



# UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

---

SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA IN  
SCIENZE DELLE PRODUZIONI VEGETALI  
INDIRIZZO AGRONOMIA AMBIENTALE - CICLO XXIII  
Dipartimento di Agronomia Ambientale e Produzioni Vegetali

## *NUOVO APPROCCIO ALLA GESTIONE STRUMENTALE DELLA FERTIRRIGAZIONE IN ORTOFLORICOLTURA*

**Direttore della Scuola :** Ch.mo Prof. Andrea Battisti

**Supervisore :** Ch.mo Prof. Paolo Sambo

**Dottorando:** Federico Roncolato

DATA CONSEGNA TESI

31 gennaio 2011



*a ANGELA.*

*“ Oh,Italia!  
I tuoi campi d'oro perenne  
arati soltanto dai raggi del sole,  
basterebbero per il granaio del mondo”.*

*Lord G. Byron*



## **Dichiarazione**

Con la presente affermo che questa tesi è frutto del mio lavoro e che, per quanto io ne sia a conoscenza, non contiene materiale precedentemente pubblicato o scritto da un'altra persona né materiale che è stato utilizzato per l'ottenimento di qualunque altro titolo o diploma dell'università o altro istituto di apprendimento, a eccezione del caso in cui ciò venga riconosciuto nel testo.

Federico Roncolato

Una copia della tesi sarà disponibile presso <http://paduaresearch.cab.unipd.it/>



# INDICE

<b>RIASSUNTO</b> .....	<b>9</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>12</b>
<b>1 INTRODUZIONE</b> .....	<b>17</b>
<b>1.1 PREMESSA</b> .....	<b>19</b>
<b>1.2 LA TOSSICITÀ E LA CONTAMINAZIONE DA NITRATI</b> .....	<b>20</b>
<b>1.3 LE DINAMICHE DEI MACRONUTRIENTI NEL TERRENO</b> .....	<b>23</b>
1.3.1 <i>PREMESSA</i> .....	23
1.3.2 <i>L'AZOTO</i> .....	24
1.3.3 <i>IL FOSFORO</i> .....	28
1.3.4 <i>IL POTASSIO</i> .....	30
<b>1.4 LA SOLUZIONE CIRCOLANTE DEL TERRENO</b> .....	<b>32</b>
<b>1.5 L'ESTRAZIONE E IL MONITORAGGIO DELLA SOLUZIONE CIRCOLANTE DAL TERRENO</b> .....	<b>33</b>
1.5.1 <i>PREMESSA</i> .....	33
1.5.2 <i>I LISIMETRI</i> .....	34
1.5.3 <i>I LISIMETRI A SUZIONE</i> .....	37
1.5.4 <i>IL CAMPIONAMENTO DELLA SOLUZIONE CIRCOLANTE</i> .....	40
<b>1.6 L'ESTRAZIONE E IL MONITORAGGIO DELLA SOLUZIONE CIRCOLANTE DA SUBSTRATO</b> .....	<b>43</b>
1.6.1 <i>PREMESSA</i> .....	43
1.6.2 <i>LA GESTIONE DELLE COLTURE IN CONTENITORE</i> .....	44
1.6.3 <i>LE TECNICHE DI ESTRAZIONE DELLA SOLUZIONE CIRCOLANTE</i> .....	45
<b>1.7 IL COMPOST</b> .....	<b>49</b>
1.7.1 <i>PREMESSA</i> .....	49
1.7.2 <i>IL PROCESSO E LE FASI DEL COMPOSTAGGIO</i> .....	49
1.7.3 <i>IL COMPOST IN AGRICOLTURA</i> .....	51
1.7.4 <i>PROVVEDIMENTI LEGISLATIVI</i> .....	53
<b>1.8 LE CARATTERISTICHE DELLE SPECIE VEGETALI UTILIZZATE DURANTE LE PROVE SPERIMENTALI</b> .....	<b>56</b>
1.8.1 <i>LA BIETOLA DA COSTE</i> .....	56
1.8.2 <i>LO SPINACIO</i> .....	59
1.8.3 <i>IL CAVOLO VERZA</i> .....	62
1.8.4 <i>IL GERANIO</i> .....	65
<b>2 SCOPO DEL LAVORO</b> .....	<b>69</b>
<b>3 MATERIALI E METODI</b> .....	<b>73</b>
<b>3.1 MONITORAGGIO DELLA SOLUZIONE CIRCOLANTE DEL TERRENO</b> .....	<b>75</b>
<b>a) BIETOLA DA COSTE E SPINACIO</b> .....	<b>75</b>
3.1.1 <i>DESCRIZIONE DEL SITO E SCHEMA SPERIMENTALE</i> .....	75
3.1.2 <i>ATTIVITÀ DI COLTIVAZIONE</i> .....	76
3.1.3 <i>LISIMETRI A SUZIONE</i> .....	77
3.1.4 <i>RILIEVI ED ANALISI</i> .....	77

3.1.5	ANALISI STATISTICA.....	78
<b>b)</b>	<b>CAVOLO VERZA E BIETOLA DA COSTE .....</b>	<b>78</b>
3.1.6	DESCRIZIONE DEL SITO E SCHEMA SPERIMENTALE .....	78
3.1.7	ATTIVITA' DI COLTIVAZIONE.....	80
3.1.8	LISIMETRI A SUZIONE.....	80
3.1.9	RILIEVI ED ANALISI.....	80
3.1.10	ANALISI STATISTICA .....	81
<b>3.2</b>	<b>ANDAMENTO METERELOGICO PROVE DI CAMPO.....</b>	<b>82</b>
<b>3.3</b>	<b>CONFRONTO TRA METODI DI ESTRAZIONE.....</b>	<b>83</b>
3.3.1	DESCRIZIONE DEL SITO E SCHEMA SPERIMENTALE .....	83
3.3.2	LISIMETRI A SUZIONE.....	84
3.3.3	RILIEVI ED ANALISI.....	85
3.3.4	GESTIONE IRRIGUA.....	88
3.3.5	ANALISI STATISTICA.....	88
<b>4</b>	<b>RISULTATI E DISCUSSIONE.....</b>	<b>91</b>
4.1	MONITORAGGIO DELLA SOLUZIONE CIRCOLANTE DEL TERRENO .....	93
4.2	CONFRONTO TRA METODI DI ESTRAZIONE.....	106
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>131</b>
5.1	PREMESSA.....	133
5.2	PROVE IN CAMPO .....	133
5.3	PROVE IN SERRA .....	134
5.4	CONCLUSIONI FINALI .....	136
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>139</b>
<b>7</b>	<b>TAVOLE .....</b>	<b>155</b>
7.1	TABELLE.....	156
7.2	FIGURE .....	161



## RIASSUNTO

Il monitoraggio della soluzione circolante presente nel suolo, come la quantità di nutrienti che percolano in profondità, sono un aspetto molto interessante della ricerca scientifica effettuata in pieno campo; la stessa considerazione può essere fatta per le colture in serra, dove risulta fondamentale il monitoraggio della quantità di micro e macro elementi disponibili nel substrato per la pianta. Conoscere queste informazioni permette di seguire un adeguato programma nutrizionale al fine di ottimizzare le rese e ridurre gli sprechi di acqua e fertilizzanti.

Alla luce di tutto ciò, con questa tesi di dottorato, nella prima parte, si è cercato di valutare la capacità dei lisimetri a suzione, come strumenti per il monitoraggio in situ della soluzione circolante di colture orticole di pieno campo al fine di conoscere i differenti rilasci di nutrienti di un suolo agrario sottoposto a dosi differenti e tipi (minerale/organico) di fertilizzazioni; successivamente si è cercato di utilizzare questi strumenti come nuova tecnica non distruttiva per raccogliere la soluzione circolante delle colture in vaso, al fine di ottenere un metodo semplice e diretto per il campionamento nella zona interessata dall'apparato radicale. Le tecniche più conosciute di estrazione della soluzione circolante, utilizzate negli studi sulla percolazione dell'acqua e la lisciviazione dei nutrienti attraverso i substrati di coltivazione, nelle colture in serra, sono il PourThru, metodo non distruttivo, il metodo SME e il metodo 1:2, entrambi distruttivi.

Le prove in campo sono state condotte nell'azienda agraria Sperimentale "L. Toniolo" presso la facoltà di Agraria dell'Università di Padova a Legnaro, utilizzando *bietola da costa* (*Beta vulgaris*) e *spinacio* (*Spinacela oleracea*) (2008), *cavolo verza* (*Brassica oleracea*) e *bietola da costa* (2009).

I trattamenti confrontati sono stati:

- ◆ testimone non concimato T0
- ◆ trattamento TM: concimato con fertilizzanti minerali
- ◆ trattamento T50: il 50% dell'azoto viene apportato con fertilizzanti minerali ed il 50% con compost. P e K sono integrati con fertilizzanti minerali trattamento

- ◆ T100: il 100% dell'azoto viene apportato con compost. P e K sono integrati con fertilizzanti minerali
- ◆ trattamento T200: il doppio dell'azoto distribuito nel testimone concimato viene apportato con compost. P e K sono eventualmente integrati con fertilizzanti minerali.

Si è proceduto ad installare i lisimetri alla profondità di 30 cm in ogni tesi, alla profondità di 60 e 90 cm nelle tesi concimate con fertilizzanti minerali e nelle tesi che hanno ricevuto il doppio della dose di azoto con il compost.

Per quanto riguarda le prove con colture in vaso, sono state svolte nelle serre dell'Horticultural Department, University of Arkansas, nel 2009, con la collaborazione del dott. Michael R. Evans; mentre nel 2010, si è cercato di ripeterle, nelle serre del Dipartimento di Agronomia Ambientale e Produzioni Vegetali, presso l'azienda sperimentale "L. Toniolo" della Facoltà di Agraria, Università di Padova, a Legnaro (PD). Durante le prove in serra si sono utilizzate piante di *geranio* (*Pelargonium x hortorum*) fertirrigate con tre dosi diverse di azoto (100, 200 e 300 ppm), la soluzione circolante raccolta è stata estratta utilizzando tutte e quattro le tecniche prese in considerazione e i campioni analizzati per conoscere il pH, la conducibilità elettrica e le concentrazioni di alcuni micro e macro nutrienti.

I risultati ottenuti con i lisimetri nelle prove effettuate in pieno campo, in termini generali, ci permettono di affermare che possono rappresentare dei buoni strumenti per la raccolta e il monitoraggio della soluzione circolante in pieno campo, soprattutto per quanto riguarda la lisciviazione dei nitrati. Inoltre i dati relativi alle rese ci permettono di riconoscere l'utilità del compost come ammendante organico affiancato alla normale concimazione minerale, in quanto se la quantità di azoto distribuita normalmente in colture orticole di pieno campo viene fornita solo mediante compost, non permette di raggiungere migliori risultati produttivi, ma contribuisce a ridurre la perdita di nutrienti nei profili di suolo per lisciviazione e percolazione.

Dall'analisi dei dati ottenuti confrontando le quattro diverse tecniche di estrazione della soluzione circolante (Lisimetri a suzione, metodo PourThru, metodo SME e metodo

1:2) da substrati in contenitore si sono trovate delle buone relazioni tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli ricavati con la tecnica PourThru, soprattutto per quanto riguarda i dati relativi ai macronutrienti (N, P e K); invece non si sono raggiunti risultati soddisfacenti con i micronutrienti, questo può essere dovuto ai metodi utilizzati per estrarre e filtrare successivamente i campioni di soluzione circolante. Confrontando i dati dei lisimetri con quelli del PourThru si è notato come i valori ottenuti con i lisimetri a suzione siano mediamente superiori di quelli ottenuti con il PT, quindi con i lisimetri si riesce a monitorare in maniera migliore ciò che avviene all'interno del sistema substrato – soluzione circolante; questo succede anche se l'attenzione si sposta sui valori relativi al pH e alla conducibilità elettrica. Le conoscenze acquisite con queste prove permettono di affermare che la soluzione estratta con i lisimetri è confrontabile con quella estratta mediante la tecnica più comunemente utilizzata per il monitoraggio dei substrati di coltivazione in colture in contenitore, ovvero il PourThru.

Le sperimentazioni fatte in serra dimostrano come i lisimetri a suzione rappresentino per i coltivatori una conveniente e affidabile tecnica per estrarre la soluzione circolante da substrati in contenitore. I lisimetri a suzione possono essere degli strumenti per avere a disposizione un ONE-SITE ANALYSIS alternativo, consentendo di agire tempestivamente nel correggere un'eventuale carenza o eccesso di micro e macro, e rappresentare come la tecnica del PourThru, un nuovo metodo non distruttivo per estrarre la soluzione circolante da substrati.

Concludendo si può affermare che l'obiettivo di questa tesi di dottorato sembra raggiunto in buona parte, ovvero i lisimetri a suzione costituiscono un semplice e diretto metodo per raccogliere ed estrarre la soluzione circolante dalla zona interessata dall'apparato radicale e per monitorare lo stato nutrizionale delle colture; non resta che cercare di standardizzare questa nuova tecnica di estrazione.

## ABSTRACT

Monitoring of soil water quality has great interest for several research such as open fields, even in greenhouses especially to monitor availability of the micro and macro nutrients for plants. Furthermore this information can also provide to a proper nutritional program for growing top quality plants and to reduce water and fertilizer loss.

That being so, with this PhD thesis at the beginning, it was tried to evaluate Suction Lysimeters (SL) capacity as in situ monitoring instruments of soil solutions in horticulture crops, in order to know different nutrient leaching of agricultural soil under different fertilizer rates (mineral/organic); afterwards it was sought to use SL as a new non destructive techniques to pick up soil solutions from containerized plant to provide a simple and direct method for collecting water samples in the unsaturated zone. The methods commonly used to study water percolation and nutrient leaching through the growing media profile in greenhouses crops included non destructive techniques PourThru, destructive techniques Saturated Media Extract (SME) and 1:2 method (Adapted from Dole and Wilkins, 1998).

The experiments in open field, was carried out at the experimental farm "L.Toniolo" Agricultural Faculty of the University of Padova (Veneto), it was used chard and (*Beta vulgaris*) spinach (*Spinacela oleracea*) (2008), savoy cabbage (*Brassica olerace*) and chard (*Beta vulgaris*) (2009).

Treatment compared was:

- ◆ witness not fertilized T0
- ◆ thesis treated with mineral fertilizer TM
- ◆ thesis treated with 50% of mineral N and 50% of N from compost T50
- ◆ thesis treated with 100% of N from compost and normal rate of N T100
- ◆ thesis treated with 100% of N from compost and double rate of N T200.

Suction Lysimeter was dug at 30 cm depth in into each thesis and at 60 and 90 cm into mineral thesis and double rate of N from compost thesis.

About experiments with containerized plants, it was carried out in greenhouse of the Horticultural Department, University of Arkansas, Fayetteville , 2009, under

supervision of dott. Michael R. Evans; while in 2010, the experiment was carried out in greenhouse of the Department of Environmental Agronomic and Crop Science, located at the experimental farm of the University of Padova (Veneto). During this trials in greenhouse plants of *geranio* (*Pelargonium x hortorum*) was fertirrigated with three different rates of N (100, 200, 300 ppm ) and soil solution samples was picked up by four different extraction methods considered and then analyzed to know pH, EC and micro and macro nutrient concentration.

Results obtained from lysimeters in the open field trials, demonstrate that SLs are good and interesting instruments to monitor and pick up soil solution in the soil, especially for nitrate leaching. Furthermore if we draw the attention of vegetables yields, it can recognized utility of compost like an organic fertilizer in combination with mineral fertilizer, because only compost had not guaranteed very good harvest, but it is import to reduce rate of nitrate leaching on soil.

Data obtained comparing the four techniques (SL, PT, SME and 1:2) to extract soil – water from containerized substrates shown us that there is a good correlation between samples from SL and PT, above all data concerned macronutrients (N,P and K); instead no significant effects for micronutrients, it can depends on methods adopted to extract and filter samples. In fact from comparison of SL and PT data, it can see how values obtained with lysimeter are always higher than values from PT, so with SL it can better monitoring what are happening inside the system substrate – water solution; it happens same considering values for pH and EC. Moreover now we knew that soil solution extract with lysimeter are comparable with data obtained from PourThru techniques. Results of these experiments demonstrate that SLs are able to provide growers with a convenient and reliable method to obtain a soil solution from substrate in containers. The lysimeters can well represent a ON SITE ANALYSYS to monitor nutritional status of containerized plants directly in greenhouse, and them likely a PT are a new non – destructive techniques to extract soil – water from substrates. In addition, the lysimeters may be used when small volumes of extracts are needed for simple tests such as EC and pH.

Target of this research was met, Suction Lysimeter provides a simple and direct method to collect water samples in the unsaturated zone and to help monitoring the nutrient status of the crop, but now we are working to standardize this extraction method. The lack of differences between different extraction procedures indicate that PT and SL are reliable consistent methods for monitoring substrate nutrients.







## **1 INTRODUZIONE**

---



## **1.1 PREMESSA**

L'agricoltura con la zootecnia sono la più estesa forma d'utilizzo del territorio: ne consegue che ogni comportamento degli agricoltori implica sicure ripercussioni sull'assetto ambientale, sui processi di conservazione dell'acqua, dell'aria, del suolo, della flora e della fauna selvatica e, più in generale, sulla qualità della vita.

Negli ultimi anni i rapporti tra agricoltura, insediamenti civili ed attività produttive sono diventati più pressanti ed interconnessi e sempre più si impone un esame sistematico dei complessi rapporti di interdipendenza fra attività agricola ed ambiente: l'agricoltura può creare problemi per l'ambiente circostante, subire l'influenza negativa di altri comparti, contribuire al disinquinamento ed alla conservazione del paesaggio.

L'intensificazione dei processi ha comportato dei "costi ambientali" in termini di proliferazione dei consumi di risorse non rinnovabili, riduzione della biodiversità, degradazione del suolo, inquinamento di acque superficiali e profonde.

L'acqua è una risorsa sempre più limitata per la quale esiste una crescente conflittualità tra diverse domande d'uso (civile, agricola, industriale, ricreativa, ecc.) accentuata dal progressivo decadimento della sua qualità per effetto del processo d'inquinamento.

L'agricoltura contribuisce in modo massiccio alla richiesta di acqua ed è dunque direttamente interessata alla sua valorizzazione ed alla sua conservazione. I rapporti che legano acqua ed agricoltura risultano connessi sia sotto aspetti quantitativi che qualitativi. I primi vengono valutati mediante un bilancio di ingressi ed uscite attraverso un terreno coltivato, input quali precipitazioni ed irrigazioni vengono compensati dall'effetto dell'evapotraspirazione, dal fenomeno della percolazione e dal ruscellamento superficiale; i secondi sono connessi al tempo di permanenza dell'acqua nel terreno agricolo, in funzione della durata di questo periodo sono il tipo e numero di trasformazioni chimico – fisiche cui è soggetta. L'acqua infatti può cedere alcune sostanze ed acquisirne altre, con conseguente miglioramento o peggioramento della sua qualità. Ritornando al sistema suolo, il terreno può agire come filtro, se restituisce delle acque migliori di quelle in entrata nel sistema e da sorgente di inquinamento, se comporta un depauperamento qualitativo delle stesse.

L'inquinamento da nitrati di origine agricola presenta delle peculiarità che tendono a caratterizzare i fenomeni d'inquinamento di tipo agricolo in generale. Il carattere diffuso delle fonti d'inquinamento, ad esempio, da cui il nome non-point source, le differenzia dalle fonti di inquinamento puntuale come gli impianti industriali. Le sorgenti diffuse non sono definibili come punti, di conseguenza il monitoraggio del loro impatto diviene molto problematico poiché non può essere compiuto sul sistema nel complesso, ma solo su campioni ridotti dal punto di vista spaziale e temporale. Un altro aspetto molto interessante di questo fenomeno è che non esiste una relazione causa - effetto diretta e semplice, per cui l'inquinamento delle acque da nitrati non può essere spiegato conoscendo gli input, in quanto il rilascio dei nitrati è funzione anche di complesse relazioni che si instaurano nel sistema – suolo – pianta. Risulta quindi importante poter disporre di strumenti che permettano di valutare e gestire gli input che vengono utilizzati in campagna, tra questi i lisimetri sono necessari per approfondire le conoscenze relative ad alcune dinamiche del sistema suolo – coltura – soluzione circolante, soprattutto in quest'epoca, che vede l'agricoltura direttamente coinvolta nel processo di riduzione dell'inquinamento sotto vari aspetti.

## **1.2 LA TOSSICITÀ E LA CONTAMINAZIONE DA NITRATI**

L'inquinamento delle falde acquifere ad opera dei nitrati è un serio problema per i paesi membri dell'Unione Europea e in molti altri paesi industrializzati, al punto tale che negli ultimi anni questo problema è stato ripreso in esame per cercare di arginarlo (Meinardi *et al.*, 1995; Van der Voet *et al.*, 1996; Powlson, 1999; Wilson *et al.*, 1999). Nel 1991 l'Unione Europea per contrastare questo problema, ha emanato una direttiva concernente la difesa e la protezione dell'acqua dall'inquinamento dei nitrati derivanti da fonti agricole (CEC, 1991). Nel corso dell'ultimo decennio, gli stati membri dell'Unione Europea hanno recepito ed attuato la direttiva e il programma proposto, anche se non con gli stessi risultati in tutti i paesi (European Commission, 1998). Inoltre le linee guida per lo smaltimento dei rifiuti e per l'uso dei pesticidi e fertilizzanti in agricoltura, sembrano

essere sempre più legate ai dati ottenuti e considerazioni fatte negli studi che utilizzano i lisimetri. Comunque una buona interpretazione dei dati ottenuti dipende dalla conoscenza delle loro limitazioni di base.

Il nitrato è uno tra i più importanti inquinanti delle acque sotterranee e superficiali. Dal punto di vista tossicologico, il nitrato ha una tossicità acuta estremamente bassa (*Speijers, 1996*), la sua pericolosità nei confronti degli uomini e animali, si manifesta in seguito alla riduzione, dopo essere stato ingerito, nel ben più pericoloso nitrito. Questa trasformazione avviene in seguito all'attività di microrganismi normalmente residenti nella cavità orale e lungo il tratto intestinale, oppure sviluppatasi a causa di condizioni patologiche, interessanti soprattutto l'apparato urinario. Il nitrito può reagire con sostanze come le ammine, rilasciate durante la digestione delle proteine, dando origine a composti nitroso – derivati come le nitrosammine, sostanze ritenute cancerogene. Altre reazioni coinvolgenti i carbammati, le ammidi, l'urea portano alla formazione di altri nitroso-derivati, teratogeni e cancerogeni (*Pavoni B., 2003*). Di conseguenza la valutazione tossicologica del nitrato non può prescindere da quella del nitrito e dei composti dell'azoto nitroso e per questo la presenza del nitrato nelle acque potabili e negli alimenti, in generale è considerata un problema di salute pubblica.

I nitrati rappresentano la forma solubile più ossidata dell'azoto e determinano date le loro caratteristiche chimiche un doppio meccanismo di tossicità sia nell'uomo sia negli organismi superiori: Il primo effetto si manifesta con la formazione della metaemoglobinemia (nota anche come *Blu Baby Syndrome*), alterazione dei globuli rossi, che provoca la perdita della capacità di trasportare l'ossigeno ai tessuti con conseguenze gravissime, anche a carico del sistema nervoso (*Santamaria , 2002*); il secondo è la formazione di nitrosammine che causano danni epatici e costituiscono una delle classi più pericolose di cancerogeni. La nitrosazione endogena, e quindi la formazione di nitrosammine, è stata messa in relazione con il rischio di cancro allo stomaco (*Santamaria , 2002*). Tra le nitrosammine, quella che desta particolare interesse è la N-nitrosodimetillammina (NDMA), in quanto oltre ad essere tra le più pericolose, si può trovare facilmente come tale nei cibi e nell'acqua da bere. Si ipotizza che la NDMA

reagisca nello stomaco e che un sub prodotto di degradazione, lo ione metidiazonio, sia in grado di metilare il DNA (trasferire un gruppo metilico) determinando errori durante la duplicazione (Pavoni B., 2003). La capacità degli organismi adulti di risentire di questa tossicità è abbastanza limitata: il maggior pericolo sussiste per quegli individui il cui patrimonio enzimatico a causa della giovane età (neonati, bambini sotto i tre anni) o di malattie debilitanti risulta immaturo o compromesso ([www.usepa.gov](http://www.usepa.gov)). Dai dati di letteratura ([www.usepa.gov](http://www.usepa.gov)) sugli studi di tossicità ambientale risulta che l'assunzione media giornaliera di nitrati per persona è 75 mg. In aree con acque ad alto contenuto di nitrati tale valore arriva fino a 160 mg/giorno. Nel 1977 la USEPA (United States Environmental Protection Agency, [www.usepa.gov](http://www.usepa.gov)) ha stabilito un livello massimo di contaminazione da nitrati nell'acqua potabile pari a 10,2 mg/l sotto forma di NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. In Italia la normativa (D.P.R. 236/88 e d.lgs. 31/2001) prevede un valore limite di 50 mg/l (mg/l) nell'acqua distribuita a scopo idropotabile, valore non derogabile, la presenza oltre i 50 mg/l di nitrati nell'acqua consente la classificazione di territorio vulnerabile.

L'apporto di nitrati a livelli superiori a quelli realmente necessari alla coltura imputati all'attività antropica e le attività che determinano l'apporto di azoto all'ambiente sono:

- la produzione agricola intensiva, in special modo colture tipo granturco, colture a filari ed ortaggi;
- la produzione dei rifiuti azotati derivanti dagli allevamenti. Uno stoccaggio non conforme di liquami può creare impatti ambientali su di un acquifero facilmente vulnerabile;
- il trattamento e la produzione di liquami urbani nelle zone rurali dove generalmente non esiste sistema fognario ed il liquame civile prodotto segue il destino della subirrigazione;
- l'industria: in generale la produzione di insaccati è una delle attività più pericolose in quanto l'azoto è uno degli elementi più presenti nelle linee di produzione; tutte le attività produttive che determinano uno scarico di azoto possono concorrere al fenomeno.

## 1.3 LE DINAMICHE DEI MACRONUTRIENTI NEL TERRENO

### 1.3.1 PREMESSA

Le piante sono in grado di assorbire gli elementi nutritivi solo se si trovano sotto forma di determinate forme chimiche, definite assimilabili, ovvero secondo la definizione della Soil Science Society of America, "*in forme chimiche accessibili alle radici delle piante o in composti facilmente convertibili in tali forme durante la stagione di crescita dei vegetali*". È noto che per esempio le piante non possono assorbire l'azoto amminoacidico e più in generale, gli elementi presenti in molecole organiche. Per essere assimilati dalle colture gli elementi devono presentarsi in determinate forme chimiche inorganiche, caratterizzate tra l'altro dalla solubilità in acqua.

In natura la sostanza organica del suolo viene quindi mineralizzata in elementi inorganici che possono essere nuovamente assorbiti dai vegetali superiori. La presenza di un'attività agricola interrompe i cicli naturali, allontanando notevoli quantità di s. o. dai terreni e di conseguenza riducendone la fertilità. Negli agroecosistemi le quantità di nutrienti che annualmente possono essere solubilizzate dai minerali costituenti il terreno o fissate dalla biomassa microbica, ed essere quindi rese disponibili per le colture, sono sempre molto limitate. L'impatto ambientale delle attività agricole ha sia un effetto di diminuzione di fertilità dell'agroecosistema stesso, sia sugli ecosistemi esterni (Masoni, 2002).

La disponibilità di nutrienti per le colture in forma solubile nella fase liquida è strettamente legata ad una importantissima proprietà della fase solida del terreno definita come capacità di scambio ionico (Giardini, 1977). Quest'ultimo è un fenomeno che avviene continuamente tra la fase solida e liquida del terreno in quanto sia cationi ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ) che anioni ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) tendono a ristabilire qualsiasi alterazione dell'equilibrio fra le due fasi, attraverso i processi di adsorbimento e desorbimento. La capacità del terreno di fissare determinati ioni, prende il nome di potere adsorbente, questa proprietà è fondamentale per la vita delle piante in quanto esplica una funzione

equilibratrice nella disponibilità di nutrienti e permette inoltre il costituirsi di riserve nutrizionali.

Il potere adsorbente è legato alla presenza di colloidali organici, rappresentati dall'humus, e di minerali nel terreno, il complesso delle argille. Per entrambi si parla di Capacità di Scambio Cationiche, si esplica con legami di vario tipo, è superiore nella frazione organica rispetto a quella minerale e varia nel terreno in funzione di diversi fattori. Nel caso delle argille, per esempio, la potenzialità di scambio è regolata dal tipo di argilla, dal tipo di catione scambiabile, dalla concentrazione del catione nella soluzione circolante, dalla natura dei cationi che saturano l'argilla, dalla natura dell'anione associato al catione scambiabile e dal pH della soluzione circolante (diminuzione dell'adsorbimento a pH basso).

### 1.3.2 L'AZOTO

L'azoto presente nel terreno si può trovare sotto forma organica o minerale. La forma organica è quasi sempre di gran lunga prevalente e costituisce una vera e propria riserva per il rifornimento azotato delle piante. La degradazione della sostanza organica, più propriamente definita mineralizzazione, è il processo mediante il quale la sostanza organica presente nel terreno (humus, residui di organismi vegetali ed animali, massa microbica) viene coinvolta in una serie di trasformazioni chimiche e meccaniche, disgregazioni fisiche e biochimiche come idrolisi ed ossidazione (C. R. P. A., 2001).

La prima fase del processo di mineralizzazione dell'azoto è definita ammonizzazione, prevalentemente di natura batterica (es. *Clostridium*, *Pseudomonas*) e si verifica praticamente in tutti i terreni. L'azoto sotto forma ammoniacale può seguire le seguenti vie:

- immobilizzazione sotto forma organica;
- assorbimento da parte delle piante superiori;
- fissazione sui minerali argillosi;
- perdita per volatilizzazione;



- nitrificazione.

La seconda fase del processo di mineralizzazione dell'azoto prevede due serie di reazioni ossidative: la nitrosazione che consiste nell'ossidazione dell'ammonio a nitrito, processo mediato da microrganismi (*Nitrosomonas*), e la nitrificazione, ultimo processo ossidativo che conduce alla formazione di nitrato, mediata dai *Nitrobacter*. Mentre la forma nitrosa viene rapidamente ossidata nella forma nitrica, quest'ultima, essendo il prodotto finale della completa ossidazione dell'azoto organico, si accumula nel terreno ed eventualmente è soggetta a dilavamento. Poiché il ciclo dell'azoto nel suolo è estremamente complesso, la formulazione di un corretto bilancio dell'azoto costituisce un problema di non facile soluzione in quanto solo una parte degli input di questo elemento viene ritrovata nel terreno, mentre non è chiara la destinazione di altre porzioni, peraltro non trascurabili, date per perdute, senza sufficienti dimostrazioni scientifiche del fenomeno. Anche l'impiego dell'isotopo N<sup>15</sup> non ha eliminato completamente le incertezze esistenti riguardo alla caratterizzazione delle diverse forme di azoto indispensabili per quantificare le riserve azotate cui le piante possono ricorrere per sopperire alle loro esigenze nutritive. Stesse voci del bilancio dell'azoto, quale ad esempio l'ammonio fissato alle argille, possono comparire come input o output a secondo del diverso strato colturale del suolo.

Nonostante tutte le incertezze sopra esposte, a titolo esemplificativo un bilancio dell'azoto potrebbe essere formulato tenendo conto delle voci seguenti:

- apporti di concimi chimici azotati;
- apporti di fertilizzanti organici;
- fissazione dell'azoto atmosferico da parte dei microrganismi;
- apporti da parte delle acque meteoriche;
- asportazioni dovute alle colture;
- dilavamento da parte dell'acqua di percolazione e scorrimento superficiale;
- erosione;
- perdite per denitrificazione biologica;
- perdite per volatilizzazione dell'ammoniaca gassosa.

L'eccesso della fertilizzazione azotata contribuisce a favorire l'aumento della perdita di composti azotati per percolazione e quindi può influire sulla qualità dell'acqua superficiale e sottosuperficiale. Per queste ragioni un programma di gestione intensivo dei suoli agrari dovrebbe comprendere un regime di fertilizzazioni che permetta una crescita ottimale della coltura, ma al tempo stesso ridurre le perdite per percolazione e lisciviazione dei nutrienti. Questo comporta una precisa calibrazione della quantità e dei tempi di distribuzione dei fertilizzanti per massimizzare l'utilizzo e la riserva dell'azoto e allo stesso tempo di minimizzare le perdite nella zona esplorata dall'apparato radicale.

La lisciviazione dell'azoto rappresenta il movimento dell'elemento, ad opera delle acque di percolazione, lungo il profilo del suolo fino ad oltrepassare lo strato interessato dall'apparato radicale delle piante. Numerose ricerche hanno evidenziato come l'entità delle perdite di azoto per lisciviazione risulti legata:

1. alle caratteristiche climatiche della zona, con particolare riferimento all'entità e alla frequenza delle piogge;
2. alle caratteristiche chimico-fisiche del terreno;
3. alla specie coltivata;
4. agli interventi agronomici.

Molti studi (*Ryden et al.*, 1984; *Macduff et al.*, 1989; *Barraclough et al.*, 1992; *Watson et al.*, 1992) hanno sottolineato come le perdite per lisciviazione risultino più elevate quando si utilizzano dosi elevate di concimi nitrici e se la distribuzione avviene immediatamente prima o durante un periodo piovoso. In particolare per l'azoto risultano più contenute le perdite per lisciviazione quando, indipendentemente dalla dose e dalla forma chimica, le somministrazioni azotate sono effettuate al termine della stagione piovosa, in corrispondenza di un periodo caratterizzato da livelli di temperatura ed evapotraspirazioni crescenti. Per esempio, una prova di campo che confrontava la fertilizzazione convenzionale con l'utilizzo della fertirrigazione, ha mostrato come sarebbe maggiore l'efficienza del fertilizzante, se si calibrassero gli input di azoto attraverso la fertirrigazione invece che distribuire tutto il quantitativo di azoto in un'unica dose (*Landsberg*, 1986). *Paramasivam et al.*, (2000), recentemente hanno riportato che

l'applicazione del fertilizzante in dosi più piccole, attraverso il sistema di irrigazione, può ridurre le perdite per lisciviazione.

Quantificare le perdite di azoto dovute alla lisciviazione è sempre stata una sfida per i ricercatori che si occupano di queste tematiche, a causa della difficoltà nel monitoraggio dei movimenti dell'acqua all'interno del sistema pianta – suolo. L'utilizzo combinato di fertilizzanti chimici, accompagnati dallo spandimento di letame e liquami, comporta un considerevole aumento dei nutrienti presenti negli strati superficiali del suolo (*Culley et al.*, 1981; *Daniel et al.*, 1993) e incrementa il livello di macroelementi (N,P,K), sostanza organica e particelle in sospensione nei flussi sotterranei provenienti dalla superficie, prima o dopo un evento piovoso.

Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e ammonio ( $\text{NH}_4^+$ ) sono le due forme di azoto presenti nel terreno; è stato chiaramente dimostrato come la forma principale di azoto soggetta a lisciviazione risulta essere l'azoto nitrico (*Lowrance*, 1992; *Gangbazo et al.*, 1995). La quantità di azoto lisciviato è strettamente influenzata e connessa al modo di utilizzo dei terreni e alle pratiche colturali applicate. Considerando un sistema produttivo, la perdita di nitrati dovuti a lisciviazione tende ad aumentare con l'aumentare degli input di azoto; infatti nei terreni non pascolati è generalmente inferiore rispetto ai terreni arati, con o senza la distribuzione di concimi organici di derivazione animale. Questo perché fondamentalmente nei pascoli gli input di azoto immessi nel sistema sono relativamente inferiori a quelli che comunemente vengono impiegati nei terreni arati ed inoltre le lavorazioni effettuate su quest'ultimi favoriscono i processi di mineralizzazione e nitrificazione.

La quantità di reflui zootecnici, prodotti nei sistemi di allevamento intensivi, spesso eccedono i fabbisogni delle colture impiegate nel ciclo produttivo dell'azienda. Di conseguenza i ripetuti spargimenti oltre ad aumentare lo stock di composti azotati e nutrienti che restano nel terreno, vanno a incrementare anche la quota di quelli inutilizzati. Questo surplus di azoto è chiaramente la fonte principale dell'eccesso di azoto perso nell'ambiente per lisciviazione.

Anche il clima gioca un ruolo fondamentale nella perdita di composti azotati, in quanto le piogge favoriscono i fenomeni di lisciviazione dei nutrienti; è inoltre stato dimostrato che esiste una relazione inversa tra la concentrazione dei nitrati lisciviati e l'intensità del fenomeno piovoso (*Scholefield et al., 1993; Hooda et al., 1998a.*).

Un altro fattore che interviene nel contrastare la perdita di azoto è la tessitura del suolo; infatti *Bergstrom e Johansson (1991)*, monitorando le perdite di composti azotati per lisciviazione in differenti tipi di suolo, hanno visto che i terreni prevalentemente sabbiosi e limosi erano soggetti a maggiori perdite di azoto rispetto a quelli argillosi; allo stesso tempo però in terreni ricchi di argilla, quindi meno permeabili, ci potrebbe essere una più elevata perdita di composti azotati presenti in superficie, a causa del ruscellamento superficiale o di emissioni gassose dovute ai processi di denitrificazione del suolo. Anche il tipo di concimi organici applicati (letame, liquame e pollina), il momento o il periodo di spargimento possono avere un ruolo chiave nella quantità di azoto perso (*Bailey, 1993*).

### 1.3.3 IL FOSFORO

Anche per questo importante elemento della fertilità chimica sono presenti nel suolo diverse forme, una prima frazione solubile è contenuta sotto forma anionica nella soluzione circolante ed è immediatamente assorbita dalle piante. C'è poi una frazione scambiabile di anioni fosforici adsorbiti dai colloidali; essa può entrare più o meno prontamente in soluzione a seconda delle condizioni ambientali ed anche della quantità di fosforo complessivamente presente. Infine ci sono i fosfati precipitati che sono dei composti non disponibili per le piante, per esserlo devono entrare in soluzione, sono in genere molto poco solubili. Una frazione molto variabile del fosforo presente nel terreno è sotto forma organica, in quanto presente nei residui vegetali, nell'humus e nella biomassa microbica. Nei terreni agrari le sottrazioni di questo elemento sono dovute fondamentalmente alla asportazioni delle colture, ai fenomeni di dilavamento e

percolazione e all'eventuale erosione. Il trasporto e il movimento del fosforo dagli strati superficiali del suolo alla falda freatica, sono generalmente stati considerati insignificanti, in quanto questo elemento viene fissato dai colloidi del suolo o dalla sostanza organica. Comunque alcuni esperimenti su suoli montuosi, hanno mostrato come piccole ma significative quantità di fosforo possono muoversi attraverso i diversi profili ed arrivare all'acqua di falda dove contribuiscono a favorire il processo di eutrofizzazione. La perdita di fosforo per percolazione avviene soprattutto in quelle aree dove lo stock di questo elemento è molto elevato. La capacità di immagazzinamento da parte del sistema suolo è bassa (suoli sabbiosi e suoli con alti livelli di sostanza organica) ed il trasporto sottosuperficiale è potenziato dai sistemi di drenaggio artificiale che favoriscono la formazione di flussi preferenziali attraverso le crepe e i macropori (*Sharpley e Withers, 1994; Sims et al., 1998; Eghball et al., 1996; Elrashidi et al., 2001*). Ciò che favorisce quindi la perdita di fosforo sono il suo alto contenuto nella matrice del terreno e la più alta attitudine a favorire la percolazione di alcuni suoli. Recentemente *Sims et al. (1998)* hanno notato che le perdite di fosforo attraverso i sistemi di drenaggio artificiale possono raggiungere quantità elevate e comparabili alle perdite dovute all'effetto di ruscellamento superficiale. Molti autori inoltre hanno effettuato studi su aziende con allevamenti intensivi, riscontrando il problema dello smaltimento dei reflui zootecnici, risolto dagli agricoltori con un aumento del numero di spargimenti affiancati da fertilizzazioni chimiche, contribuendo ad aumentare l'eccesso di accumulo di fosforo nei terreni (più di 20 kg/ha/anno), fenomeno osservato in numerosi paesi dell'Unione Europea (*Brouwer et al., 1995; Haygarth et al., 1998; Hooda et al., 1999*). Quindi l'accumulo di questo elemento e il conseguente effetto di saturazione della capacità di assorbimento da parte degli strati superficiali del suolo, portano ad un potenziale aumento del rischio di perdita di composti fosfati per lisciviazione, favorito anche, ove presenti, dai sistemi di drenaggio artificiale.

Le perdite di fosforo dovuta all'effetto di lisciviazione dipendono dal tipo di terreno, infatti risultano maggiori dove c'è un più alto contenuto di sostanza organica e nei suoli sabbiosi, rispetto a quelli minerali a tessitura fine; questo può essere dovuto al maggior contenuto di elementi capaci e responsabili dell'assorbimento (argilla, carbonati.

ecc) presenti in questi ultimi tipi di suolo (*Sims et al.*, 1998). Risultati simili sono stati osservati in terreni dove una parte dell'acqua coinvolta nello scorrimento superficiale viene assorbita dal terreno attraverso i macropori (*Stamm et al.*, 1998; *Hooda et al.*, 1999).

#### 1.3.4 IL POTASSIO

Il potassio è presente nel terreno sotto forma di ione  $K^+$  incorporato nella sostanza organica e soprattutto nella frazione minerale del suolo. Il potassio minerale è presente in varie forme, non tutte disponibili per le piante:

- potassio reticolare: incorporato nei reticoli cristallini di alcuni minerali, come ad esempio i feldspati e altri tectosilicati e alcuni fillosilicati; non è utilizzabile dalle piante;
- potassio fissato: è incorporato nei reticoli cristallini dei minerali argillosi negli spazi compresi fra i foglietti cristallini. In genere non è utilizzabile dalle piante, con qualche eccezione (es. la barbabietola da zucchero), tuttavia viene lentamente messo a disposizione;
- potassio scambiabile: è adsorbito sulla superficie dei colloidi ed è in equilibrio con la frazione solubile; alcune piante riescono ad assorbirlo;
- potassio solubile: è disciolto nell'acqua del terreno e costituisce con la frazione scambiabile il *potassio assimilabile*; le piante assorbono prevalentemente la frazione solubile.

La frazione scambiabile è costituita dal potassio solubile e dal potassio scambiabile, queste due forme sono tra loro in equilibrio dinamico. L'equilibrio tra le differenti forme del K nel terreno è di tipo dinamico ed è soggetto a spostamenti, naturali e/o indotti, dalle forme solubili e scambiabili verso le forme fissate, non prontamente disponibili per le piante. Ciò significa che, in caso di riduzione del potassio in soluzione (come può verificarsi per assorbimento da parte delle piante o per dilavamento), questo

verrà compensato dal passaggio in soluzione delle forme scambiabili e queste, a loro volta, verranno ripristinate, molto lentamente, dalle forme fissate. Analogamente, un forte apporto di potassio (per esempio a seguito di concimazione), provoca un significativo aumento delle forme scambiabili e di quelle fissate. Poiché lo scambio tra la frazione solubile e quella adsorbita è continuo, la concentrazione del potassio disponibile dipende dal contenuto di potassio scambiabile, dalla tessitura, dal tipo di argille presenti e dalla presenza di altre basi di scambio; in altre parole il potassio disponibile di un terreno sarà tanto più elevato quanto più sarà ricco di colloidali il complesso adsorbente del terreno.

