

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**FACOLTÀ DI AGRARIA**

Dipartimento di Agronomia Ambientale e Produzioni Vegetali  
*Corso di Laurea Triennale in Scienze e tecnologie agrarie*

**TESI DI LAUREA**

**GEOMETRIA RADICALE IN COLZA INVERNALE DA  
OLIO. RISPOSTA AL FATTORE AZOTO.**

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

**Correlatori:** Prof. Teofilo Vamerli

Dott. ssa Federica Zanetti

**Laureando:** Giovanni Marchioro

**ANNO ACCADEMICO 2008-2009**



RIASSUNTO.....	4
ABSTRACT.....	6
1. INTRODUZIONE.....	8
1.1. Il colza.....	8
1.1.1 Generalità.....	8
1.1.2 Caratteristiche botaniche.....	10
1.1.3 Esigenze pedoclimatiche.....	12
1.1.4 Tecniche colturali.....	13
1.1.4.1 Avvicendamento.....	13
1.1.4.2 Preparazione del terreno.....	14
1.1.4.3 Semina.....	15
1.1.4.4 Concimazione.....	16
1.1.4.5 Lotta alle malerbe.....	20
1.1.4.6 Raccolta.....	21
1.1.5 Panorama varietale.....	23
1.1.6 Avversità.....	24
1.2 Metodi di studio degli apparati radicali.....	27
1.2.1 Metodi conservativi.....	27
1.2.2 Metodi distruttivi.....	28
1.2.3 Metodo del carotaggio.....	30
1.3 Analisi Radicale.....	32
2. SCOPO DEL LAVORO.....	35
3. MATERIALI E METODI.....	36
3.1 Protocollo sperimentale.....	37
3.2 Andamento climatico.....	39
3.3 Rilievi in campo e determinazione del contenuto in N con il metodo Kjeldahl.....	40
3.4 Carotaggio.....	41
3.5 Lavaggio.....	43
3.6 Acquisizione delle radici.....	45
4. RISULTATI E DISCUSSIONE.....	48
4.1 Apparato radicale.....	48
4.2 Accumulo di biomassa e N nella pianta.....	54
4.3 Rese.....	56
5. CONCLUSIONI.....	59
6. BIBLIOGRAFIA.....	61

## RIASSUNTO

Negli ultimi anni, in seguito a un intenso lavoro di miglioramento genetico che ne ha esaltato le caratteristiche positive e eliminato i fattori che ne limitavano l'uso, la coltura del colza ha avuto modo di diffondersi in maniera consistente a livello europeo, ma pure mondiale. Il suo elevato contenuto in olio, (40-45%) con componenti acidiche che a seconda delle varietà lo rendono ottimale per l'uso alimentare o per la destinazione industriale per l'ottenimento di biocarburanti, l'hanno resa di fatto la coltura erbacea oleaginosa più diffusa in Europa e la terza a livello mondiale. Inoltre dall'estrazione dell'olio deriva una farina dall'elevato tenore proteico (38-40%) con un'ottima composizione aminoacidica e un valore biologico vicino a quello della farina di soia. Il suo inserimento nelle rotazioni contribuisce poi a migliorare la struttura del terreno e a interrompere i cicli di diversi patogeni che attaccano i cereali.

Attraverso questa tesi si è voluto studiare la risposta della coltura al fattore azoto, concentrandosi sullo studio dell'apparato radicale e sulle sue modificazioni per adeguarsi alla disponibilità dell'elemento fertilizzante. La prova oggetto di studio è stata allestita presso l'Azienda Agraria sperimentale "L.Toniolo" dell'Università degli studi di Padova, sita nel comune di Legnaro. La sperimentazione prevedeva la coltivazione di un ibrido seminano di colza invernale da olio, tipo "00", (assenza di acido erucico e bassissimo tenore in glucosinolati) sottoposto a due livelli di concimazione azotata in copertura: 100 unità di N e 0 unità di N. Durante il ciclo della coltura, che si è svolto tra settembre 2007 e giugno 2008, sono stati eseguiti diversi campionamenti. È stato effettuato un carotaggio, nel periodo della piena fioritura, con lo scopo di poter studiare il comportamento dell'apparato radicale in risposta ai diversi input di concimazione. Dai campioni ottenuti, dopo essere stati adeguatamente preparati, sono state isolate le radici che, acquisite attraverso uno scanner, hanno potuto essere analizzate da un software di analisi di immagine. In questo modo si sono ottenute informazioni sulla densità (RLD) e sul diametro radicale e sulla distribuzione delle radici nel profilo di terreno. Sono stati anche prelevati dei campioni di piante per poter

analizzare l'andamento dell'accumulo di biomassa ed il contenuto in azoto della stessa. Infine sono state confrontate le rese in granella, rivelando come in questa particolare situazione pedoclimatica le due tesi non abbiano evidenziato differenze sostanziali di resa. Dai risultati della sperimentazione è emerso che le due differenti concimazioni non hanno prodotto differenze significative per quanto riguarda il volume delle radici, ma ne hanno modificato la distribuzione lungo il profilo campionato. In particolare, nella tesi concimata con 100 unità di azoto in copertura le radici si sono concentrate maggiormente nello strato più superficiale del terreno, mentre in quella con 0 N in copertura si è riscontrato un più omogeneo sviluppo dell'apparato radicale lungo tutto il profilo di terreno esaminato, che ha consentito alla coltura di sfruttare al meglio la fertilità del terreno. Si sono inoltre potute rivelare nelle due tesi differenze tra i diametri radicali, la tesi che ha ricevuto azoto in copertura ha evidenziato un minore diametro delle radici, rispetto a quella che non ha ricevuto azoto.

Per quanto riguarda l'accumulo di biomassa e di azoto, considerando l'effetto principale concimazione, non si sono riscontrate differenze significative tra le due tesi.

Gli studi futuri cercheranno di approfondire la tematica confrontandosi anche con ibridi a taglia normale, per verificare se cambiando la struttura della parte epigea e il tipo di accrescimento l'apparato radicale si comporti nello stesso modo.

## ABSTRACT

Recently, due to an intense genetic breeding that has highlighted its positive traits and eliminated some characteristics interfering with final use, rapeseed is becoming very diffused in Europe, but also at world level. Seed oil content is quite high (40-45%), with differing fatty acid compositions. This oil could be either destined to food or no food market (e.g. biodiesel production), these characteristics make rapeseed the most largely cultivated oil crop in Europe and the third at world level. Furthermore after oil extraction the meal is rich in protein (38-40%), with an interesting amino acid composition and a biological value near to that of soybean. The introduction of oilseed rape in field rotation could improve soil structure and interrupt the cycle of several pathogens that could attack cereals.

The aim of this thesis was to study the oilseed rape response to nitrogen; in particular root system was studied in order to highlight possible modifications caused by differing availability of this macro-nutrient. The field trial was set at the experimental farm "L. Toniolo" of Padua University, in Legnaro (PD). A new semi-dwarf hybrid of oilseed rape was cultivated comparing two opposite spring nitrogen fertilisations: 100 vs. 0 kg ha<sup>-1</sup>. During crop cycle - September 2007, June 2008 - several types of survey have been done. At full flowering an auger sampling had been done in order to investigate the effect of nitrogen fertilisation at root level. Roots were separated from soil, after washing, and then acquired by scanning. The images obtained were elaborated with image analysis software to derive the value of RLD (Root Length Density, cm cm<sup>-3</sup>) and root diameter, reported to depth. Shoot was also sampled during crop cycle in order to monitor biomass accumulation and nitrogen content of plant.

Seed yield was also considered, but not significant differences emerged between the two contrasting levels of nitrogen, probably due to the peculiar pedoclimatic situation that partially screened some possible effects.

The two contrasting nitrogen fertilisations had not significant effects on RLD, but root distribution along profile was modified. In particular in the 100 N fertilisation, roots demonstrated to be more concentrated on the top soil,

compared with the unfertilised treatment in which root system appeared more homogeneously distributed, this behaviour could led to a more efficient use of soil organic matter. Significant differences emerged also between root diameters, in particular the unfertilised treatment showed significant thicker roots, compared to the fertilised one.

Considering shoot biomass accumulation, also in this case not significant differences emerged between the two fertilisation doses, and the nitrogen accumulation was in any case very high, over 200 kg N ha<sup>-1</sup>.

Probably it will be interesting to further investigated root system of semi-dwarf hybrids comparing it to normal size one's, in order to try to highlight that differences that could emerge at root level considering a so differentiated shoot growth.

# 1. INTRODUZIONE

## 1.1. Il colza

### 1.1.1 Generalità

Il colza è una coltura erbacea appartenente alla famiglia delle *Brassicaceae*, ottenuta per ibridazione naturale tra due specie del genere *Brassica*: *B. oleracea* (n=9) e *B. campestris* (n=10). Da questo incrocio si è creata una nuova specie, *B. napus* (n=19) della quale esistono due tipi, uno da seme (*var. oleifera*) il colza appunto, e uno da radice (Mosca e Toniolo, 1986).

È una pianta originaria del bacino mediterraneo e il suo nome deriva dall'olandese “koolzad”, che significa seme di cavolo. L'importanza di questa coltura è dovuta soprattutto alla presenza nel seme di una cospicua percentuale di olio (40-45%), che veniva utilizzato sin dal tardo Medio Evo nell'illuminazione pubblica e privata. L'olio di colza, grazie alla sua buona composizione acidica, trova utilizzazione prevalente nell'alimentazione umana (condimento, friggitoria, margarina, ecc.), in Canada, Cina e India è l'olio più utilizzato a tali scopi; ma pure nella fabbricazione di diversi prodotti industriali, quali vernici, smalti, materie plastiche. In seguito alla verificata tossicità dell'acido erucico, presente in grande quantità nell'olio, la sua coltivazione subì una lieve flessione, subito recuperata grazie all'introduzione di varietà migliorate geneticamente, nelle quali non è presente l'acido erucico.

La farina derivata dall'estrazione dell'olio ha un elevato tenore proteico, ma presentava il problema della presenza di fattori antinutrizionali che ne limitava l'utilizzo. Anche in questo caso con l'avvento di varietà migliorate, ovvero senza glucosinolati, è stato risolto tale problema e il suo utilizzo nell'alimentazione zootecnica è in continuo aumento.

A partire dalla seconda guerra mondiale, per la scarsità dei prodotti petroliferi, l'olio venne utilizzato come lubrificante e come fonte combustibile per alimentare motori marini. Negli ultimi anni l'utilizzo dell'olio è stato indirizzato verso la

produzione di biocarburanti; la sua composizione lipochimica lo rende infatti idoneo per l'ottenimento di biodiesel, in seguito ad un processo di esterificazione. Nel panorama mondiale la produzione di olio di colza occupa la terza posizione, superato solo dall'olio di palma e di soia. Nel 2007 la superficie mondiale coltivata copriva 29,8 milioni di ettari con una produzione di circa 49,6 milioni di tonnellate di granella e circa 15,3 milioni di t di olio (USDA, 2007). Il colza viene coltivato a livello internazionale prevalentemente in India, Cina, Pakistan, e Canada. Nel panorama europeo i paesi maggiori produttori sono: Germania, Francia, Polonia, Gran Bretagna, Repubblica Ceca, Danimarca e Svezia (Eurostat, 2008 tabella 1).

Produzione (.000t)	2003	2004	2005	2006	2007	2008
EU-27	10850	15462	15454	15903	18231	:
Rep. Ceca	387	934	769	880	1031	1061
Danimarca	354	468	342	434	596	637
Germania	3633	5276	5051	5336	5320	5159
Francia	3369	3993	4532	4144	4683	4854
Ungheria	108	290	282	338	495	663
Austria	77	120	104	137	144	174
Polonia	793	1632	1449	1651	2129	2084
Rep. Slovacca	53	262	235	259	321	445
Svezia	129	227	198	220	222	243
Gran Bretagna	1548	1608	1706	1674	1896	:
Italia	6	5	6	6	14	24

*Tabella 1. Produzione europea di colza (EUROSTAT 2008)*

In Europa è sicuramente la coltura oleaginosa che riveste la maggiore importanza occupando il 36% della superficie destinata a questo tipo di coltivazioni e con una produzione superiore a 18 milioni di tonnellate (2006). (Tabella 2)

	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Superfici (.000ha)						
EU-27	4087	4575	4800	5340	6511	n.p.
Rep. Ceca	251	259	267	292	337	356
Danimarca	106	122	111	125	179	172
Germania	1265	1283	1343	1429	1548	1373
Francia	1082	1125	1231	1405	1615	1462
Ungheria	71	104	122	142	225	251
Austria	44	35	35	42	48	56
Polonia	426	538	550	623	796	771

*Tabella 2. Superfici coltivate a colza in Europa (EUROSTAT, 2008)*

In Italia dopo aver corso il rischio di scomparire negli anni '70, per i succitati problemi relativi alla tossicità dell'acido erucico e alla presenza di glucosinolati nella farina, la coltura sta ora subendo una forte espansione; questa è dovuta oltre che alla realizzazione di varietà migliorate senza acido erucico e glucosinolati, anche ai contributi erogati dell'unione europea e soprattutto alla spinta esercitata dallo sviluppo dei biocarburanti e alla loro momentanea defiscalizzazione. La superficie coltivata a colza nel territorio nazionale è in continuo aumento, dai circa 2000 ettari del 2002 ha raggiunto i 7000 ettari nel 2007. (Tabella 3)

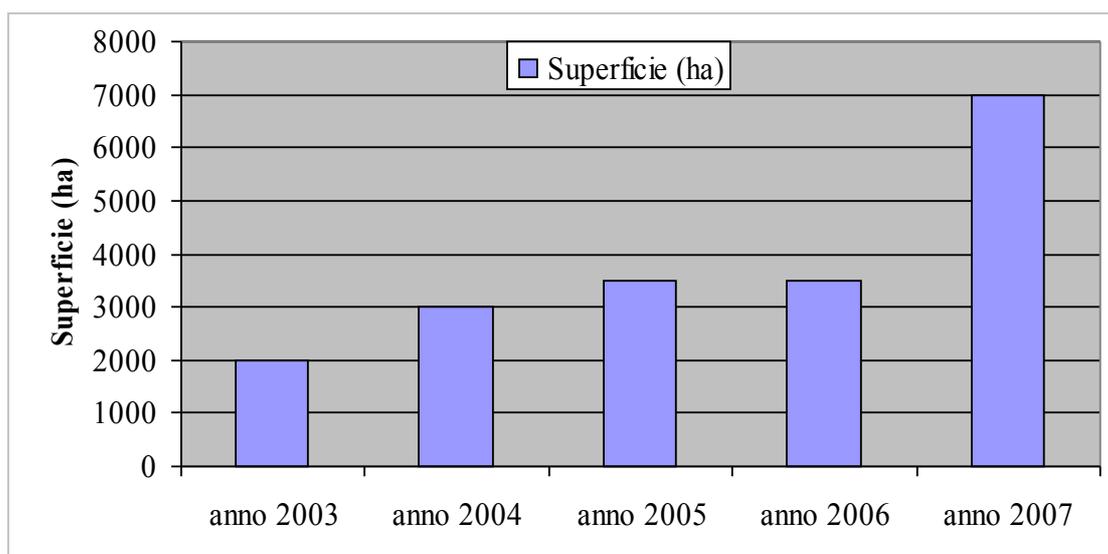


Tabella 3. Superficie destinata a colza in Italia (Istat 2007)

### 1.1.2 Caratteristiche botaniche

Il colza coltivato è una pianta annua, dotata di un apparato radicale fittonante, moderatamente ramificato, che raggiunge agevolmente i 70-80 cm di profondità, anche se alcune radici possono frequentemente esplorare porzioni di suolo a profondità superiore al metro. Ciò nonostante la maggior parte della massa radicale si sviluppa nei primi 30-40 cm di terreno. Il colletto è leggermente ingrossato fuori dal terreno.

Il fusto si presenta eretto, glabro e ramificato, raggiungendo in media un'altezza di 1,50 m; negli stadi iniziali si presenta molto raccorciato, gli internodi sono praticamente assenti nella fase di rosetta, poi con la fase di levata cominciano ad

allungarsi. Se le piante hanno spazio a disposizione, ramificano abbondantemente, producendo germogli che partono dall'ascella delle foglie superiori e che sviluppano un'infiorescenza del tutto simile a quella principale. Attuando semine fitte si cerca di ridurre le ramificazioni per ottenere una fioritura, e quindi una maturazione, meno scalare.

Vengono differenziate circa 20 foglie dal colore verde glauco, ricoperte da abbondante pruina; quelle basali, lirate e con lobo terminale molto grande, differiscono da quelle superiori, di minori dimensioni, sessili e amplessicauli, abbraccianti parzialmente il fusto con la base della lamina che si formano durante la fase di levata.

L'infiorescenza a grappolo ha fioritura scalare e basipeta, (si aprono per prima i boccioli basali) e si trova in posizione terminale. Possono essere presenti 150-200 fiori ermafroditi composti da 4 petali disposti a croce, corolla di colore giallo (raramente bianco) sei stami e ovario supero. L'impollinazione è per il 70% autogama e per il 30% allogama (entomofila e anemofila).

