semina in grado di assicurare un investimento teorico di 100-120 piante per m<sup>2</sup> e una densità alla raccolta di 50-60 piante per m<sup>2</sup> (Toniolo e Mosca, 2001).

La quantità di seme da impiegare al fine di ottenere una densità di piante ottimale è variabile da 10 a 12 kg ha<sup>-1</sup> con semina a file continue, mentre può essere ridotta a 5-8 kg ha<sup>-1</sup> adottando distanze di 45 cm tra le file e 2-2,5 sulla fila (De Mastro e Bona, 1998).

**Epoca di semina:** negli ambienti del nord - Italia il periodo ideale si colloca tra la seconda metà di settembre e la prima decade di ottobre in funzione prevalentemente delle cultivar utilizzate. È da tener presente però, che in autunni particolarmente caldi e con terreni eccessivamente secchi è opportuno ritardare l'epoca di semina, allo scopo di evitare una bassa germinazione e la formazione di piantine stentate facilmente attaccabili da insetti (Toniolo e Mosca, 2001). Negli ambienti del centro – sud Italia è possibile posticipare la semina di circa un mese.

#### ***1.1.6.4 Concimazione***

I concimi sono delle sostanze, minerali o organiche, di origine naturale o di sintesi, in grado di integrare alle colture uno o più elementi nutritivi ad esse necessari per lo sviluppo.

La concimazione può essere eseguita sulla parte epigeica delle piante (concimazione fogliare) o, più comunemente, sul terreno. Nel secondo caso si va a modificare la fertilità chimica del suolo esaltandone la funzione nutritiva. Con questa pratica agronomica si apportano dunque elementi nutritivi asportati dalle colture in modo da permettere il perenne rinnovarsi del processo produttivo senza andare incontro al graduale sfruttamento del terreno (Giardini, 2004).

Nel colza la struttura produttiva dipende dalla quantità totale di assimilati a disposizione della pianta e dalla loro traslocazione verso i frutti. Da qui la necessità di un'appropriata e dosata concimazione (Toniolo e Mosca, 1986).

Dall'emergenza delle piantine all'inizio dell'inverno (circa 60 giorni), il colza preleva intorno al 20% del suo fabbisogno in azoto e potassio e il 10%, circa, di fosforo. Nel corso dell'inverno l'assorbimento di elementi è quasi trascurabile. Dalla ripresa vegetativa (seconda metà di marzo) fino al completamento della fioritura (seconda metà di maggio) il prelevamento diventa intenso, interessando il 70%, circa, dell'azoto, del fosforo e dello zolfo e il restante 80% del potassio. Nella successiva fase di formazione e riempimento dei semi è prelevato il rimanente 10% dell'azoto e 20% di fosforo.

Quanto finora detto permette di stabilire le dosi di fertilizzante, le epoche d'intervento e i tipi di concime da utilizzare per una razionale concimazione.

### ***Fosforo***

Il fosforo è un elemento di primaria importanza per la vita delle piante, dalle prime fasi dell'accrescimento fino a quelle fondamentali della fioritura, fecondazione e fruttificazione. La carenza di fosforo si manifesta con foglie di colore verde pallido e margini arrossati (caratteristica specifica).

I consumi di fosforo sono molto più bassi di quelli in potassio e in azoto, però la presenza è necessaria e l'elemento deve essere aggiunto con la concimazione. In media è restituito al terreno il 50% di quanto la coltura ha consumato.

Per i nostri terreni, solitamente con pH tra il neutro e l'alcalino, è consigliabile il perfosfato triplo che, tra l'altro, è il concime fosfatico con l'unità fertilizzante a più basso costo.

### ***Potassio***

Tra gli elementi nutritivi il potassio occupa un posto di primo piano. Pur non entrando nella formula dei costituenti biologicamente più importanti, è un elemento assolutamente indispensabile poiché svolge l'azione di regolatore fisiologico in una grande quantità di processi biochimici attinenti alla produzione, alla qualità dei prodotti, alla resistenza alle avversità, ecc.

La dose di potassio dipende dalla ricchezza in questo elemento che, in genere, è presente nei nostri suoli in notevole quantità. I fabbisogni durante la crescita primaverile sono molto elevati (10-15 kg ha<sup>-1</sup> al giorno) e il fabbisogno massimo si ha da poco prima a tutta la fioritura (fino a 3 kg ha<sup>-1</sup> al giorno) per cui la riserva dovrà essere notevole.

Le dosi da apportare devono essere calcolate tenendo conto della dotazione del terreno in potassio scambiabile e della valutazione agronomica che l'analisi chimica fornisce per tale elemento.

Per il colza il concime potassico da utilizzare è il solfato di potassio (titolo 48-52%), anche se più costoso rispetto al cloruro di potassio, perché contiene il 18% di zolfo (molto utile al colza) e adatto ai nostri terreni con pH tra il neutro e l'alcalino.

### **Zolfo**

L'elevato fabbisogno della coltura, tipico delle *brassicaceae* (la presenza di composti solforati, i tioglucosinolati, nella pianta e nei semi del colza rende il fabbisogno di zolfo di questa coltura particolarmente alto, circa 25 kg per tonnellata di granella prodotta, ossia 75 kg per 3 t ha<sup>-1</sup>), può giustificare l'apporto di solfati, realizzabile comunque attraverso l'impiego di concimi che ne sono ricchi. La disponibilità di solfati dipenderà dalla primavera. Spesso all'inizio della levata la mineralizzazione non è sufficiente per coprire i bisogni del colza. La quantità di zolfo di cui abbisogna la pianta è elevata e solo meno della metà è reintegrato con i residui, il fabbisogno varia con la fase di vegetazione: il 70% dello zolfo è assorbito nel periodo levata-fioritura (Toniolo e Mosca, 1986).

Nelle nostre zone raramente si verificano le condizioni per il manifestarsi di carenze di zolfo; comunque, considerando i forti consumi di questo elemento da parte del colza, è bene apportarlo, non attraverso apposite concimazioni solforiche, bensì, come accennato in precedenza, con le normali concimazioni N P K, utilizzando concimi che contengono anche zolfo. Ad esempio: il solfato ammonico contiene, oltre al 20-21% di azoto, anche il 57% di SO<sub>3</sub>, pertanto distribuendo 130 kg ha<sup>-1</sup> di questo concime, si copre anche il fabbisogno di SO<sub>3</sub>; lo stesso risultato può essere conseguito utilizzando 170 kg ha<sup>-1</sup> di solfato di potassio che contiene, oltre al 48-52% di K<sub>2</sub>O, anche il 45% di SO<sub>3</sub>.

### **Azoto**

L'azoto è l'elemento più importante. Serve a dare continuità a uno stato nutrizionale elevato e permette alla pianta di avere una buona ripresa primaverile, fatto essenziale per la riuscita della coltura. La sua presenza è particolarmente necessaria dalla ripresa vegetativa all'inizio della fioritura.

La concimazione con questo elemento influenza l'attività produttiva stimolando la produzione d'infiorescenze e favorendo un maggior sviluppo della pianta nel suo complesso. L'uso di fertilizzanti azotati, però, a differenza di quanto avviene con quelli fosfatici e potassici, richiede particolari attenzioni, soprattutto nello stabilire la dose ottimale da somministrare. Infatti, errori in difetto non consentirebbero alla coltura di esprimere tutte le sue potenzialità produttive, mentre se si aumenta l'apporto si può compromettere la sostenibilità ambientale del sistema colturale favorendo la lisciviazione nitrica verso gli acquiferi sottosuperficiali.

Per una produzione attesa di  $3 \text{ t ha}^{-1}$  la coltura deve poter disporre di circa 210 kg di azoto, ma si tenga ben presente che solo una parte di questo fabbisogno deve essere effettivamente soddisfatta con le concimazioni. Il colza, infatti, nel corso dell'autunno e dell'inverno assorbe elevate quantità di azoto dal terreno in seguito alla mineralizzazione della sostanza organica durante l'estate e l'autunno. Nel corso della primavera, tuttavia, l'azoto liberato dalla sostanza organica non è sufficiente per soddisfare i fabbisogni della coltura, diventati ormai elevati, pertanto si deve intervenire con i concimi minerali. La gestione della fertilizzazione azotata si baserà sull'equilibrio tra i fabbisogni della coltura e le forniture di azoto derivanti dal suolo e dai concimi.

Oggigiorno si mira a una riduzione degli input per cui le concimazioni azotate, tenendo presente l'elevata richiesta di N del colza all'uscita dell'inverno, si aggirano attorno alle 80-100 unità per ettaro, con il presupposto che il terreno presenti una buona disponibilità di questo elemento.

Per definire quindi una razionale concimazione azotata è bene eseguire una programmazione anticipata degli interventi da svolgere durante il periodo di sviluppo della coltura.

La concimazione azotata negli ultimi anni non prevede alcun intervento autunnale al fine di minimizzare i costi e ridurre al minimo le perdite di N per lisciviazione, salvo che:

- il terreno sia scarsamente dotato di azoto per carenza di sostanza organica o a causa dell'interramento di grandi quantità di residui ad alto rapporto C/N (umificano con difficoltà), rimasti dalla coltura precedente (es.: paglia di frumento);
- l'accrescimento della coltura sia stentato a causa delle basse temperature per un ritardo nella semina e/o nell'emergenza.

In ogni caso la dose non deve superare le 30-40 unità di N ha<sup>-1</sup>, da somministrare alla semina o in copertura autunnale perché altrimenti l'azoto andrebbe incontro a fenomeni di lisciviazione ed inquinamento delle falde.

Considerando l'apporto azotato primaverile normalmente si preferisce un unico intervento di concimazione azotata verso la fine di febbraio con un concime che presenti N e S come solfato ammonico.

Nel caso in cui alla fine dell'inverno la coltura sia debolmente sviluppata, si necessitano due concimazioni azotate:

– un primo intervento precoce alla ripresa vegetativa, a fine gennaio - inizio febbraio, con apporto di N rapidamente utilizzabile dalla coltura per far sì che riprenda vigore; in questo caso si può apportare il 30-50% del suo fabbisogno che equivale a 40-50 unità di N ha<sup>-1</sup>.

– un secondo intervento, invece, a metà marzo in corrispondenza dell'inizio della levata con le restanti 60-70 unità di N ha<sup>-1</sup>; questo consente alla coltura di creare le giuste riserve energetiche per i processi di fioritura, allegagione, formazione delle silique e per la successiva formazione dei semi.

### **1.1.7 Lotta alle malerbe**

La lotta alle malerbe, come la preparazione del letto di semina, è di fondamentale importanza per la coltivazione del colza, che soffre molto la competizione delle infestanti soprattutto nel periodo iniziale di accrescimento.

I tipi di lotta che si possono attuare sono vari e sono del tipo agronomico, meccanico e chimico. I tipi di lotta agronomica riguardano una corretta scelta delle successioni, l'utilizzo di semente selezionata abbinata alla scelta della densità di semina, la pulizia dei fossi, capezzagne e delle scoline; tutte pratiche che normalmente riducono la diffusione delle infestanti ma che spesso si dimostrano insufficienti. Pratiche molto utili risultano essere la falsa semina, attuata due settimane prima per favorire l'emergenza delle infestanti con successiva erpicatura per la loro eliminazione e una sarchiatura meccanica effettuata in autunno.

Tra le infestanti più diffuse e difficili da controllare troviamo graminacee invernali (*Alopecurus*, *Lolium*, *Avena*, *Phalaris*, *Poa*), dicotiledoni annuali come le grandi

crucifere (*Sinapis*, *Rapistrum*, *Brassica*, *Myagrum*) o come *Veronica*, *Stellaria*, *Papaver*, *Matricaria*, *Galium* e altre comuni ai cereali vernini (*Fallopia*, *P. aviculare*); infine infestanti perenni (su colture rade) come *Cirsium*, *Sylibum*, *Equisetum*.

Non sono però solo questi i danni causati dalle malerbe, ma ne esistono altri altrettanto gravi, come la perdita di resa per il mancato controllo, stimabile attorno al 30%, la trasmissione di parassiti nonché interferenze al regolare sviluppo della pianta (Toniolo e Mosca, 1986).

Particolarmente gravosa è la competizione operata dalla flora spontanea nel periodo compreso tra la semina, chiusura delle file e inizio della ripresa vegetativa, epoca nella quale il colza manifesta i maggiori fabbisogni di luce, acqua ed elementi nutritivi. In quest'ultima fase è quindi necessario esercitare un buon livello d'interferenza sulle malerbe avvalendosi sia di tecniche agronomiche classiche, sia dell'impiego di diserbanti chimici.

Proprio l'interazione tra queste due tipologie d'intervento garantisce il miglior controllo della flora infestante. Preferendo semine a file larghe è possibile eseguire una distribuzione di erbicida in pre-semine e in seguito in post-emergenza ricorrere alla sarchiatura nell'interfila. Nel caso di semine a file continue è utile anticipare la semina, così da amplificare la capacità competitiva del colza e limitarsi a un solo trattamento erbicida: o in pre-emergenza, con la presenza di infestazioni miste, o in post-emergenza, con graminacee annuali (Toniolo e Mosca, 2001).

Tali linee d'intervento sono però vincolate dal ridotto numero di principi attivi disponibili. Allo stato attuale la scelta si riduce al Trifluralin per trattamenti in pre-semine contro mono e dicotiledoni, al Metazachlor per distribuzioni in pre-emergenza e al Clopyralid associabile a vari graminicidi in post-emergenza (De Mastro e Bona, 1998).

Considerato il limitato numero degli erbicidi di pre-emergenza autorizzati, in pratica uno solo (Metazachlor), il ricorso alla sarchiatura nell'interfila (*Figura 9*) fornisce un controllo soddisfacente, per quanto in questo caso la semina anticipata, che amplifica la capacità competitiva del colza, diventi tassativa. Ovviamente tale operazione è abbinata solo a semine su file larghe almeno 40-45 cm (Mosca e Zanetti, 2007).



Figura 9. Sarchiatura del colza (Mosca e Zanetti, 2007. *Inf. agr.*, 33:38-42).

## 1.1.8 Lotta alle avversità

### 1.1.8.1 Parassiti animali

Il colza può essere soggetto ad attacchi di diversi insetti durante il suo ciclo vegetativo, anche se in linea di massima, risulta ben tollerante ai danni causati da questi.

Durante le prime fasi di sviluppo è possibile rilevare la presenza degli adulti dell'Altica (*Psylliodes chrysocephala* L.), capaci di erodere superficialmente i cotiledoni e le prime foglie vere. Alla ripresa vegetativa, in primavera, sono riscontrabili gli attacchi del punteruolo, abile a provocare lesioni al fusto e malformazioni di crescita. Nelle primissime fasi della fioritura e alla comparsa dei bottoni fiorali, il Meligete (*Meligethes aeneus* F.), contribuendo all'impollinazione, causa erosioni precludendo la formazione dei frutti. In seguito, con la presenza dei primi fiori, gli adulti abbandonano le precedenti formazioni per alimentarsi sugli stessi, senza però arrecare ulteriori danni (Toniolo e Mosca, 2001). I semi all'interno delle silique possono essere invece danneggiati dalle larve del punteruolo delle silique (*Ceuthorrhynchus assimilis* Payk.).