In terreni con diverso contenuto di argilla e con diversi tipi di argilla, ad uguale concentrazione di potassio nella fase liquida corrispondono diverse concentrazioni di potassio scambiabile. Le perdite di tale elemento avvengono principalmente per dilavamento in terreno sabbiosi e poveri di colloidali, sottoposti a cicli umidi.

La concimazione potassica non presenta particolari rischi ambientali anche se la produzione di questo fertilizzante determina un depauperamento delle risorse naturali con conseguente perdita di aree fruibili dal punto di vista naturalistico e turistico. La riduzione dell'impiego di questo mezzo tecnico comporterebbe un minor consumo di combustibili fossili e quindi un minor costo ambientale, energetico ed economico collegati alla produzione ed attività agricola. Il potassio è un elemento che la pianta assorbe facilmente e in gran quantità. L'assorbimento però può essere limitato dalla presenza di altri cationi, come il calcio. Nell'interpretazione del dato analitico ai fini della concimazione potassica, le soglie di sufficienza degli indici di disponibilità differiscono notevolmente secondo il tipo di terreno, la coltura, la temperatura, l'aerazione del suolo, il dilavamento, la durata del ciclo vegetativo e le fasi fenologiche della specie coltivata. A parità di altre condizioni tali soglie aumentano all'aumentare del contenuto di argilla nel suolo e a parità di contenuto di argilla, la quantità di potassio disponibile per le piante è influenzata dal tipo di argilla presente. Nei terreni a minore contenuto di argilla l'equilibrio è spostato a favore delle forme solubili. In tali casi e a parità di altre condizioni, gli apporti di concimi potassici dovranno essere frazionati e distribuiti in funzione delle fasi fenologiche della coltura per evitare perdite per dilavamento.

Il potassio è fondamentalmente un elemento poco mobile, trattenuto bene dal potere assorbente del terreno; possono tuttavia esserci carenze nei terreni calcarei perché è in competizione con il calcio e il magnesio nella saturazione dei colloidi (*Neilsen and Stevenson 1983*). La disponibilità di potassio non rappresenta invece un problema nei terreni neutri e acidi che ne sono dotati, soprattutto in quelli con un buon tenore in argilla. I terreni italiani in genere sono molto ricchi di potassio, perciò la concimazione potassica è spesso trascurata per le colture meno esigenti. Una buona dotazione in potassio in ogni modo non è necessariamente correlata ad una disponibilità per le piante: i terreni sabbiosi, ad esempio, possono essere costituzionalmente ricchi di potassio ma poveri nella forma assimilabile in quanto si tratta prevalentemente di potassio reticolare.

#### **1.4 LA SOLUZIONE CIRCOLANTE DEL TERRENO**

Per soluzione circolante s'intende la fase liquida del terreno, formata dall'acqua e dalle sostanze in essa disciolte. La sua importanza è grandissima in quanto le piante assorbono dalla stessa la quasi totalità degli elementi nutritivi unitamente all'acqua.

Diversi fattori agiscono sulla composizione della soluzione circolante modificandone le caratteristiche, come ad esempio l'irrigazione, le piogge, le lavorazioni, le concimazioni, la temperatura, l'attività microbiologica e l'assorbimento da parte delle piante. Altresì un ruolo fondamentale è svolto dal potere adsorbente del terreno che ha la capacità di fissare determinati ioni, impedendo il crearsi di eccessi di salinità ed il dilavamento dei nutrienti. La composizione della soluzione circolante del terreno perciò è strettamente legata alla capacità di scambio cationico, per quanto riguarda la concentrazione dei cationi, come per esempio K, Na e Ca, e alla capacità di scambio anionica che regola la concentrazione del fosforo disponibile in soluzione. Il potere adsorbente non influisce sulla concentrazione dei composti azotati, che assumono caratteristiche peculiari e devono essere considerati con dinamiche diverse.

Il monitoraggio della soluzione circolante presente nel suolo, come la quantità di nutrienti che percolano in profondità, sono un aspetto molto interessante della ricerca



scientificamente effettuata in campo, in particolare per quanto riguarda la protezione dell'acqua sotterranea come acqua potabile, ma anche per poter capire le dinamiche che regolano l'utilizzo di pesticidi e fertilizzanti in agricoltura, pericolosi inquinanti. Si sa che la rilevazione della sostanza inquinante nell'acqua di falda oggi ha un ritardo di circa 20 anni dall'attività inquinante che l'ha prodotta. Per questo motivo, è previsto che le attività inquinanti continueranno a far aumentare le concentrazioni di nitrati per parecchie decadi. Il fosforo, mobile all'interno della pianta, è caratterizzato invece, da una scarsa mobilità nel suolo perché è trattenuto dai colloidi del terreno, non è soggetto a perdite per dilavamento e può trovarsi in forma organica e minerale. Il potassio è fondamentalmente un elemento trattenuto bene dal potere adsorbente del terreno difficilmente lisciviabile. Alla luce di tali considerazioni per ridurre gli effetti negativi riconducibili alle tecniche di concimazione, si ritiene necessario monitorare in maniera adeguata la soluzione circolante. Il monitoraggio "in situ" della soluzione circolante è alla base degli studi che riguardano l'ecologia, la gestione dell'acqua, l'agricoltura, le foreste e la difesa e protezione dell'ambiente.

Lo scopo principale dell'estrazione della soluzione circolante è la possibilità di analizzare quanti – qualitativamente l'acqua contenuta nei macro e micropori del suolo per diverse motivazioni scientifiche e pratiche.

## **1.5 L'ESTRAZIONE E IL MONITORAGGIO DELLA SOLUZIONE CIRCOLANTE DAL TERRENO**

### **1.5.1 PREMESSA**

I lisimetri sono degli importanti strumenti per la ricerca nell'ambito del sistema suolo-pianta - atmosfera al fine di studiare le dinamiche presenti nel terreno perché permettono una misurazione diretta dell'acqua, del contenuto di fertilizzanti nella soluzione circolante e dei soluti presenti nel terreno (*Van Bavel, 1961; Hillel et al., 1969*). La misurazione degli aspetti appena citati, effettuata in condizioni di pieno campo, risulta molto più facile ed attendibile con l'utilizzo dei lisimetri, perché permettono di simulare le

condizioni di campo rispettando la soluzione circolante (*Lazarovitch et al.*, 2006); questi strumenti sono tuttora considerati il metodo standard per la misurazione diretta dell'evapotraspirazione.

### 1.5.2 I LISIMETRI

I lisimetri presentano una lunga storia per quanto concerne il loro sviluppo e i differenti design sperimentali (*Howell et al.*, 1991), sono stati costruiti in diverse forme e grandezze. Sono stati sviluppati lisimetri di forma quadrata (*Marek et al.*, 1988; *Schneider et al.*, 1998), circolare (*Pruitt e Angus* 1960; *McFarland et al.*, 1983; *Young et al.*, 1997; *Meshkat et al.*, 1999; *Seyfried et al.*, 2001; *Yang et al.*, 2003) e rettangolare (*Klocke et al.*, 1985; *Schneider et al.*, 1996; *Malone et al.*, 2000; *Tyagi et al.*, 2003; *Marek et al.*, 2006); la grandezza è stabilita in funzione dello studio che si decide di effettuare e della risoluzione dei campioni che si desidera ottenere. La scelta del sito dove posizionare i lisimetri deve tener conto di molti fattori, ovvero, conservare il più possibile le condizioni naturali, considerare gli aspetti climatici, il suolo e la vegetazione del sito per ridurre i possibili errori (*Fank*, 2004).

Per quanto riguarda l'affidabilità e la precisione di questi strumenti sembra essere direttamente proporzionale alla superficie dello strumento e all'accuratezza della scala di campionamento e inversamente proporzionale alla massa del lisimetro (*Schneider and Howell*, 1991). Altri studiosi considerano la sensibilità dello strumento strettamente legata al metodo di raccolta dei dati o dei campioni (*Allen e Fisher*, 1990). Sostanzialmente quindi le caratteristiche principale che possono influire sull'accuratezza di un lisimetro sono l'area, la massa ed il tipo di scala utilizzata (*Schneider e Howell*, 1991).

Le caratteristiche principali che differenziano i lisimetri sono:

- dimensioni: piccoli (< 0,5 m<sup>2</sup>), standard (0,5 – 1 m<sup>2</sup>), grandi (> 1 m<sup>2</sup>);
- peso: weighable e non-weighable;
- metodo di riempimento del suolo : disturbato, non disturbato;
- vegetazione: suolo nudo, terreno arato, foresta, pascoli;
- tipo di suolo: suolo sabbioso, argilloso, limoso e calcareo.

I tipi di lisimetro generalmente utilizzati in ambito scientifico per monitorare quanti – qualitativamente i fenomeni di lisciviazione e percolazione delle acque e quindi anche della soluzione circolante, attraverso i suoli agrari sono:

Zero-tension lysimeter: lisimetro con drenaggio libero della soluzione raccolta (*Gallet e Keller, 1999; Jemison e Fox, 1994; Jemison e Fox, 1992; Thompson e Scharf, 1994*);

Low-tension lysimeter: viene applicata una depressione al sistema di raccolta (*Corwin e LeMert 1994; Simmonds e Nortcliff, 1998*);

Equilibrium tension

lysimeter: lisimetro costruito per mantenere in equilibrio la depressione applicata al sistema di raccolta ed il potenziale matriciale del suolo, quindi la depressione applicata varia costantemente (*Byre et al., 1999*);

Block lysimeter: viene costruito un involucro attorno ad una porzione di suolo indisturbato; la soluzione circolante può essere raccolta con o senza applicare una depressione (*Corwin e LeMert, 1994; Cameron et al., 1992; Meshkat et al., 1999; Mclay et al., 1992; Schoen et al., 1999*),

Ebermayer lysimeter: lisimetro in situ senza pareti sulla superficie del suolo, generalmente di piccole dimensioni; la soluzione circolante può essere raccolta con o senza applicare una depressione (*Jemison e Fox, 1992*);

## Filled-in lysimeter

method: il materiale da testare (suolo) viene precedentemente trattato prima di riempire il lisimetro; la soluzione circolante può essere raccolta con o senza applicare una depressione (*Fällman e Hartlén, 1994; Hjelmar, 1990; Ludwig et al., 2000; Stegemann et al., 1995*),

Weighing lysimeter: il lisimetro viene posizionato direttamente con il sistema di pesatura-raccolta o può venire posizionato sul sistema di raccolta periodicamente (*Corwin e LeMert, 1994; Allen et al., 1991*);

Non-weighing lysimeter: lisimetro senza sistema di pesatura-raccolta (*Fällman e Hartlén, 1994; Hjelmar, 1990; Ludwig et al., 2000; Stegemann et al., 1995*).

Molti autori suggeriscono, ad esempio, che gli Zero-tension lisimetri (lisimetro con drenaggio libero della soluzione raccolta), sono idonei per studi che riguardano il bilancio degli input-output relativi agli ecosistemi, mentre i Low-tension lisimetri (dove viene applicata una depressione al sistema di raccolta, lisimetri a suzione) sono più indicati quando si vanno a considerare le dinamiche della soluzione circolante o quando si vogliono fare indagini sullo stato nutrizionale delle colture (*Marques et al., 1996*).

Quando si procede con l'installazione di un lisimetro a suzione, definito il sito e l'obiettivo, bisogna considerare che tale operazione altera le naturali condizioni di campo e di conseguenza influisce sulla soluzione circolante raccolta ad una determinata profondità. E' consigliabile quindi installare lo strumento a una profondità considerevole, in relazione all'obiettivo prefissato. Uno dei principali problemi che si incontrano utilizzando i lisimetri a suzione è il flusso che si crea lungo le pareti. L'utilizzo di questi strumenti per lo studio della mobilità dei nutrienti e per la creazione di modelli per la valutazione del trasporto dei soluti sono stati criticati appunto per tali ragioni (*Till e McCabe, 1976*). Il flusso preferenziale lungo le pareti del lisimetro della soluzione circolante è dovuto allo

spazio che si crea tra il suolo e le pareti dello strumento; questo vuoto rappresenta un passaggio preferenziale che permette un rapido deflusso dell'acqua superficiale e perciò anche del trasporto dei soluti. Ciò inoltre può modificare il potenziale idraulico e quindi portare ad una sovrastima dell'indice di percolazione o drenaggio, rendendo la fase di campionamento non rappresentativa (*Cameron et al., 1990; Corwin, 2000*). Per ridurre l'effetto di questo flusso laterale della soluzione circolante, lungo le pareti del lisimetro, alcuni autori suggeriscono di aumentare la superficie del lisimetro ed utilizzare dei materiali che evitino la formazione di spazio tra lo strumento e il suolo, come ad esempio iniettando le pareti con gel di petrolio (petrolato) (*Cameron et al., 1992*).

Dopo un'attenta analisi e valutazione delle varie tipologie di lisimetro si è scelto di utilizzare per la sperimentazione in oggetto una tipologia di lisimetro facilmente reperibile in commercio e di facile installazione. Lo studio prevede infatti di individuare una metodologia di analisi e monitoraggio della soluzione circolante che possa essere utilizzata direttamente dagli agricoltori in pieno campo. La scelta è ricaduta così sui low - tension lysimeter, ed in particolare sui lisimetri a suzione (Hanna Ins.) costituiti da un puntale di ceramica porosa collegato ad un tubetto di plexiglass del diametro di 1 cm.

### 1.5.3 I LISIMETRI A SUZIONE

Il rapido sviluppo di metodi analitici di analisi durante l'ultimo decennio ha permesso a numerosi ricercatori di produrre molti lavori sulle dinamiche dei soluti contenuti nella soluzione circolante. Per fare ciò è necessario poter disporre di ottimi strumenti che permettano la raccolta di campioni non contaminati e che rispecchino il più possibile le reali condizioni che si verificano nell'ambito del sistema suolo - pianta - radici. Per questo i lisimetri a suzione risultano strumenti fondamentali per poter effettuare campionamenti a diverse profondità e per capire quali siano le dinamiche di trasporto di questi elementi.

*Muller (1996)* definisce i lisimetri come ... "a device that isolates a volume of soil or earth between the soil surface and a depth given and includes a percolating water

sampling system at its bottom” . Infatti possono rappresentare il collegamento tra le analisi effettuate in laboratorio sull'acqua raccolta, ed il comportamento della soluzione circolante in condizioni di pieno campo. Inizialmente le coppe porose vennero descritte da *Briggs e McCall* (1904), da lì in poi queste vennero comunemente utilizzate in diversi studi riguardanti la raccolta della soluzione circolante per scopi e studi analitici riguardanti le dinamiche dei soluti e dell'acqua nel suolo. In letteratura diversi termini sono stati utilizzati per descrivere gli strumenti utilizzati per campionare la soluzione circolante; *Krone et al.* (1951) usano il termine “porous tube”, mentre invece *Parizek e Lane* (1970) parlano di “deep pressure vacuum lysimeter”; “vacuum extractor”, “porous candle”, “porous cup o suction cup” in *Duke e Haise* (1973). Da quando questi strumenti sono stati costruiti con il solo puntale poroso, *Grossmann e Udluft* (1991) hanno cominciato ad introdurre il termine di suction probe. Successivamente si è introdotto il termine di coppe a suzione, per descrivere tutto l'insieme di questi strumenti utilizzati per campionamento della soluzione circolante del terreno. *Barbee e Brown* (1986) descrivono diversi tipi di coppe porose costruite con differenti materiali , come anche *Dorrance et al* (1991) e *Hart e Lowery* (1997). Principalmente questi strumenti sono costituiti da una coppa porosa montata ermeticamente su un tubo di plastica, del diametro di qualche centimetro, all'interno del quale è inserito un tubo più piccolo che permette di recuperare e raccogliere la soluzione circolante estratta presente all'interno del lisimetro. L'installazione di queste coppe porose nel profilo di suolo non richiede particolari operazioni, importante è garantire la buona adesione dello strumento con le pareti della porzione di suolo circostante (*Grossmann e Udluft*, 1991). Per far funzionare questa tipologia di lisimetri è necessario creare una depressione all'interno del tubo per permettere alla coppa porosa di estrarre la soluzione circolante dal suolo; la depressione da applicare al sistema e le operazioni da seguire per un corretto campionamento sono tutt'ora motivo di dibattito in ambiente scientifico (*McGuire e Lowery*, 1994; *Brandi-Dohrn et al.*, 1996; *Weihermüller et al.*, 2005). In generale gli autori concordano sul fatto che la depressione che deve essere applicata ai lisimetri è legata al tipo di suolo, alle caratteristiche dell'ambiente in cui si deve operare, alla quantità di soluzione circolante di cui si ha bisogno per effettuare le

analisi, al contenuto idrico del suolo al momento in cui si va ad operare e al momento in cui si va ad applicare la depressione allo strumento (Warrick e Amoozegar-Fard, 1977; Weihermüller, 2005).

Sono stati e sono tutt'ora allo studio nuovi materiali che permettono di minimizzare gli effetti dovuti alla contaminazione dei campioni; comunque la questione principale da risolvere è la possibilità di non alterare o influenzare le reali condizioni del sistema suolo durante l'installazione dei lisimetri in modo tale che possano operare il più possibile in condizioni naturali o per lo meno in condizioni indisturbate (Brandi-Dohrn et al., 1996; Weihermüller, 2005; Weihermüller et al., 2005). Sono inoltre ben noti i cambiamenti a livello di potenziale matriciale che vengono indotti sui flussi naturali all'interno del suolo durante le fasi di installazione (Hart and Lowery, 1997). Non per ultime sono state mosse delle ipotesi sul fatto che i lisimetri riescano a catturare maggiormente la soluzione circolante dai macropori del suolo a scapito di quella contenuta nei micropori (Hansen e Harris, 1975; Severson e Grigal, 1976). Parte della confusione in questo ambito scientifico, riguardante la rappresentatività della soluzione circolante estratta con i lisimetri a suzione, molto probabilmente deriva dalla moltitudine di definizioni usate dai diversi autori, per descrivere l'influenza che gli strumenti possono avere sulla composizione della soluzione circolante estratta e sul volume che viene estratto durante il campionamento. Rhoades e Oster (1986) riportano che la concentrazione dei soluti nel campione di soluzione circolante estratta con i lisimetri dipende dalla forza di suzione applicata in quanto l'acqua estratta dai macropori, applicando una bassa depressione potrebbe avere una composizione diversa da quella estratta dai micropori. Quindi risulta fondamentale applicare un forza che permetta di estrarre la soluzione circolante sia dai macro e in parte anche dai micro pori per ottenere un campionamento che rispecchi il più possibile le condizioni naturali e le dinamiche all'interno del sistema suolo – pianta. Inoltre Weihermüller et al (2006) hanno dimostrato come l'eterogeneità del suolo sembri giocare un ruolo fondamentale per il monitoraggio dei soluti con questi strumenti a suzione, infatti l'eterogeneità del terreno può influire sulla capacità di ritenzione idrica del suolo e può causare la formazione di flussi irregolari e non uniformi tra suolo e lisimetro. Cochran et al., 1970 conclusero che

l'applicazione di una forza di suzione costante e continua al lisimetro aumenta la differenza del volume di lisciviato raccolto, specialmente negli orizzonti con differenti flussi e capacità di ritenzione idrica. Per queste motivazioni il posizionamento dello strumento deve tener conto dell'omogeneità o meno del suolo che va a influire sulla formazione di flussi preferenziali, i quali possono favorire o ridurre la capacità delle coppe porose di intercettare la soluzione circolante. Di conseguenza si rischia di monitorare solo tali flussi senza produrre un campionamento rappresentativo dell'area in oggetto.

Nonostante i pareri discordanti, i lisimetri a suzione o le coppe porose rimangono gli strumenti più largamente utilizzati dagli esperti del settore per studi che riguardano l'estrazione ed il monitoraggio della soluzione circolante, sia per la loro facilità di utilizzo e installazione, sia per il bagaglio di esperienza maturato finora in questo ambito scientifico.

#### 1.5.4 IL CAMPIONAMENTO DELLA SOLUZIONE CIRCOLANTE

Visto che l'eterogeneità del suolo ha una grande influenza sulla concentrazione e composizione chimica della soluzione circolante, alcuni autori hanno mosso delle critiche a proposito della ridotta sezione d'area dei lisimetri a suzione che per questo possono comportare un'inadeguata variabilità spaziale durante il campionamento (*England, 1974; Amoozegar-Ford et al., 1982; Haines et al., 1982*). *Biggarr e Nielsen (1976)* suggeriscono quindi che i lisimetri sono strumenti per il "campionamento puntuale" e possono provvedere ad una buona misurazione qualitativa della soluzione circolante, ma non possono fornire informazioni quantitative.

L'approccio ideale per uno studio sulla soluzione circolante con i lisimetri, richiede un campionamento della stessa a momenti e profondità specifiche all'interno del profilo di suolo che si vuole caratterizzare chimicamente e fisicamente (*Fermanich et al., 1991*). I campioni di soluzione circolante dovrebbero essere quindi privi di contaminazioni (sovrastima o sottostima) dovute ai materiali utilizzati per costruire i lisimetri e dovrebbero essere ottenuti in condizioni naturali di flusso idrico (*Fermanich et al., 1991*).



Tutti i processi coinvolti nel trasporto dei soluti, inclusi l'evapotraspirazione, le reazioni chimiche, la volatilizzazione e il drenaggio possono essere misurati indipendentemente, in quanto i lisimetri sono molto adatti per il controllo del flusso idrico e per la determinazione dei movimenti dei contaminanti di origine organica e non all'interno della zona esplorata dall'apparato radicale. Come scrivono *Corwin e LeMeti (1994)*, "essi sono dei semplici strumenti che permettono di raccogliere campioni per determinare la composizione chimica della soluzione circolante".

Il flusso dell'acqua attraverso i profili del suolo agrario è nella maggior parte dei casi molto irregolare. Nei suoli ben strutturati, limosi ed argillosi, l'acqua si muove preferibilmente tra le crepe e le fessure presenti (*Beven e German, 1982; Bouma, 1991*). In quelli mediamente strutturati, suoli sabbiosi, il fronte d'infiltrazione dell'acqua potrebbe divenire instabile e dividersi in parti più piccole prima di attraversare i vari profili (*Hille, 1987*). Nei suoli dove sono presenti macropori, l'acqua e i soluti potrebbero essere incanalati all'interno di questi pori senza penetrare i micro pori matriciali (*Edwards et al., 1989, 1993*). L'acqua bypassando una porzione della matrice di suolo, fa sì che i tempi di trasporto dei soluti dalla superficie alla falda sottostante, siano più corti di quelli che normalmente ci si aspetta (*Markus e Fluhler, 1994*). Numerose ricerche confermano che il fenomeno di bypass che caratterizza il flusso, viene dal verificarsi dell'assorbimento di inquinanti (pesticidi, nitrati) da parte della falda, con dinamiche che non possono essere spiegate solo dal trasporto di tali molecole attraverso la sola matrice del suolo. Altri studi sono stati effettuati per individuare a quali profondità possono accumularsi maggiormente i nutrienti e quali siano le profondità utili da analizzare. Per quanto riguarda i nitrati si nota come si accumulano preferibilmente nei primi 20 cm di profondità, ed in particolare nei primi centimetri di suolo soprattutto nei suoli non lavorati; questo sta a significare che le lavorazioni possono contribuire a favorirne la distribuzione negli strati più profondi. Inoltre, confrontando tipi diversi di suolo, si nota come l'accumulo di nitrati a profondità variabile tra i 20 ed i 40 cm, sia decrescente andando a considerare suoli calcarei, argillosi e sabbiosi (*Marrs et al., 1991*).

Il contenuto di fosforo del terreno presenta una significativa riduzione con la profondità, in particolare in suoli argillosi e sabbiosi, dove l'accumulo avviene nei primi 20 cm di profondità, mentre in terreni calcarei sembra essere maggiormente presente alle profondità di 20 e 40 cm e 40 e 60 cm; questa differenza risulta molto marcata confrontando terreni lavorati con terreni non lavorati (*Marrs et al., 1991*).

Anche il potassio risulta particolarmente presente nei primi 20 cm di suolo e tra i 20 e 40 cm, soprattutto in terreni argillosi lavorati, mentre non sembrano esserci differenze significative tra i 20 - 40 cm e tra 40 - 60 cm in suoli calcarei e sabbiosi, anche se l'accumulo risulta superiore dove vengono effettuate lavorazioni (*Marrs et al., 1991*).

In generale, c'è una significativa riduzione della concentrazione dei nutrienti con l'aumentare della profondità, con la sola eccezione del suolo calcareo lavorato, dove elevate concentrazioni sono state riscontrate in tutte e tre le profondità analizzate, ovvero 0 - 20 cm, 20 - 40 cm e 40 - 60 cm; questo dato risulta sorprendente considerando che i suoli calcarei hanno un'elevata capacità di assorbimento (*Rizand et al., 1989*). La struttura del suolo è un altro fattore importante che contribuisce a creare eterogeneità a livello di microscala nel suolo, come ampiamente dimostrato dagli esperimenti effettuati sulla percolazione, che confrontano campioni di suolo indisturbato con campioni di suolo omogenei. Per esempio, dopo un effetto di omogeneizzazione del suolo, la concentrazione di potassio può aumentare anche di un ordine di grandezza, rispetto ad un campione di suolo indisturbato (*Hantschel et al., 1988; Hildebrand, 1991*). Questo implica che esiste un gradiente nella composizione chimica della soluzione circolante tra la componente interna ed esterna degli aggregati del suolo; questi gradienti sono stati osservati anche in altri studi relativi al potenziale idrico del suolo (*Turk et al., 1991*).

Altri studi dimostrano come la concentrazione dei nitrati decresce con l'aumentare della profondità sia utilizzando fertilizzanti minerali sia concimi organici. Questo è stato osservato analizzando la soluzione circolante fino ad un metro di profondità, dove si è visto che la concentrazione maggiore di nitrati è presente nei primi 30 cm. Lo stesso accade per il fosforo dove la profondità di accumulo si riduce soprattutto negli strati di terreno compresi tra i 15 e 30 cm (*Allen et al., 2006*). Anche dal confronto tra

dosi diverse di concimazione si è visto come l'accumulo di fosforo decresce con l'aumentare della profondità, presentando valori maggiori nei primi 30 cm di suolo; ciò sta a dimostrare che la mobilità nel terreno di questo elemento sia molto bassa (*Zhang et al.*, 2003).

Alla luce di tali considerazioni e conoscenze, in generale, quando vengono installati i lisimetri è importante poter misurare i parametri a diverse profondità, in quanto i dati raccolti sono sempre il risultato di misurazioni effettuate in un solo punto e procedere con le misurazioni per un lungo periodo in modo tale da poter considerare diverse situazioni pedo-climatiche e i diversi comportamenti del suolo nelle varie stagioni per ottenere dati sul bilancio dei nutrienti all'interno del sistema suolo. Solo così è possibile aumentare la precisione delle osservazione riducendo l'errore e quindi arrivare ad una standardizzazione delle diverse situazioni in modo tale da poter costruire un modello che possa permettere di prevedere le dinamiche della soluzione circolante e il trasporto dei nutrienti nei vari strati di terreno considerati (*Parsons et al.*, 1995; *Simmonds e Nortcliff*, 1998; *Schoen et al.*, 1999).

## **1.6 L'ESTRAZIONE E IL MONITORAGGIO DELLA SOLUZIONE CIRCOLANTE DA SUBSTRATO**

### **1.6.1 PREMESSA**

Sono circa 130 anni che i ricercatori di tutto il mondo effettuano studi ed esperimenti sulle tecniche e procedure per estrarre da campioni di suolo o substrato inalterati la soluzione circolante (*Schloesing*, 1866). Anche nel campo delle coltivazioni in contenitore si parla di monitoraggio della soluzione circolante (*bulk soil solution*), costituita dalla soluzione presente allo stato di semi – equilibrio in condizioni di saturazione del substrato e che contiene particolari concentrazioni di ioni disciolti disponibili per la pianta (*Faber e Nelson*, 1984; *Pearson*, 1971; *Burd e Martin*, 1923).

Un metodo perfetto per estrarre la soluzione circolante da substrati dovrebbe essere di facile e pratica applicazione, preservare la pianta e quindi non essere distruttivo,

ed inoltre dovrebbe consentire l'analisi dei nutrienti. Un metodo di questo tipo permetterebbe ai produttori di avere in mano le informazioni necessarie sullo stato nutrizionale delle proprie piante direttamente in azienda e i lisimetri a suzione possono rappresentare questa valida alternativa per gli operatori del settore florovivaistico.

### 1.6.2 LA GESTIONE DELLE COLTURE IN CONTENITORE

La gestione della nutrizione delle piante in contenitore non è così semplice da effettuare per poter ottenere una produzione redditizia e sotto l'aspetto fitopatologico sana. La durata delle fasi vegetative, la qualità del prodotto finale e i costi di produzione sono influenzati dalla nutrizione. Nel sistema di produzione florovivaistica odierna possono verificarsi rapidi cambiamenti a causa dello stato nutrizionale delle piantine e l'introduzione di sistemi di coltivazione fuori suolo permettono ai produttori di gestire e monitorare il pH e la conducibilità elettrica della soluzione circolante in maniere più semplice e diretta con la possibilità di intervenire tempestivamente. Indagini fatte direttamente in aziende florovivaistiche, hanno mostrato che solo il 10% dei produttori normalmente esegue questo tipo di monitoraggio sui propri prodotti; la risposta data più frequentemente per giustificare tali abitudini sta nell'insufficienza di tempo da dedicare a queste attività, che invece vengono attuate solo quando esiste un reale problema che può ridurre la produzione lorda vendibile. Per poter prendere una decisione in situ relativa alla gestione della nutrizione e fertilità c'è quindi bisogno trovare un protocollo che definisca le procedure per effettuare test rapidi, veloci e semplici sul substrato in questione.

Il mantenimento di valori ottimali di umidità e di concentrazione di nutrienti nella zona radicale di colture allevate in contenitore, in suolo poco profondi o in banquette, cioè in sistemi caratterizzati da un ridotto volume di substrato/terreno, richiede irrigazioni e fertilizzazioni frequenti e ciò spesso porta ad una sorta di circolo vizioso (*Bunt, 1988; Wright e Niemiera, 1987*); le abbondanti e frequenti irrigazioni aumentano infatti le perdite per lisciviazione dei nutrienti, che così devono essere forniti in continuazione e così via. Infine, altri due fattori contribuiscono all'uso eccessivo di acqua e

di fertilizzanti nelle colture florovivaistiche: le ragioni commerciali facilmente comprensibili che non ammettono sintomi, neppure lievi, di disordini nutrizionali, e i costi per l'acqua e per i fertilizzanti che incidono molto poco sui costi totali di produzione rispetto ad altri fattori produttivi come la manodopera e l'energia (*Hanan, 1998*).

Tutto ciò è all'origine della scarsa efficienza d'uso dell'acqua e dei fertilizzanti e delle notevoli perdite di nutrienti, fino al 50-60% di quelli distribuiti con le concimazioni e le fertirrigazioni (*Ristvey et al., 2004; Cabrera et al., 1993*).

Il monitoraggio continuo dello status nutrizionale del substrato in floricoltura e l'applicazione delle procedure correttive possono eliminare ed evitare la maggior parte dei problemi relativi alla carenza/eccesso di nutrienti. Tutti sanno che il miglior modo per avere un esatto quadro della situazione all'interno del sistema pianta – substrato è l'analisi dei tessuti, che ci permette di conoscere quali nutrienti sono stati assorbiti dalla pianta. Comunque i produttori raramente ricorrono a questo tipo di analisi per il monitoraggio dei propri prodotti perché richiede tempo mandare i campioni ad un laboratorio e aspettare i risultati, comporta una perdita di produzione, in quanto tali analisi sono distruttive ed infine rappresenta un'altra voce di costo per il bilancio dell'azienda. Negli anni, sono stati condotti numerosi studi per trovare correlazioni tra i livelli di nutrienti nel substrato, la crescita della pianta e/o il contenuto nei tessuti della pianta (*Ku e Hershey, 1991; Ku e Hershey, 1992; Lang e Pannkuk, 1998; Wright et al., 1990*) o per mettere in relazione l'analisi del substrato con la reale disponibilità dei nutrienti per la pianta (*Marschner, 1995*).

### 1.6.3 LE TECNICHE DI ESTRAZIONE DELLA SOLUZIONE CIRCOLANTE

Inizialmente (*Morgan, 1916, 1917; van Suchtelen, 1912*) si pensò di utilizzare dell'olio come mezzo per catturare la soluzione circolante del substrato ed evitare che si mescolasse con la frazione destinata alla lisciviazione, ma questa tecnica presentava dei problemi connessi all'utilizzo dell'olio e l'ambiente circostante (substrato) ed inoltre non permetteva di ottenere sufficienti campioni. Le operazioni da effettuare per applicare tale

metodologia non erano del tutto chiare e neppure quelle relative alla forza di suzione da applicare per estrarre questa soluzione circolante mista a olio dal substrato (*Parker, 1921*). L'impiego dell'olio portava a effetti deleteri sulla crescita della pianta sottoposta a questo metodo di estrazione con conseguente perdita di produzione. Successivamente si pensò di utilizzare come mezzo per l'estrazione alcool etilico, con questa tecnica *Ischerekov (1907)* ottenne campioni di soluzione circolante secondo il suo giudizio inalterati; tuttavia *Faber e Nelson (1984)* utilizzarono alcool metilico per le loro prove, ottenendo basse concentrazioni di calcio, potassio e fosforo rispetto all'utilizzo dell'acqua come mezzo di estrazione. Queste differenze furono giustificate con la minore costante dielettrica dell'alcool metilico utilizzato rispetto all'acqua che porta ad una riduzione della solubilità degli ioni ed inoltre una riduzione delle concentrazioni degli ioni nel campione estratto. Anche in questo caso *Parker (1921)* criticò la tecnica utilizzata perché notò che l'alcool si mescolava facilmente con la soluzione circolante, caratteristica che un mezzo imputato ad estrarre la soluzione circolante non dovrebbe avere. Un'altra tecnica prevede la centrifugazione (*Faber e Nelson, 1984; Merek e Carle, 1974, Mubarak e Olsen, 1976*) del campione di substrato per estrarre la soluzione circolante, ma questo sistema non è così pratico e veloce per l'analisi dei nutrienti, in quanto bisogna rimuovere il substrato dal contenitore che inevitabilmente provoca la distruzione della pianta. *Merek e Carle, 1972* sostennero che questa tecnica era utile nel caso in cui i campioni di substrato abbiano un basso livello di umidità in quanto permette di aggiungere un altro mezzo liquido per favorire l'estrazione, ma *Faber e Nelson (1984)* all'opposto notarono che i campioni con livelli di umidità bassi non producevano volumi di soluzione circolante sufficienti per un'analisi completa. Un altro metodo trovato da alcuni ricercatori per estrarre la soluzione da substrati è il "column displacement method" (*Faber e Nelson, 1984*) successivamente modificato, adottato in serra e meglio conosciuto come PoutThru (*Cavins et al., 2000a; Cavins et al., 2000b; Wright, 1986; Wright et al., 1990; Yeager et al., 1983*). Il "column displacement" ed il PourThru presentano però delle limitazioni relative alla forte forza di adsorbimento che si instaura tra le particelle di dimensioni più piccole e la porosità del substrato (*Spomer, 1979*). Nel campo del florovivaismo le caratteristiche dei substrati impiegati, alta porosità, buon drenaggio e

bassa densità fanno sì che il PourThru possa rappresentare il metodo di estrazione semplice e veloce da impiegare direttamente in situ.

A tal proposito si è pensato di provare ad utilizzare i lisimetri a suzione per estrarre la soluzione circolante da substrati in contenitore, per verificare se possono essere utilizzati come metodo veloce e semplice per il monitoraggio dello stato nutrizionale delle piante in vaso e ottenere così risultati comparabili con il metodo del PourThru. Infatti sta nei consulenti e nei ricercatori ottimizzare i tempi per l'analisi della soluzione circolante perché questo può influenzare in gran misura la redditività delle colture; la possibilità di avere a disposizione un ONE-SITE ANALYSIS permette di poter agire tempestivamente nel correggere un'eventuale carenza o eccesso di micro e macro nutrienti (*Cavins et al.*, 2000a,b; *Cavins et al.*, 2001; *Whipker et al.*, 2000).

L'analisi della soluzione circolante del substrato di coltivazione rappresenta un valido strumento di indagine per conoscere la composizione del suolo; essa fornisce indicazioni utili relative a:

- contenuto di sali della soluzione del suolo, proporzionale alla conducibilità elettrica dell'estratto acquoso;
- disponibilità immediata di nutrienti, importante per il monitoraggio nella gestione della fertirrigazione;
- eventuali situazioni di rischio di tossicità dovuti a concentrazioni, anche poco elevate, di alcuni ioni (es. borati, manganese, alluminio nelle forme solubili).

Nell'estratto così ottenuto oltre alla conducibilità elettrica ed al pH, solitamente si determinano cloruri, carbonati, bicarbonati, azoto, fosfati, potassio, magnesio, calcio e sodio solubili, presenti in forma ionica.

Questo tipo di analisi è utilizzato da oltre 20 anni, dapprima limitatamente alle colture ornamentali in vaso e floricole, successivamente anche per le orticole, per monitorare, sotto l'aspetto nutrizionale, il substrato delle coltivazioni in serra.

Le tecniche comunemente utilizzate per l'estrazione della soluzione circolante su colture in vaso sono : **Metodo 1:2**, **Metodo SME** e **Metodo PourThru**.

- **Metodo 1:2** → metodo distruttivo, oggettivo, pratico, veloce, semplice, ma non simula le reali condizioni presenti in natura a causa dell'elevato contenuto d'acqua utilizzato (volume d'acqua doppio del volume di suolo) (USDA,1954) e perché non tiene conto del contenuto idrico iniziale presente nel campione di suolo o substrato; inoltre la diluizione porta ad avere le concentrazioni di ioni e dell'EC nell'estratto tipicamente più basse dei valori ottenuti con metodi che prevedono l'estrazione satura (Franzen, 2003; Zhang et al., 2005).
- **Metodo SME (Saturated Media Extract)** → metodo standard di analisi dei substrati utilizzato nei laboratori (Dole e Wilkins, 1998; Lang, 1996). I valori nutritivi riportati nelle linee guida per le fertilizzazioni sono generalmente basati sugli indici ottenuti con l'SME method (Lang, 1996). È una tecnica distruttiva che richiede tempo, inoltre i risultati ottenuti dipendono molto dalla capacità dell'operatore, dal contenuto d'acqua iniziale e dalla zona in cui viene estratto il campione di substrato (Cavins, 2002). Però la diluizione operata, con questo metodo, per estrarre la soluzione circolante dal campione, mira a ricreare le reali condizioni di capacità di campo e quindi riesce a simulare bene le condizioni ambientali.
- **Metodo PourThru** → Questa semplice tecnica di estrazione della soluzione circolante può essere facilmente utilizzata per monitorare le condizioni nutritive delle piante in vaso direttamente in serra e/o spedire la soluzione raccolta ad un laboratorio per effettuare se necessario analisi più approfondite; infatti l'estrazione con questa tecnica permette di operare direttamente in serra sui vasi utilizzati senza la necessità di speciali strumenti o equipaggiamenti o la necessità di trasportare il substrato da analizzare in laboratorio. Ovvero non è una tecnica distruttiva, quindi non comporta la perdita di produzione vendibile né un aumento dei costi per il florovivaista.



## **1.7 IL COMPOST**

### **1.7.1 PREMESSA**

Il compost viene definito come un prodotto di decomposizione bio-ossidativa di substrati organici in fase solida, che porta alla produzione di CO<sub>2</sub>, calore, H<sub>2</sub>O e un residuo organico stabilizzato fitocompatibile (*Senesi et al.*, 1991). Questo permette di controllare ed accelerare il naturale processo di umificazione a cui la sostanza organica andrebbe incontro se fosse rilasciata nel terreno. Il compostaggio appare inoltre come una soluzione eccellente per riutilizzare e nello stesso tempo smaltire la sostanza organica di scarto con relativi benefici per gli agro sistemi.

Il compost quindi si può definire un prodotto humus-simile che provoca una stimolazione dei fattori biologici di fertilità e un'attività di sintesi di regolatori di crescita, ruolo chiave nell'assorbimento e utilizzo dei nutrienti direttamente proporzionale con la resa e qualità delle colture (*Senesi et al.*, 1991). Attraverso l'apporto di questo prodotto, estremamente ricco di microrganismi e prodotti relativi al loro metabolismo, si riesce a promuovere la fertilità globale del suolo, introducendo nel terreno sostanza organica biologicamente stabile e parzialmente unificata. Tutto questo favorisce la costituzione di complessi argillo-umici, la stimolazione della microflora del terreno e l'attivazione di processi di mineralizzazione e umificazione. L'obiettivo principale è quello di ottenere un prodotto stabilizzato, che abbia raggiunto la maturità biologica con il rallentamento delle attività biologiche della s. o., e inoltre la maturità agronomica mediante l'assenza di fitotossicità per le piante.

### **1.7.2 IL PROCESSO E LE FASI DEL COMPOSTAGGIO**

Il processo di compostaggio è un processo di maturazione biologica controllata, in ambiente anaerobico, di residui animali e vegetali attraverso il quale si ha produzione di materiali a catena molecolare più semplice, più stabili, igienizzati, ricchi di composti umici.

L'azione principale viene svolta da diversi ceppi di microrganismi che operano in ambiente anaerobico (batteri, funghi, attinomiceti, alghe e protozoi) presenti nelle biomassa organiche, i quali sfruttando le condizioni di termofilia indotta dalla produzione di calore per via biologica, portano alla produzione del compost: ricco di sostanze organiche stabili, esenti da organismi patogeni e da semi di infestanti e caratterizzato da importanti qualità ammendanti e fitonutritive.

Nel compostaggio possono essere distinte quattro fasi in funzione delle temperature che si raggiungono e dalla tipologia di microrganismi coinvolti. La fase iniziale mesofila, una fase termofila, un'ulteriore fase mesofila terminale ed infine la fase di maturazione. Quando il substrato organico da compostare viene messo in cumulo, inizia un processo esotermico ad opera di microrganismi aerobi mesofili prima, che attraverso una fase di sminuzzamento e destrutturazione attaccano la frazione organica più facilmente degradabile (zuccheri semplici, lipidi e polipeptidi a catena corta) e termofili poi, che degradano anche macropolimeri metabolizzati e acidi nucleici. Questa azione, prevalentemente ad opera di attinomiceti provoca consumo di ossigeno, liberazione di CO<sub>2</sub> e la produzione di energia necessaria a portare la temperatura del cumulo fino al regime termofilo previsto. La fase termofila (70 - 75 °C) porta alla devitalizzazione dei semi delle infestanti e all'igienizzazione del materiale perchè provoca la distruzione di microrganismi patogeni (es. la salmonella) e la produzione di antibiotici, sempre ad opera degli attinomiceti, che bloccano lo sviluppo dei batteri mineralizzatori favorendo lo sviluppo dei funghi umificatori. Finita questa fase, della durata di circa tre mesi, si disporrà di un compost fresco, dove sono presenti solo le molecole organiche più complesse come cellulosa e lignina, che vengono degradate da eumiceti mesofili e basidiomiceti, il cui sviluppo è favorito da un abbassamento della temperatura del cumulo (40 - 45 °C), per stabilizzarsi poco sopra la temperatura ambiente. L'intervento di questi organismi è fondamentale per l'umificazione. Completata questa fase, della durata di 4 - 5 mesi, si dispone di compost maturo, stabilizzato e morfologicamente molto simile ad un buon substrato di coltivazione, con una pezzatura ridotta rispetto alle matrici iniziali, ma può presentare comunque aggregazione glomerulare.