Il frutto è una siliqua formata da due carpelli separati da un falso setto (replum) su cui sono inseriti i semi. Il numero dei semi varia seconda delle varietà da 15 a 40 per siliqua. A maturità i due carpelli possono aprirsi spontaneamente (deiscenza), sollevandosi dal basso e restando temporaneamente uniti nella parte terminale, questo può comportare la caduta dei semi, con anche notevoli perdite di produzione. La resistenza alla deiscenza è variabile nelle diverse varietà, ma si selezionano varietà con resistenze tali da consentire lievi perdite di prodotto anche se viene ritardato il momento della raccolta.

Il seme è sferico, dal diametro di circa 2 mm, liscio, di colore bruno rossastro, più scuro col procedere della maturazione. Il peso di 1000 semi è di 3,5-8 g, più pesante nei tipi invernali meno nei primaverili. Privato del tegumento, che rappresenta il 12-20% in peso, il seme è composto da due cotiledoni contenenti circa il 50% in olio e proteina e dall'embrione contenente il 40-42% in olio e il 21-24% in proteina. (Mosca e Toniolo, 1986)

### 1.1.3 Esigenze pedoclimatiche

Si possono distinguere due varietà di colza: varietà invernali, con ciclo autunno-primaverile, coltivate in Italia e nella maggior parte degli stati europei che necessitano di attraversare un periodo con basse temperature (vernalizzazione) affinché avvenga la differenziazione a fiore; varietà primaverili o alternative, a ciclo primaverile-estivo, coltivate a latitudini molto elevate dove gli inverni troppo rigidi non consentono la coltivazione (Canada) e ottenute in seguito a selezioni e miglioramenti genetici in modo che non debbano superare un periodo di vernalizzazione per andare in fioritura. Le varietà invernali sono caratterizzate da maggiori produzioni rispetto alle primaverili.

A differenza della maggior parte delle oleaginose il colza invernale da olio è una specie microterma, con zero di vegetazione vicino agli 0°C, sopporta bene i freddi invernali, allo stadio di rosetta, con 6-8 foglie vere e fittoncino di 15-20 cm resiste anche a -15°C.

Preferisce temperature relativamente basse alla fioritura, durante la maturazione del seme è più tollerante alle alte temperature purché non accompagnate da carenze idriche. Cresce bene in suoli leggeri che facilitano la ripresa vegetativa e l'approfondimento radicale, ma si adatta a qualsiasi tipo di terreno, purché siano ben drenati, teme infatti i ristagni idrici durante il periodo invernale.

Si adatta bene a terreni cosiddetti marginali, non vocati per altre colture tradizionali, ed essendo una coltura low input si sviluppa bene anche con modeste concimazioni azotate. (Mosca e Toniolo, 1986)

Durante il ciclo vegetativo del colza sono riscontrabili alcuni stadi caratteristici per gli aspetti morfologici, riportati in Tabella 4.

Stadio A Cotiledonare	Assenza di foglie vere; sono visibili i 2 cotiledoni
Stadio B Rosetta	Inizia la formazione delle prime foglie vere; assenza di internodi tra i piccioli e mancanza di un vero fusto. Lo stadio si suddivide in: B1, B2...Bn, dove n= numero di foglie vere aperte completamente distese.
Stadio C Levata	Durante questo stadio si realizza lo sviluppo della pianta; C1: ripresa vegetativa, comparsa di nuove foglie C2: internodi visibili; alla base dei nuovi piccioli si nota una strozzatura verde chiara corrispondente all'inizio del fusto.
Stadio D Bottoni floreali riuniti	D1: Bottoni floreali ravvicinati tra loro ancora nascosti dalle foglie terminali D2: Bottoni floreali ben visibili ma ancora accostati, visibili anche le infiorescenze secondarie.
Stadio E Bottoni floreali separati	Inizia l'allungamento dei peduncoli floreali, ad iniziare da quelli periferici, ed il loro successivo distanziamento.
Stadio F Fioritura	F1: inizia l'apertura dei fiori F2: presenza di numerosi fiori aperti sullo scapo florale in allungamento
Stadio G Formazione delle silique	Comprende il periodo che va dalla caduta dei primi petali fino alla maturazione. G1: caduta dei primi petali, le silique hanno una lunghezza inferiore ai 2 cm G2: le prime 10 silique hanno una lunghezza tra 2 e 4 cm G3: le prime 10 silique hanno una lunghezza superiore ai 4 cm G4: le prime 10 silique si presentano ingrossate G5: i semi virano di colore

Tabella 4. Stadi fenologici del colza (CETIOM – INRA, 1996)

## 1.1.4 Tecniche colturali

### 1.1.4.1 Avvicendamento

Il colza si avvicenda bene in successione a frumento del quale occupa anche lo stesso posto; ne è sconsigliata la successione a se stesso, soprattutto se si verificano attacchi di *Phoma lingam*, sarebbe infatti indicato il ritorno della coltivazione del colza sullo stesso terreno non prima di 4 anni. Si possono avere problemi anche in successione alla barbabietola, essendo entrambe suscettibili al nematode *Heterodera schachtii*, e quando la sua coltivazione segue il girasole o la soia che con esso condividono la suscettibilità al fungo *Sclerotinia sclerotiorum*.

Anche dopo mais si hanno buoni risultati, in quanto questo cereale riceve importanti concimazioni azotate che il colza riesce a sfruttare.

L'inserimento del colza in una rotazione di soli cereali porta ad un miglioramento

della struttura del terreno, interrompe il ciclo di varie malattie come la fusariosi e marciumi vari (*Pythium*, *Alternaria*) e facilita la lotta alle malerbe. In zone irrigue o con sufficienti precipitazioni durante la stagione calda lascia la possibilità di effettuare la coltivazione di una coltura intercalare estiva.

#### **1.1.4.2 Preparazione del terreno**

A causa delle ridotte dimensioni del seme è importante una buona preparazione del letto di semina, che non deve essere troppo grossolano né troppo fine nel caso si possa temere la formazione di crosta superficiale; si consentirà in questo modo una rapida e regolare emergenza. Un'accurata preparazione del terreno dà inoltre alla pianta la possibilità di svilupparsi sufficientemente prima dell'arresto vegetativo dovuto al sopraggiungere dell'inverno.

È importante una buona sistemazione idraulica dei terreni per consentire un corretto drenaggio idrico. La presenza di ristagni d'acqua nel periodo autunno-invernale, quando le piantine sono in fasi precoci di sviluppo, ne impedisce il corretto sviluppo radicale e le rende più suscettibili a danni da freddo e attacchi funginei.

Non esiste una scelta generalizzabile per quanto riguarda le lavorazioni principali, a causa della diversità dei terreni e delle condizioni climatiche; solitamente però un'aratura a 30 cm di profondità come lavorazione principale, seguita da un erpicatura con erpice rotativo come lavorazione secondaria possono ritenersi sufficienti. Indipendentemente dai mezzi utilizzati, l'obiettivo delle operazioni di lavorazione del terreno è quello di ottenere un profilo di terreno rappresentato da quattro strati:

- in superficie, piccole zolle con diametro massimo di 3 cm, per evitare rischi di formazione di crosta e favorire l'esito di eventuali trattamenti con erbicidi in presemina e pre-emergenza;
- letto di semina con terra fine nella quale verrà deposto il seme;
- zona con zolle sbriciolate con la lavorazione secondaria
- suolo sufficientemente fessurato, con zolle accostate fra loro, ottenuto con una lavorazione profonda, che deve permettere l'approfondimento del fittone

e delle radici secondarie

È sempre importante effettuare le lavorazioni con il terreno in tempera.

Si sono ottenuti buoni risultati anche con la minima lavorazione o la semina su sodo, che consentono notevoli riduzioni dei costi di carburante senza influire troppo sulle rese; si deve però prestare attenzione ad asportare la paglia, per evitare un'eccessiva macro-porosità nei primi strati di suolo, con pericolo di essiccazione per le radici nel primo periodo di sviluppo.

### **1.1.4.3 Semina**

La semina viene eseguita a file continue, con seminatrici da grano e interfila da 20 cm, o con seminatrici pneumatiche di precisione, in questo caso l'interfila misura 45 cm e la distanza sulla fila 2-2,5 cm; con la seconda scelta è possibile un intervento di sarchiatura per contrastare le infestanti.

Il seme viene posto a 1-3 cm di profondità e deve disporre di sufficiente umidità negli strati superficiali per poter germinare. Dopo 7-10 giorni emergono dal terreno i due cotiledoni.

La quantità di seme da utilizzare varia in funzione del peso dei mille semi, e della varietà che si intende coltivare, in generale si tende ad avere un investimento teorico di 100-120 piante per m<sup>2</sup> ed una densità alla raccolta di 50-60 piante per m<sup>2</sup>. Un investimento regolare favorisce una maturazione precoce ed omogenea. La densità di semina determina la quantità di luce che la pianta riesce a intercettare e la capacità di utilizzare acqua e nutrienti, influenzando quindi la produzione di granella.

Si deve tenere presente poi che per effetto della competizione tra piante, il numero di ramificazioni e di silique per pianta sono sensibilmente influenzati dalla densità di semina.

Per il colza invernale da olio coltivato in Valle Padana il periodo di semina ideale va dalla metà di settembre alla prima decade di ottobre. Anticipando troppo si va incontro ad un'eccessivo accrescimento prima dell'inverno e la pianta sopporterà meno bene le basse temperature. Ritardando la semina per contro, le piantine si svilupperanno in modo sub-ottimale e potranno essere soggette a scalzatura per

effetto del gelo. Si considera che per resistere a temperature di  $-15^{\circ}\text{C}$  lo stadio ottimale di sviluppo che la pianta dovrebbe avere all'inizio della stagione invernale sia il seguente: stadio di rosetta con 6-8 foglie vere, fittone lungo 15-20 cm, diametro del colletto di circa 6-7 mm. Questo stadio dovrebbe essere raggiunto in 2-3 mesi dall'emergenza. Nel caso però si verifichi un autunno in cui la temperatura sia ancora elevata ed il terreno si presenta eccessivamente secco, sarebbe meglio ritardare per quanto possibile la semina onde evitare rischi di una scarsa germinazione.

In ambienti meridionali è opportuno utilizzare varietà precoci che completano il periodo di maturazione prima dell'inizio del periodo siccitoso, poiché riescono ad ottimizzare la fase di riempimento del seme.

#### **1.1.4.4 Concimazione**

Lo scopo della concimazione è quello di integrare le riserve di elementi nutritivi del terreno per metterli a disposizione della coltura nelle quantità e nelle forme più adeguate ai fabbisogni della pianta; si otterranno così rese considerevoli e un prodotto con elevate caratteristiche qualitative. Dev'essere effettuata nel rispetto dell'ambiente prestando particolare attenzione alle perdite per dilavamento di elementi lisciviabili come l'azoto, che potrebbero inquinare le falde acquifere.

Il colza è una coltura abbastanza esigente in fatto di concimazione, infatti con una resa ipotetica di 3 t/ha la coltura avrà bisogno di 210 kg di N, 75 kg di  $\text{P}_2\text{O}_5$  e di 300 kg di  $\text{K}_2\text{O}$ ; si deve però tener conto che gran parte degli elementi nutritivi prelevati dalla coltura ritornano nel terreno con i residui colturali a fine ciclo: circa il 55% dell'azoto, il 50% del fosforo e fino al 90% del potassio.

Le asportazioni effettive di elementi nutritivi dal terreno saranno quindi di circa 95 kg di azoto, 40 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$  e 30 kg di  $\text{K}_2\text{O}$ .

Per ottenere buone produzioni in seme, in terreni che dispongono già di una buona fertilità, sono consigliare le dosi di 150 kg/ha di N 80 kg/ha di  $\text{P}_2\text{O}_5$  e 70 kg/ha di  $\text{K}_2\text{O}$  (Mosca e Toniolo , 1986) .

Qualora ve ne sia la disponibilità il colza gradisce la concimazione letamica.

L'intensità con la quale questi elementi sono assorbiti dalla coltura non è costante durante il ciclo biologico della pianta, ma varia con le diverse fasi fenologiche. 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% del fosforo.

Nel determinare le dosi effettive da somministrare alla coltura bisogna tenere presenti sia i fabbisogni della coltura, sia l'insieme dei fattori di seguito riportati:

- la dotazione del terreno in elementi fertilizzanti (rilevabile con l'analisi chimica del terreno, da ripetere ogni 4-5 anni);
- la natura del suolo (rilevabile con l'analisi granulometrica, da effettuare *una tantum*);
- la precessione culturale (quantità e qualità dei residui colturali);
- andamento termo-pluviometrico dalla raccolta della coltura precedente al momento della concimazione (la temperatura influisce sulla mineralizzazione della sostanza organica, la pioggia sul dilavamento dell'azoto);
- lo stato del colza all'uscita dall'inverno (più è cresciuto, più azoto ha già assorbito);
- la varietà utilizzata (per quanto concerne la suscettibilità all'allettamento).

Fosforo e potassio, essendo poco mobili, vengono distribuiti interamente in presemina e interrati con le lavorazioni principali effettuate sul terreno, in modo da portarli nella massa di terreno interessata dall'apparato radicale.

Nel caso di semina su sodo la concimazione con questi due elementi dovrà essere anticipata alla coltura che precede il colza.

Il fosforo è generalmente presente nel terreno, ma a causa della sua scarsa mobilità è bene che il suo livello di riserva sia elevato perché la pianta sia correttamente alimentata. La quantità da somministrare varia da 60 a 80 kg/ha di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, il che corrisponde a distribuire 120-170kg/ha di perfosfato triplo, concime

consigliato per l'elevato titolo (46-48%) e per il basso costo per unità fertilizzante.

Le richieste di potassio da parte del colza sono molto elevate e il massimo fabbisogno si ha da poco prima dell'inizio della fioritura per tutto il periodo in cui questa si svolge (fino a 3 kg /ha al giorno).

La dose di potassio dipende dalla dotazione di questo elemento nel terreno, in genere presente in notevole quantità. L'apporto di 50-70 Kg di K<sub>2</sub>O si rivela sufficiente, prevedendo una importante restituzione dell'elemento al terreno a fine ciclo. Si consiglia di utilizzare come concime potassico il solfato di potassio, che ha titolo 48-52% e inoltre contiene il 18% di zolfo.

L'azoto è considerato l'elemento più importante, stimola il vigore vegetativo, consente la formazione di un apparato fogliare ben sviluppato e con un'alta efficienza fotosintetica; influenza l'attività produttiva stimolando la produzione di infiorescenze e favorendo un maggiore sviluppo della pianta nel suo complesso. Aumentando l'apporto di azoto si tende a estendere l'emissione di fiori e la fruttificazione ai rami più bassi, modificando così la distribuzione degli organi riproduttivi, solitamente accentuata verso l'alto. L'eccesso di azoto porta ad un aumento dei fiori ma anche un più elevato numero di aborti; la produzione per ettaro tende ad aumentare, a scapito però della quantità di olio nei semi, che diminuisce.

Gli apporti di questo elemento sono sfruttati a pieno se lo sviluppo vegetativo è regolare e la densità delle piante è sufficiente. La presenza di azoto è particolarmente necessaria dalla ripresa vegetativa all'inizio della fioritura.

La concimazione azotata si effettua generalmente con due interventi: uno in presemina e uno in prelevata.

La concimazione in presemina è necessaria per aiutare la piantina nei primi stadi di sviluppo, in modo che raggiunga le dimensioni adatte (6-8 foglie vere) per affrontare nel migliore dei modi i freddi invernali. Per contro, un'eccessiva concimazione azotata in presemina induce uno sviluppo troppo accentuato della pianta riducendone la resistenza al freddo. La quantità di azoto da distribuire in presemina viene indicata in 1/4 – 1/5 della dose totale prevista, e sarà quindi di 30-40 kg/ha (Mosca e Toniolo, 1986).

Il secondo apporto di azoto dovrà essere eseguito appena prima dell'inizio della crescita primaverile, che si colloca, a seconda delle zone e dell'andamento stagionale, tra la fine di febbraio e la metà di marzo. Il momento della concimazione corrisponde allo stadio C1 di sviluppo della coltura, che evidenzia la comparsa di foglie di un verde più chiaro, che spuntano dal “cuore” della pianta. Interventi ritardati, eseguiti in aprile, non hanno dato risultati apprezzabili.

La dose da somministrare si identifica in 110-120 kg/ha di azoto.

Eccessi azotati in questa concimazione potrebbero portare a problemi di allettamento, maggiore suscettibilità alle malattie e maggiore competizione da parte di infestanti eventualmente presenti, con conseguenti riduzioni di produzione. Si aumenterà poi il rischio di predate per lisciviazione dell'azoto nitrico correndo il pericolo di inquinare le falde acquifere.