Oltre ai coleotteri anche gli afidi (*Brevicoryne brassicae* L.) possono essere agenti di danno formando colonie grigio-violastre a livello delle infiorescenze.

In generale il ricorso alla difesa fitosanitaria trova una validità economica solo con il superamento di determinati valori di soglia nelle fasi fenologiche più vulnerabili.

Infine è utile ricordare di evitare la coltivazione del colza in avvicendamenti che coinvolgono la bietola per la presenza dell'*Heterodera scachtii*.

#### **1.1.8.2 Patogeni fungini**

Le principali fitopatie che interessano il colza sono la *Sclerotinia sclerotiorum*, *Alternaria brassicae* e *Plasmodiophora brassicae*. Il controllo di queste, in mancanza di varietà tolleranti e trattamenti fungicidi è garantito da metodi preventivi volti soprattutto ad evitare il reimpianto e successioni strette con altre specie ospiti come soia, pisello e girasole.

#### **1.1.9 Raccolta**

I processi decisionali che portano a definire l'epoca e la modalità di raccolta del colza, sono cruciali al fine di ottenere elevati standard quanti- qualitativi del prodotto agrario utile. La mietitrebbiatura deve, infatti, coincidere con il raggiungimento da parte del seme di un'idonea quantità di sostanza secca, un elevato contenuto in olio e una ridotta percentuale di umidità nonché un'adeguata sintesi di acidi grassi. Inoltre, è opportuno eseguire una raccolta tempestiva per evitare da un lato la deiscenza delle silique, quindi la perdita per caduta a terra di molti semi, e dall'altro un'elevata concentrazione di clorofilla nel seme maturo (Toniolo e Mosca, 2001).

Il parametro da seguire per accertare lo stadio di maturazione è l'umidità media del seme; con un contenuto in acqua compreso tra il 12% e il 20%, il seme può considerarsi maturo e quindi idoneo alla mietitrebbiatura. Raccolte effettuate con umidità inferiori aumentano la possibilità di danni per rottura o parziale decorticazione del seme, mentre un eccessivo contenuto in acqua incrementa le spese di essiccazione.

In condizioni di maturazione ritardata e con piante eterogenee, il criterio da seguire per definire il grado di maturazione è il contenuto di clorofilla del seme, poiché questo

valore evidenzia se l'olio estratto potrà essere utilizzato per l'alimentazione. La presenza di semi immaturi, accanto ad altri completamente maturi, accresce il contenuto in clorofilla rendendo quindi necessaria una successiva rettifica dell'olio per usi alimentari. Il limite massimo consentito di clorofilla nei semi maturi è di 25 ppm (Toniolo e Mosca, 1986).

Indicativamente, per le nostre zone, l'epoca di raccolta che concilia i diversi parametri di maturazione si colloca tra la seconda e la terza decade di giugno.

Questo periodo, normalmente caratterizzato da elevate temperature, in particolare nella parte centrale del giorno, relega l'inizio delle operazioni di raccolta nelle primissime ore del mattino. L'umidità accumulata dalle silique durante la notte ostacola la deiscenza delle valve, impendendo di fatto eventuali perdite di seme nel corso della raccolta.

Altre caratteristiche morfologiche vincolanti le operazioni di raccolta del colza sono l'elevato numero di ramificazioni e le ridotte dimensioni dei semi. Dette peculiarità rende utile l'applicazione di alcuni accorgimenti durante la messa a punto della raccogliatrice. Di norma il colza è raccolto con la mietitrebbiatrice da frumento dotata, ai lati della piattaforma di taglio, di barre falcianti verticali in grado di agevolare l'avanzamento tra piante allettate e molto fitte. Inoltre, le ridotte dimensioni dei semi rendono utile l'adozione di un aspo pettinatore arretrato onde evitare perdite per sgranatura e la riduzione della velocità di avanzamento e di rotazione del battitore (500-600 giri min<sup>-1</sup>) rispetto a quelle adottate per il frumento (Toniolo e Mosca, 1986).

Il seme è commerciabile con umidità del 9% circa, l'ottimo per la sua conservazione si colloca tra il 6% e l'8%, con embrione ancora vitale per evitare l'irrancidimento del seme.

#### **1.1.10 Utilizzi dell'olio di colza**

Il contenuto di olio nel seme, oggigiorno, grazie ai processi di *breeding* che hanno interessato la specie, raggiunge stabilmente il 46-47% della sostanza secca, con valori anche più elevati se si considerano i genotipi ibridi (Mosca e Zanetti, 2007).

Il profilo acido dell'olio tipico delle vecchie cultivar conteneva un elevato quantitativo di acido erucico, poco stabile e probabilmente tossico per la salute umana. Processi di miglioramento genetico hanno eliminato tali limiti quantitativi costituendo anche cultivar a basso tenore di acido erucico.

Attualmente sono disponibili varietà in grado di produrre olio con profili acidi *ad hoc* per applicazioni sia food che no-food.

Sul mercato italiano, i genotipi di colza presenti in numero maggiore sono quelli di tipo “00”, caratteristica che li rende utilizzabili anche nel settore alimentare per la produzione di **olio**, oltre che in quello mangimistico utilizzando i pannelli di estrazione (~17% proteina grezza) (Mosca e Zanetti, 2007).

Dall'estrazione dell'olio si ricava un residuo chiamato **panello** (se deriva dall'estrazione meccanica dell'olio) o **farine di estrazione** (se l'estrazione è avvenuta con solventi chimici). Il residuo viene usato per l'alimentazione degli animali ed è un alimento molto ricco in proteine (45-48%) con un contenuto in amminoacidi ben bilanciato. Inoltre ha un'elevata percentuale in lisina e metionina, e può competere con la soia nella miscelazione dei mangimi. Il pannello è usato principalmente per nutrire i bovini, ma anche maiali e polli. Il sottoprodotto per l'alimentazione animale deve avere un basso contenuto in glucosinolati che, essendo fattori antinutrizionali, causano disturbi del metabolismo per i monogastrici. In alternativa pannelli presentanti livelli di glucosinolati maggiori devono essere miscelati ad altri mangimi. L'alto contenuto di fibra è un altro aspetto che diminuisce il valore alimentare del pannello.

Nell'ambito delle utilizzazioni non alimentari, gli oli vegetali trovano largo impiego per la produzione di **biodiesel**.

Il biodiesel è un biocarburante liquido prodotto attraverso una reazione di transesterificazione, processo nel quale un olio vegetale è fatto reagire in eccesso di alcool metilico, in presenza di un catalizzatore alcalino. Il prodotto finale è costituito da una miscela di alcuni (6-7) metilesteri, non contiene zolfo e composti aromatici; contiene invece ossigeno in quantità elevata (non meno del 10%) e può essere utilizzato come combustibile per autotrazione e riscaldamento, sia miscelato con gasolio sia tal quale.

Il biodiesel è un biocarburante caratterizzato da un'elevata densità energetica ( $37 \text{ MJ kg}^{-1}$ ). La sostituzione del gasolio con il biodiesel si riflette in importanti benefici ambientali. In primo luogo le emissioni, rilasciate nel corso della combustione, presentano una qualità migliore di quella consentita dall'utilizzo del gasolio, soprattutto in termini di monossido di carbonio, particolato ed idrocarburi incombusti.

L'utilizzo del biodiesel, inoltre, considerando la fase di produzione, consente un risparmio netto nelle emissioni di anidride carbonica del 40-60%. Le materie prime

impiegate per la produzione del biodiesel possono provenire dalle colture oleaginose dedicate o dalla raccolta differenziata degli oli alimentari esausti.

A tale riguardo, le colture alle quali si guarda oggi con maggiore interesse sono colza e girasole, caratterizzate da una buona presenza di acido oleico, con particolare attenzione per il colza da cui deriva oltre l'80% della produzione mondiale di biodiesel.

Le varietà più adatte alla produzione di biodiesel sono quelle "00", le stesse utilizzate per l'alimentazione umana, ottenute a partire dalle varietà ad alto erucico, caratterizzate da una limitata presenza di questo acido grasso e da un basso tenore di glucosinolati nelle farine di estrazione.

Si sta cercando, inoltre, di aumentare la percentuale di **acido erucico** contenuto nel seme (HEAR - *High Erucic Acid Rapeseed* -), in cui il contenuto medio di acido erucico arriva al 46-49% (Mosca, 1998). Le industrie (tale acido risulta particolarmente apprezzato in numerose applicazioni lipochimiche per la produzione di detergenti, cosmetici e polimeri) però, ne richiederebbero percentuali ancora più elevate per una maggiore efficienza di utilizzazione, anche se per motivi biochimici non si può superare la soglia del 66% poiché la struttura del trigliceride dell'acido erucico si può posizionare solo nelle due posizioni esterne della molecola lasciando il posto ad un acido grasso più corto nella posizione centrale.

**Altri utilizzi** (o possibili utilizzazioni) industriali dell'olio di colza sono quelli per la produzione di adesivi, inchiostri, lubrificanti, nastri magnetici, plastiche e plastificanti, solventi, tensioattivi e nell'industria dell'agrochimica e della farmaceutica.

### **1.1.11 Assorbimento ed efficienza d'uso dell'azoto in colza**

Come mostrato in precedenza, le esigenze nutritive sono elevate; per una resa di 3 t ha<sup>-1</sup>, le asportazioni sono 210 kg di N, 75 kg di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 300 kg di K<sub>2</sub>O, ma l'effettiva asportazione con la granella riguarda in maggior misura l'azoto con quantità di circa 90-100 kg ha<sup>-1</sup>, essendo contenuto in ragione del 3% nel seme.

La spiccata capacità di utilizzare l'azoto permette di definire tale oleifera una specie *catch crop*. L'intensità con la quale l'azoto è assorbito dalla coltura non è costante durante il ciclo colturale, ma varia con le diverse fasi fenologiche; il periodo di accrescimento più intenso, che nel nostro ambiente si verifica alla fine dell'inverno-inizio primavera, coincide con i maggiori assorbimenti (Ciricofolo et al., 2001).

Di fatto, l'elevato assorbimento azotato riportato in precedenza risulta associato ad un'efficienza d'uso limitata (Rathke et al., 2006); la ridotta capacità di traslocare l'N organicato nella biomassa verso le silique e i semi, oltre a limitare la risposta produttiva della coltura, promuove l'applicazioni di concimazioni azotate pregiudicanti la sostenibilità ambientale del sistema colturale (Di e Cameron, 2002; Rathke et al., 2005). L'esigenza di definire itinerari tecnici sostenibili ambientalmente rende necessario quindi incrementare l'N-efficienza della coltura.

In letteratura, l'N-efficienza presenta molteplici definizioni; secondo Rathke et al. (2006), essa rappresenta la quantità di seme prodotta per unità di N resa disponibile dal concime e dal suolo (i.e., NUE):

$$\text{Eq. 1 } \text{NUE} = \text{Resa seme} / \text{N disponibile dal suolo e dal concime (kg kg}^{-1}\text{)}$$

L'efficienza di utilizzazione dell'azoto (NUE), calcolata come rapporto tra la produzione di granella e l'N potenzialmente disponibile (somma dell'N accumulato nella biomassa epigea della coltura non concimata, dell'N residuale alla raccolta e dell'N somministrato), è fortemente influenzata dal genotipo e dall'agrotecnica applicata e le perdite di N dal sistema per effetto combinato della denitrificazione, volatilizzazione e lisciviazione (rilascio ambientale) possono essere consistenti.

Le rese di granella risultano crescenti all'aumentare della disponibilità potenziale di N nel suolo. Al contrario, la NUE si riduce progressivamente all'aumentare della dose di concime distribuito.

Gli stessi autori suddividono l'N-efficienza in due componenti: l'efficienza di assorbimento (i.e., NUpE) e l'efficienza di utilizzo (i.e., NUtE).

$$\text{Eq. 2 } \text{NUpE} = \text{N assorbito} / \text{N disponibile dal suolo e concime (kg kg}^{-1}\text{)}$$

$$\text{Eq. 3 } \text{NUtE} = \text{Resa seme} / \text{N assorbito (kg kg}^{-1}\text{)}$$

L'efficienza di assorbimento dipende largamente dallo sviluppo spaziale delle radici (profondità e densità radicale) e definisce la quantità totale di N organicato nella biomassa. L'efficienza d'uso di N è invece legata alla capacità di traslocare le forme azotate di riserva da foglie e fusti a silique e semi. Secondo questa equazione una

cultivar è definita N-efficiente quando la sua risposta produttiva risulta elevata in condizioni azoto carenti. Questo parametro è molto legato ai fattori genetici e quindi, alla scelta varietale; in bibliografia è riscontrabile un'ampia varietà di dati per questo parametro sia tra genotipi primaverili sia invernali (Graham, 1984; Sattelmacher et al., 1994).

La quantità di seme prodotta per unità di fertilizzante si basa su due componenti: la capacità da parte della coltura di assorbire l'azoto dal terreno e la traslocazione dello stesso dalla biomassa ai semi.

L'entità di questi parametri dipende da numerosi fattori. Tra gli altri, la dose di fertilizzante e la scelta varietale rivestono particolare importanza. Se la relazione negativa tra la dose di azoto e i parametri di N-efficienza è associata in letteratura, la variabilità genotipica non permette di definire risposte univoche (Berry et al., 2010). Paulmann (2003), osservò maggiori efficienze azotate, soprattutto in condizioni nutritive limitanti, nelle tipologie varietali ibride rispetto a quelle tradizionali. Al contrario, Berry et al. (2010) non determinarono differenze nell'N-efficienza riconducibili al grado di eterosi presente nei genotipi testati. Indagini in tal senso condotte su genotipi semi-nani mancano in letteratura.



## 2. SCOPO DEL LAVORO

La tutela dell'ambiente, le politiche agricole e gli andamenti dei mercati spingono verso la definizione di tecniche agronomiche *low-input* ed in particolare verso il contenimento dell'impiego di fertilizzanti azotati. Di fatto, apporti di azoto (N) eccedenti i fabbisogni della coltura, oltre a compromettere la sostenibilità economica del sistema, promuovono la lisciviazione nitrica e il conseguente inquinamento delle falde.

Una riduzione della concimazione azotata tuttavia risulta una strategia agronomica perseguibile solo se drastiche penalizzazioni produttive sono evitate. In tal senso la coltivazione di cultivar abili a ottimizzare la resa in condizioni limitanti è fondamentale. Il colza presenta esigenze nutritive elevate, quelle di N ammontano a  $\sim 200 \text{ kg ha}^{-1}$  per produzioni di  $3 \text{ t ha}^{-1}$  di seme. Tale richiesta azotata è associata a un'efficienza d'suo (NUE) limitata in funzione della ridotta capacità di traslocare l'N organicato nella biomassa verso le silique e i semi. La modesta NUE oltre a limitare la risposta produttiva della coltura, promuove eccessive applicazioni di concime. L'esigenza di definire itinerari tecnici coerenti con i dettami europei in materia di bioenergie (e.g., Renewable Energy Directive, 2009/30/CE) e di sostenibilità ambientale del comparto agricolo (e.g., direttiva nitrati), rende necessario incrementare l'N-efficienza della coltura. Considerando inoltre, la marginalità che spesso caratterizza i terreni destinati all'oleifera nazionale, riveste particolare interesse l'individuazione di materiali N-efficienti tra le principali tipologie genetiche disponibili per questa specie (i.e., ibridi CHH, ibridi CHH semi-nani e varietà a impollinazione libera). Tale obiettivo non può prescindere da indagini tese a valutare la variabilità genotipica della resa e della NUE in condizioni nutritive contrastanti.