### 1.7.3 IL COMPOST IN AGRICOLTURA

Attraverso l'utilizzo dell'ammendante organico compostato possiamo evidenziare i seguenti benefici relativi al suo utilizzo:

- contrasto dell'impoverimento del suolo derivante dal depauperamento dei collodi organici nei suoli (moltissimi suoli registrano un forte impoverimento della s. o. con ripercussioni negative sia sulla fertilità sia sulla struttura dei terreni stessi);
- ricerca di forme alternative ed integrative alla concimazione chimica.

La s. o. migliora la porosità e la struttura del terreno, comporta un miglioramento della permeabilità soprattutto nei substrati ricchi di argilla, rende più soffice il suolo, agevola la penetrazione dell'acqua ed aumenta la capacità di immagazzinamento idrico. Altri benefici riguardano una maggiore aerazione e nitrificazione, che unite ad un più elevato potere assorbente permettono un controllo delle perdite per dilavamento degli elementi nutritivi e una riduzione dei grossi problemi di erosione. Attraverso il miglioramento di queste proprietà si assiste ad una agevolazione e minor "invasività" delle lavorazioni del terreno. L'apporto di s. o., mediante compost, promuove l'incremento della biomassa microbica garantendo un ottimo substrato per la moltiplicazione dei microorganismi (in particolare gli azoto fissatori) e inibendo i patogeni delle piante. Un ulteriore beneficio riguarda la possibilità di aumentare la porosità totale, dato il rapporto tra volume non occupato dagli elementi solidi del suolo e il volume totale.

Il compost è particolarmente attivo nell'aumentare il pH di suoli acidi e in grado di mantenere nel tempo questo valore aggiunto, tale da garantire un ambiente favorevole allo sviluppo vegetale (*Senesi et al.*, 1991). Risulta importante ricordare il contributo rilevante dato al miglioramento della fertilità, con benefici riscontrabili sulla quantità e qualità delle produzioni (diminuzione del contenuto di nitrati negli ortaggi da foglia), non dimenticando l'apporto positivo alla riduzione dell'effetto serra. Quest'ultimo si verifica mediante l'utilizzo di compost di qualità, che provoca un effetto di sequestro di carbonio a lento rilascio all'interno del suolo.

La fertilizzazione del terreno agricolo con rifiuti organici e compost viene spesso considerata come una possibile fonte di inquinamento da metalli pesanti (sostanze resistenti alla biodegradazione come composti aromatici alogenati (PCB), policiclici aromatici, idrocarburi alogenati), è necessario effettuare controlli su rifiuti e terreni ponendo attenzione ai fattori che possono influenzare la mobilità e l'assimilabilità degli elementi (esempio pH, capacità di scambio cationico). Inoltre non è da trascurare il ruolo della s. o. umificata nel promuovere fenomeni di adsorbimento e di inattivazione per via chimica e microbiologica di composti organici tossici pervenuti al suolo (*Senesi et al.*, 1991).

Oggi a causa dell'assenza degli ammendanti organici di derivazione zootecnica, carenza derivata dalla modifica dell'assetto produttivo agricolo e dalla banalizzazione degli ordinamenti produttivi agricoli, gli ammendanti compostati misti costituiscono la vera alternativa per la reintegrazione della sostanza organica del terreno. Dal confronto tra le caratteristiche medie di un ammendante compostato misto con quelle del letame bovino, il più classico degli ammendanti da sempre usato per il mantenimento della fertilità del suolo agricolo, si nota come i valori espressi sulla s. s. del tenore di azoto e di fosforo, risultino analoghi, per contro il letame risulta più ricco in potassio (Tabelle 1, 2, 3). Inferiore risulta invece il contenuto di s. o. presente nel compost rispetto al letame, risultato della più energica azione di demolizione e stabilizzazione che subisce il compost, a scapito della quota di s. o. più fermentescibile. Oltre le diverse caratteristiche dei due prodotti, per comparare il compost con il letame è possibile confrontare gli apporti di nutrienti presenti nella stessa quantità di s. s, considerando quindi una letamazione di 40 t/ha e la corrispondente quantità di compost (15,4 t/ha), sulla base delle caratteristiche medie indicate nella Tabella 3, risulta che a parità di s. s. distribuita (10 t/ha), si porta in campo una quantità analoga di azoto e fosforo, mentre con il letame, come detto in precedenza, si apporta più potassio (Tabella 4).

Alla luce di tali considerazioni, il ricorso al compost come sostitutivo alla concimazione letamica, in questo specifico esempio, permette di ridurre i costi di spandimento e quindi oltre che contribuire a alla fertilità del terreno incide positivamente sul bilancio aziendale.

#### 1.7.4 PROVVEDIMENTI LEGISLATIVI

##### Quadro Europeo

La gestione dei rifiuti è stata fin dagli anni '70 una delle problematiche di maggior rilievo per le politiche ambientali della Comunità Europea. Le strategie adottate sono state dapprima la prevenzione (riduzione della produzione di rifiuti e della loro nocività) quindi segue il riutilizzo, il riciclaggio, il recupero della materia, il recupero dell'energia e per ultimo, viene eseguito lo smaltimento in discarica (*Santon et al., 2007*).

Attraverso la Direttiva 91/156/CEE la Comunità Europea definisce la prevenzione e la valorizzazione del rifiuto come attività prioritarie, inoltre riconosce tra le attività di recupero "la trasformazione delle frazioni organiche dei rifiuti per l'impiego come ammendante". Nel 1996, la formulazione sul senso gerarchico delle diverse operazioni, diviene più chiara, attraverso la richiesta del Parlamento al Consiglio e alla Commissione, di definire una strategia di gestione dei rifiuti appropriata, conforme al principio dello sviluppo sostenibile, sempre rispettando la gerarchia delle varie operazioni. L'obiettivo che viene portato avanti, ha il fine specifico dello sviluppo sostenibile con lo smaltimento in discarica come fase residuale. Questo viene reso ancora più esplicito dalla Direttiva 99/31/CE sulle Discariche, la quale definisce che, in discarica debbano finire solo materiali a basso contenuto di carbonio organico e quelli non riciclabili; in altre parole viene data priorità al recupero di materia e prevede il compostaggio ed il riciclo, come strategie primarie per la gestione dei rifiuti.

Più recentemente la Direttiva 2006/12/CE che sostituisce la nuova Direttiva sul quadro dei rifiuti, ripropone a tutti gli Stati Membri i ferrei principi europei sulla gestione dei rifiuti, relativi alla tutela della salute umana e dell'ambiente. Il quadro normativo mette inoltre, in stretta relazione, i temi di recupero della s.o. e di gestione dei rifiuti organici con la tutela del suolo, dei terreni e con la più ampie tematiche affrontate dal Protocollo di Kyoto sulla protezione del pianeta dai cambiamenti climatici (*Working Document on Sludge 3th Draft, 2000; Working Document on Biological Treatment of Biowaste 2th, 2001, Protocollo di Kyoto*). Infatti il IV Programma d'Azione Ambientale Comunitario

del 24 Gennaio 2001, impone che la frazione organica debba essere riciclata e rimessa, dopo trattamento di compostaggio, nell'ambiente al fine di apportare sostanze utili al terreno. Questo programma permette di adottare una politica di protezione del suolo da minacce (quali erosione, perdita di contenuto di s.o. contaminazione e compattamento); inoltre si propone di definire le azioni che permettano di proteggere il suolo. All'interno di questa strategia europea, si alloca la Bozza di Direttiva sul Trattamento Biologico dei rifiuti Biodegradabili, con la quale si propone una regolamentazione completa sulle attività di compostaggio.

Affrontando invece i collegamenti tra compost e problematiche di tutela dei terreni, si deve tenere conto della Direttiva 91/676/CEE (Direttiva Nitrati), la quale ha dettato i principi fondamentali sulle pratiche di fertilizzazione dei terreni agricoli, nell'ottica della salvaguardia delle acque sulle pratiche di fertilizzazione dei terreni agricoli, nell'ottica della salvaguardia delle acque sotterranee e superficiali dall'inquinamento derivante dai nitrati.

### **Quadro nazionale**

A livello nazionale, il settore del compostaggio fa riferimento a due principali argomenti di intervento:

- La gestione dei rifiuti ed il conseguente aspetto ambientale
- La commercializzazione e l'utilizzo dei fertilizzanti

Per quanto riguarda il settore ambientale è stato pubblicato il D.Lgs. n. 22 del 5/02/1997, noto come "Decreto Ronchi", recante l'Attuazione delle Direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CEE sugli imballaggi e i rifiuti da imballaggio" ha costituito la normativa nazionale di riferimento in materia di trattamento e smaltimento dei rifiuti fino all'entrata in vigore del Codice dell'Ambiente (Santon et al., 2007). Il "Decreto Ronchi" rappresenta numerosi aspetti innovativi come il ruolo e lo sviluppo del compostaggio inteso come un trattamento biologico di matrici selezionate alla fonte avente come finalità di ottenere ammendante di qualità per fini agronomici. Successivamente questo decreto viene abrogato dal D.Lgs. n.152 del 3/04/2006, Testo Unico

in materia ambientale. Inoltre coordina la legislazione ambientale per quanto riguarda le procedure per le autorizzazioni ambientali integrate (IPPC), la difesa del suolo e la lotta alla desertificazione, la tutela delle acque e la gestione delle risorse idriche e la gestione dei rifiuti. Il Testo Unico è stato rivisto dal D.Lgs. n. 4 del 16/01/2008 riportando disposizioni correttive ed integrative. Viene definita così la nozione di Compost di qualità, come “un prodotto, ottenuto dal compostaggio di rifiuti organici raccolti separatamente, che rispetti i requisiti e le caratteristiche stabilite dall'allegato 2 del D. Lgs. N. 217 del 2006 e successive modifiche ed integrazioni”.

Per quanto riguarda il settore fertilizzanti, il D. Lgs. N. 217 del 29/04/2006, “Revisione della disciplina in materia di fertilizzanti”, ha abrogato la legge n. 748 del 1984, ed ha adeguato la normativa nazionale a quella Comunitaria in materia di fertilizzanti, in osservanza di quanto disposto dal Regolamento (CE) 2003/2003. Le caratteristiche di qualità dei compost sono state attribuite al D.Lgs. n. 217 del 29/04/2006-

## **Quadro regionale**

A livello Regionale la normativa nel Veneto ha previsto fin dagli anni novanta una serie di direttive tecniche per fornire linee guida su progettazione e gestione degli impianti, caratteristiche del materiale in ingresso ed in uscita, indicazioni sull'utilizzo del prodotto e programmi di gestione della qualità ambientale. La D.G.R.V. 4978/91 aveva riconosciuto la priorità attribuita alle soluzioni che consentivano di recuperare o produrre materiali riutilizzabili. La destinazione agricola dei prodotti di recupero richiede che sia garantita la qualità dei detti prodotti onde evitare possibili fenomeni di inquinamento e danneggiamenti alle colture. Inoltre definisce dei limiti di qualità sia per le matrici in ingresso che per i prodotti in uscita. Nel 2000 è entrata in vigore la D.G.R.V. n. 766/2000 (modificata dalla D.G.R.V. n. 568/2005) nella quale la Regione Veneto istituisce il marchio di qualità “Compost Veneto” per l'ACQ definito come “prodotto del compostaggio di matrici organiche selezionate attraverso la raccolta differenziata”.

## **1.8 LE CARATTERISTICHE DELLE SPECIE VEGETALI UTILIZZATE DURANTE LE PROVE SPERIMENTALI**

### **1.8.1 LA BIETOLA DA COSTE**

La Bietola da coste (*Beta vulgaris* var. *cycla*) è un ortaggio da foglia per cuocere; si utilizza il lembo fogliare ed i piccioli molto sviluppati (coste), analogamente allo spinacio. È diffusa in tutte le regioni italiane (soprattutto nel Lazio, Liguria, Toscana e Puglia), inoltre la si può trovare sul mercato durante tutto il periodo dell'anno, anche se la richiesta cresce specialmente nella stagione invernale. Agli inizi degli anni ' 80 la coltivazione era si estesa su circa 4000 ha con una produzione di 1,1 milioni di quintali e rese di 270 q/ha; un notevole sviluppo ha assunto anche la coltura in serra per soddisfare le richieste del periodo invernale. Dal punto di vista alimentare si rileva un valore energetico di 26 cal/100 g, un discreto contenuto in vitamine (A,B e C) ed un buon contenuto in Sali minerali (K, Ca, P e Fe).

#### *1. 8. 1. 1*

##### *Caratteri botanici e varietali*

La bietola da coste è una specie erbacea a ciclo biennale (annuale in coltura) originariamente del Bacino Mediterraneo, diffusa successivamente nell'America e nell'Asia, corredo cromosomico  $2n=18$ . Presenta una radice fittonante carnosa di 2 – 4 cm di diametro e 20 – 30 cm di lunghezza , con abbondante capillizio distribuito nei primi 20 cm; le foglie basali sono riunite a rosetta ed hanno un limbo spatolato e lanceolato, liscio o bolloso, lungo 20 – 30 cm, sorretto da un picciolo carnoso ed appiattito (costa) di color bianco argento, verde, rosato o rosso, lungo 15 – 20 cm; lo scapo florale è angoloso e ramificato, i fiori piccoli, verdastri e sessili sono riuniti in glomeruli di 3 - 5 cm in spighe fogliacee, a loro volta riunite in pannocchie; ciascun fiore è costituito da un ovario uniloculare, 5 stami e 3 brevi stigmi; l'impollinazione è anemofila e la fecondazione incrociata frequente, agevolata anche dalla proterandria; la fioritura avviene in primavera – estate e la raccolta del seme in luglio agosto; il frutto è un glomerulo legnoso grinzoso indeiscente, di colore variabile dal marrone chiaro al marrone scuro, contenente 3 -5 semi.



Le cultivar vengono contraddistinte in base alle caratteristiche della colorazione e bollosità del lembo fogliare , grandezza e colore della crosta, adattamento della coltura al taglio mediante falciatura; in questo ultimo caso il picciolo fogliare è meno sviluppato e di colore verde.

### *1. 8. 1. 2*

#### *Esigenze climatiche e colturali*

La bietola da coste è una specie a basse esigenze termiche, con una buona tolleranza alle temperature di -2 e -3 °C, purché non prolungate ed improvvise. La temperatura minima vegetativa è di 5 °C (media mensile), quella ottimale è invece compresa tra 16 – 24 °C; le temperature inferiori a 10 °C per 2 – 4 settimane nelle prime fasi della crescita determinano induzione a fiore e prefioritura nelle colture primaverili. La temperatura minima per la germinazione è di 6 °C, quella ottimale di 25 – 30 °C; in queste ultime condizioni la bietola germina in 4 – 5 giorni; in condizioni non ottimali in primavera può impiegare 15 – 20 giorni. Questa pianta si adatta ad essere coltivata in tutti i tipi di terreno, anche se preferisce quelli profondi e freschi e ben drenati dotati di s.o., con pH neutro e sub-alcalino; buona è la tolleranza alle elevate salinità ad esclusione delle prime fasi di crescita. Le esigenze idriche sono piuttosto elevate, quindi risulta necessario assicurare condizioni di elevata umidità durante l'intero ciclo colturale, compresa la fase della germinazione, in quanto condizioni temporanee di siccità possono interrompere l'emergenza delle plantule, caratterizzate da un debole poter perforante. Le esigenze nutrizionali non sono molto elevate, si hanno asportazioni per quintale di prodotto di circa 60 kg/ha di azoto, 30 kg/ha di fosforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e di 60 kg/ha di potassio (K<sub>2</sub>O), con un rapporto di 1:0,5:1; i fabbisogni della coltura per ottenere produzioni di 300 q/ha di foglie raggiungono i 180 kg/ha di K<sub>2</sub>O.

### *1. 8. 1. 3*

#### *Coltivazione*

La bietola da coste può essere coltivata in primavera come sarchiata da rinnovo oppure nel periodo autunno-vernino come coltura intercalare, in ogni caso per motivi di

carattere sanitario è sconsigliabile coltivarla in successione a spinacio, barbabietola e mais. Fondamentale risulta la preparazione del terreno per assicurare una buona germinazione; l'impianto può essere fatto con semina diretta oppure con trapianto; con la semina meccanica si effettua una distribuzione a file distanti 30 – 40 cm lungo la fila, realizzando densità di 15 - 25 piante/m<sup>2</sup>, 6 -7 kg di seme per ettaro. Nel caso di bietola da taglio, le densità sono molto più elevate (100 – 200 piante/m<sup>2</sup>), trattasi comunque di colture realizzate su modeste superfici, negli orti familiari o in quelli stabili. L'impianto realizzato con trapianto è più oneroso ed è limitato agli orti; nel vivaio si impiegano 3 -4 kg di seme ogni 100 metri<sup>2</sup> di superficie, sufficienti per un ettaro di coltura.

#### 1. 8. 1. 4 *Avversità*

La bietola da coste è soggetta a numerose avversità di natura parassitaria.

La malattia fogliare più pericolosa è la Cercospora (*Cercospora beticola*), nota anche come vaiolatura, favorita da alte temperature ed umidità. Altre crittogame dannose alla parte aerea sono la Peronospora (*Peronospora farinosa*), frequente in condizioni di elevate densità colturali, con basse temperature ed elevate umidità; la Batteriosi (*Pseudomonas aptata*) che causa macchie irregolari che vanno incontro a marcime molle, a partire dall'apice fogliare verso il centro della nervatura. Tra gli agenti che provocano marciumi alle radici ed al colletto durante le prime fasi di crescita si ricorda il "mal del piede" (*Phoma betae*), Pytium e Rhizoctonia. Per la difesa da queste avversità vale soprattutto il principio di adottare lunghe rotazioni; l'impiego di fungicidi è efficace se appropriato e tempestivo. Tra i parassiti animali che interessano la bietola da coste possiamo ricordare alcuni insetti polifagi, che provocano danni all'apparato radicale come grillotalpe, nottue ed elateridi, mentre l'altica, gli afidi, gli acari, la mosca e i tripidi, sono responsabili di attacchi all'apparato fogliare; per prevenire e controllare eventuali attacchi degli insetti terricoli, i trattamenti al terreno prima della semina o trapianto risultano i più efficaci. Gravi danni inoltre sono prodotti anche da alcune virosi trasmesse da insetti vettori come *Aphis fabae* e *Mizus persicae*; tra i più comuni risultano il virus del giallume, che provoca

l'ingiallimento delle foglie adulte, che divengono più ispessite e il virus del mosaico, che si manifesta principalmente sulle foglie più giovani con maculature cloruritiche. I mezzi di difesa più efficaci contro queste avversità sono l'impiego di semi sani e la lotta agli afidi.

### 1.8.2 LO SPINACIO

Lo spinacio (*Spinacela oleracea*) è un ortaggio da foglia utilizzato dall'uomo da circa 2000 anni, arrivò in Europa (Spagna) con gli Arabi intorno al 1000 d.C. e quindi si diffuse negli altri paesi europei passando poi in America. Nel 1500. La coltura è diffusa in tutte le regioni italiane, ma in particolare nel Lazio, in Toscana, Campania, in Veneto ed in Piemonte in ordine decrescente. La produzione dello spinacio è concentrata nei mesi autunnali ed invernali, quando le quotazioni sul mercato raggiungono livelli interessanti per le aziende orticole. Il 70% circa del prodotto viene indirizzato al mercato fresco ed in parte viene poi esportato (3 – 5%), il rimanente è destinato all'industria di trasformazione, per ottenere surgelati e disidratati.. la produzione dello spinacio e surgelati è in costante aumento ed è prossima ai 100.000 q/anno, corrispondenti a 150 – 200.000 q di prodotto fresco. Lo spinacio è apprezzato come verdura cotta, ha un contenuto in s.s. del 10% con il 3,7% di proteine; il valore calorico varia da 25 a 37 cal per 100 g; elevato è il contenuto in vitamine (A, B e PP) ed in Sali minerali (K, Ca, P e Fe).

#### 1. 8. 2. 1

##### *Caratteri botanici e varietali*

Lo spinacio è una specie erbacea a ciclo annuale di origine asiatica (Caucaso ed Iran). Ha una radice fittonante colorata in rosso vicino al colletto, che arriva fino a 40 – 50 cm di profondità, ma con la maggior parte dei capillari entro i primi 20 cm. Le foglie basali sono carnose, provviste di un picciolo lungo 5 -10 cm e di un lembo astato liscio o bolloso lungo 10 – 20 cm, esse sono riunite a rosetta in numero di 20 – 30 prima dell'emissione dello scapo florale ramificato; i fiori sono piccoli, verdastri e riuniti in glomeruli ascellari quelli femminili e in spighe quelli maschili. Lo spinacio è una specie dioica, con piante maschili e femminili separate, ma possono essere presenti anche varietà a sessualità intermedia in relazione alle cultivar ed alle condizioni ambientali che possono influenzare

la determinazione sessuale. Le piante maschili sono caratterizzate da steli fiorali del tutto privi di foglie, le piante femminili hanno foglie complete fino all'estremità degli steli. Le piantine femminili, secondo molti hanno caratteristiche favorevoli alla produzione per la loro maggiore fogliosità, la più lunga durata del ciclo vegetativo e le migliori caratteristiche qualitative (alto contenuto di vitamine, basso contenuto di acido ossalico). I fiori sono monoovulari e danno origine ad un frutto secco monosperma, indeiscente con endocarpo sclerotizzato, assimilabile ad una pseudodrupa. Il corredo cromosomico delle varietà coltivate è  $2n=12$ ; sono state segnalate anche varietà triploidi e tetraploidi, ma la loro crescita è risultata più lenta. La distinzione delle numerose cultivar e ibridi F1 può essere effettuata in base alla destinazione del prodotto (mercato o industria), alla forma del lembo fogliare (larga, arrotondata o allungata), all'intensità della bollosità ed al colore (verde o verde scuro), al portamento del cespo (eretto o prostrato) ma a livello di coltivazione interessa soprattutto la reazione alla lunghezza del giorno e alla resistenza alla prefioritura, che condizionano la possibilità di coltivazione nei diversi periodi dell'anno.

#### *1. 8. 2. 2*

##### *Esigenze climatiche e colturali*

Lo spinacio è specie a basse esigenze termiche e buona tolleranza al freddo nella fase di rosetta, un a soglia di  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  è accettata da numerosi autori. La temperatura minima di vegetazione è di  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , quella ottimale è di  $10 - 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  e quella massima di  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; il caldo e la siccità prolungata favoriscono la prefioritura. Per germinare i semi richiedono una temperatura minima di  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , quella ottimale è di  $15 - 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  e quella massima di  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Lo spinacio è una pianta longigiurna, con rapida induzione a fiore con lunghezze delle ore di luce superiori alle 14 ore (maggio - agosto), inoltre le basse temperature nelle prime fasi della crescita (semine invernali) anticipano l'induzione a fiore anche in condizioni di giorno corto. In condizioni di basse temperature e fotoperiodo lungo sembra accentuarsi la femminilizzazione, mentre temperature alte e fotoperiodo breve favoriscono la mascolinizzazione delle piante. Questa pianta richiede un terreno fresco, permeabile e ben

drenato, con pH superiore a 6,5, nei terreni acidi e alcalini lo spinacio è facilmente soggetto a clorosi per indisponibilità di micronutrienti (Fe, Mn e Bo) e di magnesio. Ha una buona tolleranza alla elevate salinità. Non è una pianta particolarmente esigente dal punto di vista nutritivo, le asportazioni per quintale di prodotto sono di 47,5 kg/ha di azoto, 17,5 kg/ha di fosforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e di 50 kg/ha di potassio (K<sub>2</sub>O). Nella pratica della concimazione si consiglia di non trascurare l'apporto di s. o. con letame ben maturo 300 – 400 kg/ha per prevenire le carenze di microelementi. L'azoto viene distribuito prevalentemente in copertura soprattutto nelle colture a ciclo autunno-vernino di lunga durata, mentre può essere distribuito sull'intera coltura nelle colture primaverili a ciclo breve. È importante valutare che un'eccessiva distribuzione d'azoto favorisce l'accumulo di nitrati nelle foglie. Per favorire una rapida crescita, lo spinacio richiede condizioni di umidità elevate e costanti, pertanto è opportuno ricorrere all'irrigazione in caso di andamento climatico avverso alla semina e durante le prime fasi della crescita anche per evitare fenomeni di prefioritura.

### *1. 8. 2. 3*

#### *Coltivazione*

Lo spinacio in relazione al suo breve ciclo colturale è coltivato frequentemente come coltura intercalare nel periodo autunno-vernino con semina in Agosto – Settembre, trova le migliori condizioni fitosanitarie quando si osservano lunghe rotazioni di 3 – 4 anni. La coltura richiede un terreno ben preparato per favorire una germinazione uniforme, si procede quindi con una lavorazione di 30 – 35 cm di profondità, cui segue un affinamento del terreno e la sistemazione in aiuole di 10 cm larghe circa un metro e separate da 35 – 40 cm, con interrimento di 1 – 2 cm di profondità. La densità colturale varia a seconda che si tratti di colture destinate al mercato oppure all'industria, nel primo caso si impiegano 19 – 22 kg/ha di seme per realizzare, dopo il diradamento 35 – 50 piante /m<sup>2</sup>; nel secondo caso si impiegano 30 – 40 kg/ha di seme per ottenere densità di 200 – 250 piante /m<sup>2</sup>, in questo caso l'elevata densità favorisce un portamento più eretto delle piante facilitando la raccolta meccanica. Inoltre è da ricordare che lo spinacio è una pianta

sensibile ai diserbanti chimici, quindi risulta importante l'utilizzo di prodotti selettivi e a persistenza limitata durante il periodo di coltivazione.

#### 1. 8. 2. 4

##### *Avversità*

Lo spinacio è una pianta abbastanza rustica, infatti non sono molti i parassiti in grado di attaccarla nel periodo autunno-invernale, quando le temperature sono relativamente basse, inoltre la mancanza di adeguate rotazioni può tuttavia compromettere una buona produzione. Fra i marciumi radicali si ricordano *Pythium ultimum* e *Rhizoctonia solani*, anche la Peronospora può essere dannosa in condizioni di elevata umidità e temperature comprese fra gli 8 e i 18 °C. I parassiti animali più dannosi comprendono oltre agli afidi, le nottue, le lumache e una mosca (*Pegomya hyoscyami*) che scava gallerie all'interno della lamina fogliare.

### 1.8.3 IL CAVOLO VERZA

Il cavolo verza (*Brassica olerace* L. var. *sabauda*) è una pianta a ciclo biennale, viene coltivato in tutta Italia; le regioni più interessate alla coltivazione sono il Piemonte, la Puglia, il Veneto, il Lazio e la Lombardia. La specie appartiene alla famiglia delle Brassicacee e si ritiene originaria dell'Europa; può essere utilizzata cruda, cotta o per preparare i crauti; si differenzia dal cavolo cappuccio per l'odore e il sapore più marcato. Il cavolo verza è ricco di vitamina A, C ed elementi minerali (potassio, fosforo e ferro), ma ha un basso contenuto calorico 23 cal/100 g di sostanza fresca.

#### 1. 8. 3. 1

##### *Caratteri botanici e varietali*

Il cavolo verza presenta un fusto eretto con lunghezza che può variare da 5 a 30 cm sul quale sono inserite le foglie caratterizzate da una costola centrale, nervature molto evidenti e una forte bollosità e colorazione che può variare da verde chiaro a verde violaceo. Nella parte distale del fusto gli internodi si accorciano in modo che le foglie

risultino parzialmente sovrapposte le une alle altre e formino attorno al germoglio una palla o testa che costituisce la parte edule della pianta. La pianta è inizialmente dotata di apparato radicale fittonante che successivamente viene sostituito da numerose radici che si originano dalla base dello stelo. Nella primavera del secondo anno del ciclo, dopo aver subito il processo di vernalizzazione necessario per l'induzione a fiore, si ha la produzione delle infiorescenze sia sullo stelo principale che nelle ramificazioni. Le infiorescenze sono a grappolo, composte da fiori dotati di 4 petali, 6 stami e ovario a 2 logge. I frutti sono siliquie contenenti numerosi semi dotati di un'elevata terminabilità (85 – 90%). La fecondazione è sempre allogama in quanto la pianta è autosterile.

### *1. 8. 3. 2*

#### *Esigenze climatiche e colturali*

Il cavolo verza ben si adatta a climi freddi e umidi, la temperatura ottimale per la crescita è di 15 – 18 °C ma ben si adatta anche a temperature molto inferiori (le varietà tardive resistono alle gelate). In caso di clima troppo caldo o siccità eccessiva la testa risulta poco compatta e può essere favorita la prefioritura. La temperatura ottimale per la germinazione è di 25 – 30 °C (con queste temperature avviene in 4 – 6 giorni; con 10 °C servono 15 giorni). Questa pianta produce una notevole quantità di s. s per cui è molto esigente in luminosità, la cui carenza può causare un allungamenti dello stelo e la diminuzione della produzione. Si adatta a terreni di diversa natura, anche compatti, purché profondi e freschi e senza ristagni idrici. Il pH ottimale del terreno è tra 6,5 e 7,2, sopporta male i terreni acidi, le asportazioni per quintale di prodotto sono di 45 kg/ha di azoto, 17,5 kg/ha di fosforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e di 50 kg/ha di potassio (K<sub>2</sub>O). È sensibile a carenze di boro e manganese ma tollera bene elevate concentrazioni saline, presenta necessità idriche che si aggirano sui 500 litri d'acqua per kg di s.s. prodotta, il periodo massimo di fabbisogno irriguo si ha durante la formazione della testa. Eccessi d'acqua dopo periodi di siccità possono causare spaccature.

### 1. 8. 3. 3

#### *Coltivazione*

Il cavolo verza è una coltura esclusivamente da piena aria utilizzata come normalmente come coltura intercalare, ad esempio può essere inserito in successione a d un cereale autunno-vernino, allo spinacio, alla patata, al pisello o al fagiolino, ma non a se stesso o ad altre varietà di cavolo. La semina può essere effettuata a spaglio o in contenitori alveolari, quando la piantina raggiunge i 12 -15 cm e ha 3 – 5 foglie viene trapiantata in pieno campo con distanze che possono variare da 60 per 30 cm per le cultivar precoci fino a 70 per 50 cm per quelle tardive. Il trapianto può essere eseguito in Marzo – Aprile per una produzione in tarda primavera o inizio estate, in Luglio – Agosto per una produzione autunno-invernale o in Ottobre – Novembre per raccogliere a maggio. Questa crocifera è una coltura che si avvantaggia notevolmente di una concimazione organica che dovrebbe essere effettuata con dosi di 30 – 50 t/ha di letame. La normale concimazione minerale prevede la somministrazione di 250 kg/ha di azoto, di 100 – 150 kg/ha di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e di 200 – 300 kg/ha di K<sub>2</sub>O. L'azoto favorisce un anticipo della raccolta delle cultivar precoci e un maggior tenore proteico in quelle tardive; dosi eccessive possono far diminuire l'accumulo di s.s., zuccheri e vitamine oltre a favorire la formazione di spaccature. Il potassio aumenta la resistenza al gelo e la compattezza della testa. L'apporto idrico deve essere ridotto per evitare ristagni ma frequente in quanto la pianta ha un elevato fabbisogno idrico.

### 1. 8. 3. 4

#### *Avversità*

Tra i parassiti che colpiscono i cavoli ricordiamo l'alternariosi (*Alternaria brassicae*), i marciumi basali (*Sclerotinia* spp., *Rhizoctonia solani*, *Phoma lingam*) e la Peronospora (*Peronospora brassicae*, *Peronospora parassitica*). I parassiti animali più dannosi comprendono oltre agli afidi (*Myzus persicae*) (*Brevicoryne brassicae*), le nottue, le cavolaie (*Mamestra brassicae*, *Mamestra oleracea*, *Pieris brassicae*), elateridi (*Agriotes* spp.) e anche la mosca del cavolo (*Delia radicum*).



#### 1.8.4 IL GERANIO

Il *Pelargonium*, chiamato volgarmente geranio, è una pianta suffrutescente perenne, originaria dell'Africa australe, appartenente alla famiglia delle Geraniacee. Le specie più conosciute e comunemente coltivate sono il *Pelargonium zonale* o geranio comune dal fogliame peloso e cuoriforme caratterizzato da un anello scuro; *Pelargonium peltatum* o geranio edera o parigino, con foglie peltate lucide e carnose, fusti ricadenti;

##### 1. 8. 4. 1

##### *Caratteri botanici e varietali*

Il geranio comprende numerosi ibridi che producono fiori quasi tutto l'anno. Sono piante ad andamento cespuglioso con un fusto semilegnoso nella parte basale. Le foglie sono rotondeggianti, corrugate e verdi ed hanno nella parte centrale, di colore contrastante con il resto della foglie, una specie di area a forma di ferro di cavallo o di cuore a seconda della varietà. I fiori possono essere variamente colorati con tonalità che variano dal bianco, al rosso, con tutte le tonalità di rosa e sono portati in cima a dei lunghi steli e riuniti in ombrella.

##### 1. 8. 4. 2

##### *Esigenze climatiche e colturali*

Il geranio è una coltura da serra in quanto soffre il freddo. La temperatura minima consigliata è di 8°C al di sotto della quale la pianta oltre ad arrestare la crescita evidenzia un arrossamento e ingiallimento delle foglie basali. Non ama altresì la forte umidità in quanto favorisce la *Botrytis*. La moltiplicazione avviene per talea di punta su jefly o su fertipot. La radicazione di solito richiede circa  $\frac{3}{4}$  settimane a seconda delle condizioni di radicazioni

##### 1. 8. 4. 3

##### *Coltivazione*

I gerani vengono disposti con un sesto d'impianto di 35cm per 35 cm da centro vaso a centro vaso per un totale di circa 6.500 vasi in coltivazione in 1000 m<sup>2</sup>.

Il substrato di coltivazione del geranio è prevalentemente a base di torba bionda fibrosa e nera miscelate; con un 10% di perlite. Importante risulta la porosità del substrato che deve essere superiore all'85% con pH: Tra 5,5 e 6,5 in quanto non tollera il ristagno idrico,

fattore predisponente alle malattie fungine del colletto e delle radici. Il trapianto del geranio inizia da settembre per le prime vendite di marzo e si protrae fino a febbraio per le vendite tardive di giugno luglio. In pratica in base alle temperature e alla luminosità il geranio richiede circa 4/5 mesi di coltura.

#### 1. 8. 4. 4

##### *Avversità*

Tra i parassiti che colpiscono i gerani ricordiamo il marciume radicale (*Pythium* spp), la muffa grigia (*Botrytis cinerea*) e alcune maculature fogliare dovuta a *Alternaria* spp., *Macrosporium* spp.; i parassiti animali più dannosi comprendono oltre ai tripidi (*Frankliniella occidentalis*), gli afidi (*Myzus persicae*, *Aulacorthum solani*, *Macrosiphum euphorbiae*, *Aphis gossypii*), gli acari (*Tetranychus urticae*), e anche la mosca bianca (*Trialeurodes vaporariorum*, *Bemisia tabaci*).





## 2 SCOPO DEL LAVORO

---



Il monitoraggio della soluzione circolante presente nel suolo, come la quantità di nutrienti che percolano in profondità, sono un aspetto molto interessante della ricerca scientifica effettuata in campo, in particolare per quanto riguarda la protezione dell'acqua sotterranea come acqua potabile, ma anche per poter capire le dinamiche che regolano l'utilizzo di fertilizzanti in agricoltura, perchè possono diventare pericolosi inquinanti. Tutte o in parte queste considerazioni valgono anche quando si sposta l'attenzione della soluzione circolante alle produzioni che vengono effettuate all'interno delle serre; infatti ciò che succede in pieno campo nei centimetri di suolo esplorati dagli apparati radicali, avviene, anche all'interno dei vasi utilizzati come contenitori per i substrati di coltivazione, cioè in sistemi caratterizzati da un ridotto volume di substrato/terreno che richiedono irrigazioni e fertilizzazioni frequenti, favorendo l'aumento delle perdite per lisciviazione dei nutrienti, che così devono essere forniti in continuazione.

Alla luce di tutto ciò, il lavoro svolto in questa tesi di dottorato si pone l'obiettivo di utilizzare i **lisimetri a suzione**, con colture orticole di pieno campo, come strumenti per il monitoraggio in situ della soluzione circolante al fine di conoscere i differenti rilasci di nutrienti di un suolo agrario sottoposto a dosi differenti e tipi (minerale/organico) di fertilizzazioni; successivamente si è provato ad affiancare questi strumenti con le più conosciute tecniche di estrazione della soluzione circolante da substrati (**PourThru**, **metodo SME** e **metodo 1:2**), con coltivazioni allevate in contenitori in serra, per verificare se questi lisimetri a suzione, possono essere utilizzati come metodo veloce e semplice per il monitoraggio dello stato nutrizionale delle piante in vaso, ovvero come un ONE-SITE ANALYSIS





### **3 MATERIALI E METODI**

---



### **3.1 MONITORAGGIO DELLA SOLUZIONE CIRCOLANTE DEL TERRENO**

#### **a) BIETOLA DA COSTE E SPINACIO.**

##### **3.1.1 DESCRIZIONE DEL SITO E SCHEMA SPERIMENTALE**

Le prove sono state condotte nell'azienda agraria Sperimentale "L.Toniolo" presso la facoltà di Agraria dell'Università di Padova a Legnaro. Le colture utilizzate sono state spinacio e bietola da costa trapiantati nel medesimo appezzamento in parcelloni. Ogni parcellone risulta suddiviso in 10 parcelle di 200 m<sup>2</sup> trattate con differenti dosi di fertilizzanti. Ognuna di esse ripetuta 3 volte.

I trattamenti a confronto sono:

- ◆ testimone non concimato T0
- ◆ trattamento TM: concimato con fertilizzanti minerali
- ◆ trattamento T50: il 50% dell'azoto viene apportato con fertilizzanti minerali ed il 50% con compost. P e K sono integrati con fertilizzanti minerali
- ◆ trattamento T100: il 100% dell'azoto viene apportato con compost. P e K sono integrati con fertilizzanti minerali
- ◆ trattamento T200: il doppio dell'azoto distribuito nel testimone concimato viene apportato con compost. P e K sono eventualmente integrati con fertilizzanti minerali

Le concimazioni sono state effettuate in modo da somministrare 150 kg/ha di azoto, 100 kg/ha di fosforo e 100 kg/ha di potassio alle parcelle delle tesi TM, T50 E T100. Per la tesi T200 è stato apportato un quantitativo di azoto pari a 300 kg/ha e nessuna integrazione minerale per fosforo e potassio. La tesi T0 non ha ricevuto alcuna concimazione. Per la concimazione minerale sono stati utilizzati: per l'azoto urea (46%), per il fosforo perfosfato triplo (46%) e per il potassio solfato di potassio (50%). (Tabella 5).

Tutte le altre tecniche colturali sono state eseguite in maniera uguale su tutte le tesi facendo riferimento a quanto fanno normalmente gli agricoltori . Su ogni coltura si sono eseguiti rilievi periodici di accrescimento e valutazioni dello stato nutrizionale delle piante. Alla raccolta è stata valutata sia la resa che le sue componenti. Il compost utilizzato, era caratterizzato da condizioni chimiche medie in linea con la tipologia scelta (ammendante compostato misto) (Tabella 7). Il pH era leggermente più elevato rispetto a quello ammesso per la commercializzazione ed il rapporto C/N tipico di un compost non completamente maturo. Il contenuto di azoto è risultato coerente con quanto dimostrato dalla ditta fornitrice e sufficientemente elevato per soddisfare le esigenze sperimentali senza eccedere con le dosi distribuite. Il contenuto di metalli pesanti è risultato modesto soprattutto per quanto riguarda il contenuto in metalli pesanti che per legge devono essere controllati in un compost destinato al commercio. Gran parte dei metalli presenti nel compost risultano essere strutturali alla matrice distribuita e non facilmente rilasciabili nella soluzione circolante del suolo (Tabella 8 ). Il monitoraggio della soluzione circolante ha previsto l'installazione di un lisimetro alla profondità di 30 cm per ogni tesi e per ogni coltura in un solo blocco (n° 10 lisimetri), mentre per le tesi T200 e TM dello spinacio sono stati installati anche un lisimetro alla profondità di 60 cm e alla profondità di 90 cm. La scelta della profondità a cui sono stati posizionati i lisimetri è stata valuta considerando altri studi precedentemente fatti sulla mobilità dei nutrienti nel terreno in base alle sue caratteristiche (*Rizand et al.*, 1989; *Marrs et al.*, 1990; *Zhang et al.*, 2003; *Allen et al.*, 2006).

### 3.1.2 ATTIVITA' DI COLTIVAZIONE

La bietola da coste tipo pugliese var. F216 è stata trapiantata l'11 settembre 2008 con distanza tra le file di 0.30 m e sulle file di 350 mm per una densità di 9,5 piante per m<sup>2</sup> mentre lo spinacio var. *Rythm (Royal Sluis)* è stato seminato il 18 Settembre con seminatrice di precisione ponendo i semi su file distanti 0,15 m tra loro e 70 – 80 mm sulla fila per una densità di 83 – 95 piante per m<sup>2</sup>. Le colture sono state condotte in asciutta ed è stato praticato un solo trattamento diserbante eseguito con “Betanal Expert” (s. a.

Femmedifam 6.4%, Desmedifam 2.32% e Etofumesate 13.98%) alla dose di 700 ml/hl per la bietola da coste e con Venzar WSS (s. a. Lenacil) alla dose di 0.8 kg/ha, per lo spinacio.

### 3.1.3 LISIMETRI A SUZIONE

I lisimetri (Hanna Ins.) sono costituiti da una coppa porosa in ceramica la quale estrae la soluzione dal suolo attraverso la creazione di una pressione negativa di aspirazione che eccede la tensione dell'acqua nel terreno, unita ad un tubo di plexiglass del diametro di 1 cm. Un capillare di gomma del diametro di 5 mm è inserito all'interno del tubo di plexiglass fino all'estremità porosa, il tubo viene chiuso con un tappo di gomma. Sono stati installati lisimetri a suzione tra le file delle colture di 3 lunghezze: 30, 60 e 90 cm, per monitorare sia gli strati esplorati dagli apparati radicali delle colture e sia quelli più profondi, interessati dalla percolazione dei nutrienti.