Se la quantità distribuita non è invece sufficiente la coltura non riuscirà ad esprimere al meglio le sue capacità produttive.

La dose da distribuire può essere determinata anche calcolando l'azoto già assorbito e per sottrazione ottenere la quantità di cui necessita ancora la coltura.

La stima può essere effettuata seguendo un metodo “per pesata” o uno “per visuale”. Entrambi sono stati messi a punto da un centro di ricerca francese, il CETIOM (Centre technique interprofessionnel des oléagineux métropolitains). Il primo prende il nome di “reglette azote” (Cetiom,1998); permette, fissando in premessa un realistico obiettivo di resa, e tenendo conto del tipo di terreno e della sua dotazione organica, di stimare la giusta dose di azoto primaverile misurando la biomassa presente tramite pesata. Vengono scelte 2-3 aree di saggio di 1 m<sup>2</sup> di superficie dove le piante vengono tagliate al colletto, ottenendo così i valori di biomassa espressi in kg/m<sup>2</sup>. I dati così ottenuti, confrontati con una tabella indicheranno la dose da distribuire. Generalmente, a parità di resa prevista, piante più sviluppate riceveranno meno azoto, poiché la quantità che ne hanno già assorbita è maggiore. Questo metodo, molto utilizzato dagli agricoltori francesi, ha permesso di ridurre gli apporti azotati senza provocare sensibili diminuzioni di resa.

Il metodo per visuale si basa sugli stessi principi, ma per calcolare la biomassa

già prodotta si eseguono misurazioni a vista, aiutandosi con uno strumento che funge da punto di riferimento.

La forma dell'azoto utilizzata può essere quella con l'unità fertilizzante a minor costo, urea o nitrato ammonico.

In funzione dell'elevato potenziale di assorbimento dell'azoto il colza può essere impiegato come “cover crop”.

La presenza di composti solforosi (tioglucosinolati) nei semi e nella pianta del colza la rende abbastanza esigente per questo elemento; richiede infatti per un'ipotetica resa di 3 t/ha circa 185 kg/ha di zolfo. Anche in questo caso però solo una parte viene asportata con la granella, circa 62 kg e la rimanente viene restituita al terreno. La concimazione solforica è però poco praticata, in quanto i terreni ne sono generalmente ben dotati. Si può verificare la necessità di effettuarla in terreni sabbiosi, acidi e poco profondi, o se a causa di abbassamenti di temperatura la mineralizzazione non è sufficiente e lo zolfo non si rende disponibile. Quando la si effettua si utilizzano composti minerali quali solfato ammonico o solfato di potassio, che oltre allo zolfo forniscono anche altri importanti elementi.

#### **1.1.4.5 Lotta alle malerbe**

Per quanto riguarda la lotta alle infestanti le modalità di intervento sono vincolate alla modalità di semina: nel caso di semina a file larghe (interfila 45cm) si consiglia un intervento chimico in pre-emergenza seguito da interventi meccanici prima che la coltura chiuda la fila; nel caso di semina più fitta (interfila 15-20 cm) si eseguirà un intervento chimico in pre-emergenza, seguito da altri interventi chimici in post-emergenza contro graminacee annuali.

Un problema non indifferente è dato da infestanti appartenenti alla famiglia delle *Brassicaceae*, che oltre ai danni legati alla competizione per acqua, luce e nutrienti possono indurre un peggioramento della qualità dell'olio; in questi casi l'interfila più larga e l'intervento di sarchiatura sono consigliati, in quanto mancano erbicidi selettivi efficaci. Una corretta scelta degli avvicendamenti, l'uso di semente selezionata e un'attenta pulizia di fossi, scoline e capezzagne aiutano

sicuramente a ridurre i problemi dovuti alle erbe infestanti (Mosca G. e Toniolo L., 1986).

#### **1.1.4.6 Raccolta**

Indicativamente nel nord Italia il periodo di raccolta si colloca tra la seconda e la terza decade di giugno. Quando il contenuto di acqua dei semi è sceso intorno al 35% il colza ha raggiunto la maturazione fisiologica: da questo momento in poi non si avranno ulteriori aumenti di produzione, ma solo perdita di acqua. La mietitrebbiatura deve essere effettuata quando l'umidità media del seme è compresa tra il 12 e il 20%. Con umidità inferiore al 12% si verificano danni per rottura e decorticazione dei semi, che ne compromettono la conservabilità. Se è troppo anticipata si possono causare danni ai semi, che possono poi presentare un alto contenuto in clorofilla e generare un olio di qualità scadente, inoltre si va incontro ad alti costi di essiccazione. Se viene ritardata si corrono rischi di perdita di prodotto, in quanto le silique sono soggette a deiscenza, e le piante a problemi di allettamento. Generalmente al momento della raccolta la pianta si presenta con la metà inferiore dello stelo ancora verde, silique e ramificazioni completamente secchi e semi di colore bruno rossastro o grigio piombo.

Per la raccolta vengono utilizzate mietitrebbiatrici da frumento alle quali vengono apportate opportune modifiche.

In zone ventose o soggette a temporali estivi, dove c'è quindi il pericolo di allettamento la raccolta può essere effettuata in due fasi: prima si esegue una falcia-andanatura, poi, dopo una o due settimane, il prodotto viene raccolto da una trebbiatrice dotata di pick-up.

Nei nostri ambienti, con ciclo autunno primaverile si ottengono rese medie di 2,5-3,5 t/ha di granella. Con la semina primaverile, data la brevità del ciclo, le produzioni sono molto inferiori, e si attestano intorno a 1,5-1,8 t/ha.

Per la conservazione il seme deve avere un'umidità compresa tra il 6% e l'8%, raggiunta in seguito a un processo di essiccazione alla temperatura di 40°.

Il contenuto in olio e la sua composizione variano a seconda delle condizioni ambientali e delle varietà impiegate. Per le migliori varietà tale contenuto si

aggira intorno al 40-45% sulla sostanza secca del seme intero.

La qualità dell'olio è determinata dalla sua composizione in acidi grassi.

In seguito alla constatata nocività dell'acido erucico si sono selezionate varietà che non ne contenessero, cultivar “zero erucico”, nella composizione acidica delle quali vi è un aumento della percentuale dell'acido oleico e linoleico (Tabella 5).

<b>Acidi grassi</b>	<b>HEAR</b>	<b>LEAR</b>
Oleico	21,3	65,7
Linoleico	13,5	19,4
Linolenico	8,4	9,6
Erucico	45,5	0,5
Altri	11,3	4,8

*Tabella 5. Composizione acidica di varietà alto erucico (HEAR) e basso erucico (LEAR).*

Il seme, oltre alla componente lipidica (olio) è composto prevalentemente da proteine, carboidrati e glucosinolati. Questi ultimi, che si presume entrino nei meccanismi di difesa della pianta contro insetti e funghi, hanno anche un'influenza negativa sul funzionamento della tiroide negli animali monogastrici e pertanto vengono denominati gozzigeni. La presenza di queste sostanze limita o addirittura impedisce la presenza della farina di estrazione di colza nella dieta animale. Attraverso vie genetiche si è però riusciti a ottenere varietà che non contengono glucosinolati nella granella, rendendo così utilizzabile la farina di estrazione per usi zootecnici. Questa è ricca in fibra (27-30%), in protidi grezzi (38-40%) di elevato valore biologico (pari al 95% del valore della farina di soia), ricca in lisina e con una composizione amminoacidica ben equilibrata.

Le varietà migliorate, sia per il basso tenore in acido erucico che per il basso contenuto in glucosinolati vengono indicate come varietà o cultivar “doppio zero” o “00”.

Per la commercializzazione il prodotto deve rispettare dei parametri di qualità.

Si riportano i parametri contenuti nel Disciplinare di Produzione Integrata:

- contenuto in olio: non inferiore al 38%
- umidità dei semi: non superiore al 9%
- impurità: non superiori al 5%

- contenuto in glucosinolati: non superiore a 18  $\mu\text{moli/g}$  di farina disoleata

### **1.1.5 Panorama varietale**

Le varietà disponibili sul mercato sono numerose e ben differenziabili tra loro.

Le distinguiamo in primo luogo in base al ciclo colturale in autunnali e primaverili, mentre sulla qualità dell'olio si distinguono varietà ad alto tenore in acido erucico destinate ad un utilizzo “non food” (HEAR - High erucic acid Rapeseed, il cui olio ha una percentuale del 45-60% di acido erucico) , varietà per uso alimentare, con zero contenuto in acido erucico, tipo “0” e varietà che oltre all'assenza di acido erucico hanno anche bassissimi tenori in glucosinolati, le cosiddette varietà “doppio zero”.

Nel panorama varietale possiamo distinguere poi diverse tipologie di seme:

- varietà tradizionali (a impollinazione libera) i cui semi hanno un costo contenuto ma che sono caratterizzati da una buona produttività soprattutto con un ambiente di coltivazione ostile o comunque poco consono al colza. Hanno un accrescimento meno vigoroso degli ibridi, ma riescono comunque a raggiungere rese di 3,5-4 t/ha di seme secco, a condizione che la semina venga effettuata entro la fine di settembre.
- linee ibride composte (CHL, composite hybrid line) ottenute dalla mescolanza di una linea maschiosterile (circa l'80%) e di una impollinante (circa il 20%). Queste linee sono state le prime ad essere ottenute, ma oggi sono state soppiantate dai cosiddetti veri ibridi (CHH composite hybrid hybrid) con fertilità maschile completamente ristorata. Questi a loro volta si dividono in 2 tipologie:
  - ibridi a taglia normale CHH, producono piante vigorose che permettono di raggiungere rese in granella più elevate rispetto alle varietà tradizionali, ai dwarf e ai semi-dwarf, hanno infatti potenzialità produttive che raggiungono e a volte superano le 4,5-5 t/ha in granella secca. L'accrescimento particolarmente vigoroso li rende idonei anche a semine ritardate, comunque non oltre i primi giorni di ottobre, raggiungendo in tempo le giuste dimensioni per affrontare il freddo invernale. Per contro il loro seme risulta più costoso e in condizioni sfavorevoli si possono avere notevoli problemi di

allettamento dovute all'altezza delle piante, che può causare perdite alla raccolta fino al 20-30%. Il vantaggio competitivo dell'ibrido rispetto a una varietà tradizionale risulta significativo solo in condizioni ottimali, mentre se coltivato in regimi di *low input* o in condizioni ambientali sfavorevoli tale vantaggio scompare del tutto

- ibridi di tipo nano o semi-nano (dwarf o semi-dwarf, CHH). I primi trovano utilizzo quasi esclusivamente per ottenere ibridi semi-nani in seguito a incrocio con ibridi a taglia normale, a causa delle loro troppo basse produzioni. I secondi hanno una taglia più ridotta rispetto agli ibridi di statura standard, dovuta a internodi ravvicinati e un accrescimento più contenuto. Normalmente sono caratterizzati da potenzialità produttive più limitate rispetto agli ibridi normali (5-10%), ma in situazioni particolari (vento, molta sostanza organica nel terreno) possono essere avvantaggiati perché meno sensibili all'allettamento. Queste varietà avendo minore capacità di accrescimento devono essere seminate precocemente, tra metà e fine settembre. (Mosca e Zanetti , 2007)

### **1.1.6 Avversità**

Il colza è attaccato da diversi parassiti vegetali e animali.

Per quanto riguarda i parassiti fungini, i maggiori problemi sono dati da:

- *Alternaria Brassicae* (alternariosi delle crucifere): presente in tutte le zone di coltivazione del colza, è tra le malattie più diffuse; può presentarsi dai primi stati di sviluppo fino alla formazione delle silique, la sua pericolosità dipende dall'andamento climatico (periodi caldi e piovosi) ed è maggiore dalla fioritura in avanti. Si manifesta in genere con piccole macchie nere, alternate a zone chiare, poste sulle foglie, sui fusti e sulle silique su cui apporta il maggior danno. Nei casi più gravi può comportare la morte delle plantule. Se l'attacco avviene durante l'allegagione si ha un peso dei 1000 semi inferiore al normale, con attacchi importanti le silique possono aprirsi e lasciar cadere i semi.
- *Sclerotinia sclerotiorum* (marciume molle): specie polifaga che attacca anche

la soia ed il girasole. I primi sintomi appaiono sulle foglie quando la pianta perde i petali. L'attacco avviene a maggio e l'infezione è predominante all'ascella delle foglie dove più spesso si fermano i petali caduti. Si manifesta sotto forma di marciume di colore grigio carico-verde che può ricoprirsi di peluria bianca (micelio del fungo), successivamente progredisce nel picciolo e nel fusto sul quale si forma una macchia bianca di diversi centimetri; si formano poi i corpi fruttiferi (apotecii) che liberano le spore (ascospore), queste disseminate ad opera del vento infettando le piante circostanti. Più tardi all'interno del fusto compaiono dei granuli neri, gli sclerozi destinati alla conservazione della specie, che possono rimanere vitali nel terreno nei residui colturali e nelle partite di seme.

- *Phoma lingam* (cancro del fusto): causa dapprima macchie chiare tendenti al bianco sui cotiledoni e sulle foglie. Su queste si osservano poi piccoli punti neri corrispondenti alle fruttificazioni che producono spore; queste infettano le altre piante con gli schizzi d'acqua dovuti alla pioggia. Più avanti si formano necrosi al colletto che portano a lesioni più o meno gravi del fittone. Questi marciumi al colletto e sullo stelo avvengono in primavera e comportano la suberificazione e la marcescenza del tessuto. Viene così impedita l'assimilazione e le piante in stadio avanzato di sviluppo si allettano.
- *Cylindrosporium concentricum*: si manifesta sulle foglie dall'emergenza alla raccolta sottoforma di macchie biancastre contornate o meno da puntini bianchi, ma attacca anche il fusto, i fiori e le silique e può causare perdite importanti. La lotta può essere chimica o attraverso l'adozione di varietà tolleranti, ma in ogni caso, per limitare l'inoculo primario, è importante interrare i residui colturali prima della nuova semina (Toniolo e Mosca, 1986).

Gli insetti che causano i maggiori danni al colza, e contro i quali si interviene sono i seguenti:

- *Psylliodes chrysocephala* (altica del colza): è un coleottero estremamente diffuso, che può causare danni ingenti. Gli adulti provocano erosioni sulla lamina fogliare ed alla base del fusto che ritardano la crescita o possono, se

numerose, portare anche alla morte della pianta. L'attacco può avvenire in autunno, la soglia di intervento si raggiunge quando tre piante su dieci presentano erosioni sui cotiledoni o sulle prime foglie vere. Gli attacchi si possono avere anche alla ripresa vegetativa con gallerie sul picciolo e sul fusto principale ed all'ascella delle foglie. Si esegue il trattamento quando più del 70% delle piante presentano almeno una galleria. Le larve sono certamente le più dannose, per precauzione è bene effettuare una geodisinfestazione localizzata alla semina con prodotti sistemici, oppure effettuare trattamenti insetticidi sulla vegetazione

- *Meligethes aeneus* (meligete delle crucifere): piccolo coleottero blu-nero di circa 2,5 mm di lunghezza. Compare durante lo stadio di bocciolo fiorale, invade la coltura a fine marzo-inizio aprile e diventa più abbondante in maggio. I danni provocati consistono in erosione del bocciolo e distruzione dell'ovario. Gli adulti divorano i bottoni per nutrirsi del loro polline. Quando i primi fiori sono sfioriti si nutrono preferibilmente con polline libero, e quindi non c'è più pericolo di danno. Le larve nate dalle uova deposte nelle gemme si alimentano prima di queste ultime e poi delle silique; a maturità si impupano nel terreno. Compie una generazione l'anno. La soglia di intervento è di 5-8 coleotteri per pianta ai bordi della coltura e 2-3 coleotteri per pianta nella coltura. Il trattamento dev'essere effettuato prima dell'inizio della fioritura.
- *Ceuthorrhynchus assimilis* (punteruolo delle silique): è un coleottero grigio, la sua incidenza varia di anno in anno e gli attacchi più pericolosi si hanno nei luoghi dove la coltura è più affermata. Compare all'inizio della fioritura. Le uova vengono deposte nelle silique che sono poi erose dalle larve. Per nutrirsi distruggono i bottoni fiorali e rodono le giovani silique. Quando non vi è più alimento le larve lasciano il frutto e vanno a ripararsi nel terreno dove passano l'inverno in residui legnosi o sulle siepi. Il livello di guardia del danno è considerato raggiunto quando sono presenti 1-2 coleotteri ogni 2 piante. Le larve distruggono i semi all'interno dei frutti (3-4 frutti in media). (Toniolo e Mosca, 1986).

## **1.2 Metodi di studio degli apparati radicali**

Esistono vari metodi che consentono di studiare gli apparati radicali e si dividono principalmente in due gruppi: metodi conservativi e metodi distruttivi.