In tal senso, il presente lavoro di tesi ha come obiettivo quello di valutare le risposte morfo-produttive e alcuni parametri di N-efficienza di diversi genotipi di colza "00" coltivati secondo livelli decrescenti di concimazione azotata primaverile.

A tal scopo, per un ibrido CHH semi-nano (PR45D01), un ibrido CHH convenzionale (Excalibur) ed una linea a impollinazione libera (Viking), sono stati realizzati protocolli sperimentali contraddistinti da apporti azotati primaverili pari a 0, 50, 100 e  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  di N.



### 3. MATERIALI E METODI

L'esperimento è stato condotto nell'annata 2010-2011, presso l'Azienda Agraria Sperimentale dell'Università degli Studi di Padova (Legnaro, 45°21'N – 11°58'E).

#### 3.1 ANDAMENTO CLIMATICO

L'andamento climatico osservato durante il ciclo colturale tra settembre 2010 e giugno 2011 è mostrato nelle *Figure 10 e 11*.

Considerando le temperature (*Figura 10*), la stagione 2010-2011 è stata mediamente più calda nei valori minimi (+0,4 °C rispetto al periodo 1995-2009) e mediamente più fredda nei valori massimi (-0,3 °C rispetto al periodo 1995-2009). L'evoluzione delle temperature è comunque risultato pressoché simile al periodo di riferimento con valori leggermente inferiori nel mese di ottobre e leggermente superiori in marzo e aprile. Per quel che riguarda le temperature massime si sono osservati valori simili al periodo di riferimento fino a gennaio, nel quale sono stati registrati valori inferiori allo stesso. Nel proseguo del ciclo, la coltura è risultata esposta a temperature massime maggiori rispetto al periodo 1995-2009 nei mesi di aprile e maggio.

Per quanto riguarda la quantità di pioggia, l'annata 2010-2011 presenta un deficit idrico di 96 mm rispetto al periodo 1995-2009. In particolare, marcati deficit idrici sono emersi nel mese di gennaio e nel trimestre Aprile – Maggio - Giugno (*Figura 11*).

Valori cumulati di precipitazioni superiori alla serie storica di riferimento sono stati osservati all'inizio del ciclo colturale (settembre), in pieno inverno (dicembre) e all'inizio della ripresa vegetative (marzo).

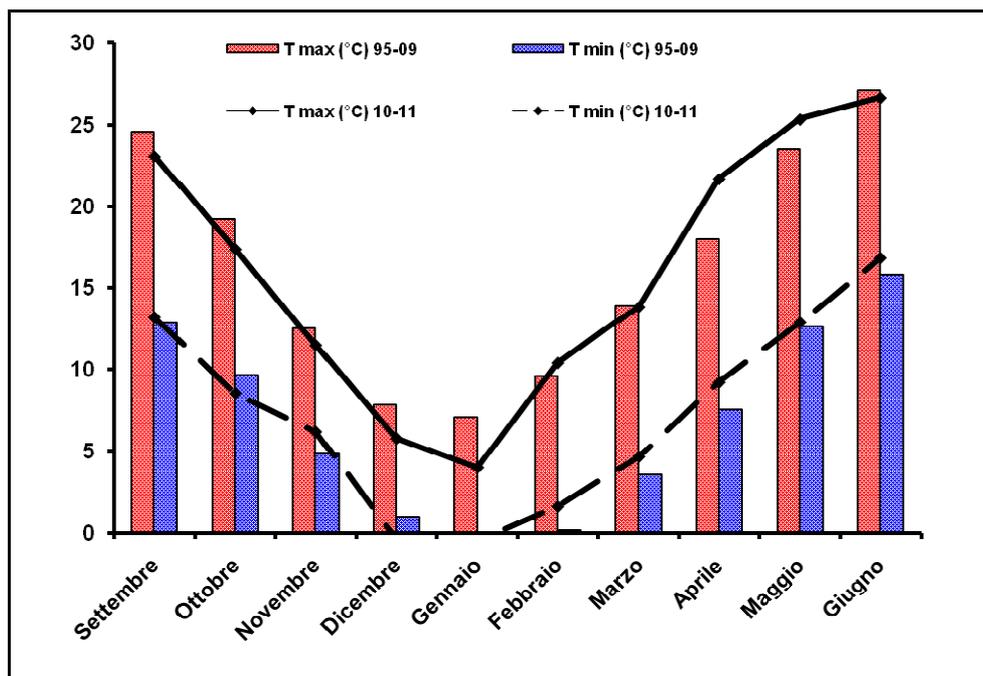


Figura 10. Andamento delle temperature minime e massime (°C) tra Settembre 2010 e Giugno 2011 rispetto al periodo di riferimento 1995-2009. (Dati Arpav).

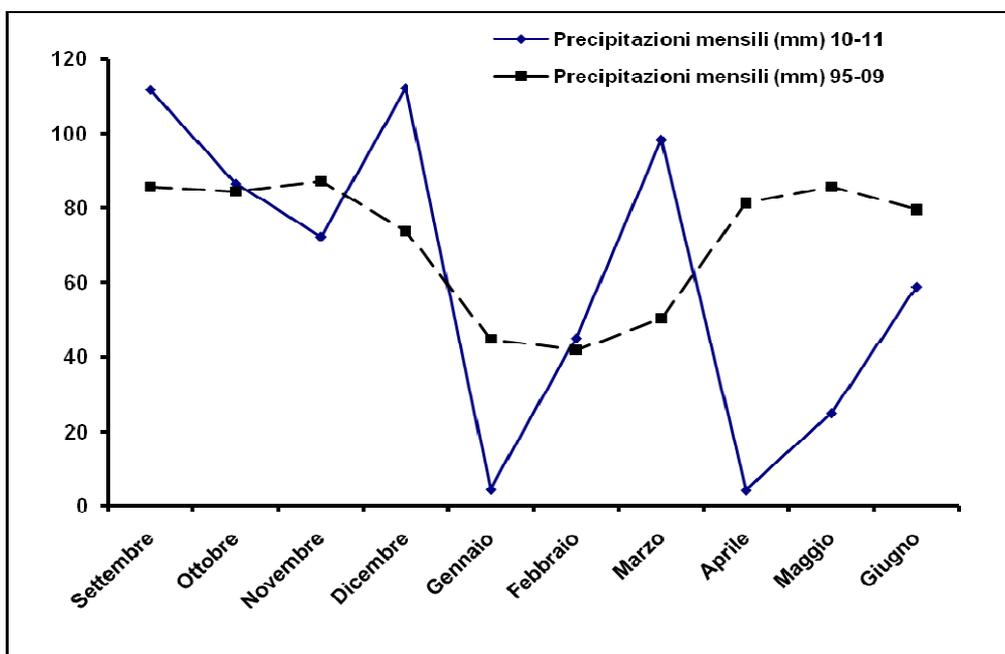


Figura 11. Andamento delle precipitazioni (mm) tra Settembre 2010 e Giugno 2011 rispetto al periodo di riferimento 1995-2009. (Dati Arpav, 2011).

### **3.2 TERRENO**

Il suolo su cui si è svolta la prova è di tipo alluvionale, profondo, con un buon contenuto in sostanza organica (S.O.), con una media capacità di scambio cationico (C.S.C.) ed un pH leggermente basico (*Figura 12*).

Il terreno, andando ad osservare la tabella a “triangolo per la determinazione della classe tessiturale”, ed utilizzando i valori ottenuti dalla sua analisi, appare di tessitura Franco-Limosa, ottima per la coltura.

La falda freatica è mediamente superficiale e si attesta ad una profondità di 1-1,5 metri. La sistemazione del terreno alla ferrarese e la giacitura pianeggiante favoriscono lo sgrondo delle acque in eccesso evitando fenomeni di ristagno idrico e permettendo un ottimale sviluppo della coltura, la quale, appartenendo alla famiglia delle *Brassicaceae* soffre molto il ristagno idrico con fenomeni di marcescenza e moria delle piante ed ingenti perdite sulla quantità e qualità del prodotto finale.

<b>Parametro</b>	<b>Valore</b>
<b>Sabbia (%)</b>	29
<b>Limo (%)</b>	57
<b>Argilla (%)</b>	15
<b>Classe di Tessitura</b>	FL
<b>S.O. (%)</b>	2,15
<b>pH</b>	8,38
<b>C.S.C. (cmol (+) kg<sup>-1</sup>)</b>	22,6
<b>C/N</b>	15,5
<b>N totale (%)</b>	0,10
<b>P totale (ppm)</b>	822
<b>P assimilabile (ppm)</b>	36
<b>K scambiabile (ppm)</b>	117
<b>Solfati (ppm)</b>	616
<b>S (ppm)</b>	206

Figura 12. Principali proprietà chimico-fisiche del suolo utilizzato nella stagione 2010-2011.

### **3.3 PROTOCOLLO SPERIMENTALE**

Le prove in campo prevedevano il confronto di tre diversi genotipi "00" di colza in risposta a quattro differenti livelli di concimazione azotata di copertura (0, 50, 100, 150 kg ha<sup>-1</sup> di N).

Le cultivar a confronto sono state:

- PR45D01, un ibrido CHH semi-nano (*semi-dwarf*) a fertilità maschile completamente ristorata, ma ad habitus vegetativo ridotto (Pioneer, Italia);
- Excalibur, un ibrido CHH (*Composite Hybrid Hybrid*) a taglia normale e fertilità maschile completamente ristorata (Dekalb, Italia);
- Viking, una varietà tradizionale a libera impollinazione (Npz-Lembke);

La prova è stata organizzata secondo uno schema sperimentale a split plot con tre repliche, ponendo il fattore “dose N” nei parcelloni e il fattore “cultivar” nelle sub-parcelle.

Le unità sperimentali avevano dimensioni di 90 m<sup>2</sup> (4,5 m x 20 m); ogni unità parcellare era costituita da 10 file (interfila 0,45 m). Considerando gli *habitus* vegetativi contrastanti dei genotipi in prova, le parcelle sono state separate da viali larghi 2 m allo scopo di annullare eventuali interferenze sullo sviluppo colturale e con il terreno mantenuto scerbato. Mentre al variare del livello di concimazione la spaziatura era di 6 m. Queste distanze, sono state dettate pure dalla necessità di operare con idonei mezzi agricoli necessari all'esecuzione delle normali operazioni colturali (*Figura 13*).

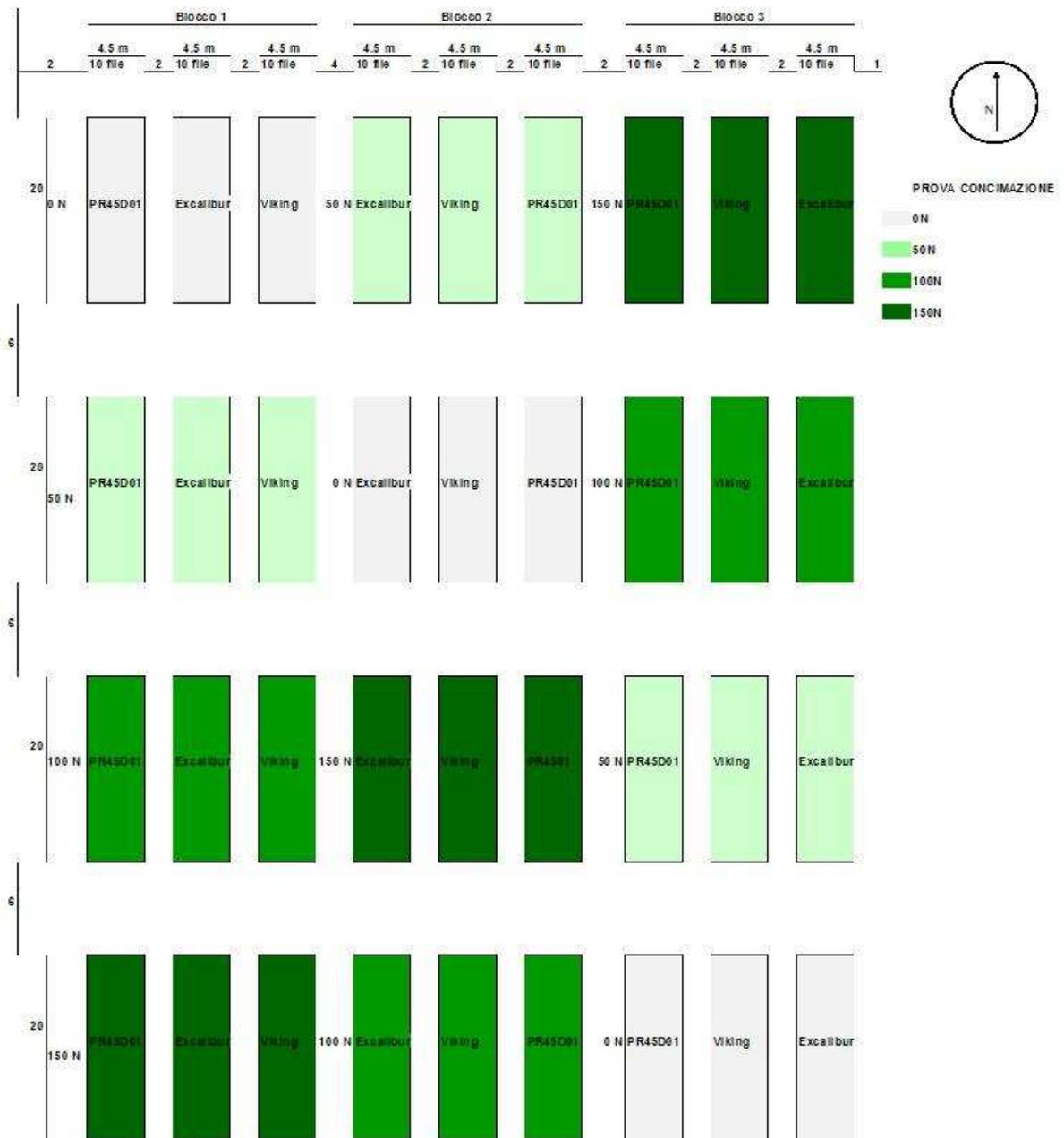


Figura 13. Schema sperimentale utilizzato nella prova.

### **3.3.1 Lavorazioni del terreno e concimazione di pre-semina**

Le lavorazioni del terreno destinato alla prova sono state eseguite attraverso tecniche di lavorazione ridotta, applicando in successione:

- una discatura alla profondità di 15 cm circa;
- una estirpatura alla profondità di 20 cm circa;
- un'erpatura con erpice rotante prima della semina (profondità di circa 15 cm).