### 3.1.4 RILIEVI ED ANALISI

I rilievi per la raccolta della soluzione circolante sono stati eseguiti con cadenza settimanale, i campioni sono stati raccolti per determinare il contenuto di macronutrienti, per ogni tesi a confronto. La raccolta è avvenuta il 7 Novembre per la bietola e il 19 novembre per lo spinacio. In entrambi i casi si è provveduto al prelievo delle piante presenti nelle aree di saggio (3 aree per ogni parcella di 4 m lineari per 3 file di bietola e 2 m lineari per 2 file di spinaci). Tali piante sono state pesate per la determinazione delle produzioni areiche e successivamente, su campioni di 10 piante sono stati rilevati altezza della pianta, numero delle foglie, peso totale, peso fresco e secco delle piante intere e delle singole componenti (prodotto commerciale e scarto), che hanno permesso di calcolare la percentuale di s. s.. Sulla sola frazione commerciale si è provveduto ad effettuare l'analisi chimica per la determinazione del contenuto di nitrati con il metodo Cataldo, dati non presentati in questa tesi. Per quanto riguarda la strumentazione per le analisi dei campioni si è cercato di utilizzare attrezzature di facile utilizzo e reperibili sul mercato. La scelta è ricaduta su un particolare kit che consiste in un fotometro da banco multi parametro per

l'analisi dei nutrienti (macro e meso elementi) (HI 83215-02 ). Nello specifico questo strumento permette di effettuare l'analisi attraverso una reazione chimica specifica tra campione e reagenti, creando un composto che assorba una frazione della luce incidente. Dato che l'assorbimento di un composto dipende strettamente dalla lunghezza d'onda del fascio di luce incidente, è possibile selezionare una larghezza di banda spettrale ristretta per centrare l'appropriata lunghezza d'onda ed ottimizzare le misure. La lampada presente nel fotometro, regolata da un microprocessore, emette una radiazione che viene prima condizionata e poi direzionata verso il campione contenuto nella cuvetta. Il cammino ottico è fissato dal diametro della cuvetta. La radiazione viene poi filtrata per ottenere una larghezza di banda spettrale ridotta, risultante in un fascio di luce incidente ed in un fascio dopo l'assorbimento. La cella fotoelettrica riceve la radiazione non assorbita dal campione e la converte in corrente elettrica, producendo un potenziale dell'ordine dei mV. Il microprocessore converte questo potenziale nell'unità di misura desiderata e fornisce come output il contenuto dell'elemento in mg/l.

### *3.1.5 ANALISI STATISTICA*

Per le elaborazioni statistiche è stato utilizzato il pacchetto CoHort Costat, versione 6.3 (CoHort Software, Monterey, CA, U.S.A.) e i coefficienti di correlazione tra i parametri sono stati calcolati con lo stesso software e le differenze tra le medie sono state saggiate con il test di Duncan.

## ***b) CAVOLO VERZA E BIETOLA DA COSTE .***

### *3.1.6 DESCRIZIONE DEL SITO E SCHEMA SPERIMENTALE*

Le prove sono state condotte nell'azienda agraria Sperimentale "L.Toniolo" presso la facoltà di Agraria dell'Università di Padova a Legnaro. Le colture utilizzate sono state cavolo verza e bietola trapiantati nel medesimo appezzamento in parcelloni. Ogni

parcellone risulta suddiviso in 10 parcelle di 200 m<sup>2</sup> trattate con differenti dosi di fertilizzanti. Ognuna di esse ripetuta 3 volte.

I trattamenti a confronto sono:

- ◆ testimone non concimato T0
- ◆ trattamento TM: concimato con fertilizzanti minerali
- ◆ trattamento T50: il 50% dell'azoto viene apportato con fertilizzanti minerali ed il 50% con compost. P e K sono integrati con fertilizzanti minerali
- ◆ trattamento T100: il 100% dell'azoto viene apportato con compost. P e K sono integrati con fertilizzanti minerali
- ◆ trattamento T200: il doppio dell'azoto distribuito nel testimone concimato viene apportato con compost. P e K sono eventualmente integrati con fertilizzanti minerali.

Le concimazioni sono state effettuate in modo da somministrare 150 kg/ha di azoto, 100 kg/ha di fosforo e 100 kg/ha di potassio alle parcelle delle tesi TM, T50 E T100. Per la tesi t200 è stato apportato un quantitativo di azoto pari a 300 kg/ha e nessuna integrazione minerale per fosforo e potassio. La tesi T0 non ha ricevuto alcuna concimazione. Per la concimazione minerale sono stati utilizzati: per l'azoto urea (46%), per il fosforo perfosfato triplo (46%) e per il potassio solfato di potassio (50%) (Tabella 6). Il compost utilizzato è stato lo stesso usato nella prova sperimentale precedente (Tabelle 7, 8). Tutte le altre tecniche colturali sono state eseguite in maniera uguale su tutte le tesi facendo riferimento a quanto fanno normalmente gli agricoltori. Su ogni coltura si sono eseguiti rilievi periodici di accrescimento e valutazioni dello stato nutrizionale delle piante. Alla raccolta è stata valutata sia la resa che le sue componenti. Il monitoraggio della soluzione circolante ha previsto l'installazione di un lisimetro alla profondità di 30 cm per ogni tesi e per ogni coltura in un solo blocco (n° 10 lisimetri), mentre per le tesi T200 e TM, sia nel cavo verza che nella bietola da coste, sono stati installati anche un lisimetro alla profondità di 60 cm e alla profondità di 90 cm. La scelta della profondità a cui sono stati posizionati i lisimetri è stata valuta considerando altri studi

precedentemente fatti sulla mobilità dei nutrienti nel terreno in base alle sue caratteristiche (Rizand et al., 1989; Marrs et al., 1990; Zhang et al., 2003; Allen et al., 2006).

### 3.1.7 ATTIVITA' DI COLTIVAZIONE

Il cavolo verza è stato trapiantato in data 10 agosto con una distanza tra le file di 0,65 m e una distanza delle piante sulla fila di 0,5 m ottenendo una densità di impianto di circa 3 piante per metro<sup>2</sup>; la bietola da coste tipo pugliese var. F216 è stata trapiantata il 7 settembre 2009 con distanza tra le file di 0.30 m e sulle file di 350 mm per una densità di 9,5 piante per m<sup>2</sup>. Durante il ciclo colturale sono stati effettuati 2 trattamenti antiparassitari, il 27 Agosto a base di Actara (s. a. Thiamethoxam 25%) alla dose di 20 g/hl e il secondo in data 23 settembre a base di Trebon (s.a. Etofenprox 20%) alla dose di 100 ml/hl miscelato con 2 kg do Ossiclor 35 wg (s. a. rame da ossicloruro 35%) e 250 mldi Irol Plus (bagnante adesivo).

### 3.1.8 LISIMETRI A SUZIONE

I lisimetri (Hanna Ins.) sono costituiti da una coppa porosa in ceramica la quale estrae la soluzione dal suolo attraverso la creazione di una pressione negativa di aspirazione che eccede la tensione dell'acqua nel terreno, unita ad un tubo di plexiglass del diametro di 1 cm. Un capillare di gomma del diametro di 5 mm è inserito all'interno del tubo di plexiglass fino all'estremità porosa, il tubo viene chiuso con un tappo di gomma. Sono stati installati lisimetri a suzione tra le file delle colture di 3 lunghezze: 30, 60 e 90 cm, per monitorare sia gli strati esplorati dagli apparati radicali delle colture e sia quelli più profondi, interessati dalla percolazione dei nutrienti.

### 3.1.9 RILIEVI ED ANALISI

I rilievi per la raccolta della soluzione circolante sono stati eseguiti con cadenza settimanale, la raccolta della bietola da coste è avvenuta l'11 novembre, mentre quella del cavolo verza è avvenuta il 16 Dicembre 2009 e durante tale operazione si sono eseguiti i rilievi per la valutazione della produzione commerciale, della percentuale di scarto della



pianta, del peso fresco commerciale della pianta e percentuale si s. s. della pianta. Le analisi della soluzione circolante sono state eseguite usando un sistema cromatografico con modalità isocratica (Dionex ICS-900), costituito da una pompa che consente di operare in modalità isocratica e da un rivelatore di conducibilità (Dionex DS5) con soppressore anionico (AMMS 300, 4mm) per l'analisi degli anioni e soppressore cationico (CMMS 300, 4mm) per l'analisi dei cationi. La colonna Ion Pac AS23 con dimensioni 4x250 mm è stata utilizzata per l'analisi degli anioni mentre la colonna Ion Pac CS12A con dimensioni 4x250 mm è stata utilizzata per l'analisi dei cationi. Entrambe sono precedute da una precolonna. I dati forniti da questo sistema sono stati raccolti ed elaborati usando il software Chromeleon per sistemi LC. Le iniezioni sono state fatte usando un iniettore a valvole (Rheodyne) con un loop di 50 µl con un'autocampionatore AS-DV. L'analisi degli anioni è stata eseguita mediante cromatografia ionica (IC). L'eluente utilizzato è costituito da sodio carbonato (4.5mM), sodio bicarbonato (0.8mM). Il flusso utilizzato è 1 ml/min. La colonna cromatografica opera a temperatura ambiente.

L'analisi dei cationi è stata eseguita mediante cromatografia ionica (IC). L'eluente utilizzato è costituito da acido metansolfonico (20mM). Il flusso utilizzato è 1 ml/min. La colonna cromatografica opera a temperatura ambiente. La curva di calibrazione è stata eseguita mediante diluizioni seriali della soluzione madre. Per l'analisi degli anioni è stata utilizzata una miscela costituita da fluoruro, cloruro, nitrito, bromuro, nitrato, fosfato e solfato. Per l'analisi dei cationi è stata utilizzata una miscela costituita da litio, sodio, ammonio, potassio, magnesio e calcio.

### 3.1.10 ANALISI STATISTICA

Per le elaborazioni statistiche è stato utilizzato il pacchetto CoHort Costat, versione 6.3 (CoHort Software, Monterey, CA, U.S.A.) e i coefficienti di correlazione tra i parametri sono stati calcolati con lo stesso software e le differenze tra le medie sono state saggiate con il test di Duncan.

### **3.2      *ANDAMENTO METEOROLOGICO PROVE DI CAMPO***

Dai dati meteo è stato possibile osservare che, nel biennio, nelle zone di Legnaro, la piovosità media annuale oscilla tra i 800 e i 900 mm, con una media mensile tra i 70 e i 80 mm. La distribuzione delle piogge presenta due punte massime, in primavera ed in autunno e due minime in inverno ed in estate; frequenti risultano essere i periodi siccitosi della durata di un mese i quali si presentano con ricorrenza ciclica. Nel sito delle prove le temperature medie, minime e massime del biennio di prove sono state superiori in tutti i mesi rispetto al decennio precedente. L'autunno del 2008 è molto piovoso, nonostante un ottobre stabile e secco. Ottobre, poco piovoso fino al pomeriggio del 27, presenta temperature massime elevate e sopra la media, almeno fino all'inizio dell'ultima settimana, con 9 giorni piovosi, concentrati tra inizio e fine mese, le temperature massime assolute sono comprese tra 24÷25°C, le minime tra 5÷13°C. A fine ottobre inizia un'ondata di perturbazioni che caratterizzano novembre e continuano a dicembre, con nebbie diffuse e persistenti. Novembre risulta piovoso, con il primo episodio nevoso in pianura il 24. Le temperature massime assolute di novembre sono comprese tra 15÷20°C, le minime tra -2.7÷-1°C. Il 2008 si conclude con un dicembre caratterizzato da frequenti e abbondanti precipitazioni. Dei 10 giorni piovosi, 4 presentano apporti superiori a 14 mm, con massimi superiori ai 37 mm nel giorno 15 dicembre. Le temperature massime assolute mensili sono comprese tra 9÷11°C (per lo più raggiunte tra il 19-22 dicembre), le minime tra -4÷0°C. Le minime assolute in pianura si registrano l'ultimo dell'anno (Fig. 205). L'autunno del 2009 è meno piovoso, con un ottobre stabile e secco. Ottobre, poco piovoso fino al 22, presenta temperature massime elevate e sopra la media, almeno fino all'inizio dell'ultima settimana, con 5 giorni piovosi, concentrati tra il 21 3 il 24 del mese, le temperature massime assolute sono comprese tra 24÷25°C, le minime tra 4÷16°C. A fine ottobre iniziano le perturbazioni che caratterizzano novembre e continuano a dicembre, con nebbie diffuse e persistenti. Novembre risulta piovoso. Le temperature massime assolute di novembre sono comprese tra 15÷16°C, le minime tra 0.8÷2°C, ben superiori alla medi stagionale. Il 2009 si conclude con un dicembre caratterizzato da frequenti e abbondanti precipitazioni. Dei 10 giorni piovosi, 2 presentano apporti superiori a 18 mm, con massimi superiori ai 26 mm nel

giorno 4 dicembre. Le temperature massime assolute mensili sono comprese tra 9÷13°C (per lo più raggiunte all'inizio di dicembre), le minime tra -10÷-1°C. Le minime assolute in pianura si registrano durante la terza settimana, tra il 19 e il 21 del mese (Fig. 206).

### **3.3 CONFRONTO TRA METODI DI ESTRAZIONE**

Per questo aspetto sono state condotte 4 diverse prove facendo ricorso a diversi livelli di concimazione azotata così come di seguito riportato

- I.) fertirrigazione con un livello di concimazione azotata (200 ppm) (UARK)
- II.) fertirrigazione con due livelli di concimazione azotata (100 e 200 ppm ) (UARK)
- III.) fertirrigazione con tre livelli di concimazione azotata (100, 200 e 300 ppm) (UARK)
- IV.) fertirrigazione con due livelli di concimazione azotata (100 e 200 ppm ) (UNIPD)

#### **3.3.1 DESCRIZIONE DEL SITO E SCHEMA SPERIMENTALE**

I, II, III) Le prove sono state svolte nel 2009, presso le serre dell' Horticultural Department, University of Arkansas, Fayetteville (latitude: 36.08119, longitude: 94.16376 sopra il livello del mare), con la collaborazione del dott. Michael R. Evans. Sono state utilizzate piante di *geranio* cv "Orbit Cardinal Red" (*Pelargonium x hortorum*), piantate in vasi di plastica di 15.25 cm; come substrato si è impiegato il Sun Gro LC-1 (80% torba and 20% perlite), contenente piccole dosi di macro e micro nutrienti solubili. Le piante sono cresciute in serre con copertura in policarbonato vitreo, a temperatura controllata compresa tra i 18°C e i 24°C, con luminosità media di 12 HR mantenuta costante tra le 300 e le 500  $\mu\text{mol}/\text{cm}^2/\text{sec}$ . Gli esperimenti mirano a confrontare quattro metodi di estrazione della soluzione circolante con differenti concentrazioni di fertilizzante. Le piante sono state fertilizzate con 100, 200 ppm e 300 ppm di azoto ad ogni concimazione (constant liquid fertilization) utilizzando 15 – 5 – 15 CalMag (Scott, Inc). Non sono stati usati ritardanti della crescita, trattamenti fitosanitari standard quando e se richiesti durante il periodo di svolgimento delle prove. Il disegno sperimentale adottato consiste in una combinazione

fattoriale di quattro metodi per l'estrazione della soluzione circolante (Lisimetri, PourThru, SME and 1:2) per tutte e tre le prove sperimentali svolte, la prima(a) utilizzando una sola tesi, 100 ppm di azoto, la seconda confrontando due tesi (b) 100 e 200 ppm di azoto e la terza (c) prendendo in considerazione tre livelli di fertirrigazione, 100 – 200 – 300 ppm di azoto utilizzando 15 – 5 – 15 CalMag (Scott, Inc.). Lo schema sperimentale è a blocchi randomizzati con tre repliche nelle prove II e III e cinque repliche nella prova I.

IV) Le prove sono state svolte nel 2010, presso le serre del Dipartimento di Agronomia Ambientale e Produzioni Vegetali, presso l'azienda sperimentale "L. Toniolo" della Facoltà di Agraria, Università di Padova, a Legnaro (PD) (latitudine: 45.8210 N, longitude: 11.8580, 6 m s.l.m.). Sono state utilizzate piante di *geranio* cv "DECORA" (*Pelargonium x hortorum*), piantate in vasi di plastica di 15.25 cm; come substrato si è impiegato il Substrat 2 (Klasmann) (torba bionda e bruna). contenente piccole dosi di macro e micro nutrienti solubili. Le piante sono cresciute in serre con copertura in polietilene, a temperatura controllata compresa tra i 18°C e i 24°C, con luminosità media di 12 HR mantenuta costante tra le 300 e le 500  $\mu\text{mol}/\text{cm}^2/\text{sec}$ . L'esperimento mira a confrontare quattro metodi di estrazione e raccolta della soluzione circolante con due concentrazioni di fertilizzante. Le piante sono state fertilizzate con 100 e 200 ppm di azoto ad ogni concimazione (constant liquid fertilization) utilizzando 15 – 5 – 15 (Mg 2) Fertyl3 (Agrimport). Non sono stati usati ritardanti della crescita, trattamenti fitosanitari standard quando e se richiesti durante il periodo di svolgimento delle prove. Il disegno sperimentale adottato consiste in una combinazione fattoriale di quattro metodi per l'estrazione della soluzione circolante (Lisimetri, PourThru, SME and 1:2) con due concentrazioni, 100 e 200 ppm di azoto, fornito utilizzando 15 – 5 – 15 (Mg 2) Fertyl3 (Agrimport). Lo schema sperimentale è a blocchi randomizzati con tre repliche.

### 3.3.2 LISIMETRI A SUZIONE

I lisimetri utilizzati in queste prove (Hanna Ins.) sono costituiti da una coppa porosa in ceramica la quale estrae la soluzione dal suolo attraverso la creazione di una

pressione negativa di aspirazione che eccede la tensione dell'acqua nel substrato, unita ad un tubo di plexiglas lungo 30 cm del diametro di 1 cm. Un capillare di gomma del diametro di 5 mm è inserito all'interno del tubo di plexiglass fino all'estremità porosa, il tubo viene chiuso con un tappo di gomma. Durante la prova (IV) svolta nel 2010 in serra, la depressione all'interno dei lisimetri è stata fatta mediante una pompa a mano per il vuoto (Mityvac, Lincoln Industrial Corp., St. Louis, MO), dotata di manometro per essere certi che ogni strumento avesse la stessa depressione al suo interno.

### 3.3.3 RILIEVI ED ANALISI

I, II, III) I campioni sono stati raccolti per determinare il contenuto di azoto e di altri micro e macro nutrienti ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ , K, Mg, Na, P, Cl,  $\text{SO}_4$ ) oltre che il pH e l'EC, per ogni metodo di raccolta della soluzione circolante. L'esperimento è durato 8 settimane dopo il trapianto in vaso delle piante di geranio, i campioni sono stati raccolti una volta ogni 2 settimane, per tre repliche per le prove II e III per ogni tecnica confrontata e per cinque repliche una volta la settimana nella prova I. La fertilizzazione è stata eseguita ogni due giorni, tre volte la settimana, alla stessa ora, durante il ciclo di crescita; in queste prove, ad ogni campionamento, la soluzione circolante è stata estratta per ognuna delle quattro tecniche da vasi diversi.

IV) I campioni sono stati raccolti per determinare il contenuto di azoto e di altri micro e macro nutrienti ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ , K, Mg, Na, P, Cl,  $\text{SO}_4$ ) oltre che il pH e l'EC, per ogni metodo di raccolta della soluzione circolante. L'esperimento è durato 8 settimane dopo il trapianto in vaso delle piante di geranio, i campioni sono stati raccolti una volta ogni 2 settimane, per tre repliche per ogni tesi (100 e 200 ppm) per ogni tecnica confrontata. La fertilizzazione è stata eseguita ogni due giorni, tre volte la settimana, alla stessa ora, durante il ciclo di crescita e in questa prova le quattro tecniche di estrazione della soluzione circolante sono state eseguite sullo stesso vaso.

I, II, III, IV) Tecniche utilizzate per l'estrazione e la raccolta dei campioni di soluzione circolante:

**a) Lisimetri a suzione**

I lisimetri utilizzati sono stati inseriti a circa 12 cm di profondità in vasi di 15.25 cm di altezza.; è stata scelta questa profondità perché permetteva di monitorare l'intero orizzonte di substrato esplorato dall'apparato radicale delle piante di geranio. I campioni venivano raccolti due ore dopo la messa in depressione dei lisimetri.

**b) Metodo PourThru (adattato da Wright, 1986):**

Protocollo utilizzato per l'esecuzione del metodo PourThru, per l'estrazione della soluzione circolante:

1. irrigare la pianta un'ora prima di eseguire il test
2. dopo un'ora dall'irrigazione porre il vassoio di raccolta della soluzione sotto il vaso
3. aggiungere acqua distillata al contenitore sufficiente ad ottenere 50 ml di lisciviato
4. raccogliere il lisciviato dal vassoio di raccolta della soluzione

**c) Metodo SME (adattato da Warncke, 1998):**

1. rimuovere la pianta dal contenitore e rimuovere circa 250 cm<sup>3</sup> di substrato. Mettere il substrato rimosso in un contenitore pulito,
2. aggiungere acqua distillata al substrato e mescolare finché il composto risulta brillante ed argenteo;
3. lasciare riposare il composto ottenuto per un'ora per permetterne la stabilizzazione;
4. estrarre la soluzione circolante. Si possono utilizzare tre tecniche per l'estrazione:
  - I. estrazione con una pompa per il vuoto;
  - II. filtrazione per gravità;
  - III. filtrazione con una tela;

**d) Metodo the 1:2 (adattato Dole and Wilkins, 1998):**

1. rimuovere la pianta dal contenitore e rimuovere circa 250 cm<sup>3</sup> di substrato. Mettere il substrato rimosso in un contenitore pulito;
2. aggiungere un volume di acqua distillata pari a 2 volte il volume di substrato utilizzato (500 ml di acqua distillata);
3. mescolare il composto ottenuto e lasciarlo riposare per un'ora per permetterne la stabilizzazione;

Le analisi della soluzione circolante per la prova I (100 ppm di azoto) sono state fatte utilizzando un fotometro da banco multi parametro per l'analisi dei nutrienti (macro e meso elementi) (Hanna Ins. HI 83215-02 ). Le analisi della soluzione circolante delle prove II (100 e 200 ppm) e III (100, 200 e 300 ppm di azoto) sono state eseguite dal MMI Laboratories (Athens, GA, USA). Le analisi della soluzione circolante per la prova IV (100 e 200 ppm di azoto) sono state eseguite mediante usando un sistema cromatografico con modalità isocratica (Dionex ICS-900), costituito da una pompa che consente di operare in modalità isocratica e da un rivelatore di conducibilità (Dionex DS5) con soppressore anionico (AMMS 300, 4mm) per l'analisi degli anioni e soppressore cationico (CMMS 300, 4mm) per l'analisi dei cationi. . La colonna Ion Pac AS23 con dimensioni 4x250 mm è stata utilizzati per l'analisi degli anioni mentre la colonna Ion Pac CS12A con dimensioni 4x250 mm è stata utilizzati per l'analisi dei cationi. Entrambe sono precedute da una precolonna. I dati forniti da questo sistema sono stati raccolti ed elaborati usando il software Chromeleon per sistemi LC. Le iniezioni sono state fatte usando un iniettore a valvole (Rheodyne) con un loop di 50 µl con l'autocampionatore AS-DV. L'analisi degli anioni è stata eseguita mediante cromatografia ionica (IC). L'eluente utilizzato è costituito da sodio carbonato (4.5mM), sodio bicarbonato (0.8mM). Il flusso utilizzato è 1 ml/min. La colonna cromatografica opera a temperatura ambiente. L'analisi dei cationi è stata eseguita mediante cromatografia ionica (IC). L'eluente utilizzato è costituito da acido metansolfonico (20mM). Il flusso utilizzato è 1 ml/min. La colonna cromatografica opera a temperatura ambiente. La curva di calibrazione è stata eseguita mediante diluizioni seriali della soluzione madre. Per l'analisi degli anioni è stata utilizzata una miscela costituita da

fluoruro, cloruro, nitrito, bromuro, nitrato, fosfato e solfato. Per l'analisi dei cationi è stata utilizzata una miscela costituita da litio, sodio, ammonio, potassio, magnesio e calcio.

### 3.3.4 *GESTIONE IRRIGUA*

I, II, III) Tutte le piante sono state irrigate allo stesso tempo con la stessa quantità di acqua, 300 ml, ogni due giorni, ogni settimana, ma con differenti concentrazioni di azoto, rispettivamente con 200 ppm prova I, 100 e 200 ppm prova II e 100, 200 e 300 ppm di azoto nella prova III, utilizzando 15 – 5 – 15 CalMag (Scott, Inc).

IV) Tutte le piante sono state irrigate allo stesso tempo con la stessa quantità di acqua, 300 ml, ogni due giorni, ogni settimana, ma con due differenti concentrazioni di azoto, rispettivamente con 100 e 200 ppm di azoto utilizzando 15 – 5 – 15 (Mg 2) Fertyl3 (Agrimport).

### 3.3.5 *ANALISI STATISTICA*

Per le elaborazioni statistiche è stato utilizzato il pacchetto CoHort Costat, versione 6.3 (CoHort Software, Monterey, CA, U.S.A.) e i coefficienti di correlazione tra i parametri sono stati calcolati con lo stesso software e le differenze tra le medie sono state saggiate con il test di Duncan.







## 4 RISULTATI E DISCUSSIONE

---



## **4.1 MONITORAGGIO DELLA SOLUZIONE CIRCOLANTE DEL TERRENO**

- I. Bietola da coste e spinacio (2008)
- II. Bietola da coste e cavolo verza (2009)

- I. Bietola da coste e spinacio (2008)

L'analisi dei risultati ottenuti in questa prova, inizia considerando i dati ottenuti nelle colture bietola da coste e spinacio; il ritmo di accrescimento delle piante di bietola ha cominciato a differenziarsi fin dai primo 30 giorni dal trapianto, mentre nel caso dello spinacio questi sono risultati meno marcati e le prime differenze tra le tesi si sono osservate solo dopo circa 40 gdt. Successivamente il miglioramento delle condizioni climatiche ha permesso un accrescimento più rapido di entrambe le colture, che ha portato nel caso della bietola da coste, al momento della raccolta ad avere i pesi maggiori, circa 300 grammi, con la tesi T200, seguita dalla tesi T100 e T minerale. I risultati più modesti si sono osservati con le tesi T50 e il testimone. Sempre considerando i risultati ottenuti con la bietola, le differenze tra trattamenti al momento della raccolta, anche se molto marcate non sono risultate statisticamente significative a causa dell'elevata variabilità dei dati. Se si prende in considerazione lo spinacio, le piante con peso maggiore alla raccolta sono state quelle relative alle tesi T200, TMIN e la tesi T50. il testimone non concimato e la tesi T100 hanno evidenziato pesi inferiori di circa il 20%. Per quanto riguarda l'altezza raggiunta dalle piante di bietola, non si sono osservate differenze significative tra le tesi concimate, anche se si è potuto notare al momento della raccolta la tendenza ad un leggero aumento dei valori, passando dalle tesi meno concimate a quelle più concimate; mentre le piante non concimate, ovvero il testimone T0, hanno presentato dimensioni inferiori del 15% circa. L'altezza media rilevata è di 28 cm, attestandosi su valori considerati normali per il mercato fresco di questo prodotto. Nello spinacio, invece si sono rilevate differenze maggiori durante l'intero ciclo colturale, ovvero all'inizio tutte le tesi presentavano lo stesso ritmo di accrescimento, salvo poi differenziarsi in maniera marcata, verso le fasi conclusive dello stadio vegetativo. Infatti al momento della raccolta dello spinacio, le

piante relative alle tesi TMIN e T50 hanno presentato altezze più elevate, 22 cm, seguite dalle tesi T100 e T200 con 20 cm, infine il testimone non concimato con i valori più bassi, 18 cm. Rivolgendo ora l'attenzione all'influenza dei trattamenti fertilizzanti sui pesi freschi alla raccolta, si sono rilevati pesi minori nelle piante di bietola da coste coltivate sul testimone non concimato, con valori medi di 290 g; la tesi TMIN ha fornito pesi medi di 290 g, poi la tesi T100 con 310 g, la tesi T50 con 315 g ed infine la tesi T200 con 320 grammi di peso fresco per pianta. Nel caso dello spinacio, il testimone non concimato ha prodotto le piante con i pesi inferiori, ovvero 34 g, mentre i valori maggiori si sono ottenuti dalla raccolta delle piante coltivate nelle tesi TMIN e T50 con 47 grammi. Con le tesi T100 e T200 le piante hanno raggiunto il peso fresco medio di 42 grammi. Le produzioni commerciabili ottenute sono risultate medio alte, in particolare nella bietola da coste, il testimone non concimato con 22 t/ha ha fornito i valori più bassi, mentre le tesi T50 e T200 hanno mostrato le rese più elevate con 27 t/ha. Anche lo spinacio ha mostrato le rese più basse in corrispondenza del testimone non concimato e nella tesi T100, con circa 11 t/ha, mentre tutti gli altri trattamenti fertilizzanti si sono attestati su un range di valori compresi nell'intervallo tra 13 e 14.2 t/ha.

Si prendono ora in considerazione i risultati ottenuti dall'analisi dei campioni di soluzione circolante estratta con i lisimetri a suzione posizionati alla profondità di 30 cm in tutte le tesi con differenti trattamenti fertilizzanti in bietola da coste e spinacio, inoltre per quanto riguarda le tesi T200 e TM dello spinacio, si sono installati anche lisimetri alle profondità di 60 e 90 cm. Per quanto riguarda la bietola da coste, la concentrazione di **nitrati** rilevata a 30 cm di profondità nel testimone non concimato, oscilla tra i 10 e i 112 mg/L, per la tesi T50 il range di valori misurato è compreso tra 17.5 e 92.5 mg/L; tra 7.5 e 90 mg/l invece è la concentrazione misurata nei campioni di soluzione circolante a 30 cm per la tesi T100, mentre per la tesi T200 oscillano tra 8 e 60 mg/L, a differenza della tesi concimata con fertilizzanti chimici, che ha mostrato valori di concentrazione tra 22.5 e 140 mg/L. Nello spinacio, sempre alla profondità di 30 cm, le concentrazioni di nitrati rilevate sui campioni di soluzione circolante ottenute dai rilievi settimanali, hanno fornito per il testimone non concimato valori compresi tra 7.5 mg/L e 97.5 mg/L, mentre nella tesi T50 la

concentrazione di nitrati oscilla tra 10.5 e 120 mg/L; tra 7 e 92.5mg/L nella tesi T100, nella tesi T200 tra 5.5 e 65 mg/L ed infine nella tesi con concimazione minerale il range di valori misurati oscilla tra 40 e 150 mg/L. Alla stessa profondità quindi le tesi con differenti trattamenti fertilizzanti hanno mostrato concentrazioni diverse, nella bietola da costa come nello spinacio e nell'intervallo di tempo del monitoraggio della soluzione circolante si può notare un decremento della concentrazione di nitrati presenti, dove le tesi TMIN e T50 hanno presentato i valori superiori anche se non statisticamente significativi (Figg.1, 2). Sempre per quanto riguarda la profondità di 30 cm, prendendo in considerazione le concentrazioni ottenute con tutti i campionamenti fatti in ciascuna tesi risultano statisticamente significative ( $P \leq 0.05$ ) sempre le tesi T50 e TMIN, rispetto alle tesi T100, T200 e al testimone non concimato, effetto che risulta più evidente nello spinacio rispetto alla bietola, dove in quest'ultima, solo la tesi T200 è risultata statisticamente differente dalla tesi minerale (Figg. 3, 4). Se si prendono in considerazione tutti valori relativi e alle tre profondità di rilievo, ovvero 30, 60 e 90 cm, monitorate nelle tesi TMIN e T200 dello spinacio, si evince che le concentrazioni di nitrati maggiori, per quanto riguarda la tesi minerale, sono state rilevate nei primi 30 cm di suolo, con valori medi di 87.25 mg/L, significativamente differenti dai valori medi di 37 e 18.25 mg/L rispettivamente misurati a 60 e 90 cm di profondità. Per quanto riguarda invece la tesi T200, le concentrazioni maggiori si sono riscontrate a 30 e 60 cm con valori medi di 25.72 e 26.25 mg/L, mentre a 90 cm la concentrazione media rilevata è stata di 10.55 mg/L (Figg. 5, 6). Anche considerando i risultati ottenuti durante l'arco dei campionamenti, nella tesi sottoposta a concimazione minerale, si nota come la curva relativa alla profondità di 30 cm si attesti su valori superiori rispetto alle altre due profondità di campionamento, cosa che invece accade a 30 e 60 cm per la tesi concimata con la doppia dose di azoto, fornito mediante compost (Figg. 7, 8). Importante risulta anche da ciò che emerge confrontando le concentrazioni di nitrati misurate alle tre differenti profondità tra la tesi fertilizzata con concimi minerali e la tesi che ha ottenuto il doppio della dose di azoto fornita mediante compost T200. Da tale confronto si evince che considerando i valori medi relativi ai campioni misurati per ciascuna tesi, a 30 cm di profondità la tesi TMIN presenta

concentrazioni significativamente superiori ( $P \leq 0.05$ ) rispetto alla tesi T200, differenza che va via via riducendosi con l'aumentare della profondità, fino a valori medi per la tesi minerale e T200, rispettivamente di 14.95 e 10.55 mg/L a 90 cm, non statisticamente significative ( $P \leq 0.05$ ) (Figg. 9, 10, 11). Considerando i valori registrati durante l'arco dei campionamenti, le concentrazioni di nitrati misurate presentano lo stesso andamento, anche se la tesi minerale si attesta su valori superiori rispetto alla T200 concimata con la doppia dose di azoto mediante compost (Figg. 12, 13, 14).

Per quanto riguarda la concentrazione di **fosfati** rilevata a 30 cm di profondità, nella bietola da coste, il testimone non concimato, oscilla tra i 7 e i 15 mg/L, per la tesi T50 il range di valori misurato è compreso tra 6 e 15 mg/L; tra 3 e 16 mg/l invece è la concentrazione misurata nei campioni di soluzione circolante a 30 cm per la tesi T100, mentre per la tesi T200 oscillano tra 2 e 12 mg/L, a differenza della tesi concimata con fertilizzanti chimici, che ha mostrato valori di concentrazione tra 1 e 11 mg/L. Nello spinacio, sempre alla profondità di 30 cm, le concentrazioni di fosfati rilevate sui campioni di soluzione circolante ottenute dai rilievi settimanali, hanno fornito per il testimone non concimato valori compresi tra 5 mg/L e 18 mg/L, mentre nella tesi T50 la concentrazione di nitrati oscilla tra 5 e 12 mg/L; tra 7 e 20 mg/L nella tesi T100, nella tesi T200 tra 2 e 14 mg/L ed infine nella tesi con concimazione minerale il range di valori misurati oscilla tra 2 e 112 mg/L. Alla stessa profondità quindi le tesi con differenti trattamenti fertilizzanti durante il periodo di campionamento hanno mostrato un andamento delle concentrazioni che risulta differente, anche se non statisticamente significativo, differenze che non si sono notate inoltre tra le tesi minerali delle due colture rispetto al testimone non concimato, e le tesi concimate con il compost (Figg. 15, 16). Questo viene anche confermato se si prendono in considerazione tutti i valori ottenuti per ciascuna tesi, dove sia nella bietola ma soprattutto con lo spinacio, non si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0.05$ ) tra le medie delle tesi considerate (Figg. 17, 18). Confrontando i valori relativi alle tre profondità di rilievo, ovvero 30, 60 e 90 cm, monitorate nelle tesi TMIN e T200 dello spinacio, si evince che le concentrazioni di ioni fosfato misurate alle tre profondità, in entrambe le tesi, hanno mostrato andamenti simili ma non statisticamente significativi con valori medi per la tesi



T200 di 11 mg/L, 12.75 mg/L e 8.20 mg/L, rispettivamente a 30, 60 e 90 cm; mentre nella tesi minerale le tre profondità hanno mostrato concentrazioni medie di questo elemento comprese tra 13, a 60 cm, e 7.75 a 90 cm (Figg. 19, 20). Anche considerando i valori medi di tutti i campionamenti non si sono ottenute differenze statisticamente significative ( $P \leq 0.05$ ) tra le tre profondità, per quanto riguarda i fosfati nella tesi minerale e nella tesi T200, questo può essere dovuto alla forte immobilità degli ioni fosfato e alla interazione di tali ioni con la coppa porosa in ceramica del lisimetro a suzione che in parte bloccano il loro assorbimento. (Figg. 21, 22). Confrontando le concentrazioni di fosfati misurate alle tre differenti profondità tra la tesi fertilizzata con concimi minerali e la tesi che ha ottenuto il doppio della dose di azoto fornita mediante compost si evince che a 30 cm di profondità la tesi TMIN non presenta concentrazioni significativamente diverse rispetto alla tesi T200, differenza che non risulta neanche con l'aumentare della profondità (Figg. 23, 24, 25). Inoltre considerando i valori delle due tesi nell'arco di tempo in cui sono stati effettuati i campionamenti, si può notare che le curve relative alle tesi TMIN e T200 mostrano valori differenti, non statisticamente significativi, ma con andamenti simili. (Figg. 26, 27, 28).

Passando poi all'ultimo macroelemento monitorato, il **potassio**, le concentrazioni rilevate a 30 cm di profondità, nella bietola da coste, nel testimone non concimato, oscillano tra i 10 e i 45 mg/L, per la tesi T50 il range di valori misurato è compreso tra 40 e 80 mg/L; tra 15 e 55 mg/l invece è la concentrazione misurata nei campioni di soluzione circolante a 30 cm per la tesi T100, mentre per la tesi T200 oscillano tra 5 e 60 mg/L, a differenza della tesi concimata con fertilizzanti chimici, che ha mostrato valori di concentrazione tra 20 e 65 mg/L. Nello spinacio, sempre alla profondità di 30 cm, le concentrazioni di potassio rilevate sui campioni di soluzione circolante ottenute dai rilievi settimanali, hanno fornito per il testimone non concimato valori compresi tra 5 mg/L e 55 mg/L, mentre nella tesi T50 la concentrazione di nitrati oscilla tra 50 e 95 mg/L; tra 5 e 55 mg/L nella tesi T100, nella tesi T200 tra 5 e 50 mg/L ed infine nella tesi con concimazione minerale il range di valori misurati oscilla tra 20 e 60 mg/L. Alla stessa profondità quindi la tesi T50 ha mostrato i valori medi di concentrazione dell'elemento superiori e statisticamente significativi ( $P \leq 0.05$ ) rispetto a tutte le altre tesi monitorate, e

molto simili a quelli registrati nella tesi minerale (Figg. 29, 30), effetto che ancora una volta è risultato più evidente con lo spinacio; si può notare anche, dall'andamento della curva di ciascuna tesi, relativa alla variazione del potassio durante la fase di monitoraggio, che le tesi TMIN e T50 mostrano andamenti simili e si attestano su valori superiori rispetto alle altre tesi (Figg. 31, 32). Inoltre il testimone non concimato ha sempre avuto i valori più bassi, e le tesi concimate con fertilizzanti minerali, hanno raggiunto le concentrazioni maggiori nelle parcelle con la bietola da coste. Le tesi T100 e T200 si sono attestate su valori medi molto simile, ma pur sempre inferiori alla tesi minerale e alla tesi T50. Se si prendono in considerazione le tre profondità di rilievo, ovvero 30, 60 e 90 cm, monitorate nelle tesi TMIN e T200 dello spinacio, si evince che le concentrazioni di potassio maggiori, per quanto riguarda la tesi minerale, sono state rilevate nei primi 30 cm di suolo, con valori medi di 35.75 mg/L, significativamente differenti ( $P \leq 0.05$ ) dai valori medi di 22.25 e 13.40 mg/L rispettivamente misurati a 60 e 90 cm di profondità (Figg. 33, 34). Per quanto riguarda invece la tesi T200, si evince che i valori medi delle concentrazioni di questo macroelemento misurate alle tre profondità non hanno dato differenze significative, con valori medi di 20.25 mg/L, 17.75 mg/L e 13.25 mg/L, rispettivamente a 30, 60 e 90 cm (Figg. 35, 36). Anche considerando le curve relative alle tesi TMIN e T200, a 30, 60 e 90 cm, delle concentrazioni rilevate durante la fase di monitoraggio, si nota come entrambi in entrambi i trattamenti, l'andamento delle curve alle tre profondità sia simile. Importante risulta anche da ciò che emerge confrontando le concentrazioni di potassio misurate alle tre differenti profondità tra la tesi fertilizzata con concimi minerali e la tesi che ha ottenuto il doppio della dose di azoto fornita mediante compost. Da tale confronto si evince che a 30 cm di profondità la tesi TMIN presenta concentrazioni medie superiori ma non significativamente differenti rispetto alla tesi T200, differenza che va via via riducendosi con l'aumentare della profondità, fino a valori medi per la tesi minerale e T200, rispettivamente di 13.25 e 14 mg/L a 90 cm di profondità (Figg. 37, 38, 39, 40, 41, 42).

## II. Bietola da coste e cavolo verza (2009)

L'analisi dei risultati ottenuti in questa prova, inizia considerando i dati ottenuti nelle colture bietola da coste e cavolo verza. La bietola da coste, al momento della raccolta ad avere i pesi maggiori, circa 900 grammi, con la tesi T200, seguita dalla tesi T50 e T100 con rispettivamente un peso medio per pianta di 856 e 844 grammi. I risultati più modesti si sono osservati con il testimone non concimato, mentre la tesi minerale si è attestata su un peso medio di 736 grammi. Sempre considerando i risultati ottenuti con la bietola, le differenze tra i trattamenti al momento della raccolta, anche se marcate non sono risultate statisticamente significative, le piante raccolte nella tesi T200 sono risultate più pesanti del 18% rispetto alla tesi concimata con i fertilizzanti minerali, mentre rispetto alle tesi T100 e T50, si è registrato un incremento del 6% e del 5% rispettivamente. Se si prende in considerazione il cavolo verza, le piante con peso maggiore alla raccolta sono state quelle relative alle tesi TMIN con un peso medio di 1903 grammi per cespo e la tesi T50 con 1848 grammi. Il testimone non concimato e la tesi T200 hanno evidenziato pesi inferiori di circa il 23% e il 28%, facendo registrare i pesi minori, ma non significativamente differenti. Per quanto riguarda l'altezza raggiunta dalle piante di bietola, non si sono osservate differenze significative tra le tesi concimate, anche se si è potuto notare al momento della raccolta la tendenza ad un leggero aumento dei valori, passando dalle tesi meno concimate a quelle più concimate; mentre le piante non concimate, ovvero il testimone T0, hanno presentato dimensioni inferiori del 15% circa. L'altezza media rilevata quindi per le tesi concimate è di 38 cm, attestandosi su valori considerati normali per il mercato fresco di questo prodotto. Nello cavolo verza in relazione al diametro del cespo, non si sono rilevate differenze durante l'intero ciclo colturale, ovvero all'inizio tutte le tesi presentavano lo stesso ritmo di accrescimento, mantenendo questo trend fino alle fasi conclusive dello stadio vegetativo. Infatti al momento della raccolta del cavolo verza, le piante relative alle tesi TMIN e T50 hanno presentato diametri medi del cespo maggiori, con 17.52 e 17.48 cm, seguite dalle tesi T100 e T200 con 16.43 e 14.71 cm rispettivamente, infine il testimone non concimato con i valori più bassi, 14.71 cm; differenze che tuttavia non sono risultate statisticamente differenti.