### **1.2.1 Metodi conservativi**

I metodi conservativi permettono di osservare lo sviluppo degli apparati radicali direttamente nel terreno attraverso la disposizione in esso di pareti in materiale trasparente in modo da visualizzare le radici che si sviluppano nelle immediate vicinanze. Caratteristica fondamentale di questo tipo di metodi è la possibilità di eseguire in modo continuo le osservazioni, potendo così valutare la velocità di accrescimento delle radici, la dinamica di sviluppo ed il “turnover”.

Rientrano tra i metodi conservativi:

- metodo della finestra
- rizotroni
- minirizotroni

Con il metodo della finestra vengono installati nel suolo dei pannelli trasparenti, le finestre appunto, che permettono l'osservazione degli apparati radicali. Non ha però grande diffusione a causa del fatto che la distribuzione tridimensionale delle radici è schiacciata in un piano verticale, e questo non permette di mettere i dati ottenuti direttamente in relazione con l'accrescimento dell'apparato radicale.

I rizotroni sono delle strutture complesse, composte da pareti trasparenti installate in posizione verticale a ridosso del profilo del terreno, accessibili da un corridoio di dimensioni tali da consentire il passaggio di un uomo in piedi, al quale si affacciano le finestre per l'osservazione del suolo e delle radici.

Le finestre di osservazione sono realizzate in vetro o in materiale acrilico trasparente e se installate sotto il livello del terreno mantengono il più possibile lo stato di “naturalità” del terreno. Possono però essere applicate anche a camere di crescita, costituite da grandi contenitori di forma parallelepipedica riempiti con terreno di riporto. Il metodo del rizotrone è caratterizzato da: uso di grandi masse

di terreno che pongono le piante in condizioni vicine a quelle di campo; controllo simultaneo e non distruttivo della parte aerea e radicale; accesso diretto al sistema radice-suolo con possibilità di eseguire campionamenti; possibilità di collegamento con strumenti di rilevazione e misura posti in luogo riparato.

I rizotroni sono strumenti molto efficaci nel fornire dati descrittivi e quantitativi delle variazioni nel tempo di uno stesso sistema radicale. L'uso dei rizotroni è però limitato dal loro elevato costo e dalla necessità di prestare una continua e dispendiosa manutenzione.

I minirizotroni sono dei tubi di vario diametro e lunghezza realizzati in materiale trasparente (plexiglas o vetro) che vengono inseriti nel terreno in corrispondenza delle piante da analizzare; attraverso l'introduzione periodica in essi di adeguati apparati ottici è possibile l'osservazione delle radici presenti all'interfaccia con il terreno circostante. In questo modo si può effettuare un monitoraggio continuo nel tempo delle porzioni di apparato radicale così individuato. I minirizotroni arrecano un disturbo limitato all'apparato radicale, mantengono una naturalità superiore ai rizotroni, richiedono una minore laboriosità per la messa in opera e hanno costi contenuti.

### **1.2.2 Metodi distruttivi**

I metodi distruttivi comportano la distruzione parziale o in alcuni casi integrale dell'apparato radicale delle piante osservate.

I metodi in generale più utilizzati sono:

- monolito
- pinboard
- profilo di trincea
- core-break
- carotaggio

I primi tre consentono di studiare l'apparato radicale prevalentemente in modo descrittivo, fornendo indicazioni sulla distribuzione spaziale dell'intero apparato radicale. Monolito e pinboard permettono di definire lo sviluppo radicale in tre dimensioni, il profilo di trincea solo in due. Sono caratterizzati da tempi di lavoro

abbastanza lunghi e costi elevati. I metodi del core-break e del carotaggio sono più veloci e consentono la determinazione della densità radicale lungo il profilo di terreno, attraverso il prelievo di campioni (carote) in punti prestabiliti.

Il metodo del monolito consiste nel prelevamento del volume di terreno interessato dall'apparato radicale, si procede poi alla separazione delle radici tramite lavaggio “in situ” o in laboratorio, allontanando il terreno con getti d'acqua in pressione; in questa fase si può verificare una notevole perdita di radici. Non necessita di strumentazioni complesse ma richiede molto tempo e impiego di manodopera e non permette la ripetizione delle osservazioni nel tempo perchè molto distruttivo.

Il metodo del pinboard consiste nell'applicare una tavola chiodata alla parete di una trincea scavata a fianco dell'apparato radicale che si intende analizzare; la tavola viene quindi estratta tirandola verso l'alto, i chiodi infissi nella porzione di terreno permettono di estrarre le radici mantenendole nella posizione originale. L'apparato radicale viene poi lavato con l'acqua per allontanare il terreno, può quindi essere fotografato per analizzare la distribuzione delle radici. Si eseguono poi analisi di tipo quantitativo quali peso secco, diametro e lunghezza delle radici. Sebbene permetta una buona analisi quali-quantitativa dell'apparato radicale analizzato questo metodo richiede un notevole dispendio di tempo e manodopera ed è molto distruttivo. È indicato se si hanno poche tesi da analizzare e piante con apparato radicale non molto espanso.

Il metodo del profilo di trincea prevede lo scavo di una trincea con fronte parallelo alle file di semina o impianto delle radici. Questa dev'essere di dimensioni tali da consentire il movimento di un operatore. Una volta messe in evidenza le radici si procede al loro conteggio e mappatura. Anche questo metodo è molto laborioso, e presenta difficoltà nel distinguere le radici più piccole, causando errori di sottostima nella fase di conteggio e mappatura.

Con il metodo del core-break viene prelevata una carota di terreno e questa viene suddivisa in segmenti di lunghezza variabile (solitamente 10 cm); i singoli campioni così ottenuti vengono quindi spezzati manualmente in due parti all'incirca uguali in modo da mettere in evidenza le radici sulle due superfici di rottura e renderne possibile il conteggio, che avviene ad occhio nudo o con

l'ausilio di lenti di ingrandimento. Questo metodo è caratterizzato dalla semplicità e rapidità di esecuzione, ma i dati possono essere utilizzati solo per fini comparativi. I campioni esaminati possono essere lasciati in campo oppure utilizzati per stimare la densità radicale con i metodi che prevedono la separazione delle radici dal terreno. In questo caso i campioni vanno insacchettati in buste di plastica annotando a quale profilo di terreno corrispondono e conservati in una cella frigorifero a  $-18^{\circ}\text{C}$  fino al lavaggio.

### **1.2.3 Metodo del carotaggio**

Il metodo del carotaggio o “soil-cores” consiste nel prelevare campioni di terreno (carote) utilizzando trivelle manuali o meccaniche. Le carote hanno generalmente lunghezza 1 m e diametro compreso tra 5 e 10 cm; diametri troppo piccoli ( $<2$  cm) possono risultare svantaggiosi nel caso in cui la densità radicale sia bassa, comportando quindi un maggior numero di repliche. La separazione della radici avviene in seguito in laboratorio, mediante lavaggio, provvedendo manualmente alla cernita delle radici vive, eliminando quelle morte e i residui organici.

Sui campioni di radici possono essere misurati parametri quantitativi quali: peso, lunghezza, diametro, area radicale. Grazie alla rapidità e semplicità di campionamento e alla possibilità di studiare anche parcelle di piccole dimensioni senza provocare danni evidenti alla coltura o alla superficie di terreno, risulta il metodo distruttivo più utilizzato. Secondo vari studiosi (Böhm 1979; Opitz van Boberfeld 1972) per ottenere risultati statisticamente validi sarebbero necessarie almeno 5 ripetizioni con carote di diametro 7 cm. Le statistiche degli ultimi 30 anni rilevano che nella maggior parte delle sperimentazioni il numero di ripetizioni effettuate dai ricercatori variava da 3 a 5, con numero di campionamenti per parcella compreso tra 2 e 4, e solo raramente superiore a 5-8. L'impiego del metodo del carotaggio può essere ostacolato dalla presenza di scheletro nel terreno, da terreni troppo coesi che impediscono l'estrazione della carota, o da terreni troppo sabbiosi che rendono impossibile l'ottenimento di una carota integra; uno stato plastico del terreno può determinare il compattamento

del terreno causando variazioni del volume prelevato in base alla profondità.

Le carote di terreno dopo l'estrazione vengono suddivise in subcampioni, generalmente della lunghezza di 10 cm, insacchettati registrando la profondità a cui si riferiscono e conservati in congelatore fino al momento del lavaggio, solitamente a temperature comprese tra -15 e -20°C. In alcuni casi viene effettuata l'essiccazione dei campioni all'aria o in stufa, questo procedimento sebbene sia più economico non permette alle radici di mantenere il colore originario e le rende più facilmente confondibili con residui organici o radici morte.

La separazione delle radici dal terreno avviene tramite lavaggio in acqua, i campioni congelati devono essere immersi il giorno prima in una soluzione acquosa contenente acido ossalico, per facilitarne lo scongelamento e la separazione degli aggregati strutturali. Il lavaggio può essere interamente manuale, utilizzando getti d'acqua e setacci a maglie di diverse dimensioni, oppure può essere parzialmente automatizzato come nel metodo di "flottazione". In questo caso si sfrutta l'energia cinetica dell'acqua contenente radici e terreno che, fatta circolare velocemente dissolve il terreno in particelle abbastanza fini da attraversare un setaccio, lasciando invece impigliate le radici. L'efficacia di questi sistemi e il tempo richiesto per la separazione delle radici varia in funzione della composizione granulometrica, della struttura del terreno e del tenore di materia organica.

Una volta terminato il lavaggio si effettuano le operazioni di pulizia allo scopo di separare le radici vive da quelle morte e dai residui organici. Le radici raccolte vengono quindi conservate in una soluzione al 15-25% di alcool e tenute a basse temperature. Il parametro di misurazione più spesso preso in considerazione è la lunghezza delle radici, che essendo in relazione con la capacità di colonizzazione del suolo, lo rende un indice fisiologico correlato alla capacità di assorbimento dell'acqua e degli elementi nutritivi. La lunghezza radicale viene generalmente riferita all'unità di volume di terreno come densità di lunghezza radicale (RLD, Root Length Density) che corrisponde a cm di lunghezza delle radici su cm<sup>3</sup> di terreno.

Uno dei problemi del metodo del carotaggio è che durante il lavaggio alcune

radici di piccole dimensioni possono andare perse; per questo motivo si tendono ad utilizzare setacci a maglie molto fini,  $0.5 \text{ mm}^2$  (Böhm 1979). In questo modo si riescono a recuperare radici molto sottili, ma aumenta la quantità di materiale organico indesiderato trattenuto dai setacci. La pulizia delle radici da materiali estranei (sabbia, residui colturali, semi e spoglie di insetti) è un'operazione molto onerosa in termini di tempo. Oggi ci si avvale di programmi di analisi di immagine che permettono di discriminare in fase di acquisizione delle immagini, le radici dalla maggior parte del materiale indesiderato, sulla base di parametri morfologici quali colore, forma e dimensione rendendo le operazioni di pulizia molto più veloci.

### **1.3 Analisi Radicale**

Per far sì che queste metodiche funzionino è necessario che le immagini acquisite siano di una certa qualità e devono quindi essere utilizzate telecamere o scanner che abbiano una risoluzione radiometrica (massimo numero di livelli di grigio) e spaziale (massimo numero di pixel per unità di superficie) sufficiente.

Una risoluzione radiometrica pari a 256 (immagini a 8 bit) sembra essere adeguata, mentre la risoluzione spaziale, che determina la massima dimensione dell'immagine acquisita dalla strumentazione, dev'essere tale da consentire la rilevazione delle radici con il più piccolo diametro.

La risoluzione delle attuali telecamere è normalmente pari a  $500 \times 700$  pixel, ma nei modelli più sofisticati può arrivare fino a  $5000 \times 5000$ .

Per gli scanner la risoluzione spaziale viene misurata in DPI (Dots per inch, punti per pollice). Sono soliti valori di 600 DPI, pari a 236 pixel per cm. Sono disponibili scanner che arrivano fino a 1200 DPI, ma richiedono tempi di acquisizione molto lunghi, che ne limitano l'utilizzo.

È stato accertato che gran parte della lunghezza radicale in diverse specie erbacee è dovuta a radici sottili che possiedono un diametro compreso tra 100 e 200  $\mu\text{m}$ , la risoluzione dev'essere quindi tale da riuscire a identificare anche le radici dal diametro minore.

L'acquisizione delle immagini si effettua dopo aver disposto accuratamente le

radici su di un vassoio, e averle eventualmente colorate con sostanze che ne aumentino il contrasto con la superficie di acquisizione.

Le immagini possono essere archiviate in file di diverso formato, in funzione delle procedure di acquisizione e del programma di analisi disponibile; il formato più largamente utilizzato è il TIFF (Tagged Image File Format).

L'archiviazione delle immagini richiede un notevole utilizzo di spazio sul disco rigido, un'immagine A4 ottenuta da uno scanner con risoluzione di 600 DPI necessita di uno spazio di memoria di 4,2 Mb se monocromatica (1 bit) e 34 Mb con 256 livelli di grigio (8 bit).

Le procedure di analisi di immagini possono risultare più o meno complesse ed efficaci a seconda dei parametri morfologici presi in considerazione e delle caratteristiche di pulizia del campione. Per campioni poco inquinati e per misurare esclusivamente la lunghezza sono sufficienti tecniche di identificazione su base cromatica denominate “thresholding” (sfogliatura). Queste tecniche consentono partendo dall'immagine originale di produrne una binaria nella quale tutti i livelli di grigio appartenenti ad un certo intervallo, che identifica la maggior parte o tutte le radici, o a più intervalli (sfogliatura multipla), vengono convertiti in un unico valore (generalmente bianco); i livelli di grigio al di fuori dell'intervallo specificato vengono convertiti in un altro colore (generalmente nero) dando origine ad una immagine monocromatica.

Per discriminare le radici dagli oggetti indesiderati si sfrutta poi il fatto che queste si presentano come elementi affusolati con un asse che prevale di gran lunga sull'altro. Alcuni autori hanno ottenuto misure accurate impostando valori del rapporto lunghezza/larghezza maggiori di 4:1 (Smucker et al.,1987) o di 15:1 (Dowdy et al.,1995); in questo modo tutti gli oggetti che hanno rapporti lunghezza/larghezza minori (oggetti estranei) vengono eliminati.

Oggi esistono sistemi che identificano i singoli oggetti (radici o particelle estranee) e ne misurano le caratteristiche morfologiche individuali (lunghezza, diametro,area). In questo caso un oggetto sarà identificato come unità singola quando è possibile collegare un insieme di pixel senza passare attraverso i pixel del background. Il parametro maggiormente preso in considerazione è la lunghezza e per calcolarla si utilizzano principalmente due metodi:

- può essere assimilata all'emiperimetro delle radici (Dowdy et al. 1995) incorrendo però in una certa sovrastima;
- si considera la lunghezza dei segmenti dello spessore di un pixel (scheletri) nei quali le radici vengono trasformate dagli algoritmi di “skeletonizzazione” (Smit et al. 1994). Questa operazione prevede l'erosione di pixel esterni, ma non di quelli delle estremità, e consente di determinare sia la lunghezza che il numero delle ramificazioni delle radici. Se il sistema non è tarato per fornire direttamente le misure di lunghezza non è corretto riportare i valori espressi in numero di pixel per la risoluzione dell'immagine (pixel per cm) poiché solo una parte delle radici è disposta esattamente in orizzontale o in verticale. Per quantificare la lunghezza delle radici che non sono disposte secondo gli assi cartesiani sono stati proposti degli indici di correzione.

Lebowitz (1988) prevede di moltiplicare per 1,41 la lunghezza delle radici disposte diagonalmente e per 1 quella delle radici disposte secondo gli assi.

Smit et al. (1994) ritengono invece che la lunghezza di un campione di radici disposto casualmente può essere ottenuta dividendo il numero di pixel per la risoluzione e moltiplicando per un unico fattore di correzione pari a 1,12.

Si possono verificare problemi per la sovrapposizione tra le radici, che determina una sottostima della lunghezza, bisogna quindi prestare molta attenzione nella disposizione delle radici diminuendo eventualmente la loro densità sulla superficie di scansione.

Per calcolare la superficie complessiva, considerando che la forma della radice sia cilindrica, si moltiplica l'area (proiezione bidimensionale) per  $\pi$  (Tagliavini et al. 1993)

Il diametro della singola radice e il diametro medio di un campione si ottengono invece dal rapporto tra l'area e la lunghezza, rispettivamente, del singolo segmento o dell'intero campione.

## **2. SCOPO DEL LAVORO**

In un'epoca in cui si è sempre più attenti all'inquinamento ambientale derivante anche dall'agricoltura la gestione della concimazione azotata riveste sicuramente un ruolo chiave in questo ambito. La possibilità di una coltura di adattarsi anche a bassi input azotati ne incentiva l'introduzione nelle rotazioni in un'ottica di agricoltura sostenibile.