In presemina è stata effettuata una concimazione di base apportando un concime fosfopotassico 0-60-60 NPK. I concimi utilizzati in presemina sono stati: perfosfato triplo (48% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) in quantità di 130 kg ha<sup>-1</sup> e solfato potassico (50% K<sub>2</sub>O) in quantità di 120 kg ha<sup>-1</sup>.

### **3.3.2 Semina, concimazione di copertura e raccolta**

In data 23/09/2010 è avvenuta la semina utilizzando una seminatrice pneumatica di precisione (Monosem, mod. NG) con interfila di 45 cm e dischi di precisione da colza a 120 fori (diametro di 1,2 mm).

Per i tre genotipi in prova, la densità di semina è rimasta invariata con 63 semi m<sup>2</sup> e distanze sulla fila di 3,5 cm; la profondità di semina è stata di circa 3 cm.

La concimazione primaverile in copertura è stata frazionata in due passaggi con l'apporto di solo azoto. La prima distribuzione è stata eseguita alla ripresa vegetativa il 09/02/2011 con l'apporto di 100 unità di N come solfato ammonico (20,5% N) per le tesi 100 N e 150 N, e 50 unità di azoto per la tesi 50 N, nessun apporto ovviamente per la tesi 0 N.

La seconda distribuzione invece è stata effettuata in piena levata (BBCH 35, Lancashire et al., 1991) il 09/03/2011 sottoforma di nitrato ammonico (26% N) per apportare le restanti 50 unità di azoto nella sola tesi 150 N.

La raccolta è stata eseguita il 10/06/11 su parcelle in precedenza sbordate utilizzando una mietitrebbiatrice parcellare munita di barra orizzontale.

### **3.4 RILIEVI IN CAMPO**

L'evoluzione fenologica di ciascuna varietà è stata valutata applicando le chiavi d'identificazione BBCH (Lancashire et al., 1991).

Durante il ciclo di sviluppo della coltura sono stati eseguiti vari prelievi della biomassa aerea della coltura, al fine di valutarne la dinamica di sviluppo e l'accumulo di azoto.

In particolare tali campionamenti sono stati eseguiti agli stadi di inizio fioritura (BBCH 60), piena fioritura (BBCH 65), riempimento semi (BBCH 80) e maturazione (BBCH 89). In ciascuna epoca di rilievo sono state individuate 3 aree di saggio da 1 m<sup>2</sup> ciascuna per parcella. Le piante presenti in queste aree sono state tagliate al colletto, contate e pesate. Successivamente la matrice vegetale è stata seccata per 48 h a 65 °C. La biomassa collezionata a maturazione è stata suddivisa in residui colturali (paglie + valve delle silique) e semi.

A maturazione fisiologica (UR 12%) è stata eseguita la raccolta meccanica delle parcelle precedentemente sbordate, la quantità di seme così ottenuta è stata successivamente corretta per l'umidità residua.

Sub-campioni di seme secco rappresentativo di ciascuna parcella sono stati impiegati per la determinazione del peso dei 1000 semi. In tal senso per ciascuna tesi sono state pesate tre repliche da 100 semi ognuna.

Altri sottocampioni di biomassa, seme e paglie sono stati invece sottoposti all'analisi Kjeldahl per la determinazione della concentrazione in azoto totale (% s.s.).

### **3.5 ANALISI DI LABORATORIO**

#### **3.5.1 Determinazione del contenuto di azoto (*Kjeldahl*)**

Il protocollo di analisi prevede prima di tutto la pesata di un campione di materiale vegetale, in precedenza sminuzzato, di circa un grammo. Il campione è posto in un provettone con una pastiglia di "*Kieltabs*" e 20 ml di acido solforico concentrato.

I provettoni sono poi posti nel digestore che, grazie alla presenza dell'acido e del calore (450 °C per due ore), promuovono la digestione dell'azoto dalla forma organica a quella

ammoniacale. Una volta che i campioni si sono raffreddati, sono diluiti a 250 cc negli appositi matracci, e quindi titolati. Per la titolazione è stata utilizzata la strumentazione “FIA STAR 500” della “FOSS ITALIA S.p.A.”, che consente di leggere direttamente la percentuale di azoto del campione.

### **3.5.2 Determinazione del contenuto in olio (Soxhlet)**

Sui campioni di seme, sono state eseguite delle analisi per determinare il contenuto in olio e valutare se, e in che modo, quest'ultimo variasse tra le diverse varietà e i vari livelli di concimazione azotata.

Per far ciò è stata eseguita un'estrazione della frazione lipidica con solvente, mediante *metodo Soxhlet*.

Tale metodica estrae la materia grassa dalle matrici seminali, senza causare processi d'idrolisi della stessa e rendendo quindi possibile una successiva determinazione di tipo quantitativo. Per separare l'olio dai tessuti dei semi è stato utilizzato come solvente l'etere etilico, un solvente organico adatto per estrarre sostanze poco volatili come l'olio di colza. La procedura che porta all'estrazione dell'olio parte dal prelevamento di campioni di seme del peso di circa 2 grammi. Questi campioni sono finemente macinati e posti all'interno di particolari ditali in cellulosa. I ditali sono quindi inseriti a gruppi di 6 in un estrattore *Soxtec System HT6-Tecator*.

Questo strumento è costituito da sei colonne di estrazione operanti in maniera indipendente l'una dall'altra. Alla base di suddette colonne è presente una piastra termica sulla quale sono disposti sei bicchieri metallici, in corrispondenza di ciascun ditale. Nei bicchieri sono poste alcune piccole biglie di vetro, utili per mantenere fluido l'olio dopo l'estrazione, e ~70 ml di etere etilico. Una volta in funzione, la piastra della macchina genera calore e riscaldando i sei bicchieri metallici contenenti il solvente, lo portano ad ebollizione. Per le prime 2 ore i ditali restano immersi nel solvente (*boiling*); in questa fase inizia l'estrazione dell'olio, che attraversando il ditale in cellulosa si deposita nel bicchiere con l'etere. Poi vengono sollevati (*rinsing*) e lasciati per 3 ore nella medesima posizione, dove l'estrazione continua. L'etere, infatti, a causa dell'elevata temperatura evapora, la risalita dei vapori termina al raggiungimento di un condensatore ad acqua, posto nella parte superiore della colonna dove il brusco abbassamento di temperatura permette di condensare il solvente che, tornato allo stato liquido sgocciola nei ditali di

cellulosa estraendo i residui di olio rimasto e trasportandolo in basso, dentro il bicchiere.

Dopodiché viene chiuso un rubinetto del condensatore, in questo modo l'etere dopo essere evaporato si accumula nel condensatore e non ritorna nel bicchiere, lasciando quindi solo l'olio. Si lascia la piastra accesa per altri 30 minuti, in modo da essere sicuri che tutto l'etere nel bicchiere sia evaporato, e si attende poi che l'olio si raffreddi e stabilizzi il suo peso. Si procede quindi alla determinazione della percentuale d'olio nei campioni, applicando la seguente formula:

$$(p_2 - p_1 / p) * (10000 / 100 - U_r)$$

Dove:

$p_2$  = peso del bicchiere dopo estrazione;

$p_1$  = peso del bicchiere prima dell'estrazione;

$p$  = peso del campione triturato;

$U_r$  = umidità relativa del campione di seme;

10000 = coefficiente di normalizzazione.

### **3.5.3 Determinazione dell'umidità relativa dei semi (*Brabender*)**

L'umidità è stata ottenuta macinando ~10 g di semi per ciascuna coppia “cultivar” – “dose N”; il macinato, in seguito, è stato posto su dei supporti in metallo. Tali supporti sono poi stati sistemati all'interno di una stufa Brabender e lasciati per un'ora e mezza a 105 °C.

La stufa contiene una bilancia che, preventivamente tarata, consente di stimare la perdita di peso e di leggere direttamente il contenuto di umidità del campione.

## 4. RISULTATI E DISCUSSIONE

L'analisi della varianza (ANOVA) è stata applicata allo scopo di testare gli effetti della dose di N, della cultivar e delle loro interazioni sulla produzione di biomassa, assorbimento azotato, risposta produttiva ed efficienza azotata della coltura. Le medie sono state comparate con il test di Duncan ponendo come livello di significatività un valore di  $P \leq 0,05$ .

### 4.1 BIOMASSA ACCUMULATA

L'indagine sulla produzione di biomassa, espressa in grammi di sostanza secca per unità di superficie ( $\text{m}^2$ ), è stata effettuata per comprendere meglio le differenti dinamiche di crescita in relazione agli effetti principali “cultivar” e “dose di N”.

Valutando l'accumulo di biomassa medio in relazione all'effetto principale “cultivar” (*Figura 14*), si notano delle differenze significative ( $P \leq 0,05$ ), poiché Excalibur con  $895,18 \text{ g m}^{-2}$  di s.s., ha fornito un produzione superiore rispetto alle altre due cultivar in prova. PR45D01 e Viking non si sono differenziate statisticamente tra loro, producendo rispettivamente  $758,65 \text{ g m}^{-2}$  e  $798,70 \text{ g m}^{-2}$  ( $P > 0,05$ ).

Osservando invece l'accumulo di biomassa in risposta all'effetto principale “dose N” ( $P \leq 0,05$ ) sono emersi valori crescenti procedendo dalla tesi 0 N ( $666,08 \text{ g m}^{-2}$ ) fino alla tesi 100 N ( $922,42 \text{ g m}^{-2}$ ), per poi decrescere leggermente nella tesi 150 N ( $918,53 \text{ g m}^{-2}$ ). In particolare le dosi 0 N – 50 N e 100 N – 150 N non si differenziano tra loro statisticamente (*Figura 15*).

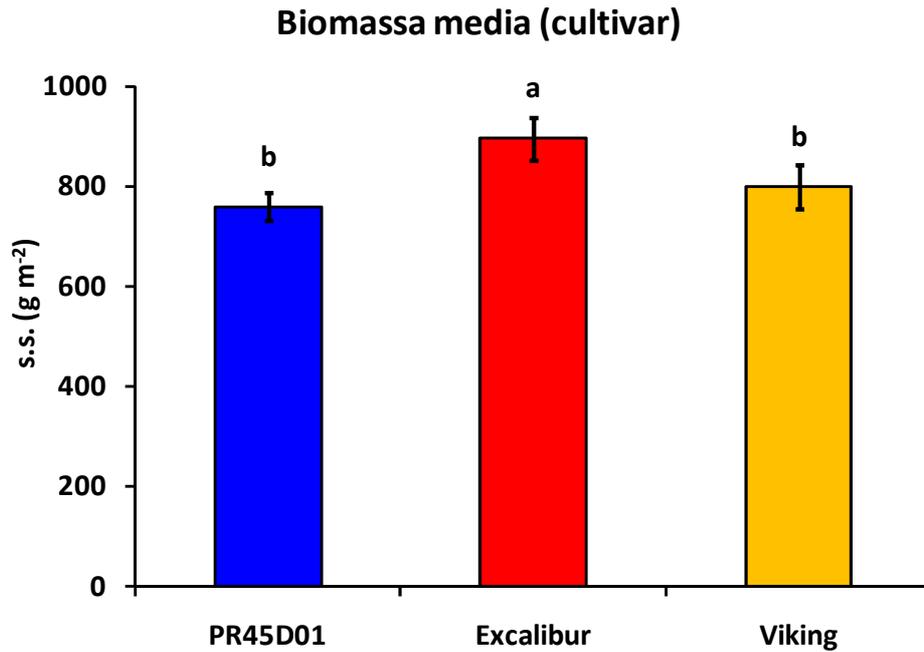


Figura 14. Accumulo di biomassa al variare della cultivar. Le barre verticali indicano l'errore standard ( $P \leq 0,05$ ). A lettere uguali i valori non differiscono secondo il test di Duncan ( $P \leq 0,05$ ).

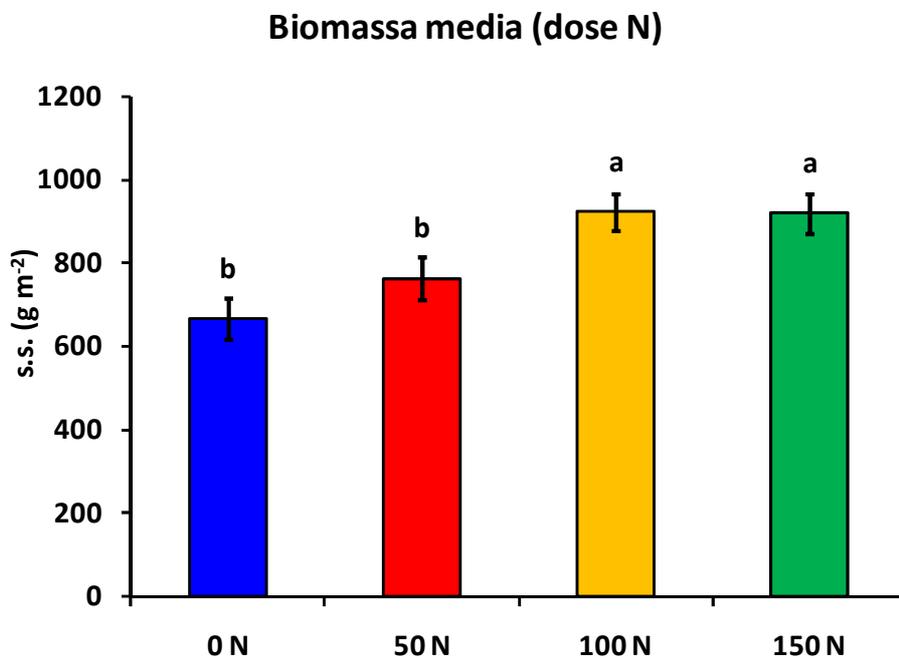


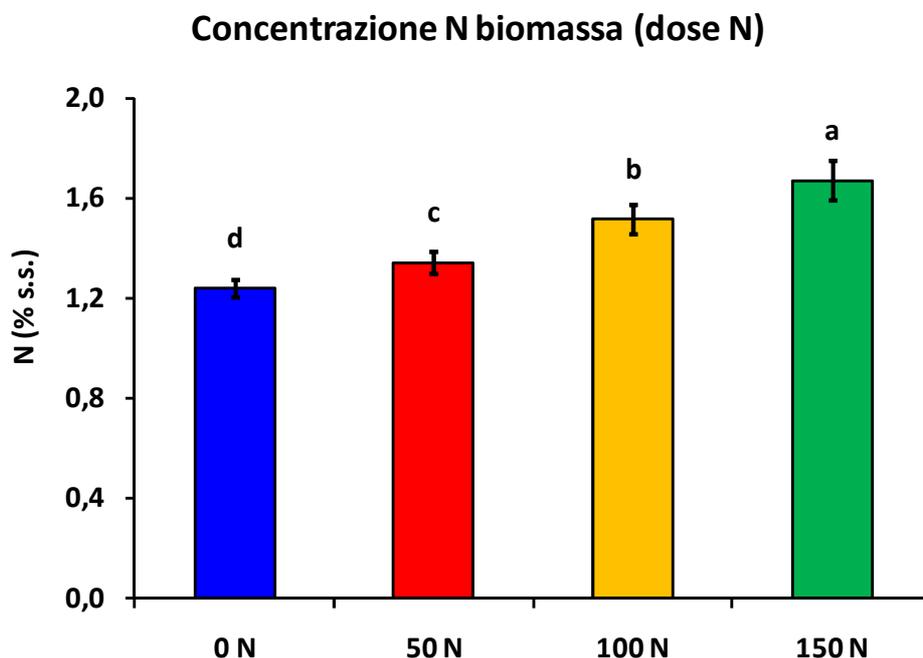
Figura 15. Accumulo di biomassa al variare della concimazione azotata. Le barre verticali indicano l'errore standard ( $P \leq 0,05$ ). A lettere uguali i valori non differiscono secondo il test di Duncan ( $P \leq 0,05$ ).