Rivolgendo ora l'attenzione all'influenza dei trattamenti fertilizzanti sui pesi freschi alla raccolta, si sono rilevati pesi minori nelle piante di bietola da coste coltivate sul testimone non concimato, con valori medi di 388 g; la tesi TMIN ha fornito pesi medi di 487 g, poi la tesi T100 con 540 g, la tesi T50 con 565 g ed infine la tesi T200 con 587 grammi di peso fresco per pianta. Nel caso del cavolo verza, il testimone non concimato ha prodotto le piante con i pesi inferiori, ovvero 769 g, mentre i valori maggiori si sono ottenuti dalla raccolta delle piante coltivate nelle tesi TMIN e T50 con rispettivamente 1141 e 1116 grammi. Con le tesi T100 e T200 le piante hanno raggiunto il peso fresco medio di 907 e 683 grammi. Le produzioni commerciabili ottenute sono risultate medio alte, in particolare nella bietola da coste, il testimone non concimato con 11 t/ha ha fornito i valori più bassi, mentre le tesi T50 e T200 hanno mostrato le rese più elevate con circa 17 t/ha, con un incremento del 175 rispetto alla tesi trattata con fertilizzanti minerali.. Anche il cavolo verza ha mostrato le rese più basse in corrispondenza del testimone non concimato e nella tesi T200, con circa 22 t/ha, mentre tutti gli altri trattamenti fertilizzanti si sono attestati su un range di valori compresi nell'intervallo tra 27 e 35 t/ha.

Si prendono ora in considerazione i risultati ottenuti dall'analisi dei campioni di soluzione circolante estratta con i lisimetri a suzione posizionati alla profondità di 30 cm in tutte le tesi con differenti trattamenti fertilizzanti in bietola da coste e cavolo verza, inoltre per quanto riguarda le tesi T200 e TM, si sono installati anche lisimetri alle profondità di 60 e 90 cm. Per quanto riguarda la bietola da coste, la concentrazione di **nitrati** rilevata a 30 cm di profondità nel testimone non concimato, oscilla tra i 2.14 e i 249.37 mg/L, per la tesi T50 il range di valori misurato è compreso tra 1.51 e 586.82 mg/L; tra 2.25 e 175.28 mg/l invece è la concentrazione misurata nei campioni di soluzione circolante a 30 cm per la tesi T100, mentre per la tesi T200 oscillano tra 1.14 e 190.68 mg/L, a differenza della tesi concimata con fertilizzanti chimici, che ha mostrato valori di concentrazione tra 2.62 e 383.06 mg/L (Figg. 43). Nel cavolo verza, sempre alla profondità di 30 cm, le concentrazioni di nitrati rilevate sui campioni di soluzione circolante ottenute dai rilievi settimanali, hanno fornito per il testimone non concimato valori compresi tra 3.16 mg/L e 174.65 mg/L, mentre nella tesi T50 la concentrazione di nitrati oscilla tra 24.52

e 582.13 mg/L; tra 27.68 e 380.33 mg/L nella tesi T100, nella tesi T200 tra 1.44 e 64.23 mg/L ed infine nella tesi con concimazione minerale il range di valori misurati oscilla tra 24.69 e 341.17 mg/L (Fig. 44). Alla stessa profondità quindi le tesi con differenti trattamenti fertilizzanti hanno mostrato concentrazioni diverse, anche se non statisticamente significative, differenze che si sono notate invece tra le tesi minerali e le tesi T50 delle due colture rispetto al testimone non concimato, che ha sempre avuto i valori più bassi, e le tesi concimate con il compost (Fig. 45, 46). Se si prendono in considerazione tutti i valori relativi e alle tre profondità di rilievo, ovvero 30, 60 e 90 cm, monitorate nelle tesi TMIN e T200 dello cavolo verza, si evince che le concentrazioni di nitrati maggiori, per quanto riguarda la tesi minerale, sono state rilevate nei primi 60 cm di suolo, con valori medi di 261.28 mg/L, significativamente differenti dai valori medi di 197.82 e 135.54 mg/L rispettivamente misurati a 30 e 90 cm di profondità. Per quanto riguarda invece la tesi T200, anche in questo caso le concentrazioni maggiori si sono riscontrate nei primi 60 cm con valori medi di 132.87 mg/L (Fig. 47, 48). Anche considerando i risultati ottenuti durante l'arco dei campionamenti, nella tesi sottoposta a concimazione minerale, si nota come la curva relativa alla profondità di 30 cm si attesti su valori inferiori rispetto alle altre due profondità di campionamento, cosa che accade anche a 30 e 60 cm per la tesi concimata con la doppia dose di azoto, fornito mediante compost, questo comportamento è sicuramente dovuto alle piogge che si sono verificate durante la stagione della prova, che hanno favorito l'effetto di lisciviazione dei composti azotati in profondità (Fig. 49, 50). Nella bietola da coste andando a considerare tutte e tre le profondità di rilevamento, nella tesi minerale, le concentrazioni maggiori di nitrati sono state misurate a 60 cm di profondità, durante tutto l'arco dei rilevamenti (Fig. 51), lo stesso risulta prendendo in considerazione i valori medi ottenuti con tutti i rilevamenti, per ogni singola differente profondità, dove le concentrazioni medie a 60 cm, 205.16 (mg/L), sono risultate statisticamente differenti ( $P \leq 0.05$ ), dai valori medi raccolti a 30 e 90 cm, con rispettivamente 127.02 e 138.44 (mg/L) (Fig. 52). Per quanto riguarda la tesi T200, le concentrazioni medie di nitrati a 60 cm di profondità sono risultate statisticamente significative con 97.48 (mg/L), seguite da 90.19 (mg/L) a 90 cm e di 48.62 (mg/L) a 30 cm di

profondità (Figg. 53, 54). Importante risulta anche da ciò che emerge, in cavolo verza confrontando le concentrazioni di nitrati misurate alle tre differenti profondità tra la tesi fertilizzata con concimi minerali e la tesi che ha ottenuto il doppio della dose di azoto fornita mediante compost, T200. Da tale confronto si evince che considerando i valori medi relativi ai campioni misurati per ciascuna tesi, a 30 cm di profondità la tesi TMIN presenta concentrazioni significativamente superiori ( $P \leq 0.05$ ) rispetto alla tesi T200, differenza che va via via riducendosi con l'aumentare della profondità, fino a valori medi per la tesi minerale e T200, rispettivamente di 135.54 e 102.37 mg/L a 90 cm, non statisticamente significative ( $P \leq 0.05$ ) (Figg. 55, 56, 57, 58, 59, 60). Sempre confrontando i valori medi ottenuti da tutti i campionamenti fatti, in bietola da costa, per quanto riguarda il confronto tra le tesi minerali e T200, si nota come a 30 cm di profondità le concentrazioni di nitrati della tesi TMIN siano statisticamente significative e superiori rispetto alla tesi concimata con il compost e lo stesso accade anche a 60 cm e 90 cm di profondità con valori rispettivamente a 30, 60 e 90 cm di 127.20, 205.16 e 138.44 (mg/L) per la tesi TMIN e di 48.62, 97.48 e 138.44 per la tesi T200 (Figg. 61, 62, 63). Considerando i valori ottenuti durante l'arco dei campionamenti, le due tesi nella bietola costa, a 30, 60 e 90 cm di profondità mostrano andamenti simili, con la tesi TMIN che si attesta su valori superiori rispetto alla tesi T200 (Figg. 64, 65, 66).

Per quanto riguarda la concentrazione di **fosfati** rilevata a 30 cm di profondità, nel cavolo verza, il testimone non concimato, oscilla tra i 1.39 e i 6.53 mg/L, per la tesi T50 il range di valori misurato è compreso tra 1.87 e 5.82 mg/L; tra 1.35 e 5.74 mg/l invece è la concentrazione misurata nei campioni di soluzione circolante a 30 cm per la tesi T100, mentre per la tesi T200 oscillano tra 2 e 6.22 mg/L, a differenza della tesi concimata con fertilizzanti chimici, che ha mostrato valori di concentrazione tra 2.08 e 5.12 mg/L. Nella bietola, sempre alla profondità di 30 cm, le concentrazioni di fosfati rilevate sui campioni di soluzione circolante ottenute dai rilievi settimanali, hanno fornito per il testimone non concimato valori compresi tra 1.83 mg/L e 5.52 mg/L, mentre nella tesi T50 la concentrazione di nitrati oscilla tra 1.96 e 7.10 mg/L; tra 1.30 e 6.26 mg/L nella tesi T100, nella tesi T200 tra 1.51 e 5.53 mg/L ed infine nella tesi con concimazione minerale il range

di valori misurati oscilla tra 1.07 e 5.80 mg/L. Alla stessa profondità quindi le tesi con differenti trattamenti fertilizzanti durante il periodo di campionamento hanno mostrato un andamento delle concentrazioni che risulta differente, anche se non statisticamente significativo, differenze che non si sono notate inoltre tra le tesi minerali delle due colture rispetto al testimone non concimato, e le tesi concimate con il compost (Figg. 67, 68). Questo viene anche confermato se si prendono in considerazione tutti i valori ottenuti per ciascuna tesi, dove sia nella bietola ma soprattutto con il cavolo verza, non si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0.05$ ) tra le tesi considerate (Figg. 69, 70). Confrontando i valori relativi alle tre profondità di rilievo, ovvero 30, 60 e 90 cm, monitorate nelle tesi TMIN e T200 del cavolo verza e della bietola, si evince che le concentrazioni di ioni fosfato misurate alle tre profondità nelle tesi trattate con azoto minerale, non hanno dato differenze significative (Figg. 71, 72), mentre nella tesi T200 sia nel cavolo verza che nella bietola, le concentrazioni maggiori statisticamente significative si sono riscontrate a 30 cm con valori medi di 4.07 mg/L (verza) e 2.97 (bietola), rispetto alle profondità di 60 e 90 cm (Figg. 73, 74). Considerando il periodo durante il quale sono stati eseguiti campionamenti della soluzione circolante, alle tre profondità considerate, le curve relative all'andamento dei fosfati hanno mostrato andamento simile nelle due colture considerate, sia nella tesi minerale che nella tesi T200, mostrando le concentrazioni maggiori nello strato più superficiale sottoposto a monitoraggio (Figg. 75, 76, 77, 78). Confrontando le concentrazioni di fosfati misurate alle tre differenti profondità tra la tesi fertilizzata con concimi minerali e la tesi che ha ottenuto il doppio della dose di azoto fornita mediante compost si evince che a 30 cm di profondità la tesi TMIN non presenta concentrazioni significativamente diverse rispetto alla tesi T200, in entrambe le colture considerate, differenza che non risulta neanche con l'aumentare della profondità (Figg. 79, 80, 81, 82, 83, 84). Inoltre considerando i valori delle due tesi nell'arco di tempo in cui sono stati effettuati i campionamenti, si può notare che le curve relative alle tesi TMIN e T200 mostrano valori differenti, non statisticamente significativi, ma con andamenti simili. (Figg. 85, 86, 87, 88, 89, 90).

Passando poi all'ultimo macroelemento monitorato, il **potassio**, le concentrazioni rilevate a 30 cm di profondità, nella bietola da coste, nel testimone non concimato, oscillano tra i 2.56 e 171.04 mg/L, per la tesi T50 il range di valori misurato è compreso tra 31.09 e 398.59 mg/L; tra 10.08 e 213.10mg/l invece è la concentrazione misurata nei campioni di soluzione circolante a 30 cm per la tesi T100, mentre per la tesi T200 oscillano tra 5.17 e 228.75 mg/L, a differenza della tesi concimata con fertilizzanti chimici, che ha mostrato valori di concentrazione tra 7.74 e 300 mg/L. Le differenti tesi non hanno fatto registrare differenze significative nella concentrazioni di potassio e le curve relative, hanno mostrato andamenti simili durante l'arco dei campionamenti (Figg. 91, 92) Nel cavolo verza, sempre alla profondità di 30 cm, le concentrazioni di potassio rilevate sui campioni di soluzione circolante ottenute dai rilievi settimanali, hanno fornito per il testimone non concimato valori compresi tra 20.54mg/L e 170.95 mg/L, mentre nella tesi T50 la concentrazione di nitrati oscilla tra 118.28 e 240.50 mg/L; tra 28.47 e 188.53 mg/L nella tesi T100, nella tesi T200 tra 94.22 e 250.14 mg/L ed infine nella tesi con concimazione minerale il range di valori misurati oscilla tra 128.64 e 254.74 mg/L. Alla stessa profondità quindi le tesi TMIN e T50 hanno mostrato i valori medi di concentrazione dell'elemento superiori e statisticamente significativi ( $P \leq 0.05$ ) rispetto a tutte le altre tesi monitorate (Figg. 93), effetto che ancora una volta è risultato più evidente con il cavolo verza; si può notare anche, dall'andamento della curva di ciascuna tesi, relativa alla variazione del potassio durante la fase di monitoraggio, che le tesi TMIN e T50 mostrano andamenti simili e si attestano su valori superiori rispetto alle altre tesi (Figg. 94). Inoltre il testimone non concimato ha sempre avuto i valori più bassi, e le tesi concimate con fertilizzanti minerali, hanno raggiunto le concentrazioni maggiori nelle parcelle con la bietola da coste. Se si prendono in considerazione le tre profondità di rilievo, ovvero 30, 60 e 90 cm, monitorate nelle tesi TMIN e T200 del cavolo verza, si evince che le concentrazioni di potassio maggiori, per quanto riguarda la tesi minerale, sono state rilevate nei primi 30 cm di suolo, con valori medi di 184.57 mg/L, significativamente differenti ( $P \leq 0.05$ ) dal valore medio di 118.17 mg/L misurato a 90 cm di profondità (Figg. 95). Per quanto riguarda la tesi T200, si evince che i valori medi, considerando tutti i campionamenti eseguiti, delle



concentrazioni di questo macroelemento misurate a 30 cm di profondità sono risultati significativamente differenti da quelli ottenuti a 60 e 90 cm (Figg. 96). Anche considerando le curve relative alle tesi TMIN e T200, a 30, 60 e 90 cm, delle concentrazioni rilevate durante la fase di monitoraggio, si nota come entrambi in entrambi i trattamenti, l'andamento delle curve alle tre profondità sia simile, anche se i valori superiori sono stati registrati nei primi cm di suolo (Figg. 97, 98). Per quanto riguarda la bietola da coste, i risultati non hanno dato differenze significative, nella tesi fertilizzata con concimi minerali, tra le concentrazioni misurate alle diverse profondità di potassio (Fig. 99) e le stesse considerazioni possono essere fatte per le tre profondità di rilevamento, 30, 60 e 90 cm, monitorate nella tesi T200 (Fig. 100). Osservando le curve relative alla concentrazione misurata durante la durata della prova, non si notano differenze significative tra le tre profondità considerate, sia per la tesi TMIN che per la tesi T200, anche se per entrambe si sono registrate le concentrazioni di potassio nella soluzione circolante relativamente più basse a 30 cm, con valori compresi tra 7.74 e 300.64 (mg/L) per la tesi TMIN e tra 5.17 e 228.75 nella tesi T200 (Figg. 101, 102). Importante risulta anche da ciò che emerge confrontando le concentrazioni di potassio misurate alle tre differenti profondità tra la tesi fertilizzata con concimi minerali e la tesi che ha ottenuto il doppio della dose di azoto fornita mediante compost nello spinacio. Da tale confronto si evince che a 30 cm di profondità la tesi TMIN presenta concentrazioni medie superiori ma non significativamente differenti rispetto alla tesi T200, differenza che va via via riducendosi con l'aumentare della profondità, fino a valori medi per la tesi minerale e T200, rispettivamente di 169.16 g/L e 118.17 g/L a profondità (Figg. 103, 104, 105, 106, 107, 108); le stesse considerazioni possono essere fatte per quanto riguarda la bietola da coste; questi risultati sono da giustificare con la caratteristica degli ioni potassio ad essere trattenuti dai colloidi del terreno, caratteristica dei terreni ad alto tenore in argilla, e quindi poco lisciviabili (Figg. 109, 110, 111)

## 4.2 CONFRONTO TRA METODI DI ESTRAZIONE

### I) fertirrigazione con un livello di concimazione azotata (200 ppm)

Analizzando i dati ottenuti in questa sperimentazione, possiamo notare che i valori di **pH** ottenuti con i lisimetri siano compresi tra 6.06 e 6.51, per il PT il pH misurato varia da 5.76 a 6.14; considerando le medie dei valori ottenuti durante tutti i campionamenti, si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli con il PT mostrando un incremento del 28.69%; sempre riferendoci al pH, per quanto riguarda il metodo SME, i valori ottenuti risultano compresi tra 5.2 e 6.14, mentre i valori si attestano tra 5.18 e 5.37 per il metodo 1:2. Dal confronto con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che in relazione al metodo SME c'è un incremento percentuale del 13% rispetto alle medie dei valori ottenuti con questa tecnica e dell'15% rispetto al metodo 1:2, anche in questo caso evidenziando differenze significative tra le medie relative ai metodo di estrazione tradizionali utilizzati in laboratorio e i lisimetri a suzione (Fig. 112).

I valori di **EC** ottenuti dai lisimetri si attestano tra 2.54 e 5.55 ( $\text{mS}/\text{cm}^2$ ), con il PT tra 2.31 e 3.46 ( $\text{mS}/\text{cm}^2$ ); con il metodo SME il range di valori misurati oscilla tra 1.2 e 1.8 ( $\text{mS}/\text{cm}^2$ ), mentre con il metodo 1:2, tra 0.38 e 1.3 ( $\text{mS}/\text{cm}^2$ ). I valori della soluzione circolante ottenuti con i lisimetri risultano mediamente superiori e significativamente differenti rispetto alle altre tecniche di estrazione; infatti risulta un incremento medio dei valori di questo parametro pari al 60% rispetto ai valori ottenuti con l'SME e ben dell'76% rispetto al metodo 1:2, mentre in relazione al metodo PourThru l'incremento medio è del 32.59% (Fig. 113).

Per quanto riguarda la concentrazione di **NO<sub>3</sub>** misurata nei campioni di soluzione circolante estratta dal substrato con le quattro diverse tecniche, nei lisimetri questa risulta compresa tra 286.67 (mg/L) e 620.0 (mg/L), per il PT tra 293.33 (mg/L) e 356.67 (mg/L); con l'SME si ottenute concentrazioni di NO<sub>3</sub> nella soluzione circolante raccolta tra 126.0 e 139.0 (mg/L), mentre con il metodo 1:2 questi sono compresi tra 72.4 e 117.0 (mg/L). I valori della soluzione circolante ottenuti con i lisimetri risultano mediamente superiori e significativamente differenti rispetto alle altre tecniche di estrazione; inoltre risulta un

incremento medio dei valori registrati del 28% in relazione alle concentrazioni rilevate nei campioni ottenuti con la tecnica del PT, del 70% con l'SME e dell'81% rispetto al metodo 1:2 (Fig. 114).

I risultati ottenuti in questa prova sperimentale che oltre a verificare l'utilizzo dei lisimetri in serra come strumenti di monitoraggio della soluzione circolante, dovevano confermare il funzionamento del fotometro da banco multiparametro in quanto i campioni estratti con il metodo SME e il metodo 1:2, sono stati analizzati presso un laboratorio di analisi specializzato (MMI Laboratories, Athens, GA, USA). I dati ottenuti non hanno permesso di ottenere dei buoni risultati, in quanto mettendo in relazione i valori ottenuti dai campioni estratti con i lisimetri e quelli ottenuti con la tecnica del PT, in riferimento alla concentrazione dei nitrati non hanno dato indici di correlazione soddisfacenti, infatti si sono ottenuti valori di  $R^2$  pari a 0.3238, mentre indici molto più bassi se si prendono in considerazione i valori relativi al metodo SME e al metodo 1:2, messi in relazione con i dati che risultano dai campioni estratti con i lisimetri (Figg. 115, 116, 117).

Per quanto riguarda il **pH**, la relazione tra i valori registrati sui campioni ottenuti con i lisimetri a suzione e quelli della tecnica del PourThru non ha dato risultati soddisfacenti, neppure prendendo in considerazione i valori relativi all'estrazione con il metodo SME; solo con questo parametro, l'indice di relazione più alto, ovvero  $R^2= 0.377$ , si è ottenuto mettendo in relazione i valori relativi al pH riferiti al metodo 1:2 e quelli riferiti ai campioni ottenuti con i lisimetri a suzione (Figg. 118, 119, 120).

In riferimento alla **conducibilità elettrica** misurata nei campioni di soluzione circolante estratta con i diversi metodi e tecniche, spicca una buona correlazione tra il metodo SME e i lisimetri a suzione, evidenziata da un  $R^2= 0.534$ , una soddisfacente relazione tra la tecnica del PT e i lisimetri, con  $R^2= 0.35$ ; con il metodo 1:2 ancora una volta non si è trovata una relazione soddisfacente in relazione ai valori di EC misurati nei campioni ottenuti con i lisimetri (Figg. 121, 122, 123).

## II) fertirrigazione con due livelli di concimazione azotata (100 e 200 ppm)

Dall'analisi dei dati ottenuti si sono osservate alcune differenze tra i diversi parametri misurati. Si è potuto notare, in riferimento alla tesi 100 ppm, che i valori di **pH** ottenuti con i lisimetri a suzione siano compresi tra 6.03 e 7.25, mentre per quanto riguarda la tecnica PourThru (PT) il pH misurato varia da 5.40 a 6.62; considerando le medie dei valori ottenuti con i 5 campionamenti, si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli con il PT mostrando un incremento del 9%. Prendendo in considerazione i dati relativi al metodo SME e al metodo 1:2, sempre riferendoci al pH, per quanto riguarda il metodo SME, i valori ottenuti risultano compresi tra 5.32 e 6.57, mentre i valori si attestano tra 5.30 e 6.57 per il metodo 1:2. Dal confronto con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che rispetto al metodo SME c'è un incremento percentuale del 9% in relazione alle medie dei valori ottenuti con questa tecnica e dell'11% rispetto al metodo 1:2, anche in questo caso evidenziando differenze significative tra le medie relative ai metodo di estrazione tradizionali utilizzati in laboratorio e i lisimetri a suzione (Fig. 124).

I valori di EC, per quanto riguarda la tesi con 100 ppm, ottenuti dai campioni estratti con lisimetri si attestano tra 0.55 e 5.30 ( $\text{mS}/\text{cm}^2$ ), con il PT tra 0.54 e 3.08 ( $\text{mS}/\text{cm}^2$ ), con il metodo SME tra 0,25 e 1.92 ( $\text{mS}/\text{cm}^2$ ) ed infine per il metodo 1:2 tra 0,21 e 3.80 ( $\text{mS}/\text{cm}^2$ ). Per quanto riguarda questo parametro si è registrato un incremento del 33% sui valori medi registrati con i lisimetri in relazione al PT e del 58% rispetto alle altre due tecniche di estrazione, incrementi confermati anche dalla analisi del confronto delle medie delle quattro tecniche che risultano significativamente differenti ( $P \leq 0,05$ ) (Fig. 125).

Per quanto riguarda il contenuto di  $\text{NO}_3$ , nella soluzione circolante estratta con lisimetri, tesi 100 ppm, questo è compreso tra 127.00 (mg/L) e 865.00 (mg/L), mentre per il PT tra 54.30 (mg/L) e 256.00 (mg/L). Considerando le medie dei valori ottenuti con i 5 campionamenti, si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli con il PT mostrando un incremento del 60% nella concentrazione dell'elemento rilevato nella soluzione circolante estratta con le due diverse tecniche. Prendendo in considerazione i dati relativi al metodo SME e al metodo 1:2, sempre

riferendoci al  $\text{NO}_3$ , per quanto riguarda il metodo SME, i valori ottenuti risultano compresi tra 21.20 (mg/L) misurati durante i primi rilievi e 178.00 (mg/L), mentre i valori si attestano tra 7.73 e 280.00 (mg/L) per il metodo 1:2. Dal confronto con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che rispetto al metodo SME c'è un incremento percentuale del 75% e dell'76% rispetto al metodo 1:2, anche in questo caso evidenziando differenze significative tra le medie relative ai metodo di estrazione tradizionali utilizzati in laboratorio e i lisimetri a suzione (Fig. 126).

Il range di valori tra cui oscilla il contenuto di **P**, nelle tesi a 100 ppm, ottenuto con i lisimetri, varia tra 4.88 e 15.32 (mg/L), con il PT è compreso tra 6.32 e 25.14 (mg/L), con il metodo SME tra 1.98 e 23.08 (mg/L) ed infine con il metodo 1:2 tra 0.65 e 77.80 (mg/L). Per quanto riguarda la concentrazione di questo elemento nei campioni di soluzione circolante estratta si è registrato un decremento del 50% del valore medio registrato con i lisimetri rispetto al PT e del 67% rispetto al metodo 1:2; dall'analisi del confronto delle medie relative a ciascuna tecnica utilizzata per l'estrazione, non risultano differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) nelle concentrazioni di fosfati misurati (Fig. 127).

Nella tesi a 100 ppm, i campioni di soluzione circolante estratta in riferimento alla concentrazione di **potassio** rilevata, mostrano valori tra 39.98 e 297.45 (mg/L) per quanto concerne i lisimetri a suzione e tra 10.01 e 237.05 (mg/L) con la tecnica del PT. Considerando le medie dei valori ottenuti con i 5 campionamenti, non si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli con il PT mostrando un incremento del 23%. Prendendo in considerazione i dati relativi al metodo SME e al metodo 1:2, sempre riferendoci al potassio, per quanto riguarda il metodo SME, i valori ottenuti risultano compresi tra 4.53 e 150.50 (mg/L), mentre i valori si attestano tra 1.34 e 500 (mg/L) per il metodo 1:2. Dal confronto con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che in relazione al metodo SME c'è un incremento percentuale del 47% rispetto alle medie dei valori registrati e dell'17% rispetto al metodo 1:2, anche in questo caso non evidenziando differenze significative tra le medie relative ai metodo di estrazione tradizionali utilizzati in laboratorio e i lisimetri a suzione (Fig. 128).

I valori di **Ca** ottenuti dai campioni estratti con lisimetri si attestano tra 80.42 e 1153.86 (mg/L), con il PT tra 66.40 e 528.80 (mg/L). Per quanto riguarda il metodo SME la concentrazione di questo elemento misurata nei campioni di soluzione circolante estratta risulta compresa tra 13.55 e 248.80 (mg/L), mentre per il metodo 1:2, il range di valori oscilla tra 17.86 (mg/L) e 665.97 (mg/L). Dal confronto tra i valori medi del contenuto di calcio misurato nei campioni estratti con i Lisimetri, si nota un incremento del 46% in relazione ai campioni ottenuti con il PT, e del 68% rispetto le tradizionali tecniche di estrazione utilizzate nei laboratori di analisi. Inoltre i valori medi ottenuti con i lisimetri a suzione e quelli relativi al metodo PourThru si sono differenziati statisticamente ( $P \leq 0,05$ ) rispetto ai valori medi ottenuti con le tradizionali tecniche distruttive utilizzate in laboratorio (Fig. 129).

Per quanto riguarda il contenuto di **Mg**, nella soluzione circolante estratta con lisimetri , tesi 100 ppm, questo è compreso tra 37.65 (mg/L) e 384.57 (mg/L), mentre per il PT tra 54.30 (mg/L) e 256.00 (mg/L). Considerando le medie dei valori ottenuti con tutti i campionamenti, si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli con il PT mostrando un incremento del 42% nella concentrazione dell'elemento rilevato nella soluzione circolante ottenuta con le coppe porose. Per quanto riguarda i dati relativi al metodo SME e al metodo 1:2, sempre riferendoci al Mg, i valori ottenuti risultano compresi tra 6.33 (mg/L) misurati durante i primi rilievi e 112.42 (mg/L) per il primo metodo, mentre i valori si attestano tra 7.64 e 202.00 (mg/L) per il metodo 1:2. Dal confronto con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che rispetto al metodo SME c'è un incremento percentuale del 66% in relazione alle medie dei valori registrati e dell' 70% rispetto al metodo 1:2, anche in questo caso evidenziando differenze significative tra le medie relative ai metodo di estrazione tradizionali utilizzati in laboratorio e i lisimetri a suzione (Fig. 130).

I valori di **Na** , per quanto riguarda la tesi con 100 ppm, ottenuti dai campioni estratti con lisimetri si attestano tra 13.86 e 124.10 (mg/L), con il PT tra 6.89 e 58.68 (mg/L), con il metodo SME tra 8.59 e 34.72 (mg/L) ed infine per il metodo 1:2 tra 7.18 e 37.41 (mg/L). Per quanto riguarda questo elemento si è registrato un incremento del 56% sui

valori medi registrati con i lisimetri rispetto al PT, del 59% in relazione al metodo SME e del 70% rispetto alla media dei valori ottenuti analizzando la soluzione circolante ottenuta con il metodo 1:2; dall'analisi del confronto delle medie ottenute da tutti i campioni analizzati per ciascuna tecnica, i valori relativi ai lisimetri a suzione si sono differenziati significativamente ( $P \leq 0,05$ ) rispetto al metodo PourThru, metodo SME e metodo 1:2 (Fig. 131).

Infine, nella tesi a 100 ppm, per quanto riguarda i campioni di soluzione circolante estratta in riferimento alla concentrazione di **cloruri** rilevata, mostrano valori tra 13.66 e 80.79 (mg/L) per quanto concerne i lisimetri a suzione e tra 12.42 e 40.25 (mg/L) con la tecnica del PT. Considerando le medie dei valori ottenuti con i tutti i campionamenti, si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli con il PT mostrando un incremento del 26%. Prendendo in considerazione i dati relativi al metodo SME e al metodo 1:2, sempre riferendoci al cloruri, per quanto riguarda il metodo SME, i valori ottenuti risultano compresi tra 10.68 e 23.73 (mg/L), mentre i valori si attestano tra 10.18 e 19.58 (mg/L) per il metodo 1:2. Dal confronto con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che rispetto al metodo SME c'è un incremento percentuale del 41% e dell'52% rispetto al metodo 1:2, anche in questo caso evidenziando differenze significative tra le medie relative ai metodo di estrazione tradizionali utilizzati in laboratorio e i lisimetri a suzione (Fig. 132).

Si è potuto notare, in riferimento alla tesi 200 ppm, che i valori di **pH** ottenuti con i lisimetri a suzione siano compresi tra 4.88 e 6.72, mentre per quanto riguarda la tecnica PourThru (PT) il pH misurato varia da 5.02 a 6.15; considerando le medie dei valori ottenuti con i tutti i campionamenti, si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli con il PT mostrando un incremento del 5%. Prendendo in considerazione i dati relativi al metodo SME e al metodo 1:2, sempre riferendoci al pH, per quanto riguarda il metodo SME, i valori ottenuti risultano compresi tra 5.44 e 6.46, mentre i valori si attestano tra 5.37 e 6.04 per il metodo 1:2. Dal confronto con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che in relazione al metodo SME c'è un incremento percentuale del 3% rispetto alle medie dei valori ottenuti con questa tecnica e

dell'6% rispetto al metodo 1:2, anche in questo caso evidenziando differenze significative tra le medie relative ai metodo di estrazione tradizionali utilizzati in laboratorio e i lisimetri a suzione (Fig. 133).

I valori di EC , per quanto riguarda la tesi con 200 ppm, ottenuti dai campioni estratti con lisimetri si attestano tra 0.36 e 9.31 (mS/cm<sup>2</sup>), con il PT tra 2.10 e 11.40 (mS/cm<sup>2</sup>), con il metodo SME tra 1.25 e 4.23 (mS/cm<sup>2</sup>) ed infine per il metodo 1:2 tra 0,38 e 1.76 (mS/cm<sup>2</sup>). Per quanto riguarda questo parametro si è registrato un decremento del 16% sui valori medi registrati con i lisimetri rispetto al PT , al metodo SME un incremento medio del 58% e dell'72% rispetto al metodo 1:2, incrementi confermati anche dalla analisi del confronto delle medie relative a tutti i campioni analizzati per ciascuna tecnica che risultano significativamente differenti ( $P \leq 0,05$ ) (Fig. 134).

Per quanto riguarda il contenuto di NO<sub>3</sub>, nella soluzione circolante estratta con lisimetri , tesi 200 ppm, questo è compreso tra 151.00 (mg/L) e 1190.00 (mg/L), mentre per il PT tra 132.00 (mg/L) e 1310.00 (mg/L). Considerando le medie dei valori ottenuti con i tutti i campionamenti, non si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli con il PT mostrando variazioni intorno all'1% nella concentrazione dell'elemento rilevato nella soluzione circolante estratta con le due diverse tecniche. Prendendo in considerazione i dati relativi al metodo SME e al metodo 1:2, sempre riferendoci al NO<sub>3</sub>, per quanto riguarda il metodo SME, i valori ottenuti risultano compresi tra 23.30 (mg/L) misurati durante i primi rilievi e 278.00 (mg/L), mentre i valori si attestano tra 7.07 e 257.00 (mg/L) per il metodo 1:2. Dal confronto con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che in relazione al metodo SME c'è un incremento percentuale del 71% e dell' 74% rispetto al metodo 1:2, anche in questo caso evidenziando differenze significative tra le medie relative ai metodo di estrazione tradizionali utilizzati in laboratorio e i lisimetri a suzione (Fig. 135).

Il range di valori tra cui oscilla il contenuto di P, nella tesi a 200 ppm, ottenuto con i lisimetri, varia tra 7.17 e 76.61 (mg/L), con il PT è compreso tra 11.71 e 106.74 (mg/L), con il metodo SME tra 1.20 e 64.03 (mg/L) ed infine con il metodo 1:2 tra 2.44 e 36.72 (mg/L). Per quanto riguarda la concentrazione di questo elemento nei campioni di



soluzione circolante estratta si è registrato un decremento del 49% del valore medio registrato con i lisimetri rispetto al PT, mentre rispetto al metodo SME e al metodo 1:2, incrementi rispettivamente del 29% e del 47%; queste variazioni sono confermate anche dall'analisi del confronto delle medie dove si osservano differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori del PT e quelli ottenuti con i lisimetri rispetto ai dati medi ottenuti con i metodi SME e 1:2, che presentano inoltre le concentrazioni più basse dell'elemento (Fig. 136).

Nella tesi a 200 ppm, i campioni di soluzione circolante estratta in riferimento alla concentrazione di **potassio** rilevata, mostrano valori tra 163.27 e 1047.51 (mg/L) per quanto concerne i lisimetri a suzione e tra 161.04 e 1230.17 (mg/L) con la tecnica del PT. Considerando le medie dei valori ottenuti con i tutti i campionamenti, non si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli con il PT nonostante un decremento del 6% nella concentrazione dei campioni ottenuti con i lisimetri rispetto al PT. Prendendo in considerazione i dati relativi al metodo SME e al metodo 1:2, sempre riferendoci al potassio, per quanto riguarda il metodo SME, i valori ottenuti risultano compresi tra 8.80 e 322.34 (mg/L), mentre i valori si attestano tra 19.55 e 217.58 (mg/L) per il metodo 1:2. Dal confronto con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che rispetto al metodo SME c'è un incremento percentuale del 61% e dell'71% rispetto al metodo 1:2, in questo caso evidenziando differenze significative tra le medie relative ai metodo di estrazione tradizionali utilizzati in laboratorio e i lisimetri a suzione e il PT (Fig. 137).

I valori di **Ca** ottenuti dai campioni estratti con lisimetri si attestano tra 220.71 e 1679.11 (mg/L), con il PT tra 169.11 e 2520.87 (mg/L); anche in questo caso la variabilità all'interno dei valori ottenuti con le diverse tecniche di estrazione è dovuta alla differenza di volume di soluzione estratta, che risulta maggiore con il PT e quindi più diluita. Per quanto riguarda il metodo SME la concentrazione di questo elemento misurata nei campioni di soluzione circolante estratta risulta compresa tra 17.43 e 925.19 (mg/L), mentre per il metodo 1:2, il range di valori oscilla tra 26.32 (mg/L) e 250.68 (mg/L). Dal confronto tra i valori medi del contenuto di calcio misurato nei campioni estratti con i Lisimetri, si nota un decremento del 17% rispetto ai campioni ottenuti con il PT, e rispetto alle

tradizionali tecniche di estrazione utilizzate nei laboratori di analisi, SME e metodo 1:2, rispettivamente un incremento del 65% e dell'83% mediamente nella concentrazione dei campioni di soluzione circolante ottenuta; queste variazioni inoltre risultano statisticamente significative se si considerano i valori medi dei campioni ottenuti con i lisimetri ed il PT rispetto alle altre due tecniche di estrazione distruttive (Fig. 138).

Per quanto riguarda il contenuto di **Mg**, nella soluzione circolante estratta con lisimetri, tesi 200 ppm, questo è compreso tra 111.92 (mg/L) e 558.18 (mg/L), mentre per il PT tra 81.00 (mg/L) e 674.89 (mg/L). Considerando le medie dei valori ottenuti con i tutti i campionamenti, non si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli con il PT mostrando un decremento del 3% non significativo nella concentrazione dell'elemento rilevato nella soluzione circolante ottenuta con le coppe porose. Per quanto riguarda i dati relativi al metodo SME e al metodo 1:2, sempre riferendoci al Mg, i valori ottenuti risultano compresi tra 7.85 (mg/L) misurati durante i primi rilievi e 218.16 (mg/L) per il primo metodo, mentre i valori si attestano tra 12.28 e 70.45 (mg/L) per il metodo 1:2. Dal confronto con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che rispetto al metodo SME c'è un incremento percentuale del 68% dell' 82% in relazione al metodo 1:2, anche in questo caso evidenziando differenze significative tra le medie relative ai metodo di estrazione tradizionali utilizzati in laboratorio e i lisimetri a suzione e il PT (Fig. 139).

I valori di **Na**, per quanto riguarda la tesi con 200 ppm, ottenuti dai campioni estratti con lisimetri si attestano tra 23.69 e 123.23 (mg/L), con il PT tra 15.14 e 98.90 (m), con il metodo SME tra 9.33 e 41.09 (mg/L) ed infine per il metodo 1:2 tra 8.86 e 18.43 (mg/L). Per quanto riguarda questo elemento si è registrato un incremento del 26% sui valori medi registrati con i lisimetri rispetto al PT, del 58% in relazione al metodo SME e del 74% con il metodo 1:2; incrementi confermati anche dalla analisi del confronto delle medie di tutti i valori ottenuti con le quattro tecniche che risultano significativamente differenti ( $P \leq 0,05$ ) (Fig. 140).

Infine, nella tesi a 200 ppm, per quanto riguarda i campioni di soluzione circolante estratta in riferimento alla concentrazione di **cloruri** rilevata, mostrano valori tra

10.19 e 75.18 (mg/L) per quanto concerne i lisimetri a suzione e tra 13.41 e 41.87 (mg/L) con la tecnica del PT. Considerando le medie dei valori ottenuti con i tutti i campionamenti, si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli con il PT mostrando un incremento del 40%. Prendendo in considerazione i dati relativi al metodo SME e al metodo 1:2, sempre riferendoci al cloruri, per quanto riguarda il metodo SME, i valori ottenuti risultano compresi tra 10.30 e 23.61 (mg/L), mentre i valori si attestano tra 10.17 e 16.82 (mg/L) per il metodo 1:2. Dal confronto con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che in relazione al metodo SME c'è un incremento percentuale del 54% rispetto alle medie dei valori registrati e dell'64% rispetto al metodo 1:2, anche in questo caso evidenziando differenze significative tra le medie relative ai metodo di estrazione tradizionali utilizzati in laboratorio e i lisimetri a suzione (Fig. 141).

I valori relativi ai diversi macro e micro nutrienti considerati, ottenuti analizzando la soluzione circolante estratta dalle due differenti concentrazioni di fertilizzante fornito mediante fertirrigazione, sono stati analizzati insieme, questo perché l'analisi preliminare effettuata separatamente per quanto riguarda gli indici di relazione tra le diverse tecniche di estrazione non ha dato risultati soddisfacenti, quindi si è preceduto nell'accorpate i valori ottenuti da entrambe le tesi estrapolando questi risultati. Per quanto riguarda il pH e la conducibilità elettrica, i risultati più soddisfacenti si sono ottenuti mettendo in relazione i valori relativi alla soluzione estratta con i lisimetri a suzione e la tecnica del PourThru, con indici di correlazione soddisfacenti rispettivamente di  $R^2 = 0.577$ , relativo al pH e di  $R^2 = 0.549$  per la conducibilità elettrica (Figg. 142, 143). Andando ad analizzare i dati relativi ai macronutrienti, N, P e K, si evince che esiste una buona correlazione tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli dati dal PT, in particolare possiamo notare, soprattutto già dai primi rilievi una buona correlazione tra queste due tecniche; infatti per quanto riguarda l' N si è ottenuta una buona relazione con  $R^2 = 0.845$ , per il fosforo  $R^2 = 0.813$  e per il potassio  $R^2 = 0.832$  (Figg. 144, 145, 146). Per quanto riguarda i micronutrienti, nel caso del calcio si è ottenuta un buona relazione ( $R^2 = 0.800$ ), confrontando i valori ottenuti con i lisimetri ed il PT, quindi anche in questo caso i lisimetri possono essere considerati una possibile valida alternativa al PT. Inoltre si

osserva un trend di valori, relativi alla concentrazione di calcio, superiori nei campioni estratti con i lisimetri rispetto a quelli ottenuti con il PT (Fig. 147). Anche nel caso del Mg, il range di valori tra cui oscilla la sua concentrazione, nella soluzione circolante estratta con i lisimetri, risulta superiore rispetto al PT. Mettendo in relazione i valori ottenuti con le coppe porose con quelli del PT, si ottengono risultati discretamente soddisfacenti ( $R^2 = 0.674$ ) (Fig. 148). Infine, sempre considerando i valori relativi ad entrambe le tesi, ovvero 100 e 200 ppm, mettendo in relazione ancora una volta i dati relativi ai lisimetri con quelli del PourThru, si ottengono indici di correlazione soddisfacenti, sia per quanto riguarda il sodio, con  $R^2 = 0.751$ , che per quanto riguarda il cloruri con  $R^2 = 0.561$  (Figg. 149, 150). Ad ulteriore riprova che l'utilizzo dei lisimetri per l'estrazione della soluzione circolante da substrati in contenitore, possa rappresentare una valida alternativa alle tecniche conosciute, è ciò che emerge mettendo in relazione i valori relativi ai macronutrienti N, P e K, ottenuti con questi strumenti e le due tecniche che vengono utilizzate principalmente in laboratorio per l'estrazione della soluzione acquosa, il metodo SME e il metodo 1:2. Infatti possiamo notare come i range di valori misurati con queste due tecniche siano più bassi rispetto a quelli rilevati utilizzando i lisimetri, inoltre le relazioni che si sono ottenute mostrano indici molto bassi (Fig. 151).

### III) fertirrigazione con tre livelli di concimazione azotata (100, 200 e 300 ppm)

Dall'analisi dei dati ottenuti si sono osservate alcune differenze tra i diversi parametri misurati. Si è potuto notare, in riferimento alla tesi 100 ppm, che i valori di **pH** ottenuti con i lisimetri a suzione siano compresi tra 6.70 e 7.96, mentre per quanto riguarda la tecnica PourThru (PT) il pH misurato varia da 5.96 a 6.57; considerando le medie di tutti i valori ottenuti con i 6 campionamenti, si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli con il PT mostrando un incremento del 12%. Prendendo in considerazione i dati relativi al metodo SME e al metodo 1:2, sempre riferendoci al pH, per quanto riguarda il metodo SME, i valori ottenuti risultano compresi tra 5.80 e 7.16, mentre i valori si attestano tra 6.17 e 6.8 per il metodo 1:2. Dal confronto con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che rispetto al metodo SME c'è un incremento

percentuale del 10.5% rispetto alle medie dei valori ottenuti con questa tecnica e dell'8.4% rispetto al metodo 1:2, anche in questo caso evidenziando differenze significative tra le medie relative ai metodo di estrazione tradizionali utilizzati in laboratorio e i lisimetri a suzione (Fig. 152).