Lo scopo del lavoro è quello di studiare come una cultivar di colza invernale da olio reagisca a due diverse concimazioni azotate in copertura. In particolare è stato scelto un ibrido di tipo semi-dwarf, dallo sviluppo contenuto, che in ragione appunto di questa caratteristica dovrebbe permettere di limitare la concimazione azotata senza ricadute negative sulla resa. Lo studio si concentra soprattutto sulla geometria dell'apparato radicale, per valutare gli effetti che una riduzione della concimazione azotata può avere avuto, mettendo in luce le eventuali differenze morfologiche che possono essersi palesate in una coltura sottoposta a dosi crescenti di azoto.

### 3. MATERIALI E METODI

La prova oggetto di studio è stata allestita presso l'Azienda Agraria sperimentale "L.Toniolo" dell'Università degli studi di Padova, sita nel comune di Legnaro.

L'appezzamento su cui si sono svolte le prove presenta un terreno di tipo alluvionale, profondo, di medio impasto, con un ottimo contenuto in sostanza organica (S.O.), con una media capacità di scambio cationico (C.S.C.) ed un pH leggermente basico (Tabella 5).

Elemento	Risultati delle Analisi
Sabbia	11,6%
Limo	66,3%
Argilla	22,2%
Classe di Tessitura	Franco-Limoso (FL)
Sostanza Organica	2,93
pH	7,91
CSC	13,68 ppm
C/N	14,42
Azoto Totale (N)	0,12%
Fosforo Assimilabile	16,5 ppm
Fosforo Totale (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	695,71 ppm
Potassio Assimilabile (K <sub>2</sub> O)	204,2 ppm
Solfati	965 ppm
Zolfo (S)	204,2 ppm

*Tabella 5. Analisi Chimico-Fisiche del Terreno.*

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, che teme il ristagno idrico.

La falda freatica è mediamente superficiale e si attesta ad una profondità di 1-1,5 metri.

### **3.1 Protocollo sperimentale**

La sperimentazione prevedeva la coltivazione di una varietà di colza invernale da olio, tipo “00”, sottoposta a livelli crescenti di concimazione azotata in copertura. La cultivar utilizzata è l'ibrido commerciale PR45D01, della ditta sementiera Pioneer. È un ibrido semi-nano (semi-dwarf), caratterizzato da un ciclo medio e idoneo per le semine più anticipate. La taglia contenuta lo dovrebbe rendere particolarmente resistente all'allettamento. Ha una maturazione molto uniforme, con una rapidissima perdita finale di umidità. È tollerante alle principali malattie fungine (*Phoma* e *Cylindrosporiosi*) e il tenore in glucosinolati è inferiore a 12 micromoli.

La coltivazione si è svolta in pieno campo, in successione a frumento, entro parcelle larghe 18,9 m e lunghe 150 m. La semina è stata effettuata in data 25/9/2007, con una seminatrice pneumatica di precisione da bietola (Monosem modello NG) a sei file, dotata di dischi da colza a 120 fori (diam. 1.2 mm) e con interfila di 45 cm. Sono stati effettuati 7 passaggi di semina per parcella, da cui risultano i 18,9 m di larghezza della stessa. I semi sono stati disposti a 2,5 cm di distanza sulla fila, ottenendo così una densità di semina pari a 88 semi/m<sup>2</sup>. Prima di effettuare la semina, sono state effettuate sul terreno le operazioni di ripuntatura, discatura, e erpicatura con erpice rotante per la preparazione del letto di semina.

Tutte le parcelle hanno ricevuto la stessa concimazione in presemina, questa consisteva in 4 q/ha di un concime ternario 8-24-24 NPK.

In data 29/10/2007 per contrastare le erbe infestanti è stata eseguita una sarchiatura dell'interfilare .

Per quanto riguarda la concimazione azotata in copertura la parcella è stata suddivisa (splittata) in tre aree, con larghezza 18,9 m e lunghezza 47 m, ognuna delle quali ha ricevuto una quantità di azoto differente (Figura 1). L'azoto è stato apportato sotto forma di solfato ammonico (N = 20,5%), la distribuzione è avvenuta in data 15/02/08.

L'area A ha ricevuto in copertura 0 unità di azoto

L'area B ha ricevuto una dose di azoto calcolata con il metodo della “reglette azote”, imponendo come obiettivo una resa di 40 q/ha, e arrotondando il valori

dei pesi freschi ottenuti dal campionamento effettuato in data 28/01 al valore più prossimo sulla tabella di riferimento. La dose da distribuire è stata quantificata in 70 unità di azoto per ettaro.

L'area C ha ricevuto una concimazione con azoto in eccesso, e sono state apportate 100 unità di azoto per ettaro.

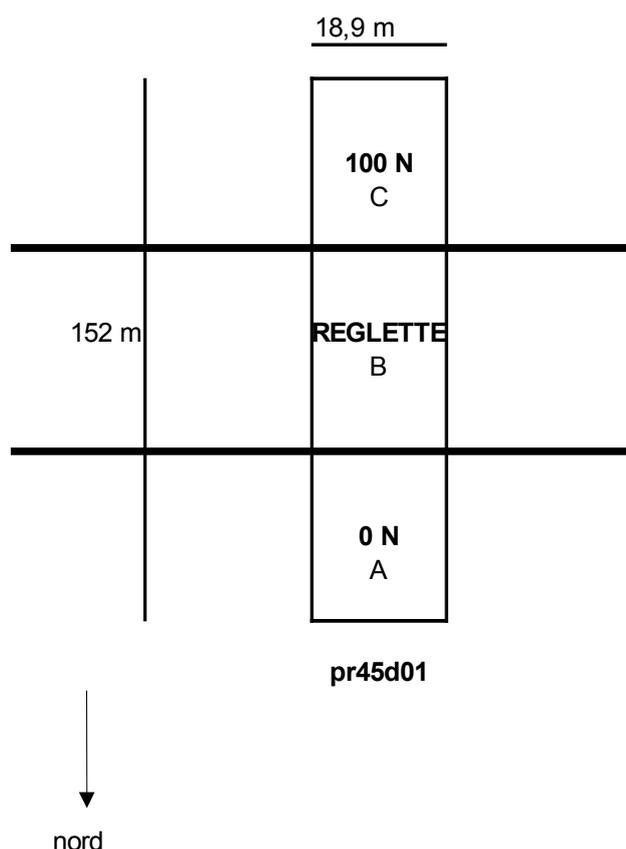


Figura 1. Suddivisione delle aree.

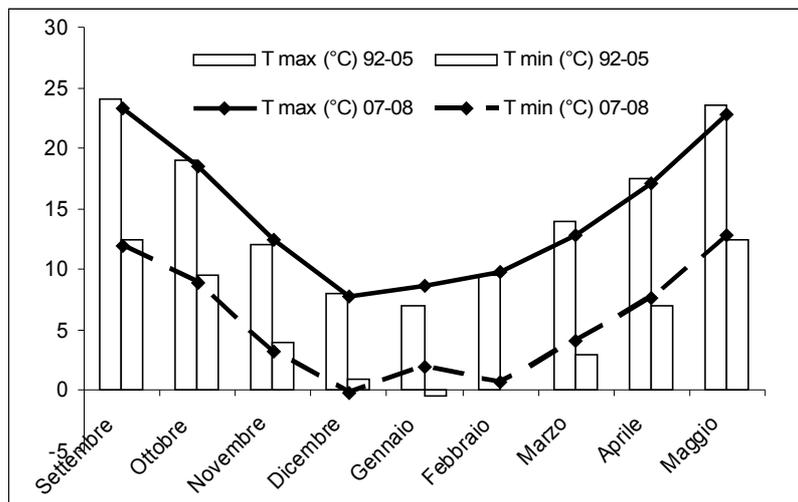
La raccolta è stata effettuata il giorno 20/06/08 utilizzando una mietitrebbiatrice CLAAS modello LEXION 600, equipaggiata con apposita barra con kit per raccolto del colza.

Al fine di poter avere delle repliche per poter eseguire delle analisi statistiche dei dati, all'interno di ogni tesi di concimazione sono state identificate tre aree di saggio della superficie di 8 m<sup>2</sup> nelle quali la raccolta è avvenuta manualmente, alcuni giorni prima della mietitrebbiatura. I campioni così ottenuti sono stati trebbiati in un secondo momento, utilizzando una mietitrebbiatrice parcellare.

### 3.2 Andamento climatico

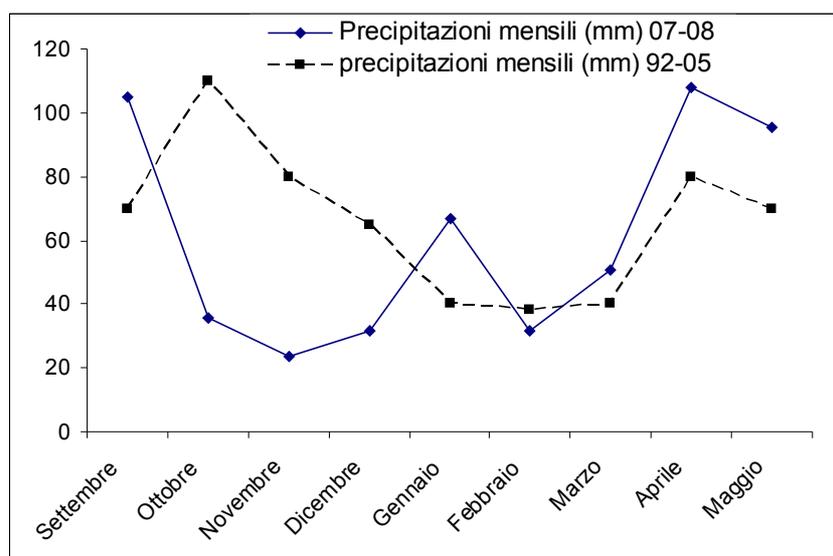
L'andamento climatico dell'annata agraria di studio è risultato abbastanza simile alle medie ventennali del comune di Legnaro.

Considerando la temperatura (Grafico 1) si nota come le temperature massime si siano mantenute intorno ai valori medi ad eccezione di un aumento di alcuni gradi riscontrato nel mese di gennaio e una temperatura leggermente inferiore alla media nei mesi di marzo e maggio. Facendo riferimento invece alle temperature minime si nota dal grafico come le temperature dell'annata 2007-2008 risultino leggermente inferiori alle medie fino a dicembre, poi anche in questo caso a gennaio si sono avute temperature superiori, per proseguire con valori vicini alla media.



*Grafico 1. Temperature minime e massime dell'annata agraria 2007-2008 con riferimento principale al periodo 92-05. Dati Arpav.*

Considerando la piovosità (Grafico 2), si notano invece delle notevoli differenze con le medie quindicennali. In settembre le precipitazioni sono state superiori alla media, per poi rimanere abbondantemente sotto ad essa nei tre mesi successivi. Gennaio ha visto nuovamente una piovosità superiore alla media. febbraio e marzo hanno evidenziato precipitazioni in linea con la media di riferimento, mentre nei mesi di aprile e maggio le precipitazioni si sono rivelate più abbondanti.



*Grafico 2. Piovosità stagionale (mm) dell'annata agraria 2007-2008 con riferimento al periodo '92-'05. Dati Arpav.*

L'annata agraria può considerarsi positiva sia per le temperature, in quanto non ci sono state gelate tali da compromettere la coltura, sia per la piovosità in quanto non si sono evidenziati problemi di ristagno durante il periodo invernale e la coltura non ha subito stress idrici rilevanti in fase di maturazione della granella.

### **3.3 Rilievi in campo e determinazione del contenuto in N con il metodo Kjeldahl**

Nel periodo di sviluppo vegetativo delle piante si è voluto monitorare il loro contenuto di azoto, per questo motivo sono stati effettuati dei prelievi di biomassa. I campionamenti sono stati eseguiti a cadenza settimanale, a partire dal 30 aprile (fine levata, inizio fioritura) fino al 22 maggio 2008 (inizio formazione semi all'interno delle silique). Sono stati effettuati selezionando casualmente una fila di semina sulla testata di ogni parcella, effettuando due rilievi per ogni parcella, per un totale di 24 campionamenti. Per il campionamento si sono sempre usate le stesse file. Avendo cura di ribaltare a terra le prime 3-4 piante, si procedeva disponendo una stecca di un metro di lunghezza in prossimità della prima pianta in piedi. A questo punto le piante presenti sul metro lineare venivano contate, tagliate al colletto, portate fuori dalla parcella e disposte in

cassette con relative etichette identificatrici.

Portati in azienda questi campioni venivano pesati freschi e messi a essiccare in stufa a 105° C per 48 ore, tale matrice secca veniva quindi macinata e mandata in laboratorio per effettuare le analisi con metodo Kjeldahl. Il protocollo di analisi prevede innanzitutto la pesata di un campione di materiale vegetale, precedentemente sminuzzato, di circa un grammo. Il campione viene posto in un provettone con una pastiglia di “*Kieltabs*” e 20 ml di acido solforico concentrato. I provettoni vengono quindi posti nel digestore che, grazie alla presenza dell’acido e del calore (450°C per due ore), promuove la digestione dell’azoto dalla forma organica a quella ammoniacale. Una volta che i campioni si sono raffreddati, vengono 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 ci consente di leggere direttamente la percentuale di azoto del campione.

### **3.4 Carotaggio**

In data 08/05/2008, in fase di piena fioritura, è stato eseguito il prelievo degli apparati radicali applicando il metodo del carotaggio. È stato utilizzato un carotiere della lunghezza di 1m, e di diametro 7 cm, questo prevede la presenza di un cilindro esterno con il bordo inferiore affilato, in modo da penetrare più agevolmente il terreno, e di un cilindro interno di alluminio, diviso in senso longitudinale in due parti uguali separabili; il sistema facilita notevolmente la rimozione della carota dal cilindro (Figura 2).



*Figura 2. Carotiere dall'esterno e semi-cilindro interno con campione di terreno.*

Il carotiere è stato inserito nel terreno a lato della pianta da due operatori, avvalendosi di un martello pneumatico. Per l'estrazione è stato necessario l'utilizzo di un paranco collegato all'attacco a tre punti di un trattore. Sono stati eseguiti 6 carotaggi su ogni area, per un totale di 18 carote.

Una volta estratta, la carota è stata suddivisa in 10 campioni della lunghezza di 10 cm ciascuno. I campioni così ottenuti sono quindi stati depositi in sacchetti di plastica sui quali veniva annotata con pennarelli indelebili la profondità di riferimento e conservati in congelatore alla temperatura di  $-18^{\circ}\text{C}$  in attesa del lavaggio. (Figura 3)



*Figura 3. Suddivisione in campioni e insacchettamento.*

### 3.5 Lavaggio

La separazione delle radici dal terreno è stata eseguita in un secondo momento. I campioni venivano estratti dal congelatore la sera prima rispetto al giorno in cui sarebbe stato effettuato il lavaggio e immersi in una soluzione contenente acqua e acido ossalico (15%) per facilitare il loro scongelamento e la separazione degli aggregati strutturali.

Il lavaggio è stato effettuato seguendo il metodo della flottazione (Chaon e Morton, 1961). I campioni vengono rovesciati in delle speciali centrifughe nelle quali l'acqua, girando vorticosamente, permette lo sgretolamento del terreno in particelle molto fini e la separazione delle radici da esso. L'acqua contenente particelle di terreno, radici e altro materiale organico estraneo esce da un'apposita apertura situata nel centro della centrifuga e va a rovesciarsi su di un setaccio. Questo setaccio è dotato di maglie che posseggono un diametro tale che permette di lasciar passare le particelle di terreno, ma di trattenere le radici, anche le più sottili, e altri detriti organici (Figura 4).



*Figura 4. Centrifuga in funzione durante il lavaggio dei campioni*

Affinché tutto il terreno del campione venga disgregato e le particelle vengano allontanate è richiesto mediamente un tempo di 20 minuti. Dopo questo tempo l'acqua all'interno della centrifuga si presenta abbastanza limpida, viene quindi interrotto il lavaggio, e l'acqua ancora presente viene svuotata nel setaccio. A

questo punto il contenuto del setaccio viene rovesciato in un vassoio aiutandosi nell'operazione con un leggero getto d'acqua in modo che non resti niente impigliato nelle maglie.(Figura 5)



*Figura 5. Fasi di svuotamento della centrifuga e del setaccio.*

Nel vassoio si trovano ora le radici e materiale organico indesiderato (residui colturali, semi di infestanti, piccoli invertebrati) immersi in un sottile strato d'acqua. Si procede quindi alla loro selezione; questa avviene manualmente servendosi di pinzette metalliche e aiutandosi, dopo aver allontanato la maggior parte del materiale estraneo, con dei piccoli colini (Figura 6).