## 4.2 CONCENTRAZIONE DI AZOTO NELLA BIOMASSA

Il contenuto di azoto della biomassa è stato rilevato attraverso analisi di laboratorio applicando metodologia *Kjeldahl*. Il tenore in azoto è espresso come concentrazione di N (%) nella sostanza secca.

Considerando l'effetto principale "dose N" le diverse tesi presentano tra loro differenze significative ( $P \leq 0,05$ ). Di fatto all'aumentare della concimazione sono state determinate concentrazioni crescenti (*Figura 16*); la tesi 150 N ha fornito tenori medi pari a 1,67% N (s.s.) mentre la tesi controllo (0 N) 1,24% N s.s.

Questo trend di crescita della concentrazione di N nella biomassa è da imputare al fatto che la quantità di azoto assorbito dalle piante aumenta con la disponibilità del nutriente. Non sono state osservate, invece, differenze significative per l'effetto principale "cultivar", nonostante PR45D01 abbia fornito tenori di N pari all'1,45% contro l'1,44 e l'1,43% di Viking ed Excalibur, rispettivamente.



*Figura 16. Concentrazione di azoto sulla biomassa prodotta considerando il effetto principale "dose N". Le barre verticali indicano l'errore standard ( $P \leq 0,05$ ). A lettere uguali i valori non differiscono secondo il test di Duncan ( $P \leq 0,05$ ).*

### 4.3 ASSORBIMENTO AZOTATO

L'assorbimento di azoto esprime la quantità di N effettivamente assorbito dalla coltura per unità di superficie, espresso in  $\text{kg ha}^{-1}$ .

L'ANOVA ha determinato significatività per l'effetto principale "cultivar" ( $P \leq 0,05$ ). Excalibur ha assorbito significativamente di più rispetto a PR45D01 ( $120,50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$  vs.  $105,38 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ , rispettivamente), (Figura 17). La migliore capacità di organizzare l'N dell'ibrido convenzionale è imputabile all'elevata quantità di biomassa prodotta poiché, come descritto in precedenza, la concentrazione d'elemento è risultata comparabile tra le cultivar. La varietà Viking ha mostrato utilizzi intermedi con  $111,91 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ .

Osservando la Figura 18, relativa all'effetto principale "dose N", risultano apprezzabili delle differenze di tipo significativo ( $P \leq 0,05$ ). Appare evidente, infatti, come l'assorbimento di N aumenti in maniera costante procedendo dalla tesi 0 N a quella 150 N.

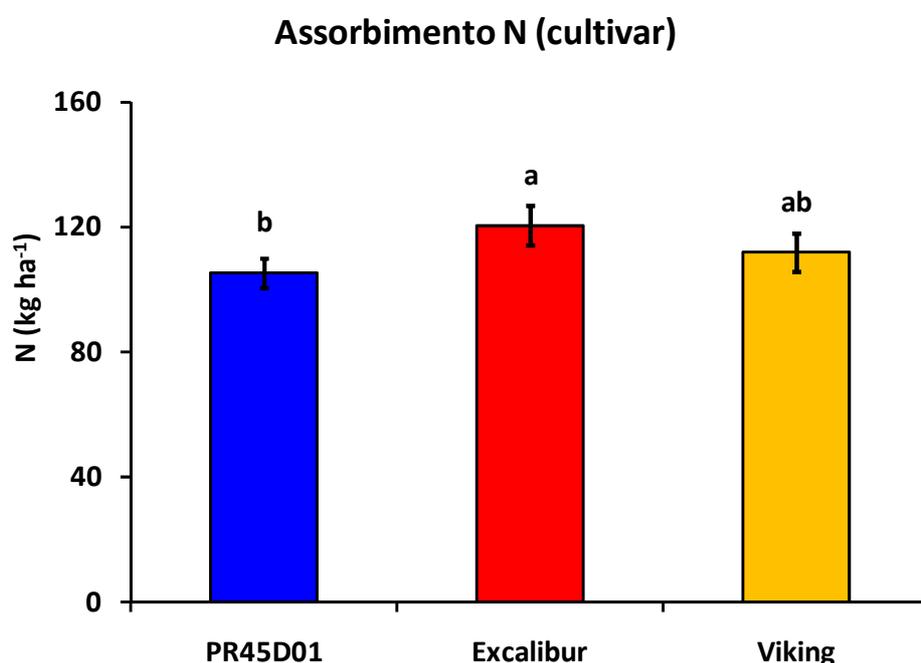
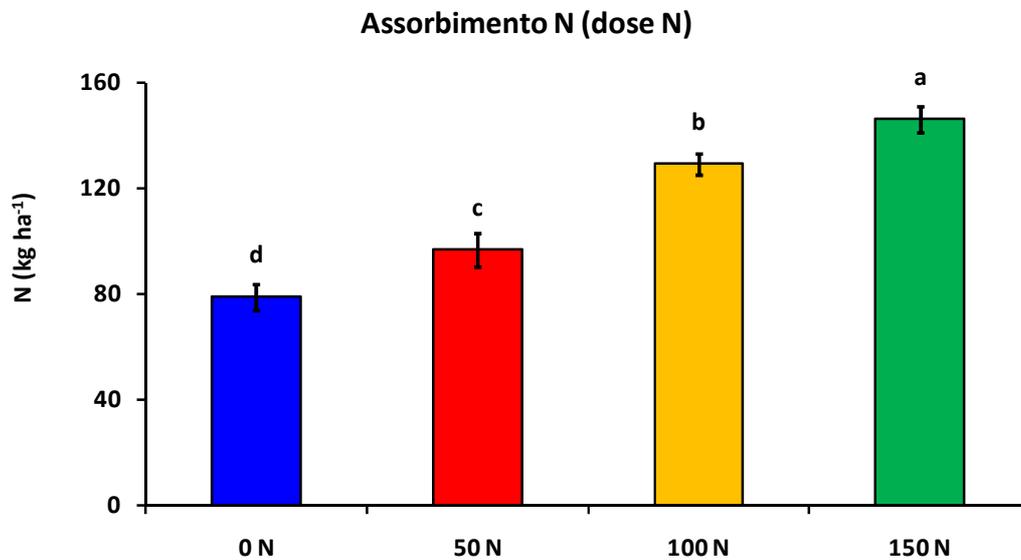


Figura 17. Assorbimento di azoto in relazione alla biomassa prodotta considerando come effetto principale la "cultivar". Le barre verticali indicano l'errore standard ( $P \leq 0,05$ ). A lettere uguali i valori non differiscono secondo il test di Duncan ( $P \leq 0,05$ ).



*Figura 18. Livelli di assorbimento dell'azoto considerando come effetto principale la "dose N". Le barre verticali indicano l'errore standard ( $P \leq 0,05$ ). A lettere uguali i valori non differiscono secondo il test di Duncan ( $P \leq 0,05$ ).*

Analizzando statisticamente l'N assorbito a fine ciclo nella tesi non concimata (0 N), che in assenza di concimazione, come proposto da Limon-Ortega et al., (2000), funge da stima dell'azoto messo a disposizione della coltura dal suolo e considerando come effetto principale la "cultivar" non si sono notate differenze significative ( $P > 0,05$ ). Si può comunque dire che la cultivar Viking ha assorbito mediamente di più (107,10 kg ha<sup>-1</sup>) rispetto a Excalibur (98,83 kg ha<sup>-1</sup> N) e PR45D01 (94,13 kg ha<sup>-1</sup> N), (Figura 19).

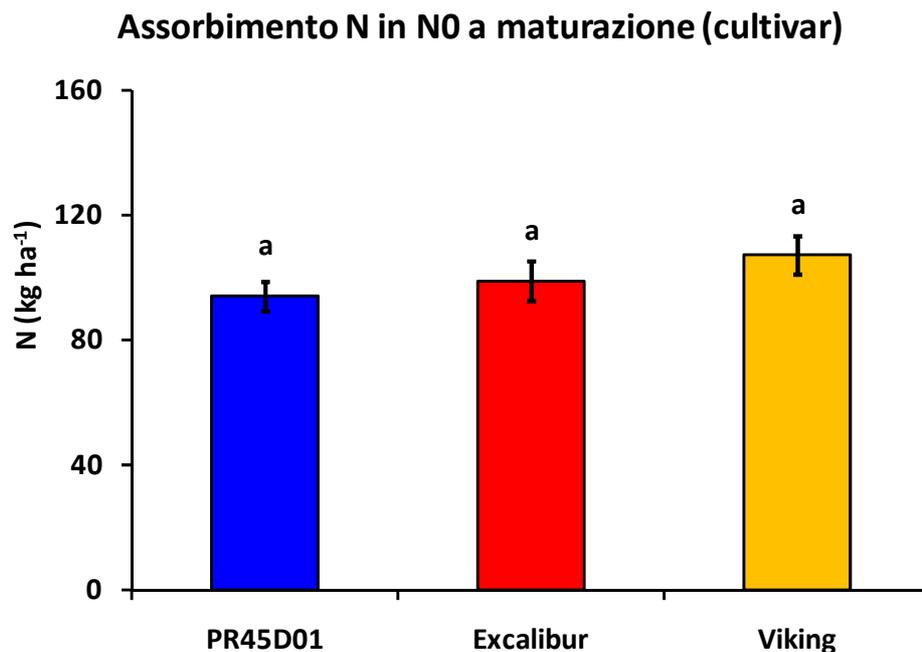


Figura 19. Livelli di assorbimento dell'azoto nella tesi controllo (0 N) a maturazione considerando come effetto principale la "cultivar". Le barre verticali indicano l'errore standard ( $P \leq 0,05$ ). A lettere uguali i valori non differiscono secondo il test di Duncan ( $P \leq 0,05$ ).

#### **4.4 RESA IN SEME**

La stima della resa in seme è stata eseguita attraverso la raccolta meccanica delle singole parcelle sbordate. Determinata l'umidità relativa di ciascun campione di seme, è stata determinata la resa in sostanza secca espressa come tonnellate per ettaro. L'analisi statistica di tale parametro con effetto principale "cultivar" non ha dato risultati significativi (Figura 20), tuttavia Excalibur ha fornito quantità maggiori rispetto alle altre due cultivar in prova (3,40; 3,09 e 3,04 t ha<sup>-1</sup> s.s. rispettivamente per Excalibur, PR45D01 e Viking). Per l'effetto principale "dose N", invece, sono state determinate differenze significative (Figura 21). La resa in seme è risultata crescente all'aumentare della concimazione azotata. Tuttavia considerando le tesi 100 e 150 N, la produzione non si è differenziata (rispettivamente 3,65 e 3,75 t ha<sup>-1</sup>). E' quindi ipotizzabile una riduzione degli apporti azotati a 100 kg senza provocare cali di resa significativi.

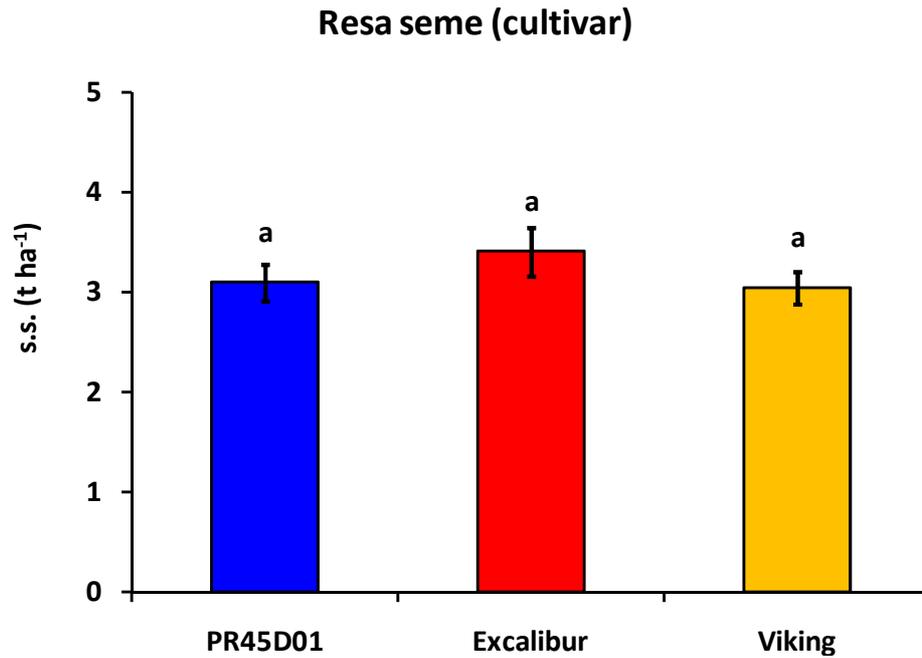


Figura 20. Medie dei valori di resa in seme considerando l'effetto principale "cultivar". Le barre verticali indicano l'errore standard ( $P \leq 0,05$ ). A lettere uguali i valori non differiscono secondo il test di Duncan ( $P \leq 0,05$ ).

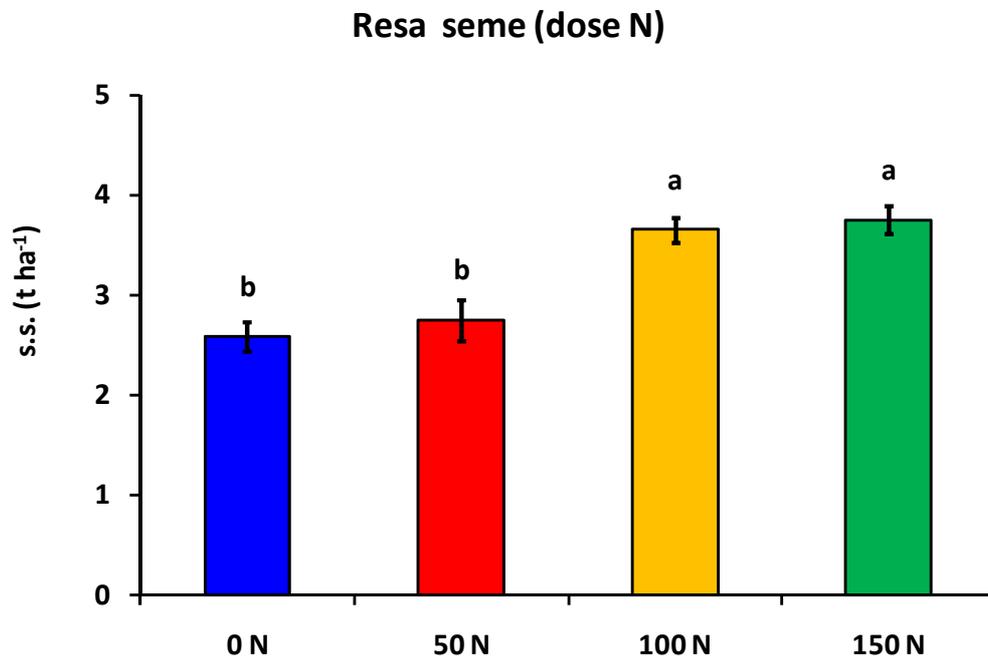


Figura 21. Medie dei valori di resa in seme considerando il fattore principale "dose N". Le barre verticali indicano l'errore standard ( $P \leq 0,05$ ). A lettere uguali i valori non differiscono secondo il test di Duncan ( $P \leq 0,05$ ).