I valori di EC, per quanto riguarda la tesi con 100 ppm, ottenuti dai campioni estratti con lisimetri si attestano tra 0.91 e 1.98 (mS/cm<sup>2</sup>), con il PT tra 0.61 e 2.07 (mS/cm<sup>2</sup>), con il metodo SME tra 0.6 e 1.03 (mS/cm<sup>2</sup>) ed infine per il metodo 1:2 tra 0,14 e 0.33 (mS/cm<sup>2</sup>). Per quanto riguarda questo parametro si è registrato un incremento medio del 28.7% sui valori medi registrati con i lisimetri rispetto al PT e del 39% in relazione al metodo SME e dell'81% rispetto al metodo 1:2, incrementi confermati anche dalla analisi del confronto delle medie ottenute da tutti i valori estratti con le quattro tecniche che risultano significativamente differenti ( $P \leq 0,05$ ) (Fig. 153)

Analizzando i dati ottenuti in questa sperimentazione, possiamo notare che i valori di **pH**, relativi alla tesi fertilizzata con 200 ppm, ottenuti con i lisimetri siano compresi tra 6.31 e 7.62, per il PT il pH misurato varia da 5.68 a 6.15; considerando le medie dei valori ottenuti con i 6 campionamenti, si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli con il PT mostrando un incremento del 13.5%; sempre riferendoci al pH, per quanto riguarda il metodo SME, i valori ottenuti risultano compresi tra 5.45 e 6.12, mentre i valori si attestano tra 5.78 e 6.37 per il metodo 1:2. Dal confronto con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che in relazione al metodo SME c'è un incremento percentuale del 15.4% e dell'9.7% rispetto al metodo 1:2, anche in questo caso evidenziando differenze significative tra le medie relative ai metodo di estrazione tradizionali utilizzati in laboratorio e i lisimetri a suzione (Fig. 154).

I valori di EC, sempre prendendo in considerazione la tesi con 200 ppm di azoto, che sono stati misurati sui campioni di soluzione circolante estratta con i lisimetri si attestano tra 1.61 e 6.74 (mS/cm<sup>2</sup>), con il PT tra 1.27 e 2.83 (mS/cm<sup>2</sup>); con il metodo SME il range di valori misurati oscilla tra 1.54 e 3.58 (mS/cm<sup>2</sup>), mentre con il metodo 1:2, tra 0.35 e 1.05 (mS/cm<sup>2</sup>). I valori di conducibilità elettrica della soluzione circolante ottenuti con i lisimetri risultano mediamente superiori e significativamente differenti ( $P \leq 0,05$ ) rispetto

alle altre tecniche di estrazione; infatti risulta un incremento medio dei valori di questo parametro pari al 31.7% in relazione ai valori ottenuti con l'SME e ben dell'80.9% rispetto al metodo 1:2, mentre rispetto al metodo PourThru l'incremento medio è del 35.2% (Fig. 155).

Infine, in riferimento alla tesi fertilizzata con 300 ppm, i valori di **pH** ottenuti con i lisimetri a suzione siano compresi tra 6.15 e 7.45, mentre per quanto riguarda la tecnica PourThru (PT) il pH misurato varia da 5.59 a 5.95; considerando le medie di tutti i valori ottenuti con i 6 campionamenti, non si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli con il PT mostrando un incremento del 13.3%. Prendendo in considerazione i dati relativi al metodo SME e al metodo 1:2, sempre riferendoci al pH, per quanto riguarda il metodo SME, i valori ottenuti risultano compresi tra 5.18 e 6.20, mentre i valori si attestano tra 5.48 e 6.32 per il metodo 1:2. Dal confronto con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che rispetto al metodo SME c'è un incremento percentuale del 16% e dell'9.7% rispetto al metodo 1:2, in questo caso evidenziando differenze significative tra le medie dei valori ottenuti con i lisimetri a suzione e il metodo distruttivo 1:2 (Fig. 156).

I valori di **EC**, per quanto riguarda la tesi con 300 ppm, ottenuti dai campioni estratti con lisimetri si attestano tra 2.51 e 6.23 ( $\text{mS}/\text{cm}^2$ ), con il PT tra 2.06 e 5.45 ( $\text{mS}/\text{cm}^2$ ), con il metodo SME tra 1.97 e 5.40 ( $\text{mS}/\text{cm}^2$ ) ed infine per il metodo 1:2 tra 0,47 e 1.69 ( $\text{mS}/\text{cm}^2$ ). Per quanto riguarda questo parametro si è registrato un incremento del 19.3% sui valori medi registrati con i lisimetri rispetto al PT e del 22.8% in relazione al metodo SME e dell'78.7% rispetto al metodo 1:2, incrementi confermati anche dalla analisi del confronto delle medie delle quattro tecniche che risultano significativamente differenti ( $P \leq 0,05$ ). (Fig. 157)

Si è cercato inoltre di trovare delle relazione tra i valori ottenuti per il pH e la conducibilità elettrica relativi alle tre differenti dosi di concimazione messe a confronto, dei lisimetri a suzione con il PT e gli altri due metodi distruttivi. Per quanto riguarda la tesi fertilizzata con 100 ppm di azoto, si sono ottenute indici di correlazione soddisfacenti,

relativi al pH misurato solo con il metodo PT, con  $R^2 = 0.4657$  (Fig. 158), cosa che invece non si è verificata quando la dose di azoto applicata era doppia, dove tra i lisimetri ed il PT si è ottenuto un  $R^2 = 0.0236$  (Fig. 159); alla dose di 300 ppm tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli con il PT, la relazione trovata è stata ancora non del tutto soddisfacente con  $R^2 = 0.225$  (Fig. 160), cosa che invece si è osservata a questa dose di azoto tra il metodo SME e i lisimetri con  $R^2 = 0.4338$  (Fig. 161). In tutte le altre situazioni tra i valori relativi ai campioni estratti con i lisimetri a suzione e i tradizionali metodi distruttivi impiegati in laboratorio per estrarre la soluzione circolante da substrati, non si sono osservati indici di correlazione soddisfacenti o che permettessero di esprimere la relazione tra questo strumento e le altre tecniche considerate (TABELLE 9, 10, 11). Nell'analizzare i dati relativi alla conducibilità elettrica, le relazioni più interessanti si sono osservate alla dose di 220 ppm tra i valori ottenuti con i lisimetri a suzione e i campioni estratti con il metodo SME, con  $R^2 = 0.682$  (Fig. 162) e alla dose di 300 ppm di azoto, dove si sono trovate buone relazioni tra i nostri lisimetri a suzione e la tecnica del PourThru, con  $R^2 = 0.485$  (Fig. 163) ed ancora più soddisfacente con il metodo SME  $R^2 = 0.638$  (Fig. 164). In tutte le altre situazioni tra i valori relativi ai campioni estratti con i lisimetri a suzione e i tradizionali metodi distruttivi impiegati in laboratorio per estrarre la soluzione circolante da substrati, non si sono osservati indici di correlazione soddisfacenti o che permettessero di esprimere la relazione tra questo strumento e le altre tecniche considerate (TABELLE 12, 13, 14).

#### IV) fertirrigazione con due livelli di concimazione azotata (100 e 200 ppm)

Sulle piante di geranio utilizzate per questa prova, successivamente alla raccolta della soluzione circolante con le quattro tecniche di estrazione, si sono eseguiti i rilievi relativi al peso del culmo con foglie e fiori e dell'apparato radicale per ogni data di campionamento. Dall'analisi dei dati si evince che relativamente al peso fresco della parte aerea il peso medio dopo due settimane dall'inizio della prova risulta di 35.27 g per la tesi con 100 ppm di azoto e di 36.47 g per la tesi trattata con 200 ppm di azoto, giungendo alla fine della prova dopo 8 settimane di concimazione ad essere di 210 g per la tesi T200 ppm e di 207 g per la tesi T100 ppm; tra le due tesi si è registrata una variazione percentuale

media del peso fresco, alla fine della prova del 2.5% , inoltre queste variazioni e differenze di peso non sono risultate statisticamente differenti; la stessa analisi e raccolta dati è stata fatta per quanto riguarda il peso secco della parte aerea della pianta relativamente alle due tesi, mostrando una variazione dell'1.5% alla fine della prova, con un valore medio di 17.64 g e di 17.37g di peso secco medio rispettivamente per la T100 ppm e per la T200 ppm, differenze che non sono risultate significative (Figg. 165, 166). In relazione all'apparato radicale, il peso fresco registrato passa da 6.41 g per la tesi fertilizzata con 100 ppm di azoto e 7.18 g per la tesi con 200 ppm di azoto, registrati durante il primo rilievo, a 7.2 e 7.38 grammi rispettivamente, misurati durante l'ultimo rilievo distruttivo; anche in questo caso le differenze tra i pesi secchi delle due tesi non sono risultate significativamente differenti. Lo stesso risulta dall'analisi dei dati che riguardano i pesi secchi dell'apparato radicale delle piante tra le due tesi messe a confronto (Figg. 167, 168).

Si è proceduto quindi nell'analizzare il rapporto tra peso dei culmi e peso dell'apparato radicale e si è potuto notare che la tesi fertilizzata con 100 ppm di azoto ha presentato un valore medio di tale rapporto pari a 17.05 grammi, valore medio che diventa di 15.35 grammi per la tesi con 200 ppm, con un incremento medio del 5% della tesi con il titolo minore di azoto rispetto alla tesi con doppia dose di azoto; mentre se si passa a considerare questo rapporto riferito ai pesi secchi, la tesi T200 ha presentato un valore medio di 16.08 g e la tesi T100 di 15.35 g, mostrando un decremento del 4.5% che non ha evidenziato differenze significative durante l'analisi statistica (Figg. 169, 170).

Dall'analisi dei dati ottenuti si sono osservate alcune differenze tra i diversi parametri misurati. Si è potuto notare, in riferimento alla tesi 100 ppm, che i valori di **pH** ottenuti con i lisimetri a suzione siano compresi tra 6.02 e 7.27, mentre per quanto riguarda la tecnica PourThru (PT) il pH misurato varia da 5.12 a 6.04; considerando le medie di tutti i valori ottenuti con i 4 campionamenti, si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli con il PT mostrando un incremento medio del 14%. Prendendo in considerazione i dati relativi al metodo SME e al metodo 1:2, sempre riferendoci al pH, per quanto riguarda il metodo SME, i valori ottenuti risultano compresi tra 5.20 e 6.25, mentre i valori si attestano tra 5.32 e 6.42 per il metodo 1:2. Dal confronto



con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che rispetto al metodo SME c'è un incremento percentuale del 12% in relazione alle medie dei valori ottenuti con questa tecnica e dell'7% rispetto al metodo 1:2, anche in questo caso evidenziando differenze significative tra le medie relative ai metodo di estrazione tradizionali utilizzati in laboratorio e i lisimetri a suzione (Fig. 171).

I valori di EC , per quanto riguarda la tesi con 100 ppm, ottenuti dai campioni estratti con lisimetri si attestano tra 1.75 e 4.16 (mS/cm<sup>2</sup>), con il PT tra 1.24 e 5.30 (mS/cm<sup>2</sup>), con il metodo SME tra 1.72 e 3.47 (mS/cm<sup>2</sup>) ed infine per il metodo 1:2 tra 0,58 e 2.21 (mS/cm<sup>2</sup>). Per quanto riguarda questo parametro si è registrato un incremento del 8% sui valori medi registrati con i lisimetri rispetto al PT e del 25% rispetto al metodo SME e del 67% in relazione al metodo di estrazione 1:2; in questo caso si sono evidenziate differenze significative sola tra i valori di conducibilità elettrica misurati con i lisimetri e il metodo PT, rispetto ai tradizionali metodo distruttivi SME e 1:2 ( $P \leq 0,05$ ). ( Fig. 172)

Per quanto riguarda il contenuto di NO<sub>3</sub>, nella soluzione circolante estratta con lisimetri, tesi 100 ppm, questo è compreso tra 115.10 (mg/L) e 1948.91 (mg/L), mentre per il PT tra 122.93 (mg/L) e 1233.94 (mg/L). Considerando le medie di tutti i valori ottenuti con i 5 campionamenti, si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli con il PT mostrando un incremento del 35% nella concentrazione dell'elemento rilevato nella soluzione circolante estratta con le due diverse tecniche. Prendendo in considerazione i dati relativi al metodo SME e al metodo 1:2, sempre riferendoci al NO<sub>3</sub>, per quanto riguarda il metodo SME, i valori ottenuti risultano compresi tra 157.50 (mg/L) misurati durante i primi rilievi e 796.33 (mg/L), mentre i valori si attestano tra 64.09 e 657.93 (mg/L) per il metodo 1:2. Dal confronto con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che rispetto al metodo SME c'è un incremento percentuale del 48% rispetto alle medie dei valori registrati e dell' 80% in relazione al metodo 1:2, anche in questo caso evidenziando differenze significative tra le medie relative ai metodo di estrazione tradizionali utilizzati in laboratorio e i lisimetri a suzione (Fig. 173).

Il range di valori tra cui oscilla il contenuto di P, nella tesi a 100 ppm, ottenuto con i lisimetri, varia tra 20.69 e 322.60 (mg/L), con il PT è compreso tra 31.75 e 298.04

(mg/L), con il metodo SME tra 42.40 e 242.60 (mg/L) ed infine con il metodo 1:2 tra 29.57 e 150.66 (mg/L). Per quanto riguarda la concentrazione di questo elemento nei campioni di soluzione circolante estratta si è registrato un decremento del 15% del valore medio registrato con i lisimetri rispetto al PT e del 5% rispetto al metodo SME. In questo caso confrontando le medie relative a tutti i campionamenti, i valori ottenuti con il metodo PT sono risultati statisticamente differenti in relazione alle altre tre tecniche testate ( $P \leq 0,05$ ), mentre rispetto al metodo 1:2 un incremento medio del 36% rispetto ai dati registrati nei campioni ottenuti con i lisimetri a suzione (Fig. 174).

Nella tesi a 100 ppm, i campioni di soluzione circolante estratta in riferimento alla concentrazione di **potassio** rilevata, mostrano valori tra 48.87 e 311.11 (mg/L) per quanto concerne i lisimetri a suzione e tra 32.55 e 426.94 (mg/L) con la tecnica del PT. Considerando le medie relative a tutti i valori per ciascuna tecnica, con 4 campionamenti, si sono ottenute differenze non significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i lisimetri, quelli con il PT mostrando un incremento del 6%. Prendendo in considerazione i dati relativi al metodo SME e al metodo 1:2, sempre riferendoci al potassio, per quanto riguarda il metodo SME, i valori ottenuti risultano compresi tra 39.55 e 255.72 (mg/L), mentre i valori si attestano tra 7.88 e 131.90 (mg/L) per il metodo 1:2. Dal confronto con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che in relazione al metodo SME c'è un incremento percentuale del 14% e dell'73% rispetto al metodo 1:2, anche in questo caso evidenziando differenze significative tra le medie relative ai metodo di estrazione solo tra i valori ottenuti con i lisimetri a suzione e quelli del tradizionale metodo utilizzato in laboratorio, il metodo 1:2 (Fig. 175).

I valori di **Ca** ottenuti dai campioni estratti con lisimetri si attestano tra 179.90 e 562.11 (mg/L), con il PT tra 94.49 e 524.32 (mg/L); anche in questo caso la variabilità all'interno dei valori ottenuti con le diverse tecniche di estrazione è dovuta alla differenza di volume di soluzione estratta, che risulta maggiore con il PT e quindi più diluita. Per quanto riguarda il metodo SME la concentrazione di questo elemento misurata nei campioni di soluzione circolante estratta risulta compresa tra 149.36 e 387.40 (mg/L), mentre per il metodo 1:2, il range di valori oscilla tra 15.59 (mg/L) e 171.70 (mg/L). Dal

confronto tra i valori medi del contenuto di calcio misurato nei campioni estratti con i Lisimetri, si nota un incremento del 14% rispetto ai campioni ottenuti con il PT, del 18% in relazione al metodo SME e del 73% con il tradizionale metodo di estrazione 1:2. In questo caso le medie relative a tutti i valori raccolti per ciascuna tecnica durante i campionamenti hanno mostrato differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) i lisimetri a suzione e il PT, ma soprattutto rispetto ai due metodi distruttivi utilizzati nei laboratori di analisi (Fig. 176)

Per quanto riguarda il contenuto di **Mg**, nella soluzione circolante estratta con lisimetri, tesi 100 ppm, questo è compreso tra 51.95 (mg/L) e 231.24 (mg/L), mentre per il PT tra 14.72 (mg/L) e 224.43 (mg/L). Considerando le medie di tutti i valori ottenuti con i 5 campionamenti, si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli con il PT mostrando un incremento del 17% nella concentrazione dell'elemento rilevato nella soluzione circolante ottenuta con le coppe porose. In relazione ai dati relativi al metodo SME e al metodo 1:2, sempre riferendoci al Mg, i valori ottenuti risultano compresi tra 37.27 (mg/L) misurati durante i primi rilievi e 184.01 (mg/L) per il primo metodo, mentre i valori si attestano tra 2.46 e 49.15 (mg/L) per il metodo 1:2. Dal confronto con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che rispetto al metodo SME c'è un incremento percentuale del 19% rispetto alle medie dei valori registrati e dell' 79% rispetto al metodo 1:2, anche in questo caso evidenziando differenze significative tra le medie relative ai metodo di estrazione tradizionali utilizzati in laboratorio e i lisimetri a suzione (Fig. 177).

I valori di **Na**, per quanto riguarda la tesi con 100 ppm, ottenuti dai campioni estratti con lisimetri si attestano tra 23.41 e 129.84 (mg/L), con il PT tra 6.51 e 81.27 (mg/L), con il metodo SME tra 18.84 e 56.47 (mg/L) ed infine per il metodo 1:2 tra 1.01 e 21.83 (mg/L). Per quanto riguarda questo elemento si è registrato un incremento del 49% sui valori medi registrati con i lisimetri rispetto al PT, del 50% rispetto al metodo SME e del 85% rispetto alla media dei valori ottenuti analizzando la soluzione circolante ottenuta con il metodo 1:2; incrementi confermati anche dalla analisi del confronto delle medie delle quattro tecniche che risultano significativamente differenti ( $P \leq 0,05$ ) (Fig. 178).

Infine, nella tesi a 100 ppm, per quanto riguarda i campioni di soluzione circolante estratta in riferimento alla concentrazione di **cloruri** rilevata, mostrano valori tra 9.02 e 90.61 (mg/L) per quanto concerne i lisimetri a suzione e tra 7.95 e 73.92 (mg/L) con la tecnica del PT. Considerando le medie di tutti i valori ottenuti con i 5 campionamenti, si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli con il PT mostrando un incremento del 20%. Prendendo in considerazione i dati relativi al metodo SME e al metodo 1:2, sempre riferendoci ai cloruri, per quanto riguarda il metodo SME, i valori ottenuti risultano compresi tra 16.37 e 47.48 (mg/L), mentre i valori si attestano tra 4.67 e 18.25 (mg/L) per il metodo 1:2. Dal confronto con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che rispetto al metodo SME c'è un incremento percentuale del 13% rispetto alle medie dei valori registrati e dell'69% rispetto al metodo 1:2, anche in questo caso evidenziando differenze significative tra le medie relative ai metodo di estrazione tradizionali utilizzati in laboratorio e i lisimetri a suzione (Fig. 179).

Si è potuto notare, in riferimento alla tesi 200 ppm, che i valori di **pH** ottenuti con i lisimetri a suzione siano compresi tra 5.29 e 6.91, mentre per quanto riguarda la tecnica PourThru (PT) il pH misurato varia da 4.11 a 6.19; considerando le medie di tutti i valori ottenuti con i 4 campionamenti, si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli con il PT mostrando un incremento del 14 %. Se si considerano i dati relativi al metodo SME e al metodo 1:2, sempre riferendoci al pH, per quanto riguarda il metodo SME, i valori ottenuti risultano compresi tra 4.53 e 6.08, mentre i valori si attestano tra 5.54 e 6.33 per il metodo 1:2. Dal confronto con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che in relazione al metodo SME c'è un incremento percentuale del 13% e dell'5% rispetto al metodo 1:2, anche in questo caso evidenziando differenze significative tra le medie relative ai metodo di estrazione tradizionali utilizzati in laboratorio e i lisimetri a suzione (Fig. 180).

I valori di **EC**, per quanto riguarda la tesi con 200 ppm, ottenuti dai campioni estratti con lisimetri si attestano tra 2.37 e 7.95 (mS/cm<sup>2</sup>), con il PT tra 2.36 e 5.58 (mS/cm<sup>2</sup>), con il metodo SME tra 2.36 e 5.58 (mS/cm<sup>2</sup>) ed infine per il metodo 1:2 tra 0,81 e 2.54

(mS/cm<sup>2</sup>). Per quanto riguarda questo parametro si è registrato un decremento del 8% sui valori medi registrati con i lisimetri rispetto al PT e in relazione al metodo SME un incremento del 13% e dell'66% rispetto al metodo 1:2, incrementi confermati anche dalla analisi del confronto delle medie delle quattro tecniche che non risultano significativamente differenti tra il metodo PT e i valori registrati con i campioni estratti con i lisimetri suzione ( $P \leq 0,05$ ) (Fig. 181).

Per quanto riguarda il contenuto di  $\text{NO}_3$ , nella soluzione circolante estratta con lisimetri, tesi 200 ppm, questo è compreso tra 251.96 (mg/L) e 2362.26 (mg/L), mentre per il PT tra 154.48 (mg/L) e 2345.53 (mg/L). Considerando le medie di tutti i valori ottenuti con i 5 campionamenti, non si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli con il PT mostrando variazioni intorno all'13% nella concentrazione dell'elemento rilevato nella soluzione circolante estratta con le due diverse tecniche. Prendendo in considerazione i dati relativi al metodo SME e al metodo 1:2, sempre riferendoci al  $\text{NO}_3$ , per quanto riguarda il metodo SME, i valori ottenuti risultano compresi tra 431.21 (mg/L) misurati durante i primi rilievi e 1175.54 (mg/L), mentre i valori si attestano tra 71.98 e 495.98 (mg/L) per il metodo 1:2. Dal confronto con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che rispetto al metodo SME c'è un incremento percentuale del 35% rispetto alle medie dei valori registrati e dell'74% rispetto al metodo 1:2, anche in questo caso evidenziando differenze significative tra le medie relative ai metodi di estrazione tradizionali utilizzati in laboratorio e i lisimetri a suzione (Fig. 182).

Il range di valori tra cui oscilla il contenuto di  $\text{P}$ , nella tesi a 200 ppm, ottenuto con i lisimetri, varia tra 25.63 e 646.70 (mg/L), con il PT è compreso tra 50.88 e 604.71 (mg/L), con il metodo SME tra 51.59 e 300.21 (mg/L) ed infine con il metodo 1:2 tra 36.75 e 251.72 (mg/L). Per quanto riguarda la concentrazione di questo elemento nei campioni di soluzione circolante estratta si è registrato un decremento del 42% del valore medio registrato con i lisimetri rispetto al PT, mentre rispetto al metodo 1:2 un incremento del 40% dall'analisi del confronto delle medie non risultano significativamente differenti ( $P \leq 0,05$ ) i valori registrati dai campioni ottenuti con i lisimetri a suzione e quelli con il metodo SME (Fig. 183).

Nella tesi a 200 ppm, i campioni di soluzione circolante estratta in riferimento alla concentrazione di **potassio** rilevata, mostrano valori tra 171.94 e 466.45 (mg/L) per quanto concerne i lisimetri a suzione, tra 27.60 e 544.62 (mg/L) con la tecnica del PT e tra 180.01 e 385.59 (mg/L) con il metodo SME. Considerando le medie di tutti i valori ottenuti con i 4 campionamenti, non si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli con il PT mostrando un decremento del 5% e neppure dal confronto con i dati relativi al metodo SME. Prendendo in considerazione i dati relativi al metodo 1:2, sempre riferendoci al potassio, i valori ottenuti risultano compresi tra 16.89 e 154.79 (mg/L). Dal confronto con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che rispetto al metodo 1:2 c'è un incremento percentuale del 75% rispetto alle medie dei valori registrati con i lisimetri, in questo caso evidenziando differenze significative tra le medie relative a questo metodo di estrazione tradizionale utilizzati in laboratorio e i lisimetri a suzione (Fig. 184).

I valori di **Ca** ottenuti dai campioni estratti con lisimetri si attestano tra 281.7 e 656.55 (mg/L), con il PT tra 100.42 e 664.61 (mg/L); anche in questo caso la variabilità all'interno dei valori ottenuti con le diverse tecniche di estrazione è dovuta alla differenza di volume di soluzione estratta, che risulta maggiore con il PT e quindi più diluita. Per quanto riguarda il metodo SME la concentrazione di questo elemento misurata nei campioni di soluzione circolante estratta risulta compresa tra 184.22 e 408.70 (mg/L), mentre per il metodo 1:2, il range di valori oscilla tra 26.97 (mg/L) e 196.41 (mg/L). Dal confronto tra le medie relative a tutti i valori ottenuti durante i campionamenti del contenuto di calcio misurato nei campioni estratti con ciascuna tecnica utilizzata, si nota che con i Lisimetri un incremento del 15% rispetto ai campioni ottenuti con il PT, e rispetto alle tradizionali tecniche di estrazione utilizzate nei laboratori di analisi, SME e metodo 1:2, rispettivamente un incremento del 26% e dell'72% mediamente nella concentrazione dei campioni di soluzione circolante ottenuta. Inoltre i valori medi ottenuti con i lisimetri a suzione risultano statisticamente differenti ( $P \leq 0,05$ ) rispetto alle altre tre tecniche utilizzate (Fig. 185).

Per quanto riguarda il contenuto di **Mg**, nella soluzione circolante estratta con lisimetri, tesi 200 ppm, questo è compreso tra 89.44 (mg/L) e 330.15 (mg/L), mentre per il PT tra 16.17 (mg/L) e 312.85 (mg/L). Considerando le medie di tutti i valori ottenuti con i 5 campionamenti, si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli con il PT mostrando un incremento del 6% statisticamente significativo nella concentrazione dell'elemento rilevato nella soluzione circolante ottenuta con le coppe porose. Relativamente al metodo SME e al metodo 1:2, sempre riferendoci al Mg, i valori ottenuti risultano compresi tra 52.02 (mg/L) misurati durante i primi rilievi e 191.65 (mg/L) per il primo metodo, mentre i valori si attestano tra 4.42 e 65.93 (mg/L) per il metodo 1:2. Dal confronto con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che rispetto al metodo SME c'è un incremento percentuale del 23% in relazione alle medie dei valori registrati e dell' 79% rispetto al metodo 1:2, anche in questo caso evidenziando differenze significative tra le medie relative ai metodo di estrazione tradizionali utilizzati in laboratorio e i lisimetri a suzione (Fig. 186).

I valori di **Na**, per quanto riguarda la tesi con 200 ppm, ottenuti dai campioni estratti con lisimetri si attestano tra 31.5 e 103.71 (mg/L), con il PT tra 7.99 e 91.67 (mg/L), con il metodo SME tra 23.88 e 57.45 (mg/L) ed infine per il metodo 1:2 tra 2.37 e 21.73 (mg/L). Per quanto riguarda questo elemento si è registrato un incremento del 39% sui valori medi registrati con i lisimetri rispetto al PT, del 49% rispetto al metodo SME e del 85% rispetto alla media dei valori ottenuti analizzando la soluzione circolante ottenuta con il metodo 1:2; incrementi confermati anche dalla analisi del confronto delle medie, dove si evince che i valori medi relativi a tutti i campionamenti effettuati per i lisimetri risultano statisticamente differenti ( $P \leq 0,05$ ) rispetto alle altre tecniche tradizionali di estrazione della soluzione circolante (Fig. 187).

Infine, nella tesi a 200 ppm, per quanto riguarda i campioni di soluzione circolante estratta in riferimento alla concentrazione di **cloruri** rilevata, mostrano valori tra 10.51 e 87.37 (mg/L) per quanto concerne i lisimetri a suzione e tra 6.31 e 73.39 (mg/L) con la tecnica del PT. Considerando le medie di tutti i valori ottenuti con durante i 5 campionamenti, si sono ottenute differenze significative ( $P \leq 0,05$ ) tra i valori ottenuti con i

lisimetri e quelli con il PT mostrando un incremento del 10%. Prendendo in considerazione i dati relativi al metodo SME e al metodo 1:2, sempre riferendoci al cloruri, per quanto riguarda il metodo SME, i valori ottenuti risultano compresi tra 20.37 e 48.19 (mg/L), mentre i valori si attestano tra 4.17 e 18.39 (mg/L) per il metodo 1:2. Dal confronto con quelli ottenuti con i lisimetri, emerge che in relazione al metodo SME c'è un incremento percentuale del 5% e dell'67% rispetto al metodo 1:2, anche in questo caso evidenziando differenze significative tra le medie relative ai metodo di estrazione tradizionali utilizzati in laboratorio e i lisimetri a suzione (Fig. 188).

I valori relativi ai diversi macro e micro nutrienti considerati, ottenuti analizzando la soluzione circolante estratta dalle due differenti concentrazioni di fertilizzante fornito mediante fertirrigazione, sono stati analizzati insieme, questo perché l'analisi preliminare effettuata separatamente per quanto riguarda gli indici di relazione tra le diverse tecniche di estrazione non ha dato risultati soddisfacenti, quindi si è preceduto nell'accorpate i valori ottenuti di entrambe le tesi estrapolando questi risultati. Andando ad analizzare i dati relativi ai macronutrienti, N, P e K, si evince che in questo caso non esiste una buona correlazione tra i valori ottenuti con i lisimetri e quelli dati dal PT, in particolare possiamo notare, infatti per quanto riguarda l' N si è ottenuta una relazione con  $R^2 = 0.209$ , per il fosforo  $R^2 = 0.111$  e per il potassio  $R^2 = 0.397$  (Figg. 189, 190, 191). Solo nel caso del potassio tra i valori ottenuti con i lisimetri ed quelli relativi alla soluzione estratta con il metodo SME, si è ottenuta un relazione soddisfacente con  $R^2 = 0.658$  (Fig, 192). Per quanto riguarda i micronutrienti, nel caso del calcio si è ottenuta un scarsa relazione ( $R^2 = 0.012$ ), confrontando i valori ottenuti con i lisimetri ed il PT, lo stesso accade prendendo in considerazione i valori ottenuti con i campioni estratti con i lisimetri a suzione e i tradizionali metodo di estrazione usati in laboratorio (Figg. 193, 194, 195). Anche nel caso del Mg, il range di valori tra cui oscilla la sua concentrazione, nella soluzione circolante estratta con i lisimetri, risulta superiore rispetto al PT. Mettendo in relazione i valori ottenuti con le coppe porose con quelli del PT, si ottengono risultati non del tutto soddisfacenti ( $R^2 = 0.225$ ), gli stessi risultati si sono ottenuti considerando i valori relativi ai due metodi di estrazione della soluzione circolante (Fig. 196, 197, 198) Infine ,



sempre considerando i valori relativi ad entrambe le tesi, ovvero 100 e 200 ppm, mettendo in relazione ancora una volta i dati relativi ai lisimetri con quelli del PourThru, si ottengono indici di correlazione non soddisfacenti, sia per quanto riguarda il sodio, con  $R^2 = 0.015$  (Fig. 199), che per quanto riguarda i cloruri con  $R^2 = 0.111$  (Fig. 202); risultati simili si sono ottenuti con il metodo SME e il metodo 1:2 (Figg. 200, 201, 203, 204).

Questi risultati, non del tutto soddisfacenti ci permettono di dire che la metodica adottata per i campionamenti necessita di ulteriori revisioni, soprattutto per quanto riguarda l'impiego dei lisimetri a suzione per il monitoraggio dei micronutrienti nei substrati di coltivazione.



## 5 CONCLUSIONI

---



## 5.1 PREMESSA

L'agricoltura viene considerata essere tra i maggiori responsabili di alcuni problemi ambientali che affliggono la società del nostro tempo, infatti l'inquinamento delle acque è legato all'utilizzo di fertilizzanti e pesticidi nella pratica agronomica comunemente applicata (Mueller *et al.*, 1995; Ongley, 1996; European Commission, 1999; Laegreid *et al.*, 1999). L'inquinamento delle acque sottosuperficiali dovuto alla lisciviazione dei nitrati nei suoli agrari è un serio problema che affligge il territorio dell'Unione Europea ed in molti altri paesi sviluppati e negli ultimi decenni questo problema è tornato essere di interesse primario per preservare gli ambienti naturali e quindi la vita (Meinardi *et al.*, 1995; van der Voet *et al.*, 1996; Powlson, 1999; Wilson *et al.*, 1999). Nel 1991 l'Unione Europea per fronteggiare questo problema attuò una direttiva concernente le linee guida per la protezione delle acque dall'inquinamento da nitrati di origine agricola (CEC, 1991). In questi ultimi anni, gli stati membri hanno ratificato il programma proposto in questa direttiva, anche se il livello di attuazione non è stato lo stesso in tutti i paesi (European Commission, 1998), ma siamo fiduciosi sull'impegno posto da tutti nel risolvere e fronteggiare questa questione.

## 5.2 PROVE IN CAMPO

In queste prova il monitoraggio della soluzione circolante raccolta con lisimetri a suzione alle profondità di 30, 60 e 90 cm in bietola - spinacio, prima , e bietola - cavolo verza successivamente, oltre che testare il funzionamento degli strumenti in pieno campo per un medio periodo, volevano confrontare l'impiego di compost come alternativa alla concimazione minerale. Per quanto riguarda la concentrazione di nitrati alla profondità di 30 cm, le tesi T50 e TMIN, sia in bietola e in spinacio, nel corso del primo anno di sperimentazione (2008), e sia in cavolo verza e bietola, nel secondo anno (2009), si sono distinte dalle altre tesi prese in oggetto, mostrando i valori maggiori, confermando quanto detto in letteratura sulla mobilità dei nitrati nei primi strati di suolo. Se invece si prendono in considerazione i valori raccolti con i fosfati, in questo caso i lisimetri a suzione non

hanno permesso di discriminare bene le differenti tesi, attestando le concentrazioni dei campioni raccolti su livelli bassi a tutte e tre le profondità esplorate. Questo è stato dimostrato essere dovuto, non solo alla scarsa mobilità dell'elemento fosforo, ma proprio all'effetto di interazione tra la coppa porosa in ceramica di cui sono costituiti i puntali dei lisimetri a suzione impiegati, con gli ioni fosfato, che tendono a saturare i pori del puntale rimanendo immobilizzati e rilasciati lentamente, favorendo la diluizione della concentrazione di questo elemento nella soluzione circolante raccolta. Passando poi a considerare il contenuto di potassio alle diverse profondità, le tesi T50 e TMIN anche in questo caso si sono distinte, mostrando i valori superiori rispetto alle altre tesi prese in considerazione, confermando quanto scritto in letteratura, sull'accumulo degli ioni potassio negli strati superficiali dei suoli agrari. Inoltre dal confronto dei campioni estratti con i lisimetri, alle diverse profondità, fatto tra la tesi che ha ricevuto il doppio della dose di azoto, fornito mediante compost e la tesi concimata con i fertilizzanti minerali, si sono trovati risultati soddisfacenti che ci hanno permesso di concludere che con l'utilizzo del compost si possono ridurre le perdite in profondità dei nutrienti non dovendo rinunciare ad una riduzione della produzione lorda vendibile.

### **5.3 PROVE IN SERRA**

Le prove effettuate in serra che miravano a confrontare la capacità dei lisimetri a suzione di raccogliere la soluzione circolante in colture in vaso, con le tre diverse tecniche più comunemente utilizzate, ovvero i metodi PourThru, SME e 1:2, hanno permesso di raccogliere informazioni utili relative all'impiego di questi particolari strumenti per il monitoraggio dei micro e macro nutrienti in ambito florovivaistico. Dopo queste esperienze possiamo affermare che si sono ottenuti risultati confortanti dal confronto tra i campioni ottenuti dai lisimetri con quelli ottenuti con il PourThru, soprattutto per quanto riguarda l'analisi dei macronutrienti; mentre con i micronutrienti l'analisi non ha dato effetti significativi, questo può dipendere dal fatto che la metodica

adottata per il campionamento deve essere rivista ed affinata. L'obiettivo prefissato quindi sembra essere raggiunto in parte, ovvero l'utilizzo dei lisimetri come strumento per la raccolta della soluzione circolante in contenitori necessita di ulteriore calibrazione per raggiungere la determinazione di un preciso protocollo di applicazione, come già presente per il PourThru. Infatti dall'analisi del confronto dei dati ottenuti con i lisimetri con quelli ricavati dal PourThru, si nota come i valori siano sempre superiori rispetto alla tecnica comunemente usata e questo apre scenari interessanti, ovvero con i lisimetri riusciamo a simulare in maniera migliore le condizioni che si verificano a livello di substrato – soluzione circolante, quindi questi strumenti ci permettono di monitorare in maniera più precisa il contenuto dei vari macronutrienti disponibili per l'assorbimento radicale, lo stesso succede se ci si riferisce al pH o alla EC. Ora sappiamo che la soluzione circolante raccolta con i lisimetri a suzione è direttamente comparabile con quella raccolta con il PourThru. Resta da valutare quanto il valore dell'umidità presente nel substrato, possa influenzare la capacità di raccolta della soluzione circolante da parte dei lisimetri e cercare di trovare una relazione che permetta di convertire i valori dei campioni raccolti con le reali situazioni che si verificano all'interno del substrato. Per quanto riguarda la prova in cui sono stati impiegati i lisimetri affiancati all'utilizzo del fotometro da banco per l'analisi dei campioni, andando ad analizzare il pH, l'EC e la concentrazione di N, in relazione con i risultati ottenuti con il PourThru, ci portano a concludere che questi due strumenti possono rappresentare una buona possibilità di avere a disposizione un ONE-SITE ANALYSIS alternativo, per poter agire tempestivamente nel correggere un'eventuale carenza o eccesso di micro e macro nutrienti. I lisimetri utilizzati nelle colture in contenitore per queste prove si sono dimostrati di facile utilizzo, affidabili, non hanno comportato la perdita di produzione vendibile, in quanto non prevedono la distruzione della pianta; non necessitano di particolari conoscenze ed abilità, quindi utilizzabili direttamente dal floro-vivaista in situ. In fine possiamo dire che, sebbene ci siano ancora molti studi da effettuare per l'utilizzo dei lisimetri in contenitori, si è visto che essi possono, con le opportune modifiche nella metodologia di utilizzo, rappresentare in

futuro una valida alternativa al PourThru e alle due tecniche distruttive, il metodo SME e il metodo 1:2.

## **5.4 CONCLUSIONI FINALI**

I risultati ottenuti con i lisimetri nelle prove effettuate in pieno campo, in termini generali, ci permettono di affermare che possono rappresentare dei buoni strumenti per la raccolta ed il monitoraggio della soluzione circolante in pieno campo, soprattutto per quanto riguarda la lisciviazione dei nitrati. Inoltre i dati relativi alle rese ci permettono di riconoscere l'utilità del compost come ammendante organico affiancato alla normale concimazione minerale, in quanto se la quantità di azoto distribuite normalmente in colture orticole di pieno campo viene fornita solo mediante compost, non permette di raggiungere migliori risultati produttivi, ma contribuisce a ridurre la perdita di nutrienti nei profili di suolo per lisciviazione e percolazione.

Tutti sembrano d'accordo che nel prossimo futuro le serre ed i vivai avranno meno acqua a disposizione (*Beeson et al., 2004; Yeager, 1992*) e che quindi si renderà necessario un aumento consistente dell'efficienza d'uso sia dell'acqua sia dei fertilizzanti. L'adozione delle BMP riguardanti l'irrigazione e la fertilizzazione è il primo passo in quella direzione (*Reed, 1996; Yeager et al., 1992*). Il mondo della ricerca sta studiando il modo di integrare l'irrigazione e la fertilizzazione sulla base dell'effettiva esigenza della coltura, in modo da somministrare l'acqua ed i concimi nella giusta quantità e nel giusto momento (*Beeson et al., 2004; Cabrera et al., 1995, 1996; Silberbush e Lieth, 2004; Whitesides, 1989*). I lisimetri a suzione possono rappresentare uno strumento utile per il monitoraggio della soluzione circolante in colture in contenitore al fine di agire tempestivamente nel correggere eventuali carenze o eccessi di nutrienti e non essendo distruttivi permettono di non ridurre la produzione.







## 6 BIBLIOGRAFIA

---



Allen R.G., Fisher D.K., 1990. Low-cost electronic weighing lysimeters. *Trans. ASAE* 33:1823-1833.

Allen R.G., Howell T.A., Pruitt W.O., Walter I.A. and Jensen M.E., 1991. Environmental proceedings of lysimeters. Proceedings of the 1991 ASCE Specialty Conference on "Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements", Honolulu, Hawaii., July 23-25. 171-181.

Allen S.C., Nair V.D., Graetz D.A., Jose S. and Ramachandran Nair P.K., 2006. Phosphorus loss from organic versus inorganic fertilizers used in alleycropping on a florida ultisol. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 117:290-298.

Amoozegar-Fard A.D., Nielsen D. R. and Warrick A. W., 1982. Soil solute concentration distributions for spatially varying pore water velocities and apparent diffusion coefficients. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:3-9.

Bailey J. 1993. Soil and crop analysis. Belfast: Department of Agriculture for Northern Ireland Publication.

Barbee G., Brown K., 1986. Comparison between suction and free drainage soil solution samplers. *Soil Sci.* 141:149-154.

Barraclough D., Jarvis S.C., Davies G.P. and Williams J., 1992 The relationship between fertiliser nitrogen applications and nitrate leaching from grazed grassland. *Soil Use Manage.* 8:51-56.

Beasley R.S., 1976. Contribution of subsurface flow from the upper slopes of forested watersheds to channel flow. *Soil Soc. Amer. J.* 40:955-957.

Beeson R.C., Arnold M. A., Bilderback T. E., Bolusky B., Chandler S., Gramling H. M., Lea-Cox J. D., Harris J. R., Klinger P. J., Mathers H. M., Ruter J. M. and Yeager T. H., 2004. A strategic vision for container-nursery irrigation over the next ten years. *J. Environ. Hort.* 22.

Bergstrom L., Johansson R., 1991. Leaching of nitrate from monolith lysimeters of different types of agricultural soils. *J Environ. Qual.* 20:801-807.

Beven K. and Germann P., 1982. Macropore and water flows in soils, *Water Resour. Res.* 18:1311-1325.

Biggar. W., Nielsen D. R., 1976. Spatial variability of the leaching characteristics of a field soil. *Water Resour. Res.* 12:78-84.

Bouma J. Influence of Soil Macroporosity on Environmental Quality, 1991. *Advances in Agronomy*. 46:1-37.

Bowman M.S., Clune T.S. and Sutton B. G., 2001. A modified ceramic sampler and lysimeter design for improved monitoring of soil leachates. *Water Research*.