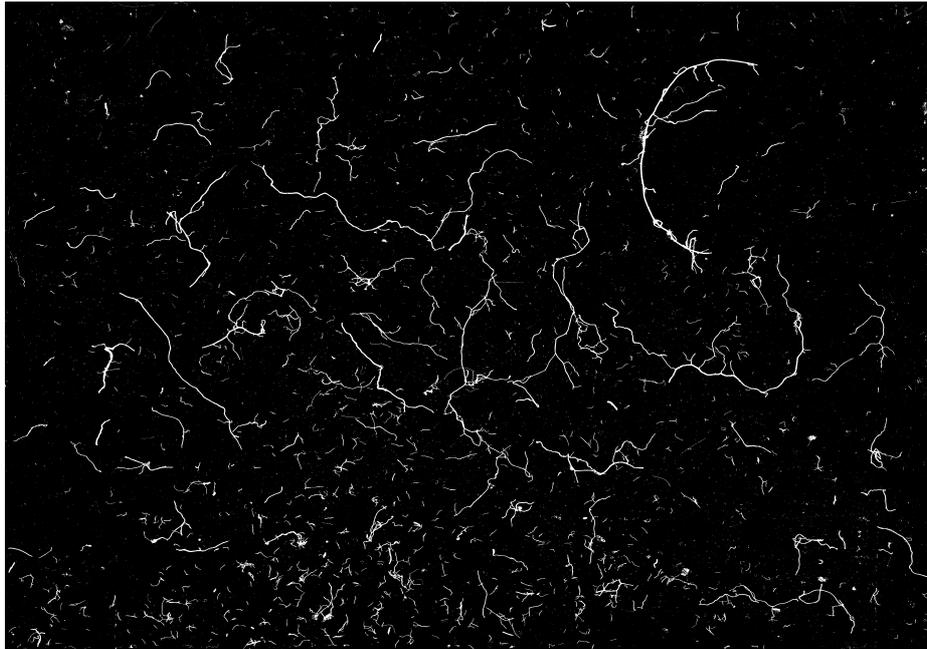
*Figura 6. Raccolta delle radici con un colino*

Le radici prelevate dal vassoio vengono depositate in vasetti di plastica dalla capienza di 25 ml contenenti una soluzione di alcool etilico al 12% che verranno poi chiusi con dei coperchi. Le radici verranno conservate a basse temperature (+4°C) fino al momento dell'acquisizione.

### **3.6 Acquisizione delle radici**

Il lavoro di acquisizione delle radici si è svolto in laboratorio e consisteva nell'effettuare fotografie informatizzate dei singoli campioni, in modo da poterne gestire l'analisi in maniera rapida e agevole utilizzando appositi programmi per computer. Le radici estratte dai vasetti venivano prima sciacquate con acqua, in modo da eliminare la presenza di alcool, e poi adagiate su di un vassoio in plexiglas di forma rettangolare (20,5 x 30,7 cm) con sponde rialzate, posizionato sopra uno scanner. La superficie del vassoio veniva quindi ricoperta di un sottile strato d'acqua in modo da rendere più agevoli le operazioni di separazione delle radici, che tendono ad aggrovigliarsi, e la loro sistemazione. Le radici devono essere disposte in modo tale che non si verificano contatti o sovrapposizioni tra esse o con impurità eventualmente presenti. Durante l'acquisizione dei campioni più superficiali, con elevata concentrazione di radici, per disporle correttamente è stato necessario utilizzare più vassoi per lo stesso campione, lavorando quindi con quantità minori di radici per vassoio. I dati dei diversi vassoi verranno poi sommati e riferiti ad un unico campione. Le radici venivano disposte anche in questo caso con l'ausilio di pinzette. Le radici non devono essere sistemate in vicinanza dei bordi del vassoio, in quelle zone infatti si possono verificare problemi di acquisizione dovuti ad una non perfetta schermatura dello scanner alla fuga di luce emessa dal sensore. I margini presenteranno degli aloni che impediscono il corretto funzionamento dei programmi di analisi e devono quindi essere eliminati o al momento dell'acquisizione o in una fase di controllo successiva eseguita al termine dell'acquisizione di tutti i campioni.

La scansione veniva effettuata utilizzando uno scanner modello EPSON 500n, l'immagine risultante si presentava in bianco e nero. È stata impostata una risoluzione dell'immagine pari a 400 DPI, in modo da consentire una definizione sufficiente a identificare anche i piccoli dettagli e di eseguire l'acquisizione in tempi brevi. Sono stati poi impostati valori di Threshold pari a 240, il che consente di identificare tutte le radici presenti, anche le più sottili, e di eliminare piccole impurità convertendole nel colore dello sfondo. Le immagini vengono salvate in formato TIFF (Tagged Image Format File), (Figura 7).



*Figura 7. Immagine acquisita con lo scanner.*

Per l'elaborazione dei dati ci si è avvalsi del software di analisi d'immagine KS 300 Rel. 3.0 (Karl Zeiss Vision GmbH, München – Germania). Tale software opera una macro (funzione esterna) che lavora sulla sequenza di immagini acquisite, associandole numericamente al campione di riferimento e permettendo di distinguere all'interno di esse gli oggetti con parametri tali da poter essere identificati come radici. Per considerare gli oggetti digitali come “oggetti utili”, cioè come “radici” o residui di vario tipo, questi dovevano avere area maggiore di 25 pixel. Oggetti con area inferiore non venivano considerati.

Per distinguere le radici dalle altre impurità viene utilizzato l'EI (Indice di allungamento). L'EI è dato dal rapporto tra il perimetro al quadrato e l'area:

$$EI = \frac{\text{perimetro}^2}{\text{Area}}$$

Quando tale rapporto è maggiore o uguale a 60 l'oggetto viene identificato come radice. Con valori inferiori ( $EI < 60$ ) l'oggetto viene riconosciuto come impurità e quindi scartato. L'indice di allungamento è il reciproco dell'indice di sfericità.

Per calcolare la lunghezza delle radici si sono applicati due metodi differenti.

Il primo consiste nel trovare un algoritmo per misurare la lunghezza delle radici; si attua attraverso il calcolo della FBL (Fibrelength) e permette di calcolare la

lunghezza delle radici a partire dal perimetro e dall'area. È stata applicata una formula ottimizzata da Vamerli et al. nel 2003:

$$\text{FIBRELENGTH}_{\text{MODIFICATO}} = \frac{1}{4} \left( \text{PERIMETRO} + \sqrt{\text{PERIMETRO}^2 - 16\text{AREA}} \right)$$

Il secondo metodo prevede l'erosione dei pixel esterni, ma non di quelli delle estremità, che compongono una radice. In questo modo si ottiene una radice composta da una sola fila di pixel e quindi l'area della radice, ovvero il numero di pixel che la compongono, ci dà il valore della sua lunghezza. Così facendo i valori ottenuti sarebbero corretti solo se tutte le radici fossero disposte orizzontalmente o verticalmente, cosa nella realtà impossibile da realizzarsi. Quindi, per quantificare anche la lunghezza delle radici che non sono disposte secondo gli assi cartesiani è stato utilizzato un indice di correzione, proposto da Smit et al. (1994), che prevede di moltiplicare l'area di tutti gli scheletri per 1,12. I valori della lunghezza radicale così ottenuti si possono ora mettere in relazione con il volume di terreno considerato dal campione, calcolando in questo modo i valori di densità radicale, RLD (Root Length Density) espressi in cm di lunghezza delle radici su cm<sup>3</sup> di terreno. Per calcolare invece il diametro radicale è stato sufficiente dividere l'area delle radici per la loro lunghezza.

## 4. RISULTATI E DISCUSSIONE

Per valutare gli effetti di due diverse tesi di concimazione azotata sullo sviluppo dell'apparato radicale sono stati presi in considerazione i valori di RLD (Root Length Density) che indicano i valori di lunghezza radicale nell'unità di volume, e il diametro radicale. I dati ottenuti dall'analisi radicale sono stati poi correlati ai dati di accumulo di biomassa e di N nella pianta e alla resa ottenuta dalle due tesi.

### 4.1 Apparato radicale

Il grafico 1 mette in evidenza i valori di RLD ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) per i diversi livelli di profondità. Questi valori sono stati ottenuti come media dei valori di 6 repliche per ciascuna tesi.

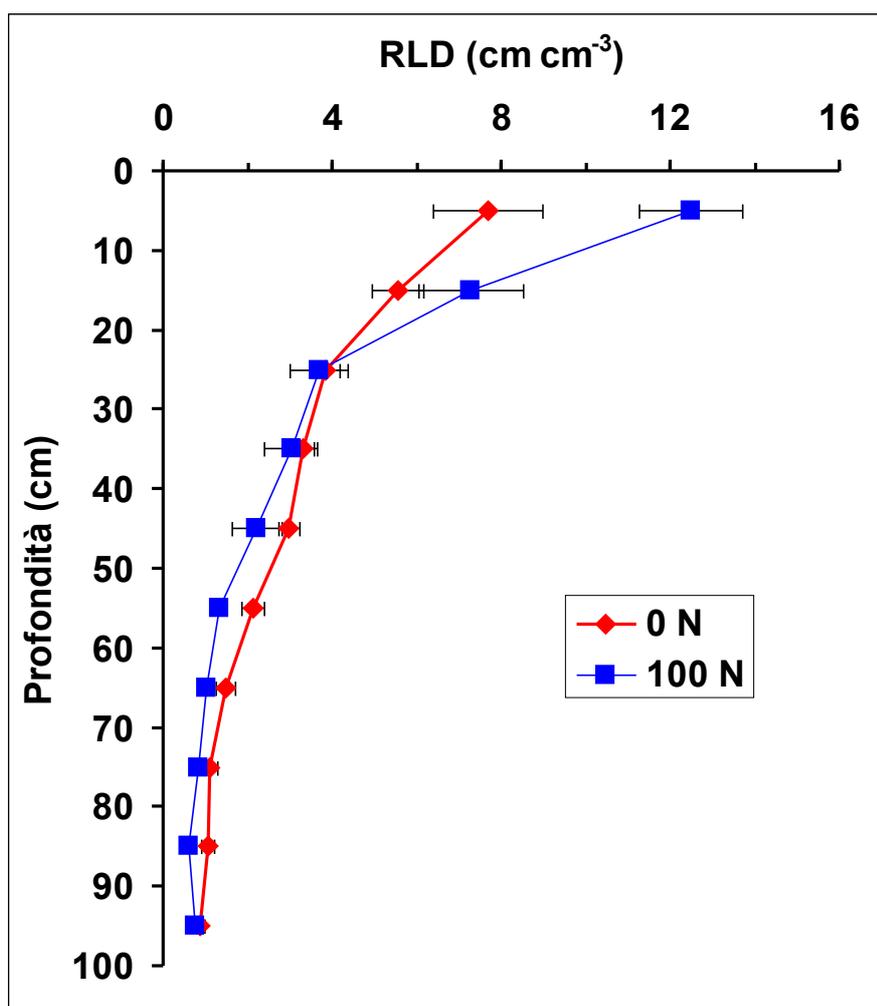


Grafico 1. RLD riferita alla profondità a confronto tra le due tesi.

Si può osservare come nei primi strati di terreno, con profondità fino a 20 cm i valori di RLD della tesi che ha ricevuto 100 unità di azoto siano superiori alla tesi che non ha ricevuto azoto in copertura. Precisamente  $12,5 \text{ cm/cm}^3$  e  $7,3 \text{ cm/cm}^3$  rispettivamente a 5 e a 15 cm di profondità per quanto riguarda la tesi 100 N mentre per la tesi 0 N i valori di RLD alle stesse profondità sono risultati rispettivamente di  $7,7$  e  $5,6 \text{ cm cm}^{-3}$ . Vi è poi un'inversione di tendenza a partire da 30 cm di profondità con valori più elevati di RLD, seppur di poco, nella tesi non concimata.

È stata quindi effettuata un'analisi della varianza, considerando significativi solo i casi che presentavano valori di  $P \leq 0,05$ . Possiamo da ciò rilevare che: prendendo in considerazione come fattore principale la sola concimazione, le variazioni di RLD non sono risultate significative, avendo valori di  $P = 0,21$ , anche se nella fattispecie ci sono buone probabilità che la concimazione azotata sia responsabile di queste variazioni. Considerando come effetto principale la profondità di campionamento le variazioni di RLD sono risultate significative con valore di  $P = 0,00$ . Prendendo in considerazione l'interazione tra i due fattori, concimazione e profondità, le variazioni che si riscontrano nei valori di RLD sono significative ( $P = 0,001$ ).

Nel grafico 2 si possono osservare i valori di RLD ottenuti dalle diverse repliche della tesi con concimazione 0 N alle diverse profondità dei campioni considerati.

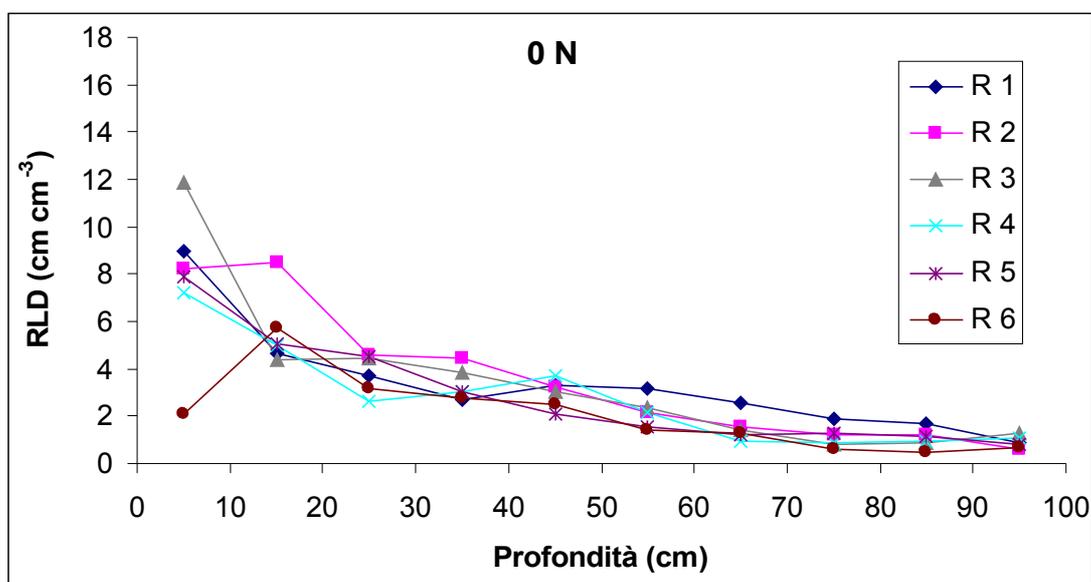


Grafico 2. RLD riferita alla profondità. Valori delle singole repliche in 0N.

Osservando il grafico si può notare come i valori di RLD alle diverse profondità, abbiano un andamento che, pur essendo decrescente con l'aumentare della profondità, non subisce variazioni considerevoli, delineando un apparato radicale ben distribuito a tutti i livelli. La minor disponibilità di azoto ha spinto quindi la pianta a cercarne, aumentando la zona di terreno esplorato.

Nel grafico 3 invece i valori di RLD alle diverse profondità sono quelli delle 6 diverse repliche della tesi con concimazione 100 N.

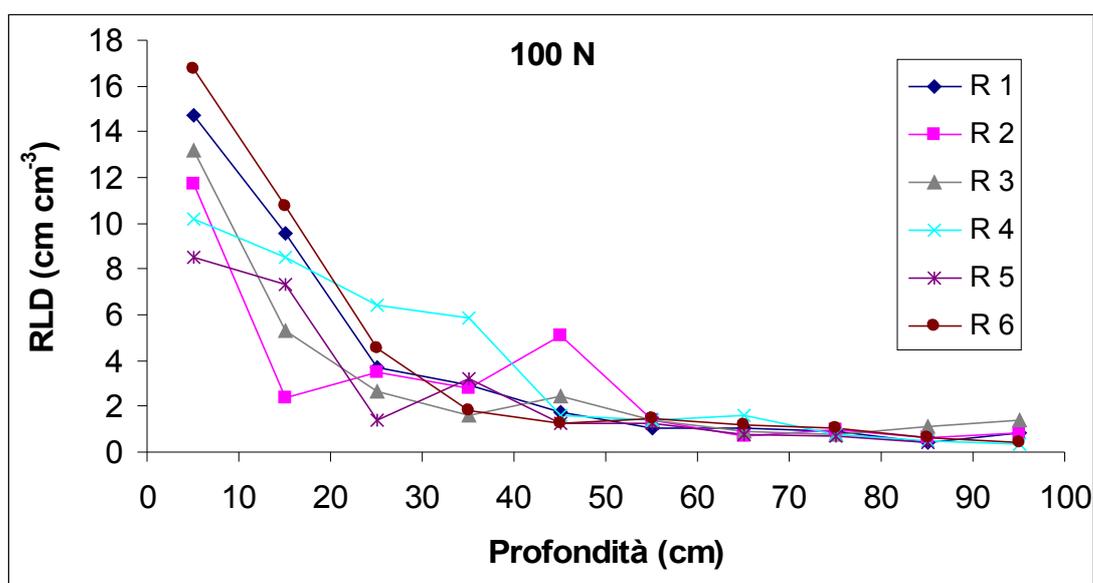


Grafico 3. RLD riferita alla profondità. Valori delle singole repliche in 100 N.