#### 4.5 PESO UNITARIO DEL SEME

In relazione alla scelta varietale e all'applicazione di N è stato indagato anche il peso unitario dei semi, espresso in mg.

Per quanto riguarda l'effetto principale "cultivar" ( $P \leq 0,05$ ), (Figura 22), Excalibur ha mostrato il peso unitario del seme più elevato rispetto a Viking (4,44 mg e 4,12 mg rispettivamente), mentre PR45D01 presenta un peso unitario del seme intermedio tra le altre due cultivar (4,30 mg).

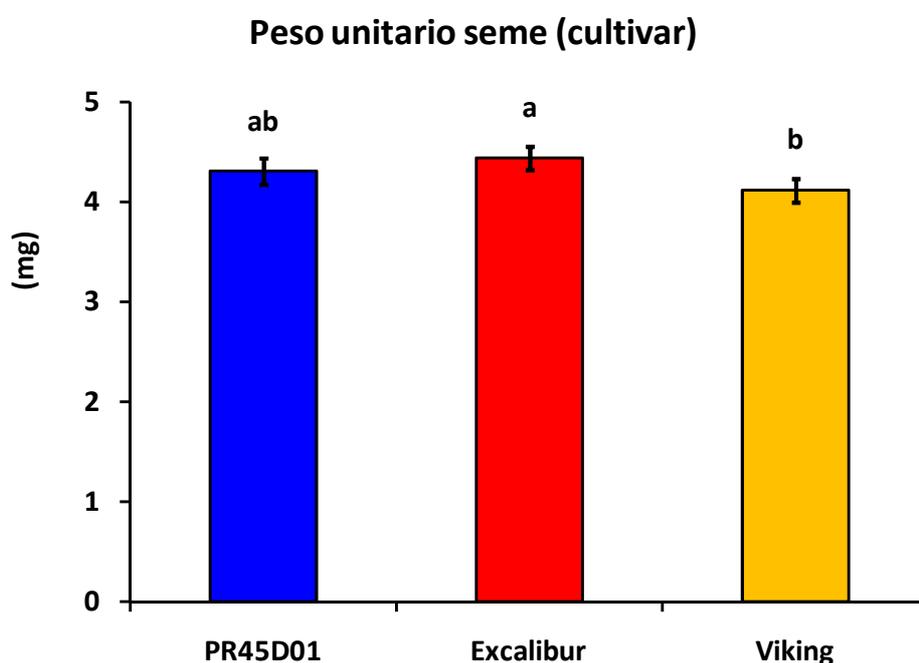


Figura 22. Peso unitario del seme in relazione all'effetto principale "cultivar". Le barre verticali indicano l'errore standard ( $P \leq 0,05$ ). A lettere uguali i valori non differiscono secondo il test di Duncan ( $P \leq 0,05$ ).

Il peso unitario del seme è risultato significativamente influenzato anche dal livello di concimazione (effetto principale "dose N":  $P \leq 0,05$ ). In particolare, nella Figura 23 si può osservare come il peso unitario del seme decresca procedendo dalla tesi 0 N (4,69 mg) a quella 150 N (4,00 mg). Tuttavia diminuzioni significative sono riscontrabili fino a 100 kg ha<sup>-1</sup> N, infatti il peso raggiunto in questa dose non si è differenziato rispetto alla concimazione massima.

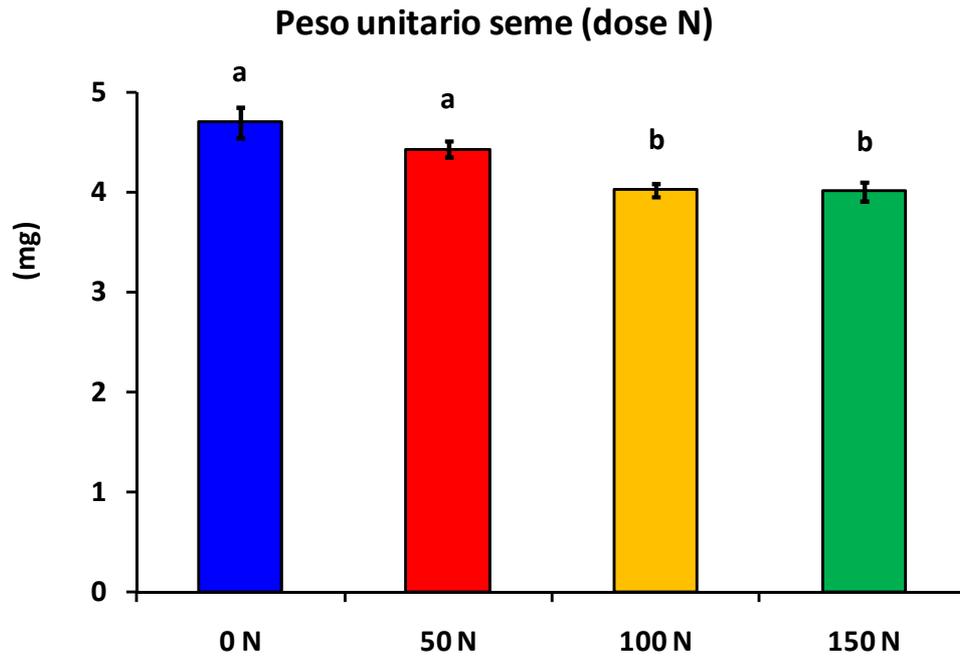


Figura 23. Peso unitario del seme in relazione al fattore principale “dose N”. Le barre verticali indicano l’errore standard ( $P \leq 0,05$ ). A lettere uguali i valori non differiscono secondo il test di Duncan ( $P \leq 0,05$ ).

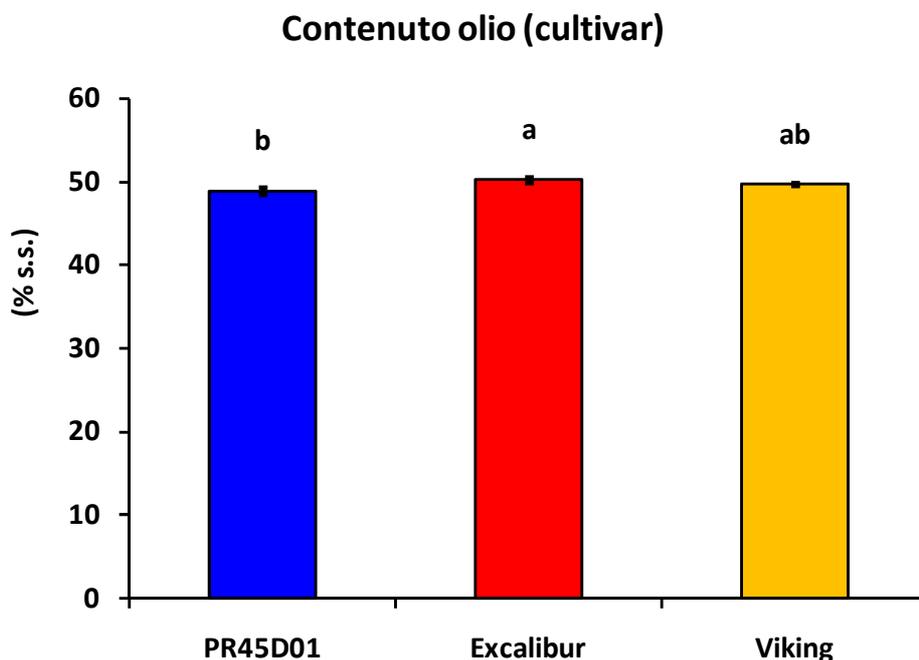
#### **4.6 HARVEST INDEX**

La valutazione dell’indice di raccolta (espresso come kg di seme su kg di biomassa aerea prodotta) attraverso aree saggio non ha prodotto risultati statistici significativi, sia per quanto riguarda l’effetto principale “cultivar” che per l’effetto principale “dose N”. Si può comunque dire che la cultivar PR45D01, coerentemente con il proprio *habitus* vegetativo ridotto, ha mostrato l’HI maggiore (0,35 kg kg<sup>-1</sup> per PR45D01, 0,31 kg kg<sup>-1</sup> per entrambi Viking ed Excalibur).

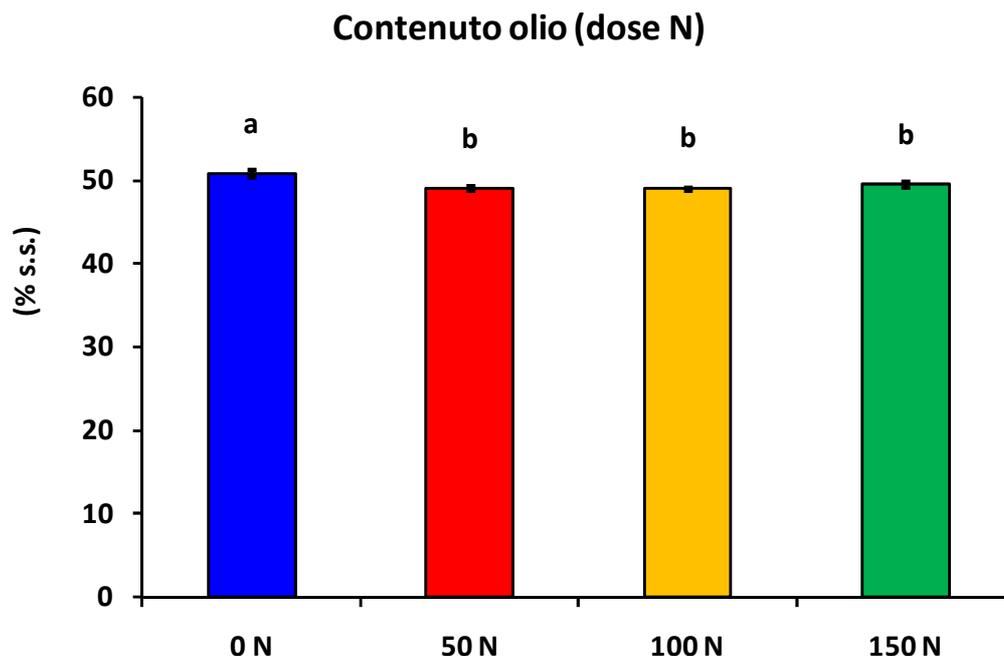
## 4.7 CONCENTRAZIONE DI OLIO

Sub-campioni di seme rappresentativi di ciascuna parcella sono stati sottoposti all'estrazione dell'olio attraverso strumentazione *Soxhlet*. Dal confronto tra le cultivar (*Figura 24*) sono emerse delle differenze significative ( $P \leq 0,05$ ). Il seme di Excalibur ha fornito un contenuto in olio del 50,19% (s.s.) per cui risulta essere una cultivar che ben si adatta all'ambiente di coltivazione fornendo una produzione elevata oltre che di seme anche di olio. La concentrazione determinata per PR45D01 è stata invece la minore, con il valore di 48,80% s.s.; Viking ha presentato tenori intermedi tra le precedenti cultivar e pari a 49,66% s.s..

Differenze statisticamente significative ( $P \leq 0,05$ ) sono state determinate anche in relazione all'effetto principale "dose N" (*Figura 25*). Le concentrazioni di olio maggiori sono emerse nella tesi controllo (0 N) con percentuali di 50,82. Gli altri livelli di concimazione hanno raggiunto tenori inferiori e comparabili tra loro.



*Figura 24. Concentrazione in olio nel seme in relazione alla cultivar. Le barre verticali indicano l'errore standard ( $P \leq 0,05$ ). A lettere uguali i valori non differiscono secondo il test di Duncan ( $P \leq 0,05$ ).*



*Figura 25. Concentrazione in olio nel seme in relazione alla dose di N. Le barre verticali indicano l'errore standard ( $P \leq 0,05$ ). A lettere uguali i valori non differiscono secondo il test di Duncan ( $P \leq 0,05$ ).*

#### **4.8 TENORE IN PROTEINA GREZZA NEL SEME**

Attraverso protocolli di laboratorio è stata stimata la concentrazione di proteina grezza nel seme, di norma strettamente correlata al livello di concimazione azotata. In questo caso, però, non si sono rilevate differenze significative per l'effetto principale "dose N" ( $P > 0,05$ ).

Considerando l'effetto principale "cultivar" ( $P \leq 0,05$ ) (Figura 26) Viking ha fornito i tenori significativamente più elevati (19,01% N proteico sulla s.s.), mentre PR45D01 quelli più bassi (17,63% N proteico sulla s.s.). Excalibur ha presentato invece valori statisticamente intermedi (18,54% N proteico sulla s.s.). Viking, quindi, ha presentato un tasso di assorbimento di azoto durante il ciclo di sviluppo che si è tradotto in una quantità superiore di proteina nel seme a discapito del contenuto in olio.