Brandi-Dohrn F.M., Dick R.P., Hess M. and Selker J.S., 1996. Field evaluation of passive capillary samplers. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:1705-1713.

Briggs L., McCall A., 1904. An artificial root for including capillary movement of soil moisture. *Science*. 20:566-569.

Bunt, A.C. 1988. *Media and Mixes for Container-Grown Plants*. Unwin Hyman, London.

Burd J.S., Martin J.C., 1923. Water displacement of soils and the soil solution. *J. Agr. Sci.* 13:265-295.

Byre K.R., Norman J.M., Bundy L. G. and Gower S. T., 1999. An equilibrium tension lysimeter for measuring drainage through soil. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 63:536-543.

Cabrera R.I., Evans R.Y., Paul J.L., 1993. Leaching losses of N from container-grown roses. *Scientia Hort.* 53: 333-345.

Cabrera R.I., R.Y. Evans, J.L. Paul. 1995a. Cyclic nitrogen uptake by greenhouse roses. *Scientia Hort.* 63: 57-66.

Cabrera R.I., Evans R.Y. and Paul J.L., 1995b. Nitrogen partitioning in rose plants over a flowering cycle. *Scientia Hort.* 63:67-76

Cabrera R.I., R.Y. Evans, J.L. Paul. 1996. Enhancement of short-term nitrogen uptake by greenhouse roses under intermittent N-deprivation. *Plant and Soil*. 179: 73-79.

Cameron K.C., Harrison D.F., Smith N.P. and McLay C.D.A., 1990. A method to prevent edge-flow in undisturbed soil cores and lysimeters. *Aust. J. Soil Res.* 28:879-886.

Cameron K.C., Rate A.W., 1992. The fate of nitrogen in pig slurry applied to pasture. In: P.E.H. Gregg and L.D. Currie, Editors, *The Use of Wastes and Byproducts as Fertilizers and Soil Amendments for Pastures and Crops*, Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, New Zealand. 314-326.

Cavins T.D. 2002. Adaptation of the Pourthru nutrient extract procedures to greenhouse crop production. North Carolina State University, Hort Science.

Cavins T.J., Whipker B.E., Fonteno W.C. and Gibson J.L., 2000a. Establishing a PourThru sampling program: part 1. *Ohio Florists' Assoc. Bul.* 846:1-11.

Cavins T.J., Whipker B.E., Fonteno W.C. and Gibson J.L., 2000b. Establishing a PourThru sampling program: part 2. *Ohio Florists' Assoc. Bul.* 847:11-14.

CEC, 1991. Council Directive of 12th December 1991 Concerning the Protection of Waters Against Pollution Caused by Nitrates from Agricultural Sources (91/676/EEC). *Official Journal of the European Communities* (30/12/91 L135/1 to 8).

Centro Ricerche Produzioni Animale (C. R. P. A.), 2001. *liquami zootecnici, manuale per l'utilizzazione agronomica*, Edizioni L'informatore Agrario.

Cochran P.H., Marion G.M. and Leaf A.L., 1970. Variations in tension lysimeters leachate volumes. *Sci. Soc. Am. Proc.* 34:309-311.

Corwin D.L., 2000. Evaluation of a simple lysimeter-design modification to minimize sidewall flow, *J. Cont. Hydrol.* 42:35-49.

Corwin D.L., LeMert R.D., 1994. Construction and evaluation of an inexpensive weighing lysimeter for studying contaminant transport. *J. Cont. Hydrol.* 15:107-123.

Culley J.L.B., Phillips P.A., Hore F.R. and Patni N.K., 1981. Soil chemical properties and removal of nutrients by corn resulting from different rates and timing of liquid dairy manure applications. *Can J Soil Sci.* 61:35-46.

Daniel T.C., Sharpley A.N., Stewart S.J. and Smith S.J., 1993. Environmental impact of animal manure management in the southern plains, presented at the International Summer Meeting, 20/23 June, Spokane, Washington. Paper No. 934011, American Society of Agricultural Engineers.

Dole J.M., Wilkins H.F., 1999. Nutrition, 57-78. In: *Floriculture principles and species*. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.

Dorrance D.W., Wilson L.G., Everett L.G. and Cullen S.J., 1991. Compendium of in situ pore-liquid samplers for vadose zone. *ACS Symp. Ser.* 465:300-331.

Duke H., Haise H., 1973. Vacuum extractors to assess deep percolation losses and chemical constituents of soil water. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37:963-964.

Edwards W.M., Shipitalo M.J. and Owens L.B., 1993. Gas, water and solute transport in soils containing macropores: a review of methodology. *Geoderma* 57:31-49.

Edwards W.M., Shipitalo M.J., Owens L.B. and Norton L.D., 1989. Water and nitrate movement in earthworm burrows within long-term no-till cornfields. *J. Soil Water Cons.* 44:240-243.

Eghball B., Binford G.D. and Baltensperger D.D., 1996. Phosphorus movement and adsorption in a soil receiving long-term manure and fertilizer application. *J. Environ. Qual.* 25:1339-1343.

Elrashidi M.A., Alva A.K., Huang Y.F., Calvert D.V., Obreza T.A. and He Z.L., 2001. Accumulation and downward transport of phosphorus in Florida soils and relationship to water quality. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32 :3099-3119.

England C.B., 1974. Comments on A technique using porous cups for water sampling at any depth in the unsaturated zone by Warren W. Wood. *Water Resour. Res.* 10 5:1049.

European Commission, 1999. *Agriculture, Environment, Rural Development: Facts and Figures—A Challenge for Agriculture*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Faber W.R., Nelson P.V., 1984. Evaluation of methods for bulk solution collection from container root media. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15:1029 -1040.

Fällman A.-M., Hartlén J., 1994. Leaching of slags and ashes—controlling factors in field experiments versus in laboratory tests. In: J.J.J.M. Goumans, H.A. van der Sloot and A. Th.G., Editors, *Environmental aspects of construction with waste materials*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. 60:39-54.

Fank J., Stenitzer E., Feichtinger F. and Cepuder P., 2004. Messdaten und Modellkalibration an der Forschungsstation Wagna und daraus abzuleitende Anforderungen an Messstellen zur Kalibration von Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodellen. In: Klotz, D. (Hrsg.): *Untersuchungen zur Sickerwasserprognose in Lysimetern*. GSF-Bericht 02/04. 79-86.

Fermanich K.J., Daniel T.C. and Lowery B., 1991. Micro-lysimeter soil columns for evaluating pesticide movement through the root zone. *J. Environ. Qual.* 20 :189-195.

Flury M., Leuenberger J., Studer B. and Flühler H., 1995. Transport of anions and herbicides in a loamy and a sandy field soil. *Water Res.* 31. 4:823-835.

Gallet C. Keller C., 1999. Phenolic composition of soil solutions: comparative study of lysimeter and centrifuge waters, *Soil. Biol. Biochem.* 31:1151-1160.



Gangbazo G., Pesant A.R., Barnett G.M., Charuest J.P. and Cluis D., 1995. Water contamination by ammonium nitrogen following the spreading of hog manure and mineral fertilisers. *J. Environ. Qual.* 24:420-425.

Giardini, L, 2002. *Agronomia Generale, ambientale e aziendale*. Pàtron Ed., Bologna.

Grossmann J., Bredemeier M. and Udluft P., 1990. Sorption of trace elements by suction cups of aluminum-oxide, ceramic, and plastics. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 153:359-364.

Haines B. L., Waide B. J. and Todd R. L., 1982. Soil solution nutrient concentrations sampled with tension and zero-tension lysimeters: Report of discrepancies. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 46:658-661.

Hanan J.J. 1998. *Greenhouses: advanced technology for protected horticulture*. Boca Raton: CRC Press.

Hansen E.A., Harris A.R., 1975. Validity of soil-water samples collected with porous ceramic cups. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39:528-536.

Hantschel R., Kaupenjohann M., Horn R., Gradt J. and W. Zech, 1988. Ecologically important differences between equilibrium and percolation soil extracts. *Geoderma.* 43:213-227.

Hart G.L. Lowery B., 1997. Axial-radial influence of porous cup soil solution samplers in a sandy soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1765-1773.

Hildebrand E., 1991. Die chemische Untersuchung ungestört gelagerter Waldbodenproben-Methoden und Informationsgewinn. In: *KfK-PEF-Berichte Bd. 85*, Kern forschungszentrum Karlsruhe.

Hillel D., 1987. Unstable flow in layered soils: a review. *Hydrol. Proc.* 1:143-147.

Hillel D., Gairon S., Falkenflug V. and Rawitz E., 1969. New Design of a low-cost hydraulic lysimeter system for field measurement of evapotranspiration. *Isr. J. Agric. Res.* 19: 57-63.

Hjelmar O., 1990. Leachate from land disposal of coal fly ash. *Waste Manage. Res.* 8:429-449.

Hooda P.S., Moynagh M., Svoboda I.F. and Anderson H.A., 1998a. A comparative study of nitrate leaching from intensively managed monoculture grass and grass]clover pastures. *J. Agric. Sci.* 131:267-275.

Hooda P.S., Moynagh M., Svoboda I.F., Edwards A.C., Anderson H.A. and Sym G., 1999. Phosphorus loss in drain flow from intensively managed grassland soils. *J. Environ. Qual.* 28:1235- 1242.

Howell T.A., Schneider A.D. and Jensen M.E., 1991. History of lysimeter design and use for evapotranspiration measurements. pp. 1-9 in *Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements, Proceedings of the International Symposium on Lysimetry, July 23-25, 1991, Honolulu, Hawaii. ASCE, 345 E. 47th St., NY, NY 10017-2398.*

Ischerekov V., 1907. Obtaining the soil solution in an unaltered condition. *Zhur. Opuitn. Agron. (Russ. J. Exp. Landw.).* 8:147-166.

Jamison M. J., Fox R. H., 1992. Estimation of zero-tension pan lysimeter collection efficiency. *Soil Sci.* 154:85-94.

Jemison J.M., Fox Jr and R.H., 1994. Nitrate leaching from N fertilized and manured corn managed with zero-tension lysimeters. *Journal of Environmental Quality.* 23:337-343.

Khaleel R., Reddy K.R. and Overcash M.R., 1980. Transport of potential pollutants in runoff water from land areas receiving animal wastes: a review. *Water Res.*14:421-436.

Klocke N.L., Heermann D.F. and Duke H.R., 1985. Measurement of evaporation and transpiration with lysimeters. *Trans. ASAE.* 28:183-189, 192.

Krone R., Ludwig H. and Thomas J., 1951. Porous tube device for sampling soil solution during water spreading operations. *Soil Sci.* 73:211-219.

Ku C.S.M., Hershey D.R., 1991. Leachate electrical conductivity and growth of potted poinsettia with leaching fractions of 0 to 0.4. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116:802-806.

Ku C.S.M., Hershey D.R., 1992. Leachate electrical conductivity and growth of potted geranium with leaching fractions of 0 to 0.4. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117:893-897.

Landsberg J.J., 1986. Experimental approaches to the study of effects of nutrients and water on carbon assimilation by trees. *Plant Physiol.* 12:713-717.

Lang H.J. 1996. Growing media testing and interpretation, p. 123-139. In: Reed, D.W. (ed.). *Water, media, and nutrition for greenhouse crops.* Ball Publishing, Batavia, IL.

Lang H.J., Pannkuk T. R., 1998. Effects of fertilizer concentration and minimum-leach drip irrigation on the growth of new guinea impatiens. HortScience. 33:683-688.

Lazarovitch N., Ben-Gal A. and Shani U., 2006. An automated rotating lysimeter system for greenhouse evapotranspiration studies. Vadose Zone J. 5:801-804.

Lowrance R., 1992. Nitrogen outputs from a field size agricultural watershed. J. Environ. Qual. 21:602-607.

Ludwig C., Johnson C.A., Käppeli M., Ulrich A. and Riediker S., 2000. Hydrological and geochemical factors controlling the leaching of cemented MSWI air pollution control residues: a lysimeter field study, J. Contam. Hydrol. 42:253-272.

Macduff J.H., Hopper M.J., Wild A. and Trim F.E., 1987. Comparison of the effects of root temperature on nitrate and ammonium nutrition of oilseed rape (*Brassica napus* L.) in flowing solution culture. Journal of Experimental Botany, n.38. 1:104-20.

Malone R.W., Bonta J.V., Stewardson D.J. and Nelsen T., 2000. Error analysis and quality improvement of the Coshcton weighing lysimeters. Trans ASAE 43:271-280.

Marek T.H., Piccinni G., Schneider A.D., Howell T.A., Jett M. and Dusek D.A., 2006. Weighing lysimeters for the determination of crop water requirements and crop coefficients. Appl. Eng. Agric. 22:851-856.

Marek T.H., Schneider A.D., Howell T.A. and Ebeling L.L., 1988. Design and construction of large weighing monolithic lysimeters. Trans. ASAE. 31:477-484.

Marques R., Ranger J., Gelhaye D., Pollier B., Ponette Q. and Gødert O., 1996. Comparison of chemical composition of soil solutions collected by zero-tension plate lysimeters with those from ceramic-cup lysimeters in a forest soil. European J. Soil Sci. 47:407-417.

Marrs R.H., Gough M.W. and Griffiths M., 1991. Soil chemistry and leaching losses of nutrients from semi-natural grassland and arable soils on three contrasting parent materials. Biol. Cons. 57(3):257-271.

Marschner, H. 1995. Nutrient Availability in Soils,. In: Mineral Nutrition of Higher Plants, 2nd edition. Academic Press, London. 483-507.

Masoni A., 2002. Agricoltura e sicurezza alimentare e ambientale. Rivista di agronomia. 2: 101-125.

McFarland M.J., Worthington J.W. and Newman J.S., 1983. Design, installation and operation of a twin weighing lysimeter for fruit trees. Trans. ASAE. 26:1717-1721.

McGuire P.E. Lowery B., 1994. Monitoring drainage solution concentrations and solute flux in unsaturated soil with a porous cup sampler and soil moisture sensors. *Ground Water*. 32:356-362.

McLay C.D.A., Cameron K.C. and McLaren R.G., 1992. Influence of soil structure on sulphate leaching from a silt loam. *Aust. J. Soil Res.* 30:443-456.

Meinardi C.R., Beusen A.H.W., Bollen M.J.S., Klepper O. and Willems W.J., 1995. Vulnerability to diffuse pollution and average nitrate contamination of European soils and groundwater. *Wat. Sci. Tech.* 31:159-165.

Merek E.L., Carle G.G., 1974. The determination of soil moisture by extraction and gas chromatography. *Soil Sci.* 117: 120 -123.

Meshkat M., Warner R.C. and Walton L.R. 1999. Lysimeter design, construction, and instrumentation for assessing evaporation from a large undisturbed soil monolith. *Appl. Eng. Agric.* 14:303-308.

Morgan J.F., 1917. The soil solution obtained by the oil pressure method. *Soil Sci.* 3:209-232.

Mubarak A., Olsen R.A., 1976. Immiscible displacement of the soil solution by centrifugation. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 40:329-331.

Neilsen GH and Stevenson D.S., 1983. Leaching of soil calcium, magnesium and potassium in irrigated orchard lysimeters. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 47 (4): 692-696.

Paramasivam S., Alva A.K. and Fares A., 2000. Transformation and transport of nitrogen forms in a sandy Entisol following a heavy loading of ammonium nitrate solution: Field measurements and model simulations. *J. Soil Contam.* 9:65-86.

Parizek R. Lane B., 1970. Soil-water sampling using pan and deep pressure-vacuum lysimeters. *Hydrol.* 11:1-21.

Parker, F.W. 1921. Methods of studying the concentration and composition of the soil solution. *Soil Sci.* 12:209-232.

Parsons, R.G., Wicks, R.J., Gatzweiler, E.W., Jones, R.L., 1995. Variability in lysimeter results. In: *Pesticide Movement to Water*. British Crop Protection Council Monograph 62, pp. 257-262.

Pavoni B, (2003). Nitriti e nitrati nelle acque e negli alimenti. *Fertilizzanti.* 11:17-18.

Pearson R.W. 1971. Introduction to symposium, the soil solution. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 35:417-420.

Powlson D.S., 1999. Fate of nitrogen from manufactured fertilizers in agriculture. In: Wilson, W.S., Ball, A.S., Hinton, R.H. (Eds.), *Managing Risks of Nitrates to Humans and the Environment*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge. 42-57.

Pruitt W.O., Angus D.E., 1960. Large weighing lysimeter for measuring evapotranspiration. *Trans. ASAE.* 3:13-15, 18.

Reed D.W., 1996. Closed production systems for containerized crops. p. 221-245. *In: D.W. Reed (ed.), Water, Media and Nutrition for Greenhouse Crops*. Ball Publishing, Batavia, Illinois, USA.

Rhoades J.D., Oster J.D., 1986. Solute content. p. 985-1006. In A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis, Part 1, 2nd ed.* SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI.

Ristvey A.G., Lea-Cox J. D. and Ross D.S., 2004. Nutrient uptake, partitioning and leaching losses from container-nursery production systems. *Acta Hort.* 630:321-328.

Ristvey A.G., Lea-Cox J. D., Ross D.S., 2004. Nutrient uptake, partitioning and leaching losses from container-nursery production systems. *Acta Hort.* 630:321-328.

Rizand A., Marrs R.H., Gough M.W. and T.C.E. Wells, 1989. Long-term effects of various conservation management treatments on selected soil properties of chalk Grassland. *Biol. Cons.* 49. 2:105-112.

Ryden J.C., Ball P.R. and Garwood E.A., 1984. Nitrate leaching from grassland. *Nature.* 311:50-53.

Santamaria P. (2002). Breve storia della pericolosità del nitrato. *Supplemento a Colture Protette.* 12:4-6.

Schloesing T. 1866. Sur l'anlyse des pricipes solubles de la terre vegetale. *Compt. Rend. Acad. Sci.* 63:1007.

Schneider A.D., Ayars J.E. and Phene C.J., 1996. Combining monolithic and repacked soil tanks for lysimeters from high water table sites. *Appl. Eng. Agric.* 12:649-654.

Schneider A.D., Howell T.A., 1991. Large, monolithic, weighing lysimeters. In: *Proceedings of the conference on lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements, IR Div/ ASCE/Honolulu, 23-25 July.* 37-45.

Schneider A.D., Howell T.A., Tolk, J.A. and Evett S.R., 1998. Evapotranspiration, yield, and water use efficiency of corn hybrids differing in maturity. *Agronomy journal*. Jan/Feb. 90 (1): 3-9.

Schoen R., Gaudet J.P. and Elrick D.E., 1999. Modelling of solute transport in a large undisturbed lysimeter, during steady-state water flux. *J. Hydrol.* 215:82-93.

Scholefield D., Tyson K.C., Garwood E.A., Armstrong A.C., Hawkins J. and Stone A.C., 1993. Nitrate leaching from grazed grassland lysimeters: effects of fertiliser input, field drainage, age of sward and pattern of weather. *J. Soil. Sci.* 44:601-614.

Senesi N., Miano T.M., 1991. Riciclo di biomassa di rifiuto e di scarto e fertilizzazione organica del suolo. Patron editore.

Severson R., Grigal D., 1976. Soil solution concentrations: Effects of extraction time using porous ceramic cups under constant tension. *Water Resour. Bull.* 12:1161-1170.

Seyfried M.S., Hanson C.L., Murdock M.D. and Van Vactor S., 2001. Longterm lysimeter database. Reynolds Creek experimental watershed, Idaho, United States. *Water Resour. Res.* 37:2853-2856.

Sharpley A.N., Withers P.J.A., 1994. The environmentally-sound management of agricultural phosphorus. *Fertil. Res.* 39:133-146.

Silberbush M., Lieth J.H., 2004. Nitrate and potassium uptake by greenhouse roses along successive flower cut cycles: A model and its calibration. *Scientia Hort.* 101: 127-142.

Simmonds L.P., Northcliff S., 1998. Small scale variability in the flow of water and solutes and implications for lysimeter studies of solute leaching. *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* 50:65-75.

Sims J.T., Simard R.R. and Joern B.C., 1998. Phosphorus loss in agricultural drainage: historical perspective and current research. *J. Environ. Qual.* 27:277-293.

Speijers G.J.A. (1996). Nitrate. In: Toxicological evaluation of certain food additives and contaminants in food. WHO Food Additives Series. 35:325-60.

Spomer L.A. 1979. Three simple demonstrations of the physical effects of Soil Amendment. *HortScience.* 14:75-77.

Stamm C., Flühler H., Gächter R, Leuenberger J. and Wunderli H., 1998. Preferential transport of phosphorus in drained grassland soils. *J. Environ. Qual.* 27:515-522.

Stegemann J.A, Schneider J, Baetz B.W. and Murphy K.L., 1995. Lysimeter washing of MSW incinerator bottom ash. *Waste Management & Research*. 13:149.

Thompson M. L., Scharf R. L., 1994. An improved zero-tension lysimeter to monitor colloid transport in soils. *J. Environ. Qual.* 23: 378-383

Till A.R., McCabe T.P., 1976. Sulfur leaching and lysimeter characterization. *Soil Sci.* 121:44-47.

Türk T., Mahr A. and Horn R., 1991. Tensiometrische Untersuchungen an Aggregaten in homogenisiertem Löß. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd.* 154:361-368.

Tyagi N.K., Sharma D.K. and Luthra S.K., 2003. Determination of evapotranspiration for maize and berseem clover. *Irrig. Sci.* 21:173-181.

Van Bavel C.H.M., 1961 Lysimetric measurements of evapotranspiration rates in the eastern United States. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 138-141.

van der Voet E., Kleijn R. and Udo de Haes H.A., 1996. Nitrogen pollution in the European Union—origins and proposed solutions. *Environ. Conservation.* 23:120-132.

van Suchtelen F.H.H., 1912. Methode zur Gewinnung der natürlichen Bodenlösung. *J. Landw.* 60:669-670.

Warrick A., Amoozegar-Fard A., 1977. Soil water regimes near porous water samplers. *Water Resour. Res.* 13:203-207.

Watson C.J., Jordon C, Taggart PJ, Laidlaw AS, Garret MK and Steen RWJ, 1992. The leaky N-cycle on grassland. *Aspects Appl Biol.* 30:215-222.

Weihermüller L., Kasteel R. and Vereecken H., 2006. Effects of soil heterogeneity on solute breakthrough sampled with suction cups: Results of numerical simulations. *Vadose Zone J.* 5:886-893.

Weihermüller L., Kasteel R., Vanderborght J., Pütz T. and Vereecken H., 2005. Spatial impact of soil water extraction with a suction cup: Results of numerical simulations. *Vadose Zone J.* 4:899-907.

Weihermüller L., Kasteel R., Vanderborght J., Pütz T. and Vereecken H., 2005. Spatial impact of soil water extraction with a suction cup: Results of numerical simulations. *Vadose Zone J.* 4:899-907.

Whipker B., 2000. Establishing a root medium pH and EC monitoring program. Ext. Info. Brochure. N.C. State Univ.

Whitesides R., 1989. El Modeno Gardens: Innovative solutions to California's irrigation runoff restrictions. *GrowerTalks*, January Issue, p. 28-36.

Wilson W.S., Ball A.S. and Hinton R.H., 1999. *Managing Risks of Nitrates to Humans and the Environment*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge.

Wright R.D. 1986. The pour-through nutrient extraction procedure. *HortScience* 21:227-229.

Wright R.D., Grueber K.L. and Leda C., 1990. Medium nutrient extraction with the pour-through and saturated medium extract procedure for poinsettia. *HortScience*. 25:658-660.

Wright R.D., Grueber K.L. and Leda C., 1990. Medium nutrient extraction with the pour through and saturated medium extract procedure for poinsettia. *HortScience*. 25:658-660.

Wright R.D.; Niemiera A.X., 1987 Nutrition of container-grown woody nursery crops. *Horticultural Reviews*. 9:75-101.

Yang S.L., Aydin M., Yano T. and Li X., 2003. Evapotranspiration of orange trees in greenhouse lysimeters. *Irrig. Sci.* 21:145-149.

Yeager T.H., Wright R.D. and Donohue S.J., 1983. Comparison of pour-through and saturated pine bark extract N, P, K, and pH levels. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108:112-114.

Yeager T., Bolusky B., Regelbrugge C., Mezitt R.W. and Wright R.D., 1992. Impact of runoff water quality on future nursery crop production. *HortTechnology* 2: 80-84

Young M.H., Wierenga P.J. and Mancino C.F., 1997. Monitoring nearsurface soil water storage in turfgrass using time domain reflectometry and weighing lysimetry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1138-1146.

Zhang H.C., Cao Z.H., Shen Q.R. and M.H. Wong. 2003. Effect of phosphate fertilizer application on phosphorus (P) losses from paddy soils in Taihu Lake Region: I. Effect of phosphate fertilizer rate on P losses from paddy soil. *Chemosphere*. 50(6):695-701.

Zhang H.C., Cao Z.H., Shen Q.R. and Wong M.H., 2003. Effect of phosphate fertilizer application on phosphorus (P) losses from paddy soils in Taihu Lake Region: I. Effect of phosphate fertilizer rate on P losses from paddy soil. *Chemosphere*. 50(6):695-701.

Zhang X., Wu N. and Li C., 2005. Physiological and growth responses of *Populus davidiana* ecotypes to different soil water contents. *J. Arid Env.* 60: 567-579.







**7 TAVOLE**

---

## 7.1 TABELLE

Tabella 1 Comparazione agronomica tra compost e letame.

PARAMETRO	U. M.	COMPOST DA SCARTI ALIMENTARI (ACM)	COMPOST DA SCARTI VERDI (ACV)	LETAMI
azoto totale	% s. s.	1,6 - 1,8	1.1 - 1.3	2.02
fosforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	% s. s.	1.4 - 1.5	0.5 - 0.8	1.09
potassio(K <sub>2</sub> O)	% s. s.	1.1 - 1.3	0.4 - 0.7	1.07
umidità	% s. s.	40 - 50	40 - 50	65 - 80

Tabella 2 Comparazione agronomica tra letame e vari tipi di compost.

CATEGORIA	UMNIDITA' (Kg/t)	s. s. (Kg/t)	s. o. (Kg/t)	N (Kg/t)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg/t)	K <sub>2</sub> O (Kg/t)
ACV	500	500	220	5.5	2.5	2.0
ACV (scarti alimentari)	500	500	250	9	7.0	6.5
ACM (fanghi)	500	500	245	9	10.5	3.5
LETAME	650	350	192	5.5	6.6	6.0

Tabella 3 Contenuto medio in s. o. e macroelementi di letame bovino e compost ACM (ammendante compostato misto).

Prodotto	S. S. (% TQ)	S. O. (% S. S.)	N (% S. S.)	(% TQ)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (% S. S.)	(% TQ)	K <sub>2</sub> O (% S. S.)	(% TQ)
Letame bovino *	25	80	2.0	0.5	1.0	0.2	2.8	0.7
Compost **	65	45	1.9	1.2	0.8	0.5	0.9	0.6

\* fonte CRPA, 2001

\*\* composizione media dell'ammendante compostato misto (dati CRPA)

**Tabella 4 Apporto medio indicativo di nutrienti a seguito della distribuzione della stessa quantità (10 t/ha) di s. s. di letame bovino e compost ACM 8 ammendante compostato misto).**

Prodotto	S. S. (t/ha)	Tal quale (t/ha)	S. O. (t/ha)	N (t/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (t/ha)	K <sub>2</sub> O (t/ha)
Letame bovino *	10	40.0	8.0	200	100	280
Compost **	10	15.4	4.5	191	82	92

**Tabella 5 Apporti di fertilizzanti minerali e compost distribuiti nelle diverse tesi 2008.**

Apporto fertilizzanti (kg/ha)							
TESI	Compost	N		P		K	
		m. o. <sup>(1)</sup>	minerale <sup>(2)</sup>	m. o. <sup>(1)</sup>	minerale <sup>(2)</sup>	m. o. <sup>(1)</sup>	minerale <sup>(2)</sup>
T 0	0	0	0	0	0	0	0
T 50	6500	75	75	16	84	25	75
T 100	13000	150	0	33	67	50	50
T MIN	0	0	30	16	84	50	50
T 200	26000	300	0	66	34	100	0

1= materia organica

2= i nutrienti minerali sono stati apportati con N:urea (46%), P perfosfato minerale (18 - 21%), K solfato di potassio (50 - 52%)

**Tabella 6 Apporti di fertilizzanti minerali e compost distribuiti nelle diverse tesi 2009.**

Apporto fertilizzanti (kg/ha)							
TESI	Compost	N		P		K	
		m. o. <sup>(1)</sup>	minerale <sup>(2)</sup>	m. o. <sup>(1)</sup>	minerale <sup>(2)</sup>	m. o. <sup>(1)</sup>	minerale <sup>(2)</sup>
T 0	0	0	0	0	0	0	0
T 50	6800	75	75	27.2	72.8	7.2	92.8
T 100	13600	150	0	54.5	45.5	14.3	85.7
T MIN	0	0	30	16	84	50	50
T 200	27200	300	0	109	0	29	0

1= materia organica

2= i nutrienti minerali sono stati apportati con N:urea (46%), P perfosfato minerale (18 - 21%), K solfato di potassio (50 - 52%)

**Tabella 7 Principali parametri chimici rilevati sul compost utilizzato.**

pH	8.1 ± 0.02
EC (mS/cm <sup>2</sup> )	3.8 ± 0.06
S.O. (% s.s)	73.1± 0.27
ceneri (% s.s)	26.0 ± 0.49
C organico (% s.o.)	42.4 ± 0.16
N totale(%)	1.1± 0.03
K (%)	0.36 ± 0.012
P (%)	0.24 ± 0.064
C/N	37.6 ± 1.01

**Tabella 8 Contenuto di elementi (metalli e non) nell'estratto acquoso, nelle ceneri e nel compost tal quale utilizzato.**

Elemento	Estr. Acq. (ppm)	Ceneri (mg/kg)	Tal quale (mg/kg)	Fraz. Sol. (%)
Al	5.3	850.0	3.400	0.6
B	0.5	3.7	0.015	12.1
Ca	63.0	1600.0	6.400	3.8
Co	0.0	0.2	0.001	5.3
Cr	0.0	1.2	0.005	1.8
Cu	0.3	13.0	0.052	1.9
Fe	4.9	1350.0	5.400	0.4
Mg	18.0	2200.0	8.800	0.8
Mn	0.2	20.0	0.080	1.1
Na	430.0	315.0	1.300	57.7
Ni	0.1	0.7	0.003	7.3
Pb	0.1	2.1	0.008	2.9
S	42.3	320.0	1.300	11.7
Si	16.7	35.0	0.140	32.3
Sn	0.0	0.3	0.001	4.7
Ti	0.2	7.5	0.030	2.7
V	0.0	0.8	0.003	2.1
Zn	0.5	17.0	0.068	2.7

Tabella 9 pH – Relazione tra il valore del pH rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PT, SME e 1:2 a 100 ppm.

L – PT	$y = -0.5311x + 10.051$	R2 = 0.4657
L – SME	$y = -0.6365x + 10.913$	R2 = 0.1903
L – 1:2	$y = -0.3785x + 9.2242$	R2 = 0.2536

Tabella 10 pH – Relazione tra il valore del pH rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PT, SME e 1:2 a 200 ppm.

L – PT	$y = -0.0479x + 6.2025$	R2 = 0.0236
L– SME	$y = 0.1825x + 4.5056$	R2 = 0.1134
L– 1:2	$y = 0.1522x + 5.095$	R2 = 0.1029

Tabella 11 pH – Relazione tra il valore del pH rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PT, SME e 1:2 a 300 ppm.

L – PT	$y = 0.1147x + 5.009$	R2 = 0.2255
L – SME	$y = 0.418x + 2.8091$	R2 = 0.4338
L – 1:2	$y = 0.2419x + 4.3983$	R2 = 0.247

Tabella 12 EC – Relazione tra il valore della conducibilità elettrica rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PT, SME e 1:2 a 100 ppm.

---

L – PT	$y = 0.4857x + 0.3125$	$R^2 = 0.1046$
L – SME	$y = 0.0055x + 0.8293$	$R^2 = 0.0001$
L – 1:2	$y = -0.1124x + 0.4124$	$R^2 = 0.2746$

---

Tabella 13 EC – Relazione tra il valore della conducibilità elettrica rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PT, SME e 1:2 a 200 ppm.

---

L – PT	$y = 0.0955x + 1.7666$	$R^2 = 0.1388$
L – SME	$y = 0.4472x + 0.7541$	$R^2 = 0.6827$
L – 1:2	$y = 0.083x + 0.3447$	$R^2 = 0.3732$

---

Tabella 14 EC – Relazione tra il valore della conducibilità elettrica rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PT, SME e 1:2 a 300 ppm.

---

L – PT	$y = 0.6437x + 0.6476$	$R^2 = 0.4855$
L – SME	$y = 0.7743x - 0.0104$	$R^2 = 0.6381$
L – 1:2	$y = 0.1496x + 0.2499$	$R^2 = 0.3913$

---



## 7.2 FIGURE

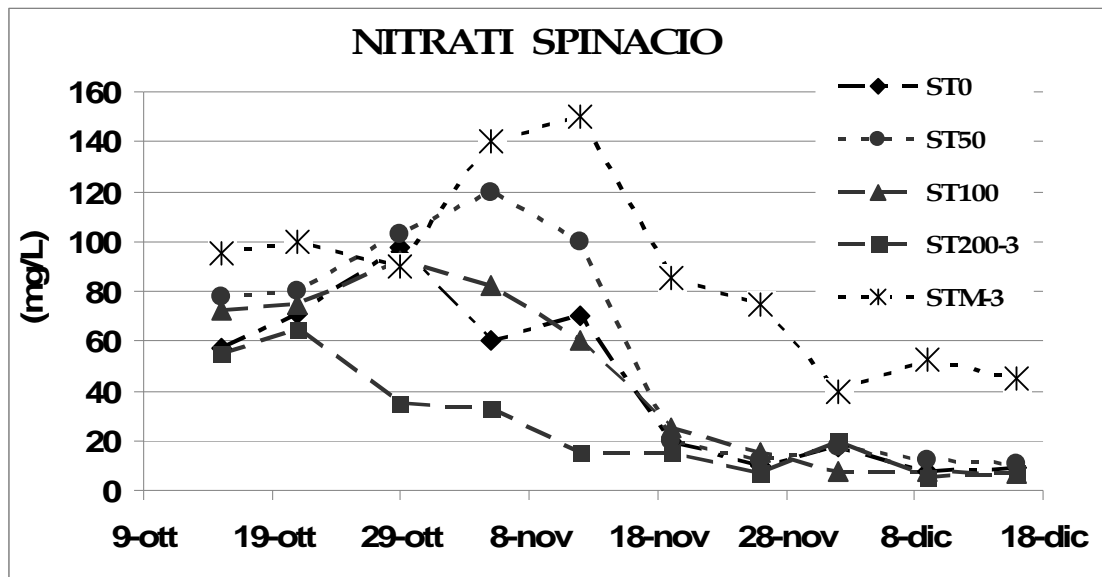


Figura 1 Spinacio – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno.

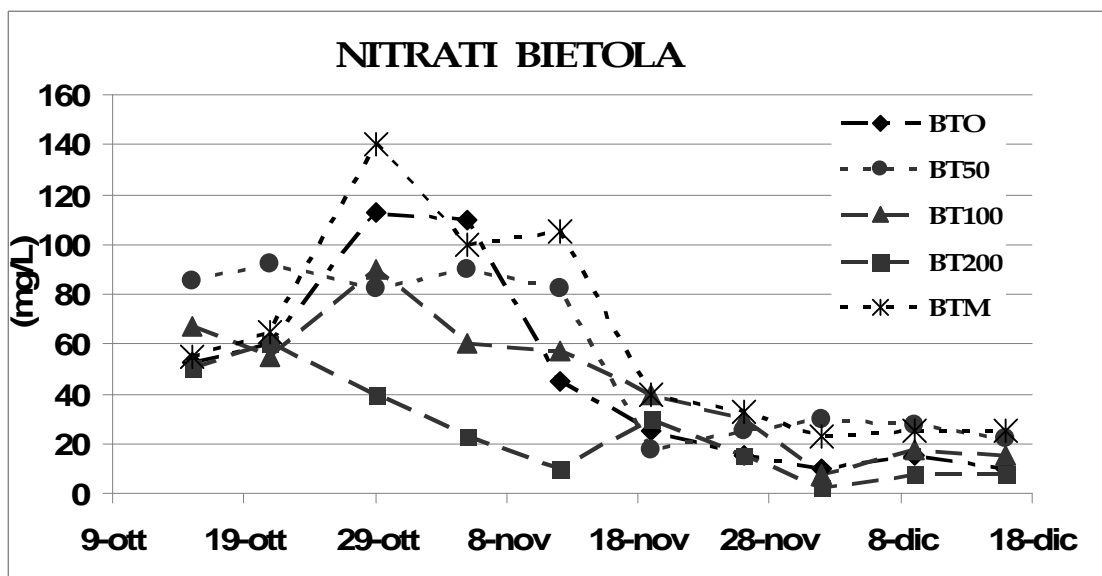


Figura 2 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno.

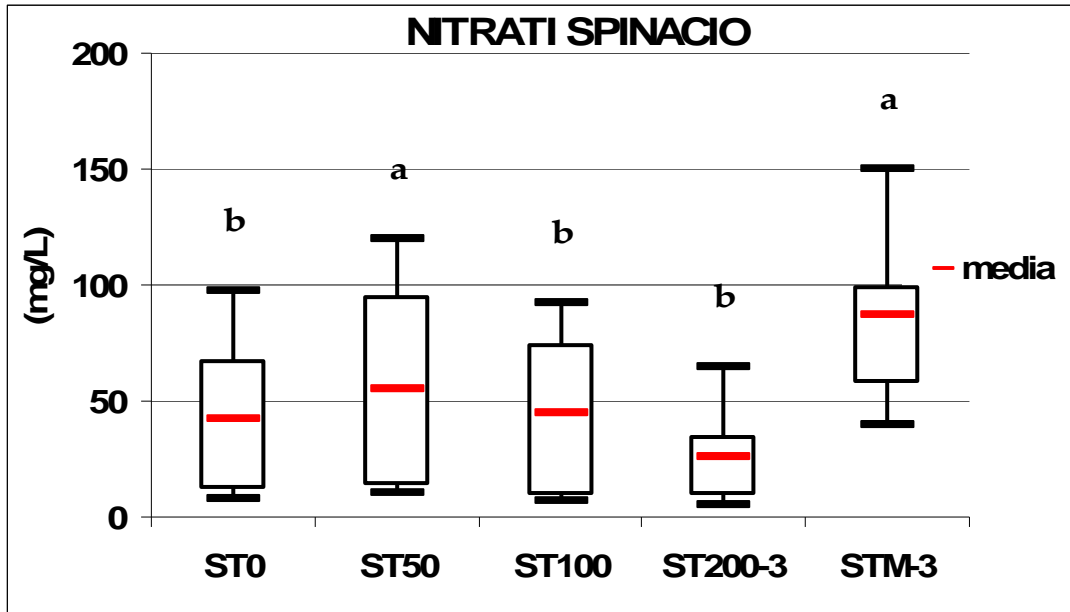


Figura 3 Spinacio – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

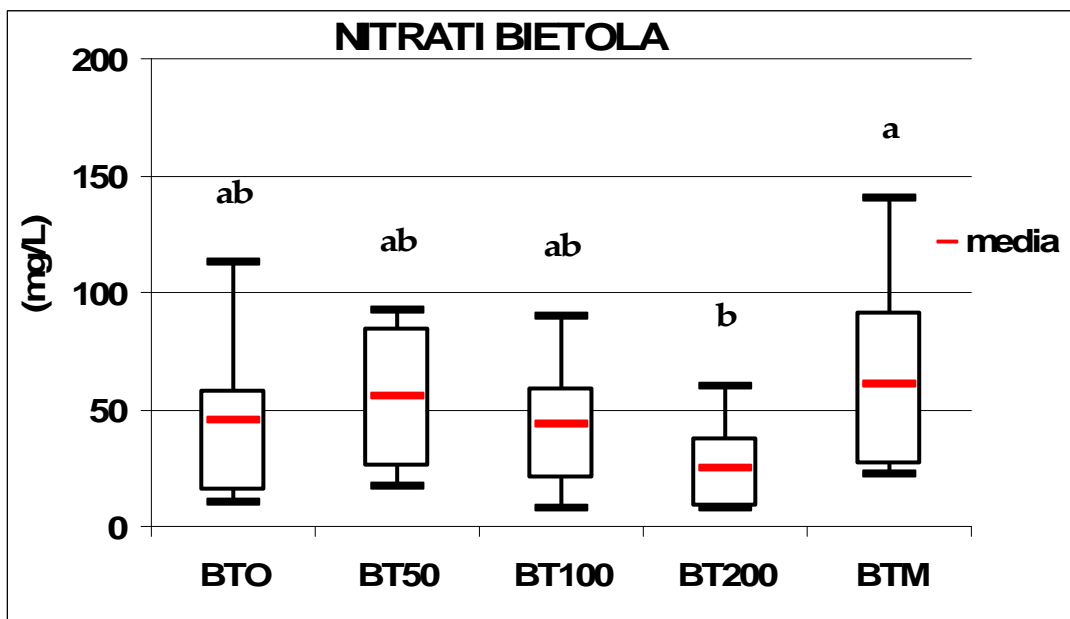


Figura 4 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

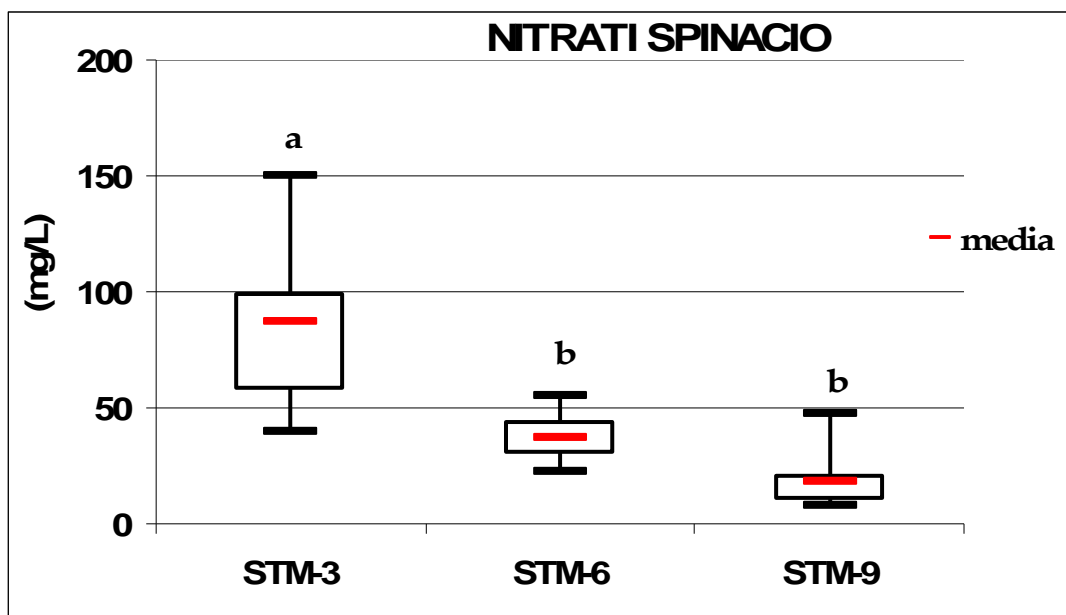


Figura 5 Spinacio – Effetto del trattamento fertilizzante minerale (TMIN) e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan)

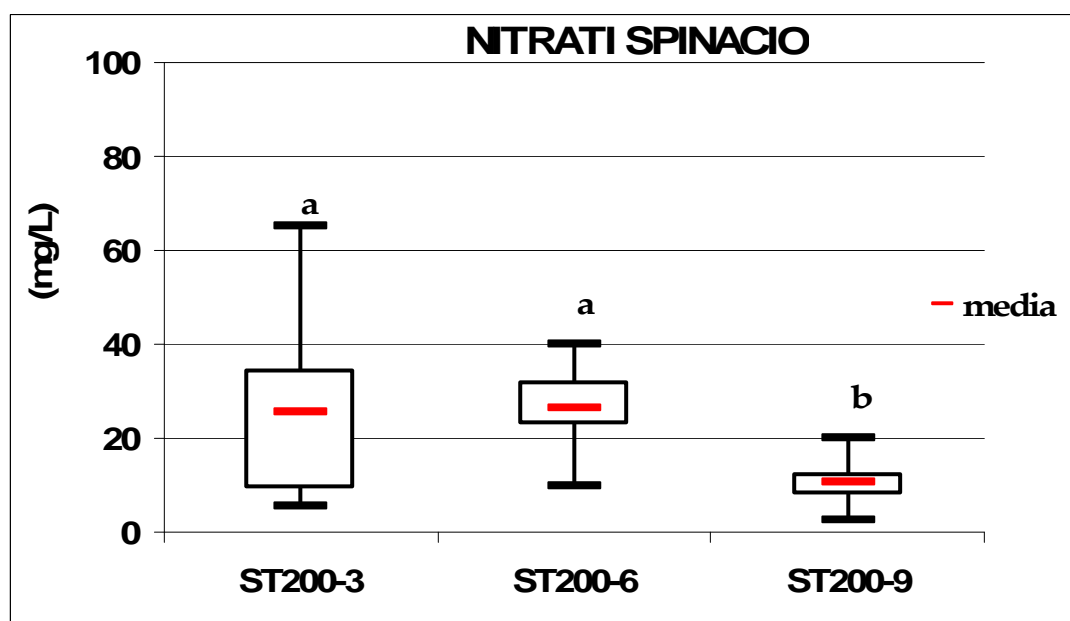


Figura 6 Spinacio – Effetto del trattamento fertilizzante T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

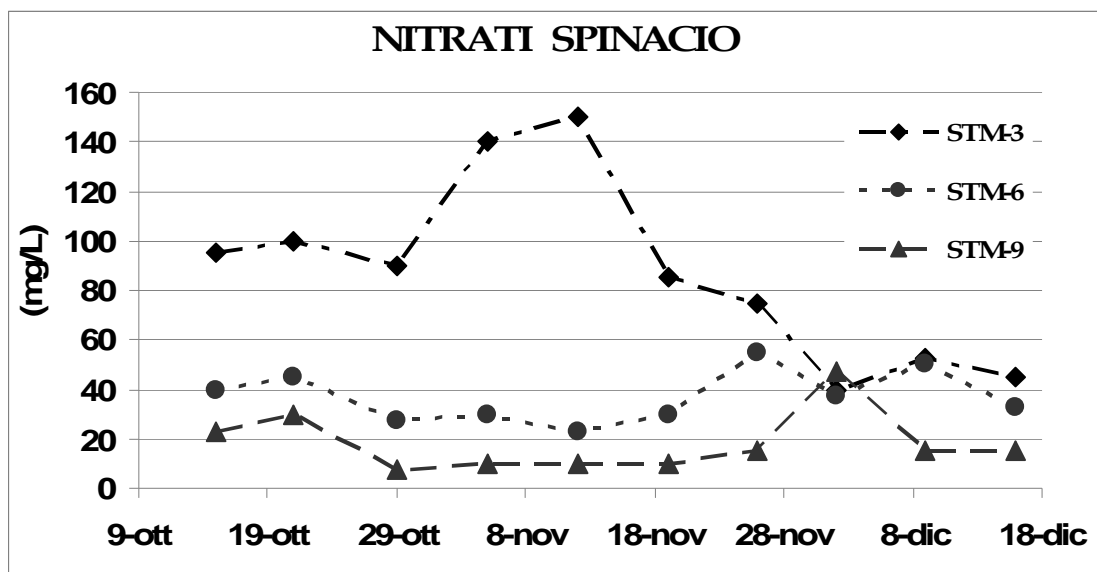


Figura 7 Spinacio – Effetto del trattamento fertilizzante minerale (TMIN) e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno.