In questo grafico invece emerge come nei primi 20-30 cm i valori di RLD siano molto elevati, con anche considerevoli differenze tra le varie repliche, per poi attestarsi su valori molto bassi sotto i 40 cm di profondità. In questo caso la distribuzione delle radici è meno uniforme in quanto lo sviluppo radicale si è concentrato nella zona dove c'era probabilmente maggiore disponibilità di azoto per aumentarne l'efficienza di assorbimento.

Per poter analizzare meglio le differenze di densità radicale alle diverse profondità sono stati considerati degli orizzonti più ampi, con intervalli di 30 cm ciascuno. È stata quindi eseguita anche in questo caso un'analisi della varianza da cui è emerso che considerando come effetto principale la sola concimazione azotata le differenze tra le due tesi non sono risultate significative mentre

considerando come effetto principale la profondità, con intervallo di 30 cm, le differenze sono significative.

Se quindi consideriamo l'interazione tra i due fattori sono emerse in questo caso delle differenze di tipo significativo ( $P \leq 0,05$ ) Grafico 4.

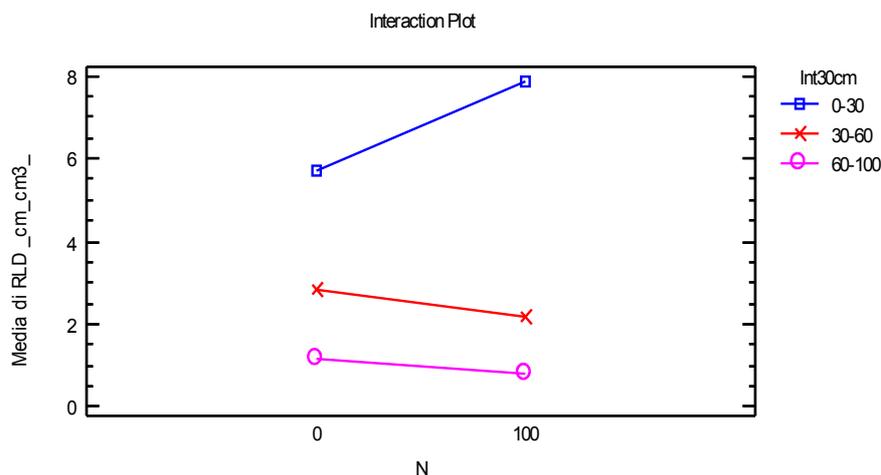


Grafico 4. Interazione tra concimazione e tre fasce di profondità.

È possibile osservare come con le due differenti concimazioni i valori di RLD subiscono variazioni diverse a seconda della profondità. Se l'interazione tra azoto distribuito e profondità fosse uguale a tutti i livelli le semirette sarebbero parallele tra loro. In particolare è possibile notare come nell'orizzonte più superficiale i valori di RLD più elevati siano associati alla tesi di concimazione 100 N, mentre negli orizzonti più profondi ci sia una risposta inversa.

Nel grafico seguente (Grafico 5) l'orizzonte di terreno considerato è stato suddiviso in due sub-orizzonti da 50 cm ciascuno.

Si può notare come la tesi con concimazione 100 N abbia nella prima fascia di profondità valori di RLD significativamente superiori alla tesi 0 N. Passando più in profondità i valori di entrambe le tesi diminuiscono ma in quella con concimazione azotata in eccesso ciò avviene in maniera più importante. Infatti nella seconda fascia considerata i valori di densità radicale della tesi 100 N sono minori rispetto alla tesi 0 N.

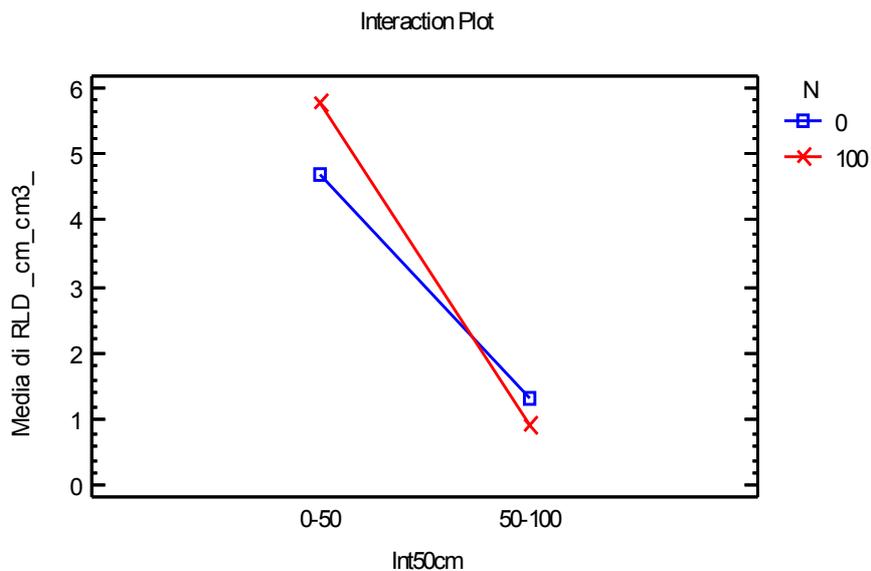


Grafico 5. Interazione tra concimazione e 2 fasce di profondità.

Anche in questo caso considerando l'effetto principale profondità, questo è risultato significativo mentre l'effetto principale concimazione azotata no, sebbene il valore di  $P = 0,2836$ . L'interazione tra concimazione e profondità è anche in questo caso risultata significativa.

In quest'altro grafico viene presa in considerazione la distribuzione percentuale della RLD alle diverse profondità (Grafico 6).

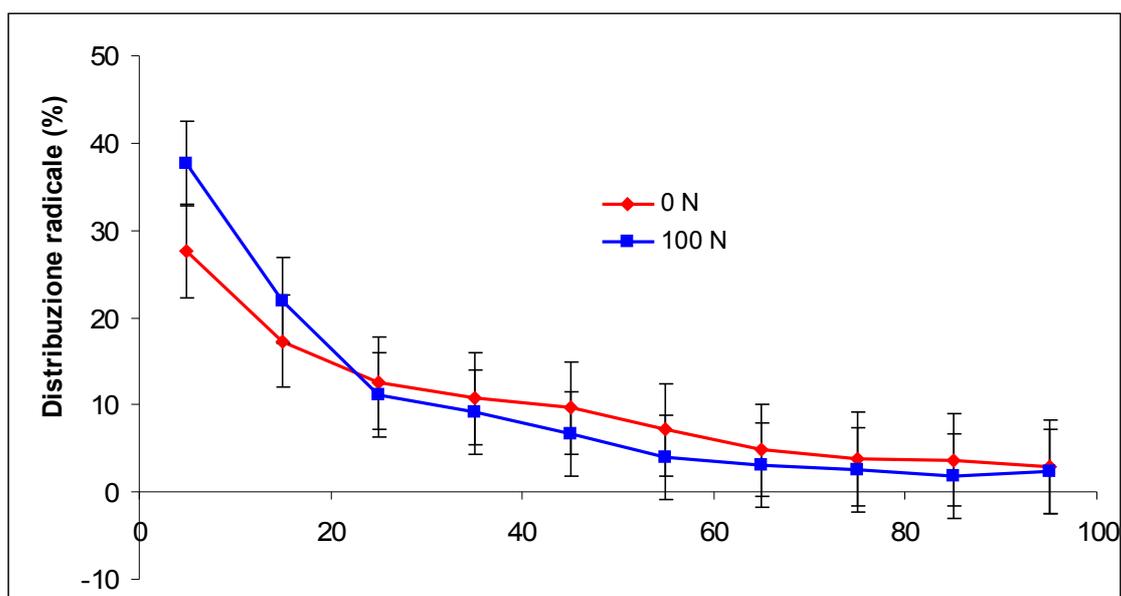


Grafico 6. Distribuzione percentuale della RLD alle diverse profondità.

Questo grafico definisce in che percentuale si distribuisce la densità radicale in relazione alle profondità. Come indicato in parte anche dai grafici precedenti, nella tesi con concimazione 100 N la maggior parte dell'apparato radicale si concentra nei primi strati di terreno, infatti nei primi 20 cm di suolo si trovano il 60% del totale delle radici della pianta. Per ottenere gli stessi valori nella tesi 0 N bisogna invece scendere leggermente oltre i 30 cm.

Un altro parametro preso in considerazione in quanto fornisce dati utili sulla geometria radicale è il diametro medio delle radici. Il diametro è stato ottenuto da un rapporto tra l'area e la lunghezza radicale (Grafico 7).

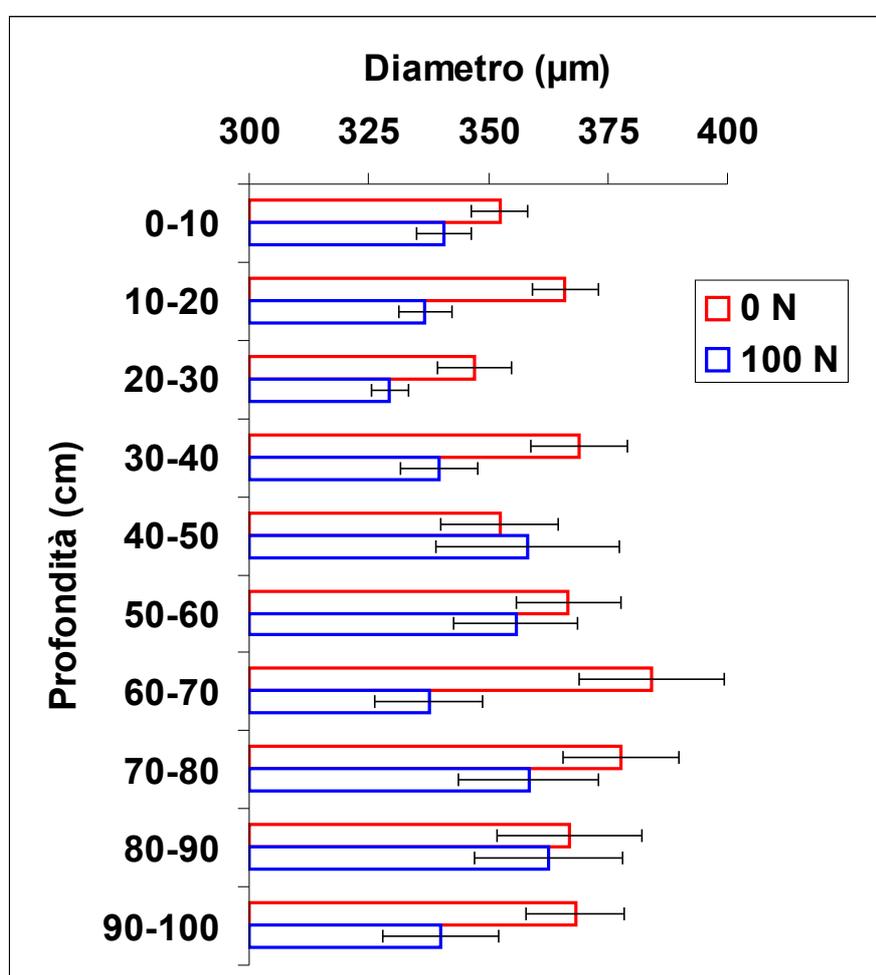


Grafico 7. Diametro radicale alle diverse profondità.

Da questo grafico emerge che nella maggior parte dei casi il diametro delle radici risulta maggiore nella tesi che non ha ricevuto azoto in copertura. In questo caso

i dati ottenuti sono significativamente differenti solo per quanto riguarda il fattore azoto, non per la profondità, né per l'interazione tra i due fattori.

Generalmente radici con un diametro inferiore caratterizzano un apparato radicale con maggiore efficienza di assorbimento.

## 4.2 Accumulo di biomassa e N nella pianta

L'efficienza di assorbimento dell'apparato radicale potrebbe essere messa in relazione anche all'accumulo di biomassa e a quello di azoto nella pianta.

I prelievi dei campioni per misurare l'accumulo di biomassa sono stati effettuati tra il 16 aprile e il 22 maggio 2008, con cadenza settimanale, per un totale di sei rilievi. I risultati ottenuti si possono osservare nel grafico 8.

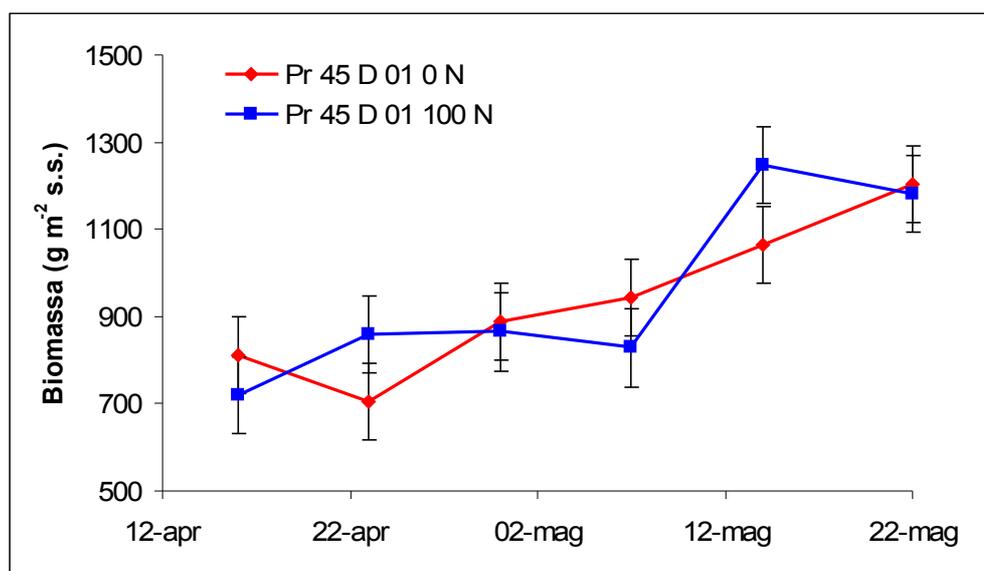


Grafico 8. Accumulo di biomassa, differenze tra le due tesi.

L'accumulo di biomassa in entrambe le tesi ha avuto un andamento simile, aumentando gradatamente, in maniera più omogenea nella tesi non concimata, fino a raggiungere nell'ultimo rilevamento valori di 1203 g/m<sup>2</sup> di sostanza secca per la tesi 0 N e 1181 g/m<sup>2</sup> per la tesi 100 N.

Eseguendo un'analisi statistica dei dati ottenuti, considerando l'effetto

concimazione le variazioni avvenute in termini di accumulo di biomassa non sono significative. Al contrario, se invece consideriamo l'effetto data le variazioni avvenute sono significative. Neanche l'interazione tra i due fattori ha dato risultati significativi, anche se avendo ottenuto valori di  $P = 0,1062$  può essere considerata rilevante.

L'accumulo di azoto è stato determinato tramite la metodica *Kjeldhal* misurando il contenuto di tale elemento nella sostanza secca della parte epigea, e i risultati sono apprezzabili nel grafico 9.