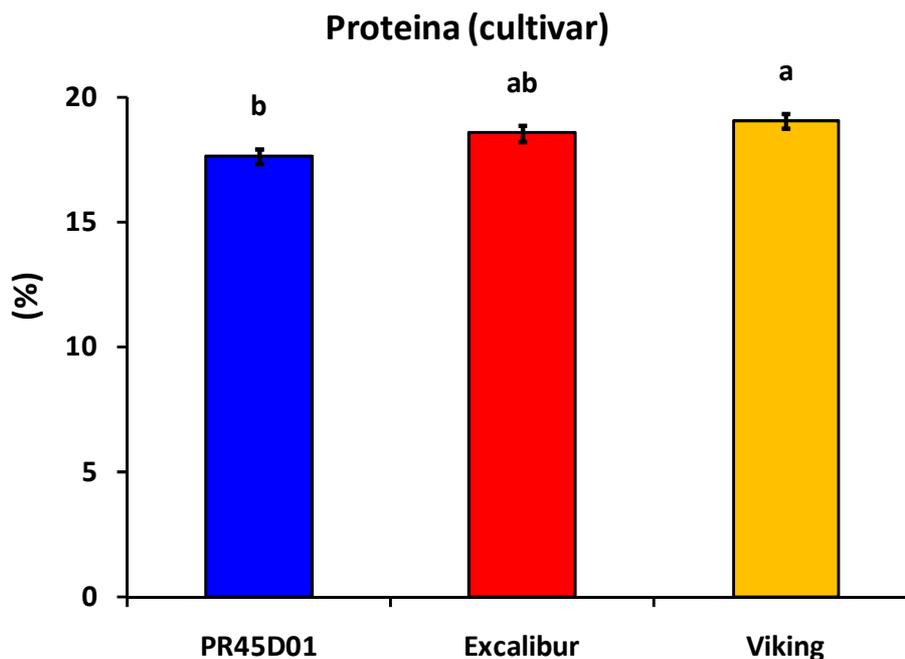
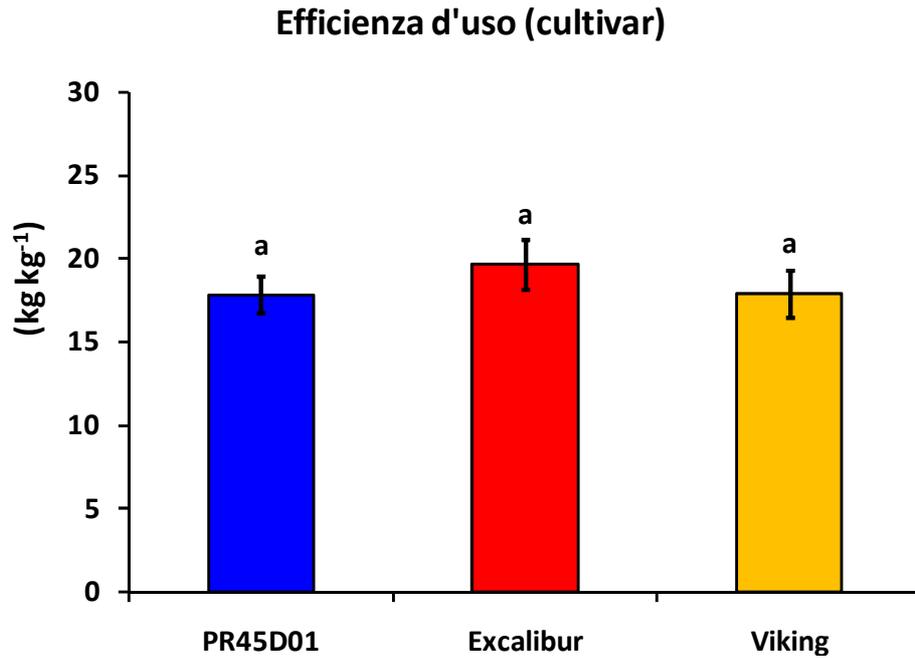


Figura 26. Media dei valori del contenuto proteico nel seme considerando l'effetto principale "cultivar". Le barre verticali indicano l'errore standard ( $P \leq 0,05$ ). A lettere uguali i valori non differiscono secondo il test di Duncan ( $P \leq 0,05$ ).

#### **4.9 EFFICIENZA D'USO DELL'AZOTO (NUE)**

L'efficienza d'uso dell'azoto (NUE) è definita dal rapporto tra la produzione di granella ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e l'N reso disponibile dal suolo e dal livello di concimazione ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Come proposto da Limon-Ortega et al., (2000), l'N disponibile dal suolo è stato stimato considerando l'assorbimento nelle tesi controllo (0 N) a maturazione.

Dall'analisi statistica per l'effetto principale "cultivar" non sono emerse differenze significative ( $P > 0,05$ ), anche se Excalibur presenta una NUE superiore rispetto alle altre varietà (19,64, 17,89 e 17,81  $\text{kg kg}^{-1}$  per Excalibur, Viking e PR45D01), (Figura 27). I valori sembrano imputabili a una migliore capacità di tradurre in seme l'N disponibile.



*Figura 27. Media dei valori relativi all'efficienza d'uso dell'azoto considerando l'effetto principale "cultivar". Le barre verticali indicano l'errore standard ( $P \leq 0,05$ ). A lettere uguali i valori non differiscono secondo il test di Duncan ( $P \leq 0,05$ ).*

Considerando invece l'effetto principale "dose N" sono state determinate differenze significative ( $P \leq 0,05$ ). Com'era atteso all'aumentare dell'apporto azotato la NUE è diminuita (Figura 28). Di fatto, i valori più elevati sono associati alla tesi 0 N (24,12 kg kg<sup>-1</sup>), mentre l'efficienza minore è stata stimata per la tesi 150 N con solo 14,57 kg kg<sup>-1</sup>. Le tesi di concimazione 50 N e 100 N hanno presentato valori intermedi di 17,47 kg kg<sup>-1</sup> e 17,62 kg kg<sup>-1</sup> rispettivamente. L'andamento decrescente della NUE si spiega perché all'aumentare della dose di N e quindi dell'N disponibile l'incidenza del mancato assorbimento cresce decurtando l'efficienza d'uso.

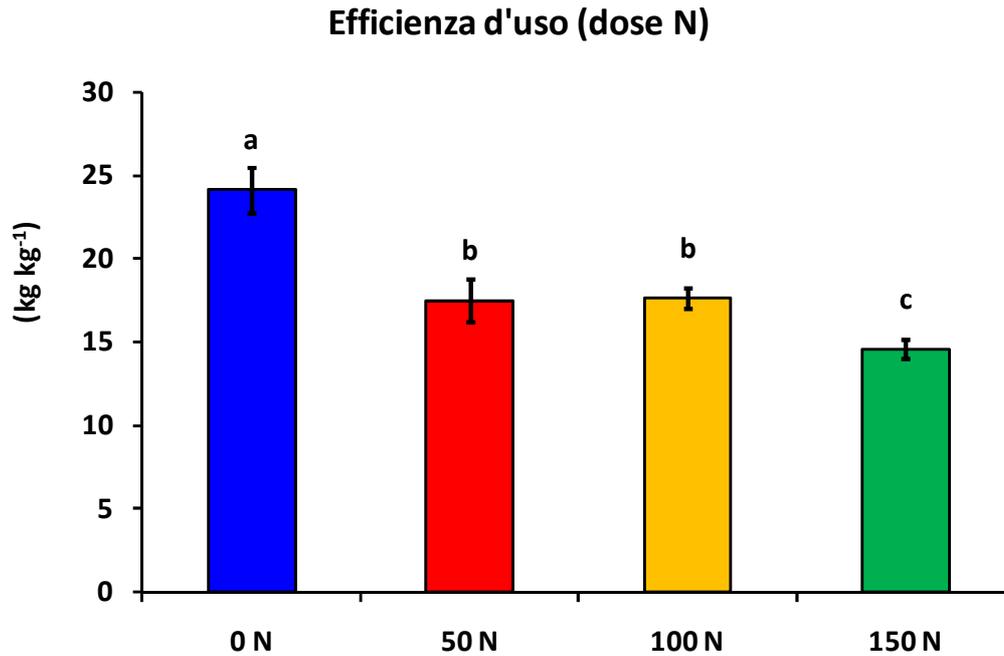


Figura 28. Media dei valori relativi all'efficienza d'uso dell'azoto considerando come effetto principale la "dose N". Le barre verticali indicano l'errore standard ( $P \leq 0,05$ ). A lettere uguali i valori non differiscono secondo il test di Duncan ( $P \leq 0,05$ ).

#### **4.10 EFFICIENZA DI UTILIZZO DELL'AZOTO (NUE)**

L'efficienza di utilizzo dell'N è data dal rapporto tra kg di seme prodotti e kg di N assorbiti a maturazione. La NUE è legata alla capacità di traslocare le forme azotate di riserva da foglie e fusti a silique e semi.

Considerando l'effetto principale "cultivar" ( $P=0,0567$ ), PR45D01 presenta una NUE superiore rispetto alle altre varietà considerate, precisamente  $27,68 \text{ kg kg}^{-1}$ . Viking, invece, presenta il valore inferiore ( $25,34 \text{ kg kg}^{-1}$ ) mentre Excalibur presenta un valore intermedio ( $25,83 \text{ kg kg}^{-1}$ ), (Figura 29).

Per quanto riguarda l'effetto principale "dose N" non si notano differenze significative ( $P > 0,05$ ). Comunque è nella tesi 100 N in cui si realizzata la NUE maggiore ( $27,26 \text{ kg kg}^{-1}$ ).

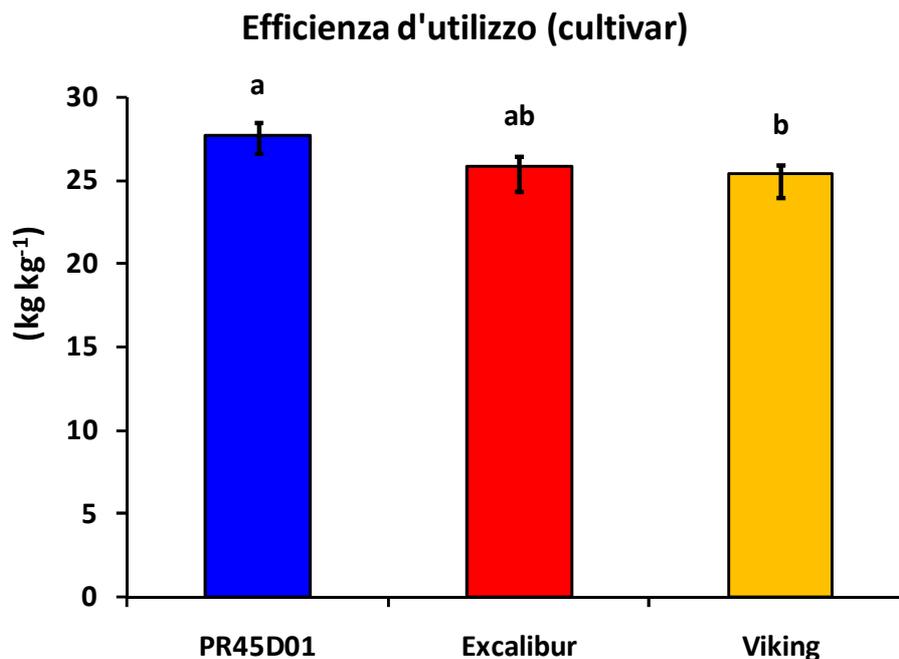
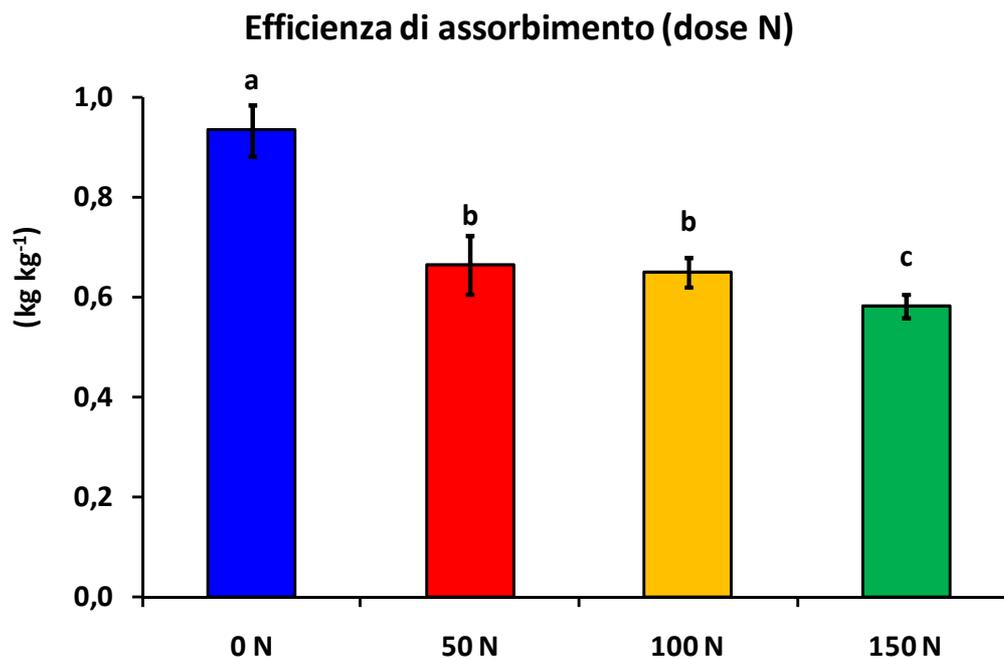


Figura 29. Media dei valori relativi all'efficienza d'uso dell'azoto considerando l'effetto principale "cultivar". Le barre verticali indicano l'errore standard ( $P \leq 0,05$ ). A lettere uguali i valori non differiscono secondo il test di Duncan ( $P \leq 0,05$ ).

#### **4.11 EFFICIENZA DI ASSORBIMENTO DELL'AZOTO ( $NU_{pE}$ )**

La  $NU_{pE}$  permette di valutare le reali capacità delle piante di assorbire l'azoto in funzione di quello disponibile (i.e., N concimazione + N suolo). È quindi definita dal rapporto tra l'N assorbito (kg) e l'N disponibile dal suolo e dal concime (kg). Va ricordato che l'N assorbibile dal suolo è stato stimato considerando l'assorbimento nelle tesi controllo (0 N) a maturazione.

L'ANOVA ha definito significativo ( $P \leq 0,05$ ) solamente l'effetto principale "dose N". Dalla Figura 30 si può osservare come la  $NU_{pE}$  decresca con l'aumentare della concimazione azotata. In particolare valori significativamente maggiori si notano nella tesi 0 N ( $0,93 \text{ kg kg}^{-1}$ ), mentre quelli inferiori a 150 N ( $0,58 \text{ kg kg}^{-1}$ ). Le tesi 50 N e 100 N hanno fornito efficienze inferiori rispetto al controllo senza mostrare differenze significative tra loro (rispettivamente  $0,66$  e  $0,65 \text{ kg kg}^{-1}$ ).



*Figura 30. Media dei valori relativi all'efficienza di assorbimento dell'azoto considerando l'effetto principale "dose N". Le barre verticali indicano l'errore standard ( $P \leq 0,05$ ). A lettere uguali i valori non differiscono secondo il test di Duncan ( $P \leq 0,05$ ).*

Per quanto riguarda l'effetto principale "cultivar", come detto in precedenza, non sono state osservate differenze significative. È però interessante il dato di Excalibur (0,75 kg kg<sup>-1</sup>), il quale ha raggiunto i valori di efficienza di assorbimento migliori (*Figura 31*).