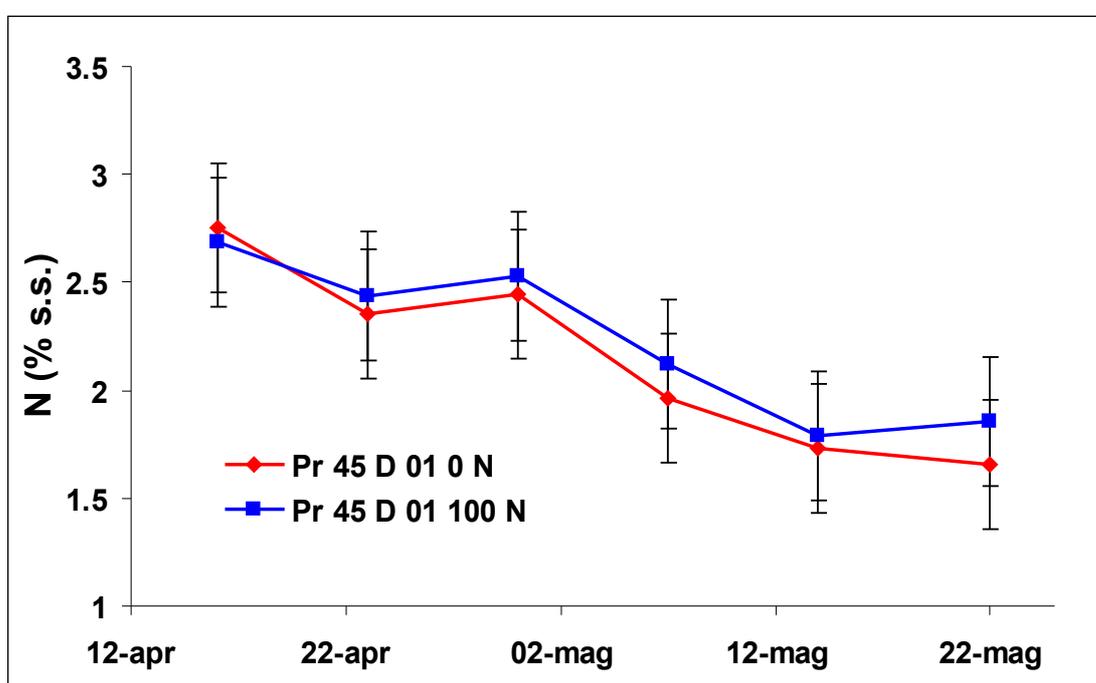
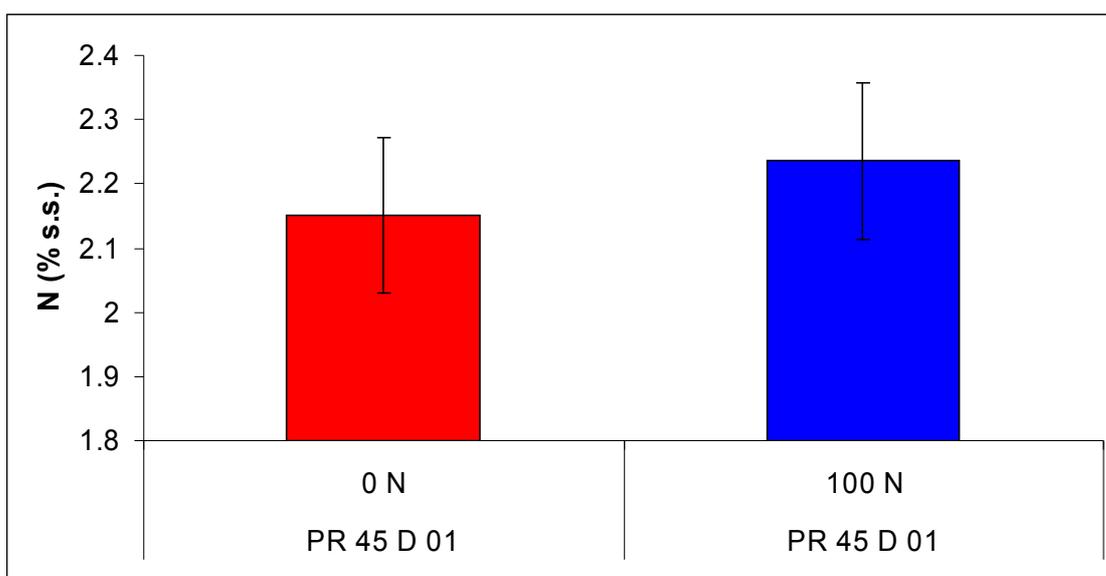


Grafico 9. Andamento del contenuto in azoto nella parte epigea

Si può notare che il contenuto in azoto nella biomassa epigea della pianta segue un andamento decrescente dal primo rilevamento, avvenuto in data 16/04/2008 all'ultimo effettuato il giorno 22/05/2008. Il contenuto in azoto è risultato quasi sempre maggiore nella tesi con 100 unità di N in concimazione, ma le differenze tra le due tesi sono molto lievi, tanto da non risultare di tipo significativo, si considera come effetto principale il fattore azoto. Nonostante ciò analizzando i valori medi del contenuto in azoto nella sostanza secca della pianta si può osservare come nella tesi 100 N la percentuale di azoto sia 2,24%, un valore

leggermente superiore rispetto alla tesi 0 N con 2,15% di N sulla s.s. (Grafico 10). Considerando invece come effetto principale la data in cui venivano eseguiti i campionamenti, i dati ottenuti presentano differenze significative. Nemmeno l'interazione tra data e azoto è risultata significativa. Si può quindi affermare che l'andamento decrescente del contenuto in azoto è dovuto essenzialmente al procedere della maturazione della pianta e che gli apporti azotati derivati dalla concimazione non hanno modificato tale andamento.

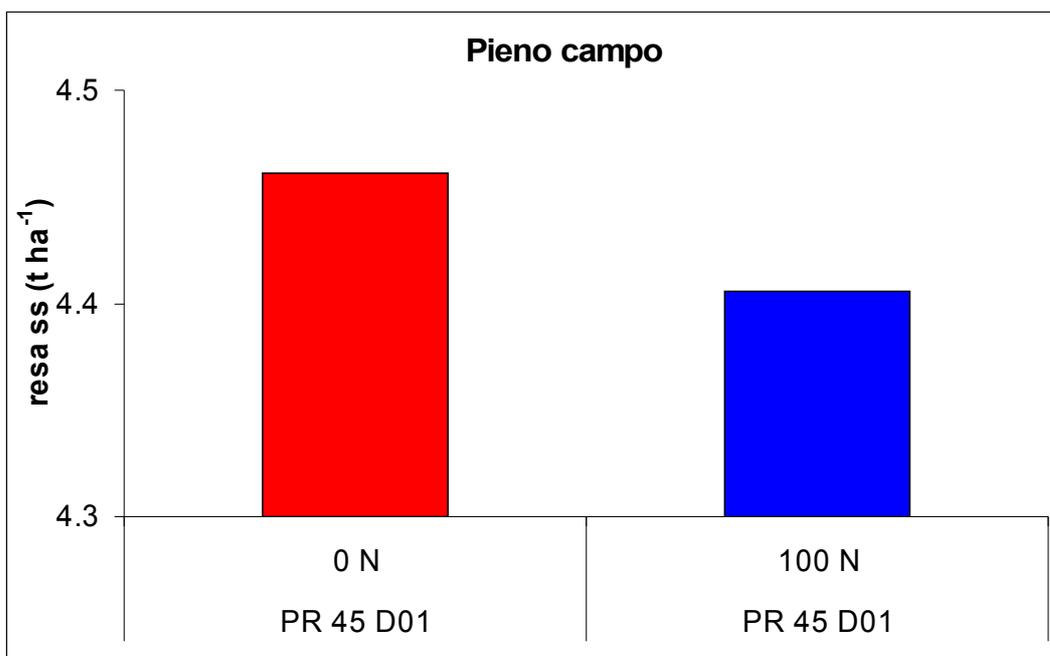


*Grafico 10. Contenuto medio di azoto sulla sostanza secca della parte epigea.*

### **4.3 Rese**

Per completare il quadro di analisi, e mettere in relazione lo sviluppo dell'apparato radicale con l'efficienza di assorbimento di acqua e nutrienti sono state analizzate le rese in granella delle due tesi.

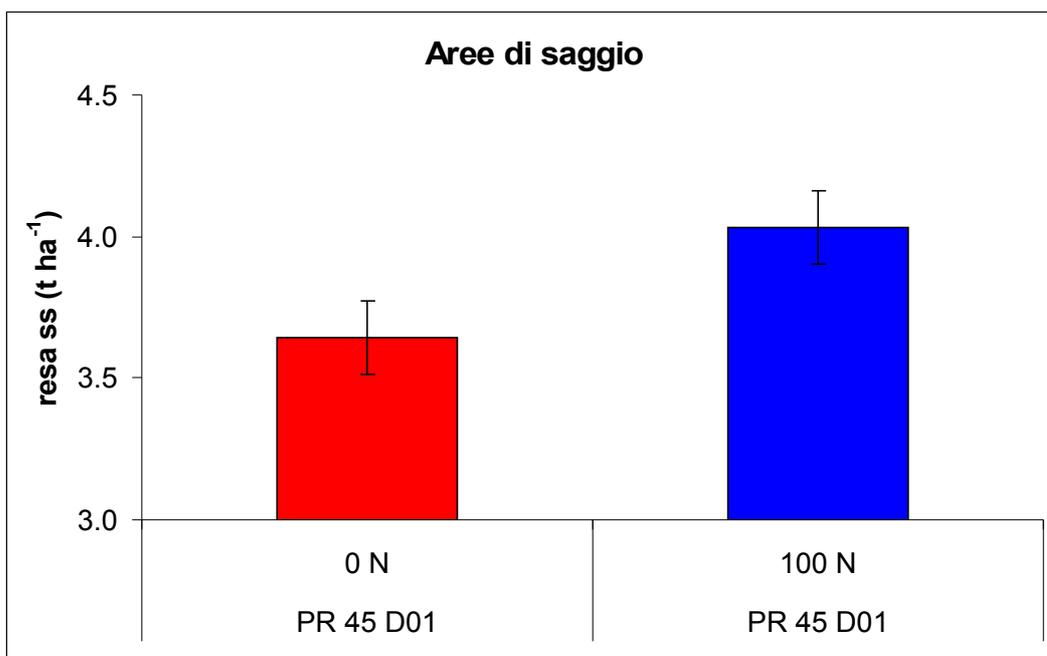
Nel grafico 11 le rese in granella derivano dai dati ottenuti in seguito alla mietitrebbiatura delle prove in campo, con la granella effettivamente prodotta.



*Grafico 11. Rese in granella in pieno campo, tonnellate di ss per ha.*

Da questi dati risulta che la tesi che non ha ricevuto azoto in copertura ha ottenuto una produzione in granella di 4,46 t leggermente superiore rispetto alla tesi con 100 unità di azoto, 4,41 tonnellate. In entrambi i casi le rese raggiunte sono state particolarmente elevate e frutto quindi di condizioni di coltivazione ottimali in entrambe le tesi a confronto. Le differenze sono talmente lievi che possiamo considerare le due produzioni uguali. Si può comunque affermare che la tesi che non ha ricevuto azoto in copertura è riuscita a sfruttare bene la disponibilità azotata del terreno e in parte, utilizzando anche l'azoto lasciato sul terreno dalla coltura precedente, nella fattispecie frumento.

Al fine di poter avere delle repliche per eseguire un'analisi statistica dei dati di resa sono state poi selezionate delle aree di saggio all'interno dell'appezzamento, nelle quali la raccolta è avvenuta manualmente alcuni giorni prima della mietitrebbiatura. La trebbiatura è avvenuta in un secondo momento, previa essiccazione delle piante raccolte. I dati ottenuti da questo secondo rilievo sono però risultati diversi dai valori di resa in pieno campo. (Grafico 12)



*Grafico 12. Rese in granella derivate dalle aree di saggio, tonnellate di ss per ha*

In particolare emerge come la tesi con concimazione 0 N abbia prodotto 3.64 t/ha di granella (sostanza secca), mentre la tesi con concimazione 100 N ha raggiunto 4,03 t/ha. Ci si aspettavano risultati di resa maggiori dalle aree di saggio. In particolare, poiché la raccolta delle aree di saggio è stata effettuata alcuni giorni prima rispetto a quella con la mietitrebbia, si pensava di ridurre le perdite per deiscenza, inoltre, eseguendo la raccolta manualmente non si sarebbero verificate le perdite di granella per caduta durante la mietitrebbiatura. Le condizioni in cui sono stati fatti essiccare i campioni non erano però ottimali, e si sono verificate perdite per la presenza di seme pre-germinato, che hanno fatto variare i risultati.

## 5. CONCLUSIONI

Considerando la dotazione in sostanza organica del terreno di prova, questa ha permesso un buono sviluppo dell'apparato radicale che ha garantito alla pianta la possibilità di svilupparsi in maniera adeguata. In ragione di questa caratteristica, e della buona fertilità del terreno, la condizione di nessun apporto azotato in copertura non è risultata limitante per lo sviluppo della coltura e non ha condizionato la produzione.

Lo studio effettuato sull'accumulo di azoto nella biomassa ha permesso di mettere in evidenza come l'apparato radicale si sia dimostrato in grado di assorbire grandi quantitativi di azoto, nonostante si trattasse di un genotipo seminano e avesse uno sviluppo contenuto della biomassa epigea. Analizzando i dati ottenuti dai campionamenti effettuati nel periodo compreso tra il 16 aprile e il 22 maggio, si è potuto osservare che il contenuto medio in azoto nella biomassa era pari a 20,11 g/m<sup>2</sup> per la tesi senza concimazione in copertura e 21,28 g/m<sup>2</sup> per quanto riguarda la tesi che ha ricevuto 100 unità di azoto. Elaborando questi dati possiamo affermare che le asportazioni di azoto della coltura sono valutabili in 200-210 kg/ha, confermando l'importanza di questo elemento per la stessa e il suo elevato potenziale di assorbimento, anche nel caso di un ibrido seminano. Questi risultati mettono inoltre in risalto le potenzialità dell'ibrido, che nel caso della tesi senza azoto in copertura, è riuscito ad assorbire quantità di azoto equivalenti a quelle della tesi che ne aveva ricevuto, grazie a modificazioni nella geometria dell'apparato radicale. Aumentando il profilo di terreno esplorato, l'ibrido non concimato è riuscito a sfruttare anche l'azoto lasciato nel terreno dalla coltura precedente, soddisfacendo così le sue esigenze.

L'apparato radicale si è dimostrato di dimensioni adeguate in entrambe le tesi. In questo frangente la coltura può essere stata avvantaggiata da una semina abbastanza precoce, questo fatto ha consentito a entrambe le tesi di assorbire una buona quantità di azoto prima della pausa invernale, che le ha consentito di compiere uno sviluppo equilibrato anche a livello ipogeo.

Analizzando lo sviluppo dell'apparato radicale non si sono rilevate differenze sostanziali tra le due tesi in termini di volume della massa radicale, si sono

invece potute osservare modificazioni a livello della morfologia radicale in ragione della distribuzione dell'apparato. La tesi che ha ricevuto in copertura una concimazione con 100 unità di azoto ha evidenziato una maggiore distribuzione delle radici nella zona superficiale, la tesi che non ha ricevuto azoto in copertura è stata invece caratterizzata da una distribuzione più omogenea lungo tutto il profilo. Nonostante la maggior parte delle radici fosse concentrata nei primi 50 cm di profondità la coltura, indipendentemente dalla concimazione, presentava uno sviluppo radicale considerevole lungo tutto il profilo esplorato dal carotiere, infatti alla profondità di 1 metro si è potuto osservare una RLD pari a circa 1 cm<sup>3</sup>.

Altre differenze si sono potute apprezzare in termini di diametro radicale. La tesi sulla quale sono state distribuite 100 unità di azoto in copertura ha evidenziato un minore diametro delle radici, che le ha conferito un'elevata efficienza di assorbimento, permettendole di catturare gran parte dell'azoto distribuito, limitandone le perdite e quindi rischi di inquinamento ambientale.

A livello di rese non si sono rilevate differenze significative tra le due tesi. In entrambe le condizioni di concimazione si sono ottenute produzioni in granello molto elevate, quantificabili in 4,46 t e 4,41 t rispettivamente per la tesi senza azoto in copertura e in per quella concimata con 100 unità di N. Questi risultati hanno evidenziato l'elevato potenziale produttivo di questo ibrido e la sua capacità di adattamento ai diversi input.

Sarebbe ora interessante cercare di valutare le risposte agli input azotati comparando un genotipo seminano con uno a taglia normale per analizzarne le differenze per quanto riguarda lo sviluppo dell'apparato radicale, la capacità di assorbimento dell'azoto e i riflessi che questi possono avere per quanto concerne le rese.

## 6. BIBLIOGRAFIA

Toniolo L. e 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: pp. 20-52.

Toniolo L. e Mosca G., 1986. *Il colza. Manuale pratico*. REDA edizioni per l'agricoltura.

Mosca G. e Vamerli T., 2000. *Obiettivo radice, Metodi di studio e risultati ottenuti in ambiente mediterraneo*. Dipartimento di agronomia ambientale e produzioni vegetali. Stampato da C.L.E.U.P. Padova.

Mosca G. e Zanetti F., 2007. *Ottime rese dal colza con le giuste scelte agronomiche*, *L'informatore agrario*, n°33/2007, pp 38-43.

Menguzzato A. e Rossetto L., 2007. *Le aspettative sul biodiesel fanno da traino al colza italiano*, *L'informatore agrario*, n°33/2007 pp 33-36.

Vamerli T., Guarise M., Ganis A., Bona S. & Mosca G., 2003. *Analysis of root images auger sampling with a fast procedure: a case of application to sugar beet*. Kluwer Academic Publishers

Siti internet consultati:

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

[www.cti2000.it](http://www.cti2000.it)

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

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

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

## **Ringraziamenti**

In primo luogo desidero ringraziare i miei Genitori, che in questi anni mi hanno sostenuto in tutti i sensi, hanno abbracciato la mia passione e mi hanno dato la possibilità di studiare senza pensieri. È solo grazie a loro se ho raggiunto questo obiettivo. Grazie anche ai miei fratelli e alla nonna per il loro supporto.

Un sentito ringraziamento va rivolto al Prof. Giuliano Mosca, al Prof. Teofilo Vamerli e alla Dott.ssa. Federica Zanetti che con grandissima disponibilità mi hanno guidato nella stesura di questa tesi.

Un grazie particolare ai miei due coinquilini che, a modo loro, mi hanno indirizzato nella via dello studio e hanno condiviso con me tre splendidi anni.

Infine vorrei ringraziare i nuovi amici incontrati durante il mio percorso di studio, in particolare i trentini, e gli amici di sempre con i quali ho vissuto bellissime esperienze che mi hanno permesso di crescere.