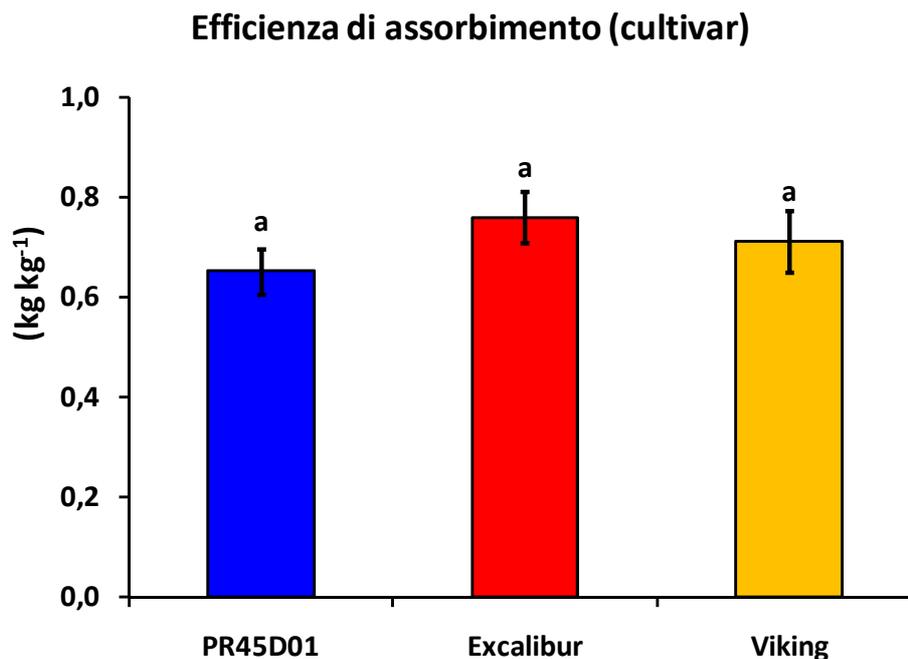


Figura 31. Media dei valori relativi all'efficienza di assorbimento dell'azoto considerando l'effetto principale "cultivar". Le barre verticali indicano l'errore standard ( $P \leq 0,05$ ). A lettere uguali i valori non differiscono secondo il test di Duncan ( $P \leq 0,05$ ).

#### **4.12 NITROGEN HARVEST INDEX (NHI)**

L'analisi di questo parametro permette di valutare quanto dell'azoto che la pianta assorbe viene effettivamente stoccato nel seme.

Sia per l'effetto principale "cultivar" che per l'effetto principale "dose N" non si sono ottenute differenze statisticamente significative. Considerando comunque l'effetto "cultivar" è possibile notare per PR45D01 un NHI maggiore ( $0,78 \text{ kg kg}^{-1}$ ), se pur di poco rispetto alle altre cultivar a confronto ( $0,77$  e  $0,76 \text{ kg kg}^{-1}$  per Viking ed Excalibur, rispettivamente), (Figura 32).

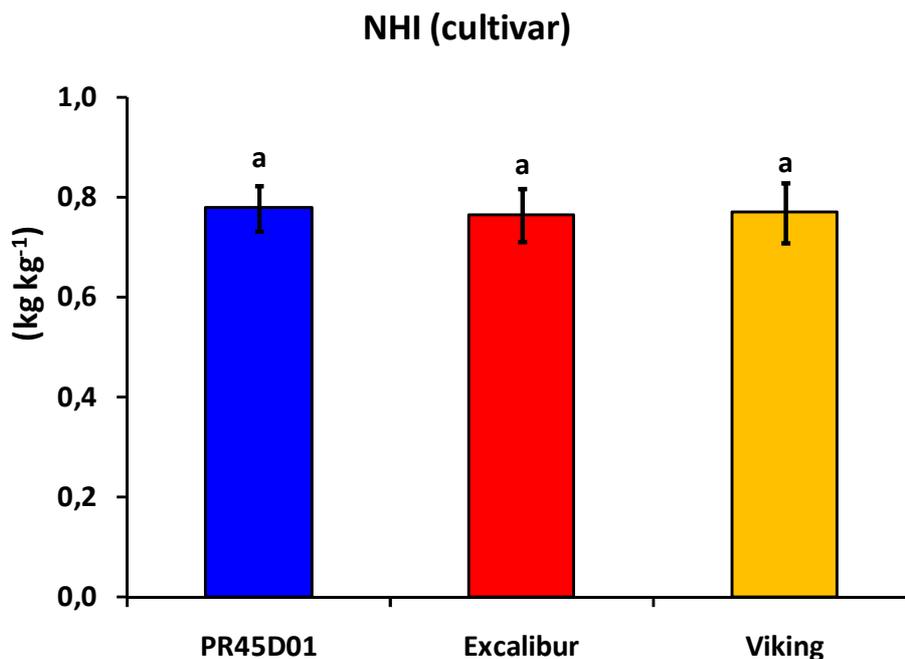


Figura 32. Media dei valori relativi al NHI considerando l'effetto principale "cultivar". Le barre verticali indicano l'errore standard ( $P \leq 0,05$ ). A lettere uguali i valori non differiscono secondo il test di Duncan ( $P \leq 0,05$ ).

#### **4.13 BILANCIO APPARENTE DELL'AZOTO**

Tra i diversi parametri rilevati durante il ciclo del colza, in relazione alle differenti tesi di concimazione, risulta utile valutare anche la quantità effettiva di N asportato dal sistema colturale. In tal senso utile è indagare il bilancio apparente di N calcolato dalla differenza tra l'N presente nel seme ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e quello apportato con la concimazione. L'N stoccato nei residui colturali è escluso da tale bilancio perché si presume che ritorni al terreno una volta che questi vengono interrati dopo la raccolta; quindi l'N che effettivamente esce dal sistema colturale è solo quello contenuto nel seme.

La tesi che ha presentato il maggior depauperamento, com'era atteso, è stata la 0 N con un valore di  $76,49 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 33). Valori inferiori, ma comunque negativi, il che significa che il terreno dopo la coltivazione si presenta depauperato, si sono ottenuti nella tesi 50 N e 100 N con asportazioni di  $30,55 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $5,48 \text{ kg ha}^{-1}$ , rispettivamente.

La sola tesi 150 N invece ha presentato un bilancio positivo determinando un incremento della fertilità minerale del terreno pari a  $38,23 \text{ kg ha}^{-1}$  di N.

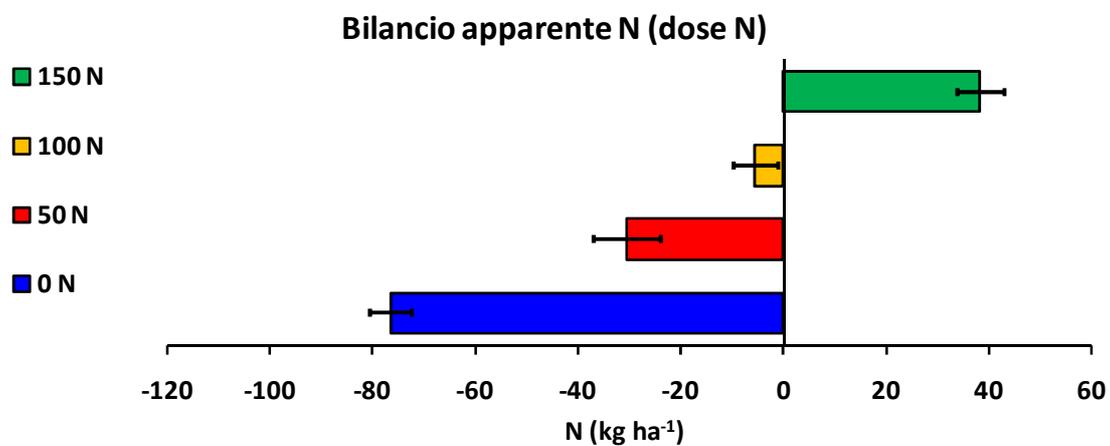


Figura 33. Bilancio apparente di N tra i livelli di concimazione a confronto. Le barre orizzontali indicano l'errore standard ( $P \leq 0,05$ ).



## 5. CONCLUSIONI

Itinerari colturali caratterizzati da apporti azotati primaverili decrescenti sono stati definiti allo scopo di valutare la risposta produttiva e l'efficienza azotata di tre cultivar di colza.

In linea generale gli apporti di azoto (N) hanno prodotto effetti favorevoli sullo sviluppo vegetativo della coltura, promuovendo l'accumulo di biomassa, la concentrazione dell'elemento nella stessa e, conseguentemente, l'assorbimento azotato. Considerando la risposta produttiva è ipotizzabile una riduzione del livello di concimazione a 100 kg N ha<sup>-1</sup>, senza provocare significativi cali di resa. L'elevato utilizzo di N osservato alle dosi maggiori ha probabilmente prolungato il periodo di riempimento dei semi a seguito di un ritardo della senescenza favorendo performance produttive migliori. Tale dose, inoltre, sembra in grado di conservare la fertilità minerale del suolo bilanciando l'elevata quantità di N uscente dal sistema colturale attraverso il prodotto agrario utile, evitando surplus minerali potenzialmente lisciviabili.

Com'era atteso, i parametri di N-efficienza legati all'uso (i.e., NUE: kg seme/kg N disponibile dal suolo e concime) e all'assorbimento dell'elemento (i.e., NUpE: kg N assorbiti/kg N disponibile dal suolo e concime) sono risultati decrescenti all'aumentare della "dose N", sottolineando la necessità di attuare piani di concimazione razionali. Maggiore indifferenza è stata invece determinata per l'efficienza di utilizzo di N (NUtE: kg seme/kg N assorbiti), maggiormente legata a fattori genetici (i.e., scelta varietale) e ai processi di traslocazione dell'elemento dalle strutture vegetative (foglie, fusti) a quelle riproduttive (silique, semi).

Tra le cultivar a confronto, Excalibur (ibrido CHH convenzionale) ha fatto intravedere il migliore adattamento all'areale di coltivazione. Tale ibrido ha palesato un elevato vigore vegetativo che si è tradotto in notevoli produzioni di biomassa e assorbimenti azotati. Anche se in maniera non significativa, Excalibur ha prodotto la resa in seme maggiore riconducibile ad un peso unitario dei semi particolarmente elevato. Le buone potenzialità produttive di questo genotipo ibrido si sono confermate anche dal punto di vista qualitativo con tenori in olio nei semi prossimi al 50%.

Excalibur ha messo in luce inoltre una N-efficienza migliore soprattutto per l'uso (NUE) e l'assorbimento (NUpE), risultando particolarmente idoneo alla scelta di

itinerari colturali basati su una riduzione della concimazione minerale o su terreni marginali dalla modesta fertilità.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Barbieri R., Botarelli L., Salsi A., Zinoni F., 1989. Guida alle rilevazioni agrofенologiche ed alla compilazione delle schede di rilevamento per le colture erbacee ed arboree. E.R.S.A., Bologna, pp 32.
- Behrens T., Horst W.J., Wiesler F., 2003. Bedeutung von Spross-Wurzel-Interaktionen für die Stickstoffeffizienz von Winterraps (*Brassica napus* L.). UFOP-Schriften Heft, 20: 239-243.
- Berry P.M., Spink J., Foulkes M.J., White P.J., 2010. The physiological basis of genotypic differences in nitrogen use efficiency in oilseed rape (*Brassica napus* L.). Field Crops Res., 119: 365-373.
- Bordin A., Guercini S., 2007. Biodiesel. Biocombustibili e carburanti, soluzioni, tecnologie, agevolazioni. (ed. Bordin A). IPSOA: 95-108.
- Budewig S., Leon J., 2003. Higher yield stability for oilseed hybrid? In proceedings of 11th International Rapeseed Congress, vol. 1: 347-349.
- Ciricofolo E., Natalizi G., Bruni R., 2001. Manuale di corretta prassi per la produzione integrata del colza, pp 30.
- De Mastro G., Bona S., 1998. COLZA (*Brassica napus* var. *oleifera* METZG). In Oleaginose alimentari, (Ed. G. Mosca). EDAGRICOLE, Bologna: 29-35.
- Di H.J., Cameron K.C., 2002. Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies. Nutr. Cycl. Agroecosys. 64: 237-256.
- Diepenbrock W., 2000. Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L): a review. Field Crop Res., 67: 35-43.
- Frauen M., Noack J., Paulmann W., Grosse P., 2003. Development and perspectives of MSL-hybrids in winter oilseed rape in Europe. In proceedings of 11th International Rapeseed Congress, vol.1: 316-318.
- Giardini L., 2004. Agronomia generale, ambientale e aziendale. Patron Editore, Bologna, pp 742.
- Graham R.D., 1984. Breeding characteristics in cereals. In Tinker, P.B., Lauchli, A. (Eds.), Advances in Plant Nutrition. Praeger Verlag, New York, vol. 1: 57-90.

- Lancashire P.D., Bleiholder H., Boom T., T. van den, Langelüddke P., Strauss R., Weber E., Witzemberger A., 1991. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Ann. App. Biol.*, 119: 561-601.
- Limon-Ortega A., Sayre K.D., Francis C.A., 2000. Wheat nitrogen use efficiency in a bed planting system in Northwest Mexico. *Agron. J.*, 86: 637-642.
- Mendham N.J., 1980. The crop physiology in rapeseed. In: Production and utilisation of protein in oilseed crops. E.S. Bunting (Editor), Martinus Nijhoff, The Hague (NL): 17-35.
- Mosca G., Zanetti F., 2007. Ottime rese dal colza con le giuste scelte agronomiche. *L'informatore agrario*, 33: 38-42.
- Rathke G.W., Christen O., Diepenbrock W., 2005. Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. *Field Crops Res.*, 94: 103–113.
- Rathke G.W. , Behrens T., Diepenbrock W. , 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 117: 80–108.
- Rathke G.W., Diepenbrock W., 2006. Energy balance of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. *Europ. J. Agron.*, 24: 35–44.
- Sattelmacher B., Horst W.J., Becker H.C., 1994. Factors that contribute to genetic variation for nutrient efficiency of crop plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 157: 215-224.
- Sieling K., Kage H., 2007. Semi-dwarf genotypes - a chance to reduce the N problem after oilseed rape? In proceedings of 12th International Rapeseed Congress, Wuhan 26-30 march, vol. 3: 198-201.
- Toniolo L., Mosca G., 1986. Il colza. Reda, Roma, pp106.
- Toniolo L., Mosca G., 2001. Colza (*Brassica napus* L. var. *oleifera* D.C.). In *Coltivazioni erbacee. Piante oleifere, da zucchero, da fibra, orticole e aromatiche* (Ed. Baldoni R. e Giardini L.). Patron Editore, Bologna: 20-52.
- Weber E., Bleiholder H., 1990. Erläuterungen zu den BBCH-Dezimal-Codes für die Entwicklungsstadien von Mais, Raps, Faba-Bohne, Sonnenblume und Erbse - mit Abbildungen. *Gesunde Pflanzen*, 42: 308-321.

Zadoks J.C., Chang T.T., Knozak C.F., 1974. A decimal code for growth stage of cereal. Weed Res. 14: 415 – 421.

Zanetti F., Vameralli T., 2007. Tecnica di coltivazione di colza e girasole per biodiesel. Biocombustibili e biocarburanti. Soluzioni, tecnologie, agevolazioni (Collana Sviluppo Sostenibile. Bordin A.). IPSOA: 111-121.

#### Siti internet consultati

<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>

[www.agraria.org](http://www.agraria.org)

[www.agrodinamica.it](http://www.agrodinamica.it)

[www.agrsci.unibo.it](http://www.agrsci.unibo.it)

[www.istat.it](http://www.istat.it)

[www.phenagri.it](http://www.phenagri.it)

[www.regione.piemonte.it](http://www.regione.piemonte.it)

[www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)