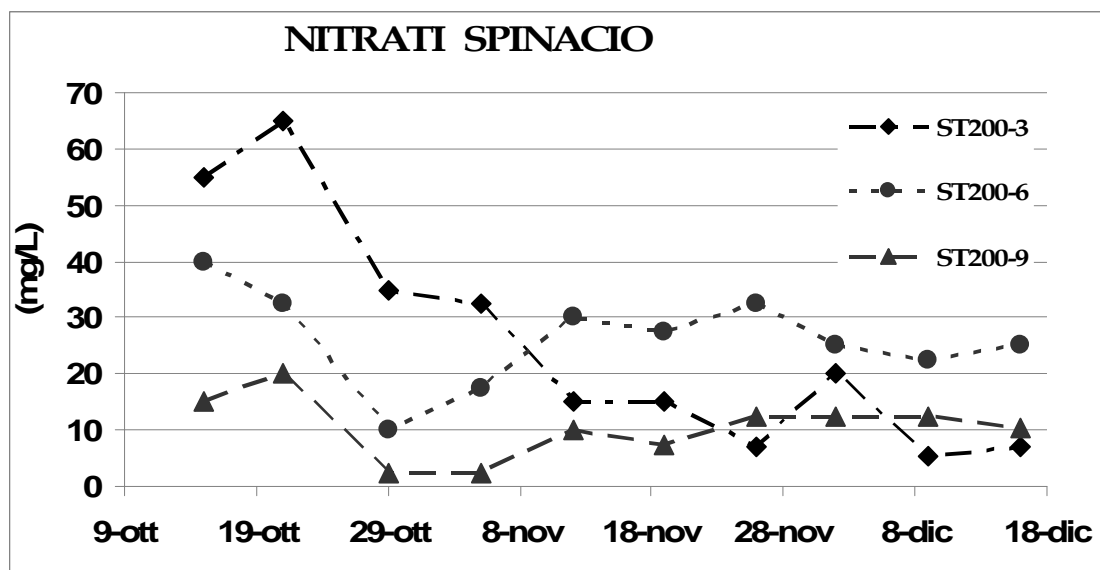


Figura 8 Spinacio – Effetto del trattamento fertilizzante T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno.

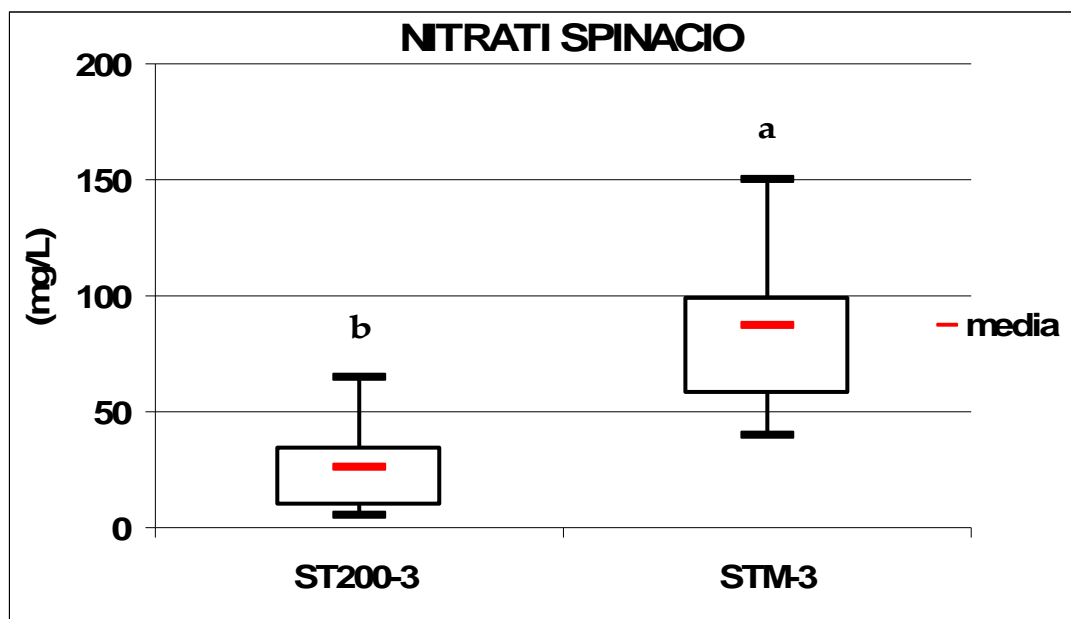


Figura 9 Spinacio – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

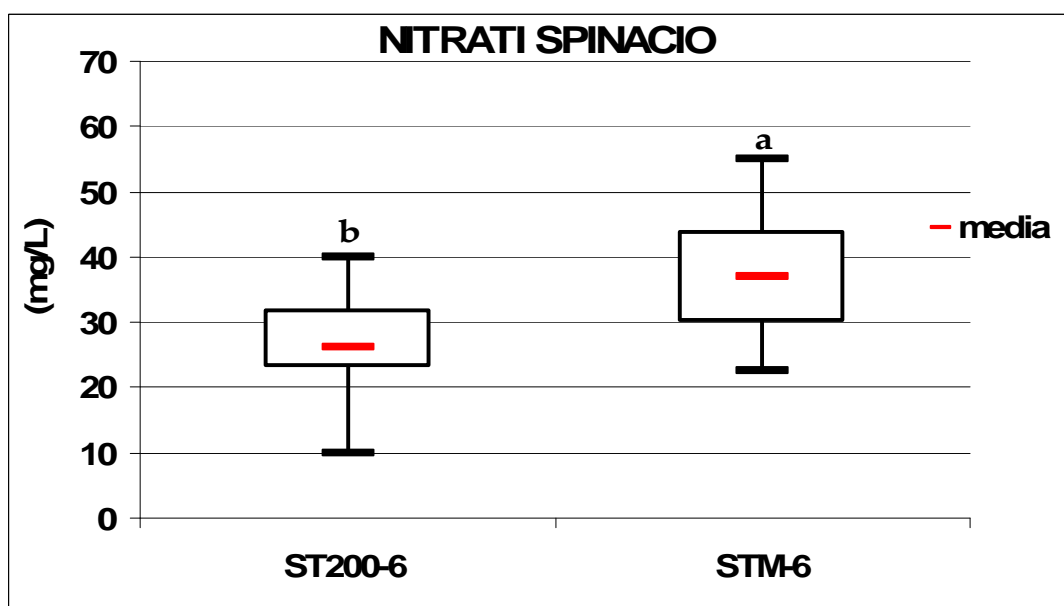


Figura 10 Spinacio – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 60 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

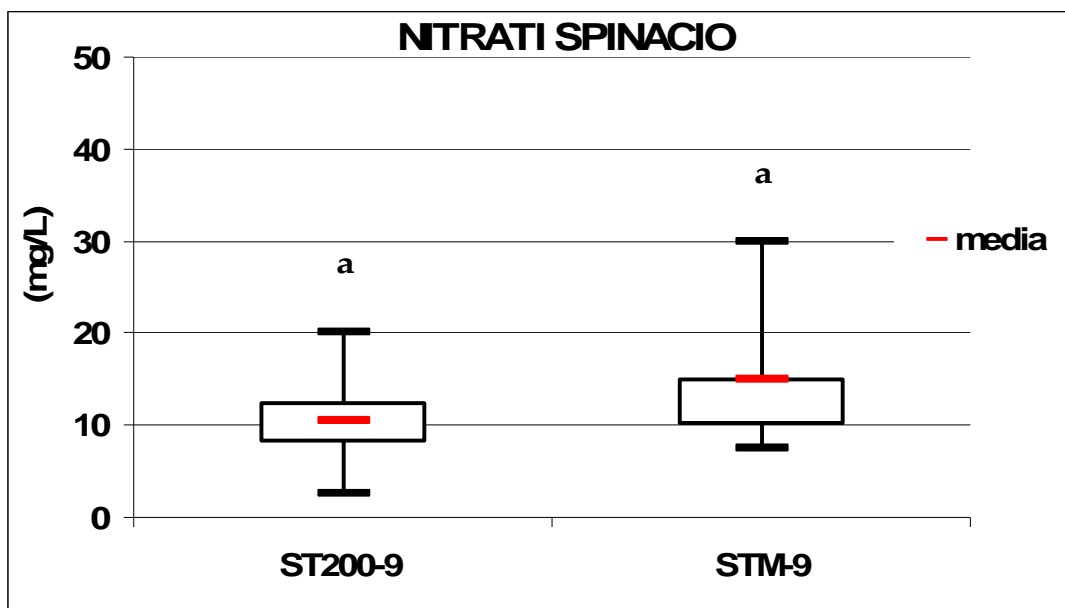


Figura 11 Spinacio – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 90 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

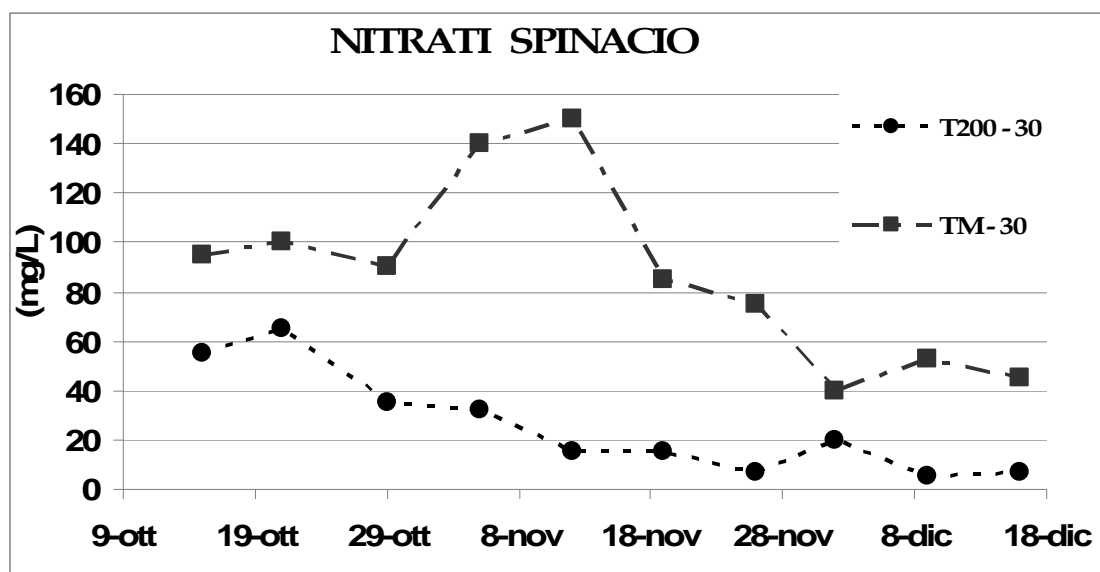


Figura 12 Spinacio – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno.

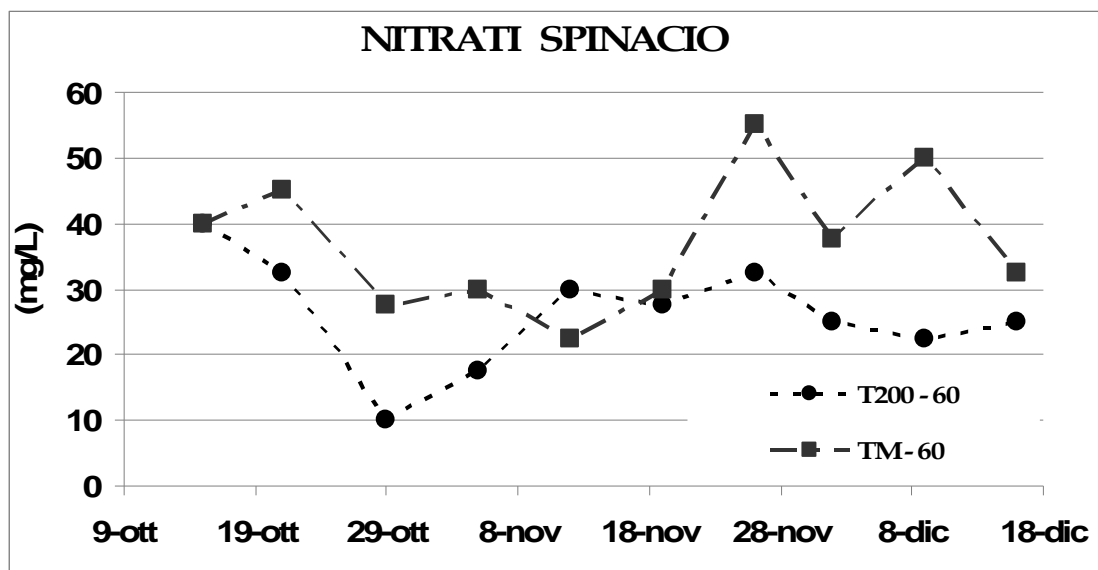


Figura 13 Spinacio – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 60 cm nel terreno.

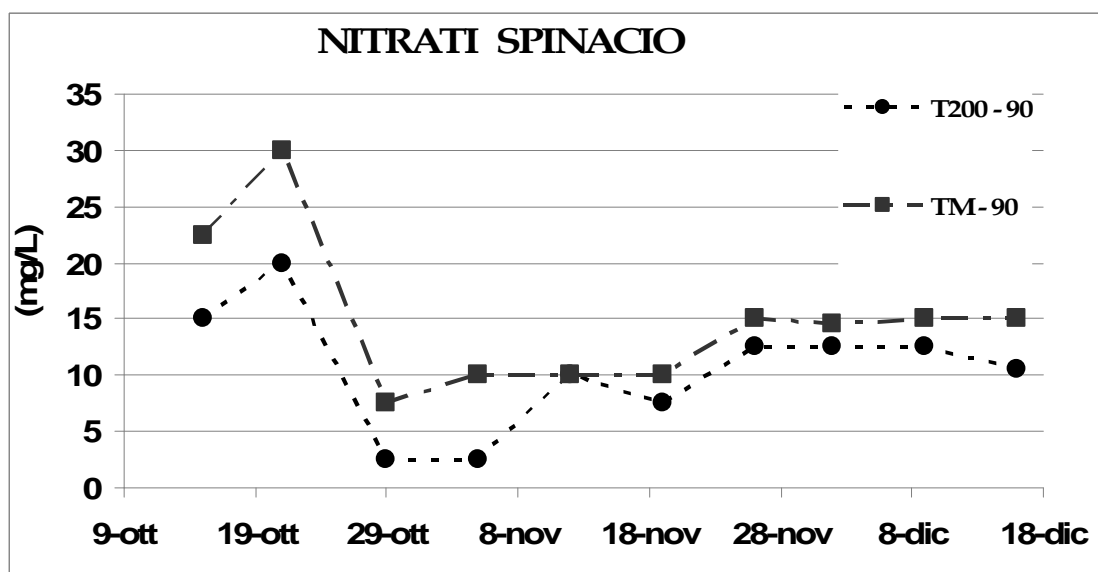


Figura 14 Spinacio – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 90 cm nel terreno.

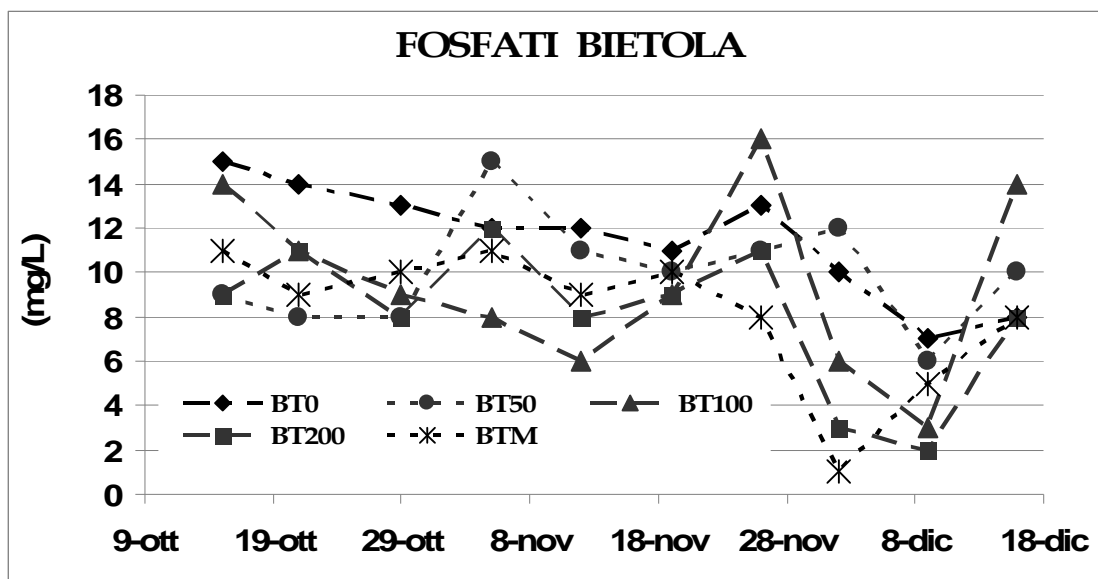


Figura 15 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno.

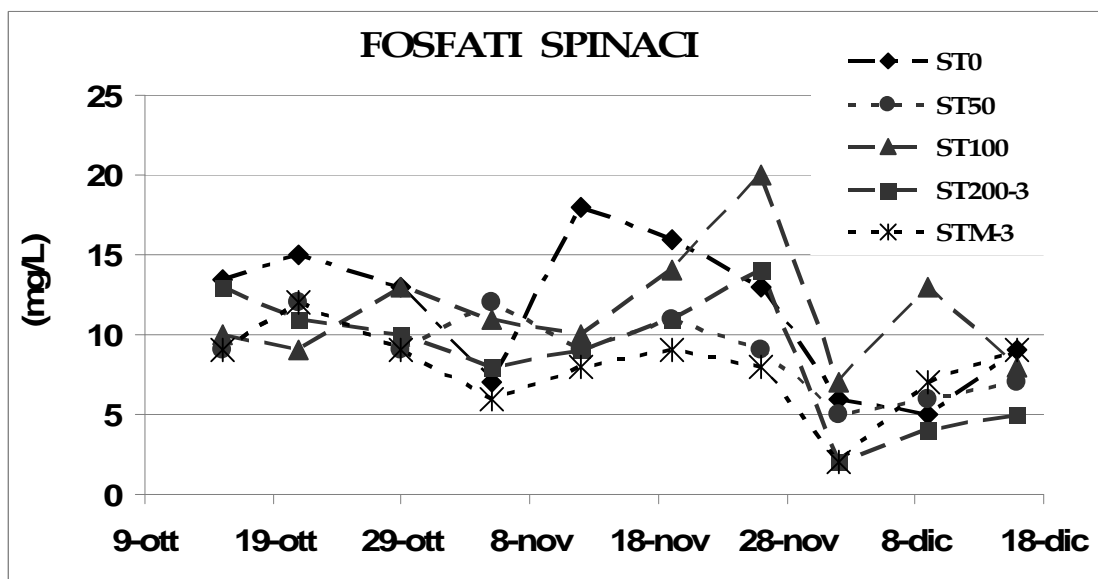


Figura 16 Spinaci – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno.



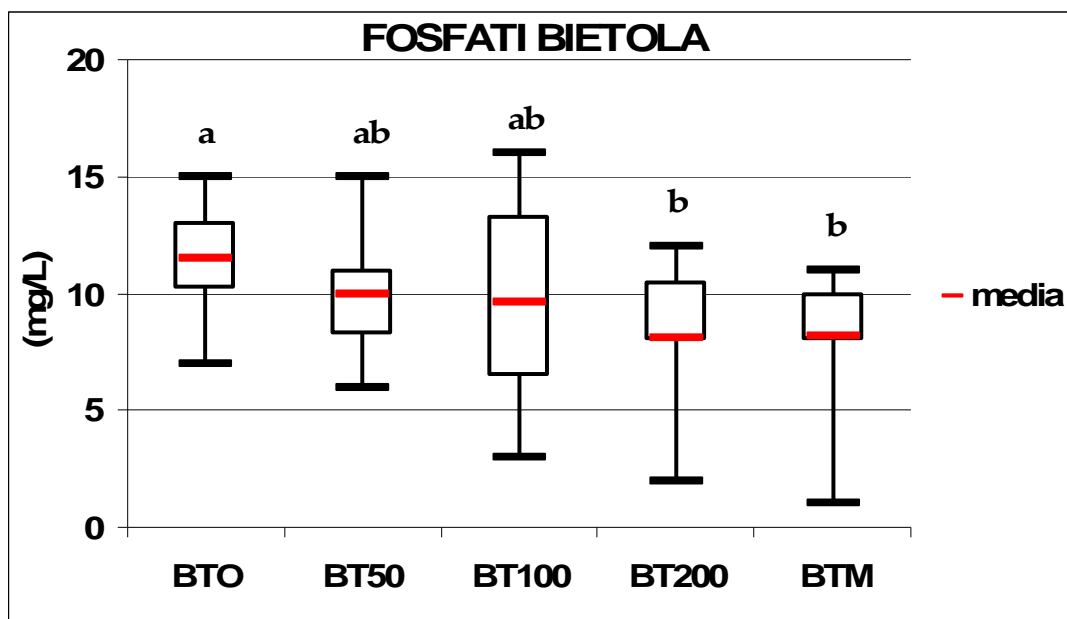


Figura 17 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

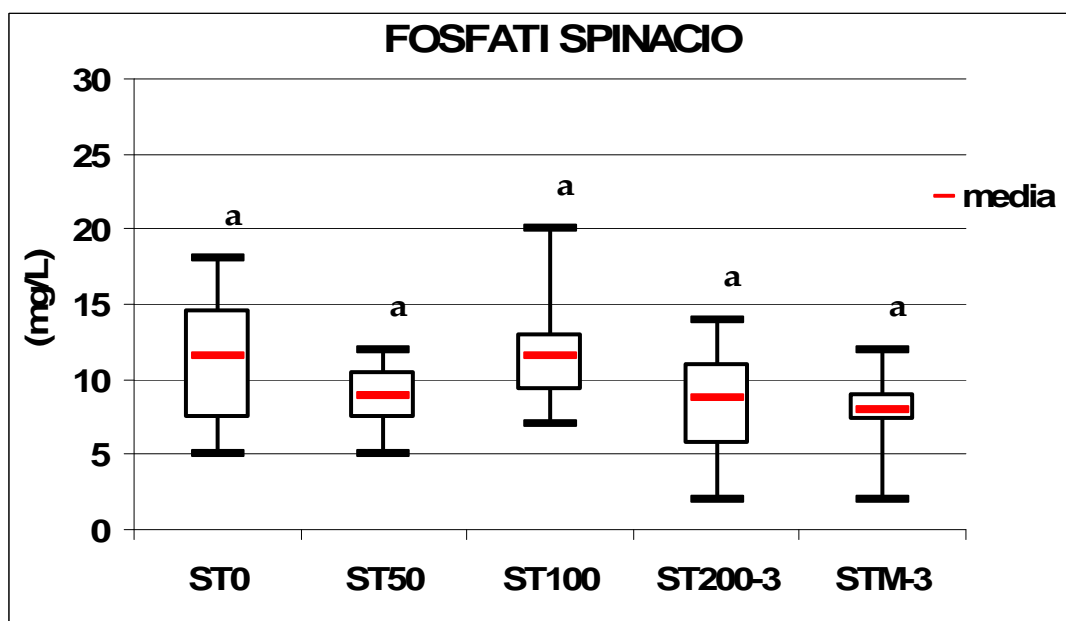


Figura 18 Spinaci – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

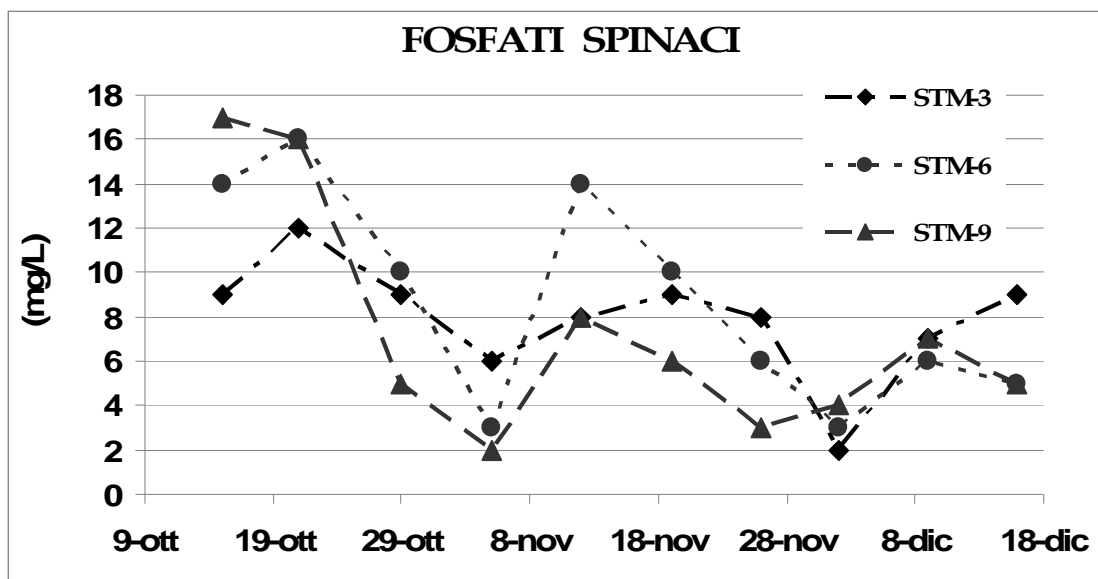


Figura 19 Spinacio – Effetto del trattamento fertilizzante minerale (TMIN) e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno.

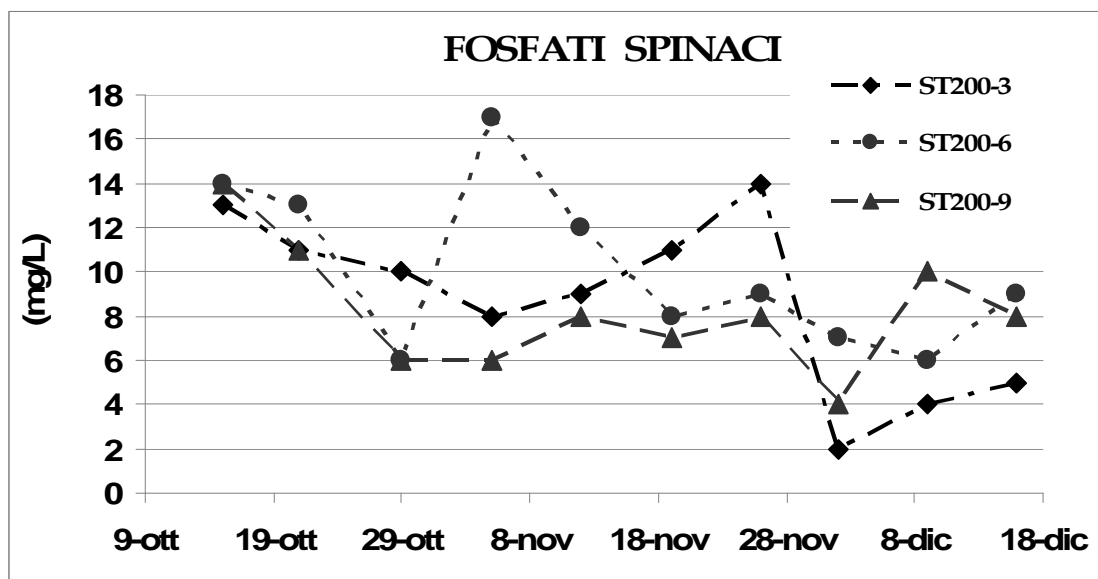


Figura 20 Spinacio – Effetto del trattamento fertilizzante T200 e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno.

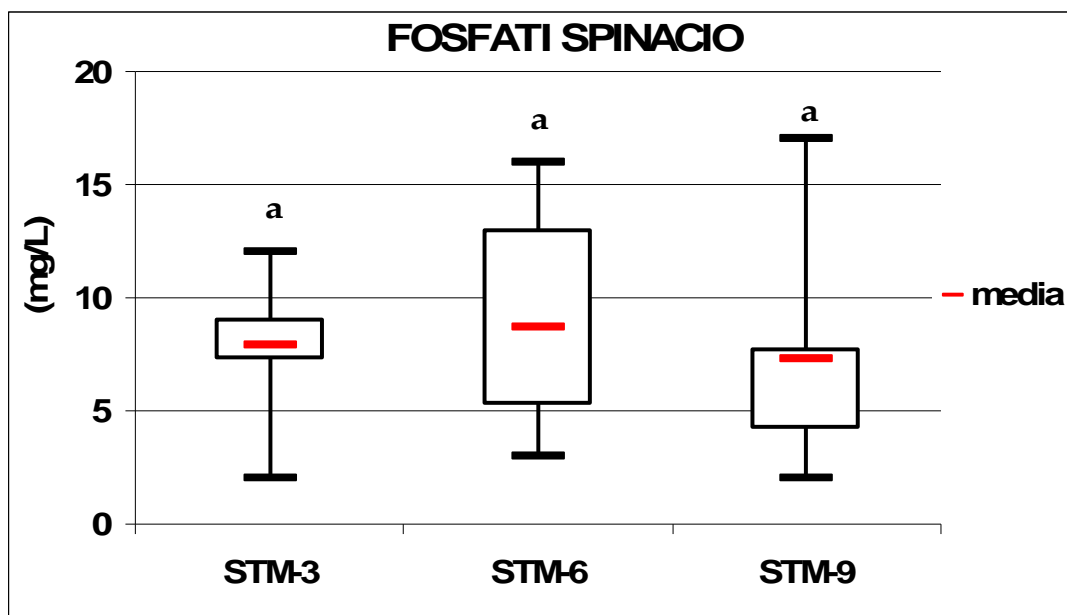


Figura 21 Spinacio – Effetto del trattamento fertilizzante minerale (TMIN) e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

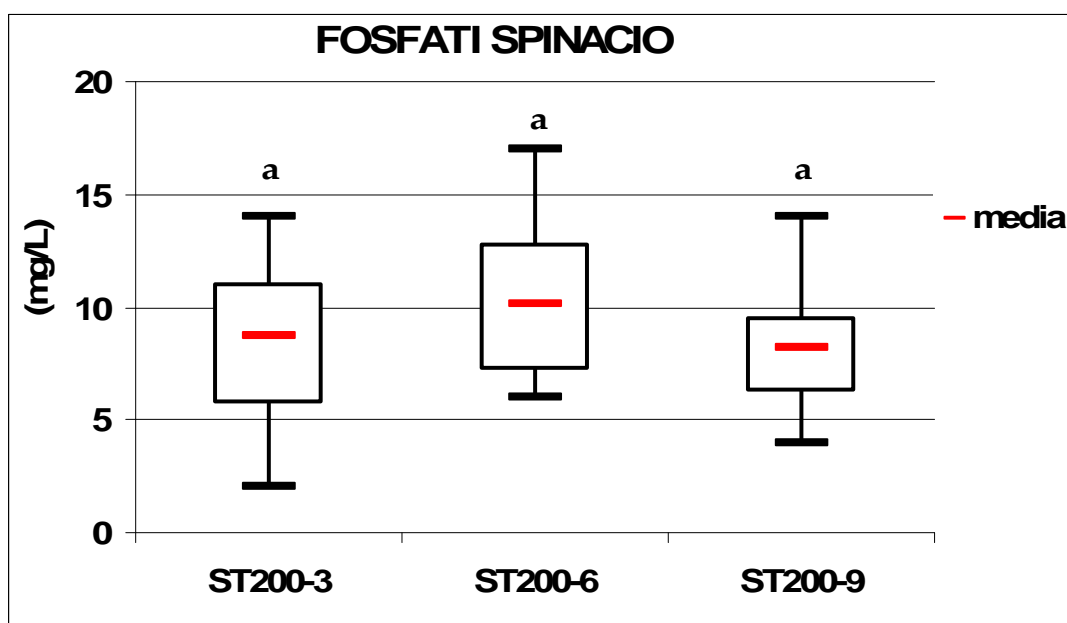


Figura 22 Spinacio – Effetto del trattamento fertilizzante T200 e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

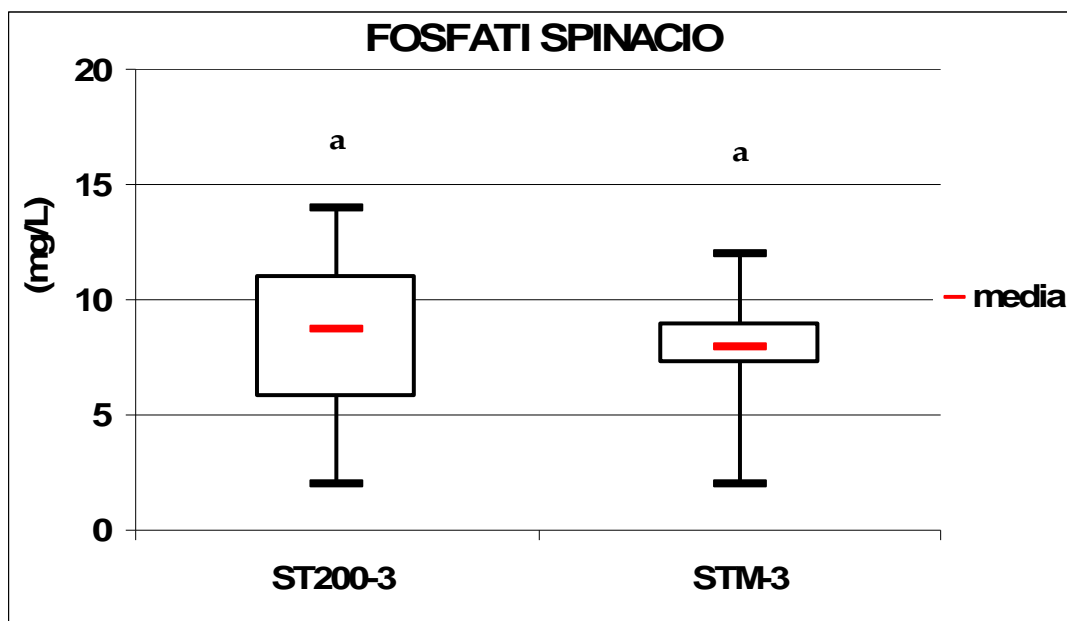


Figura 23 Spinacio – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

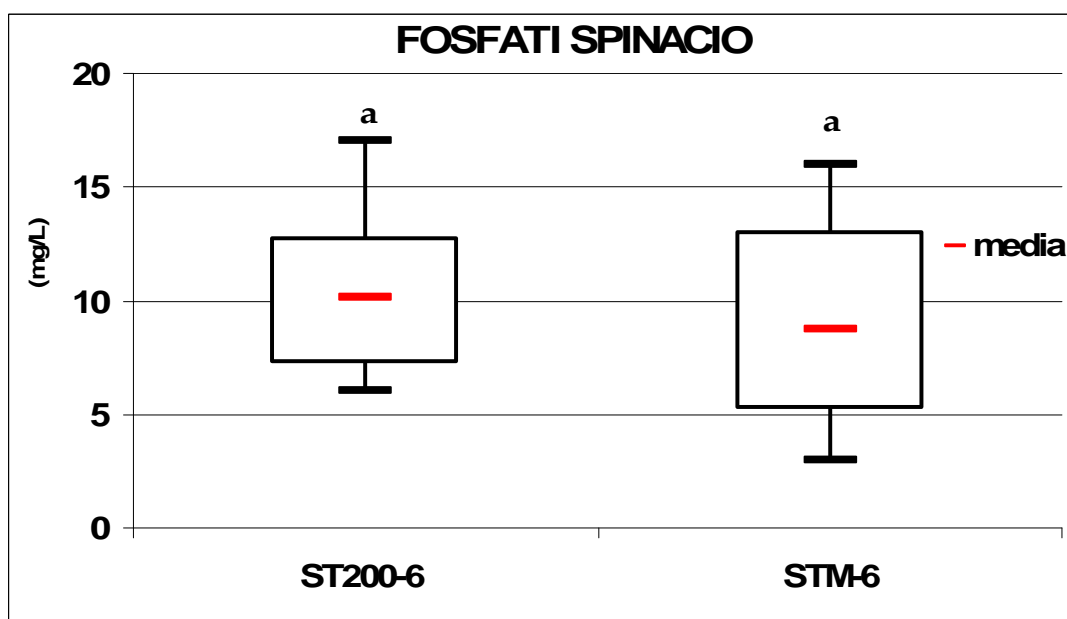


Figura 24 Spinacio – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 60 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

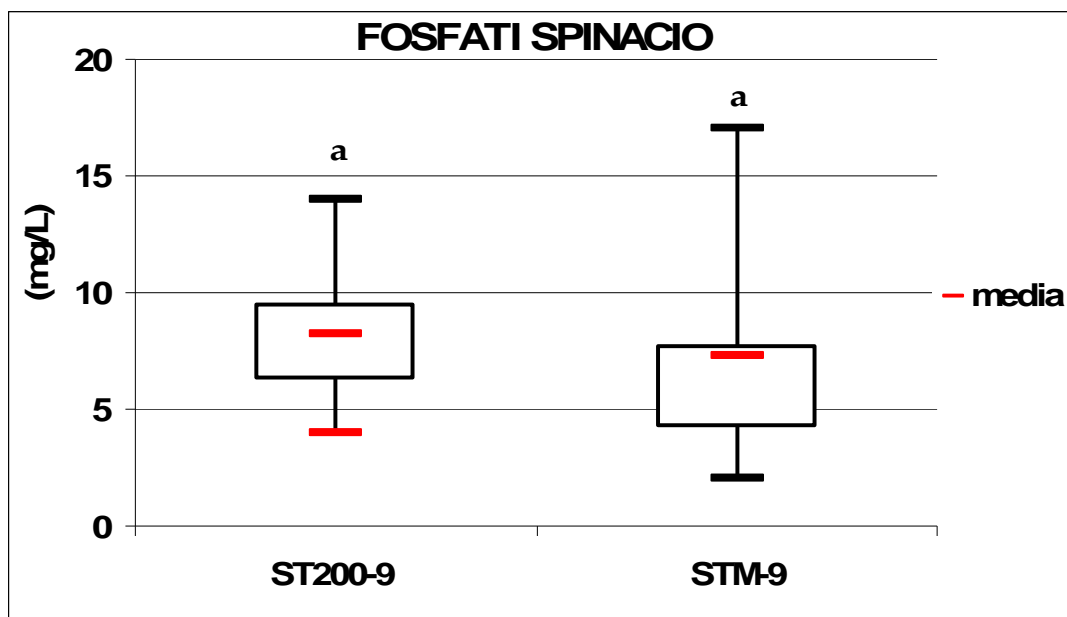


Figura 25 Spinacio – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

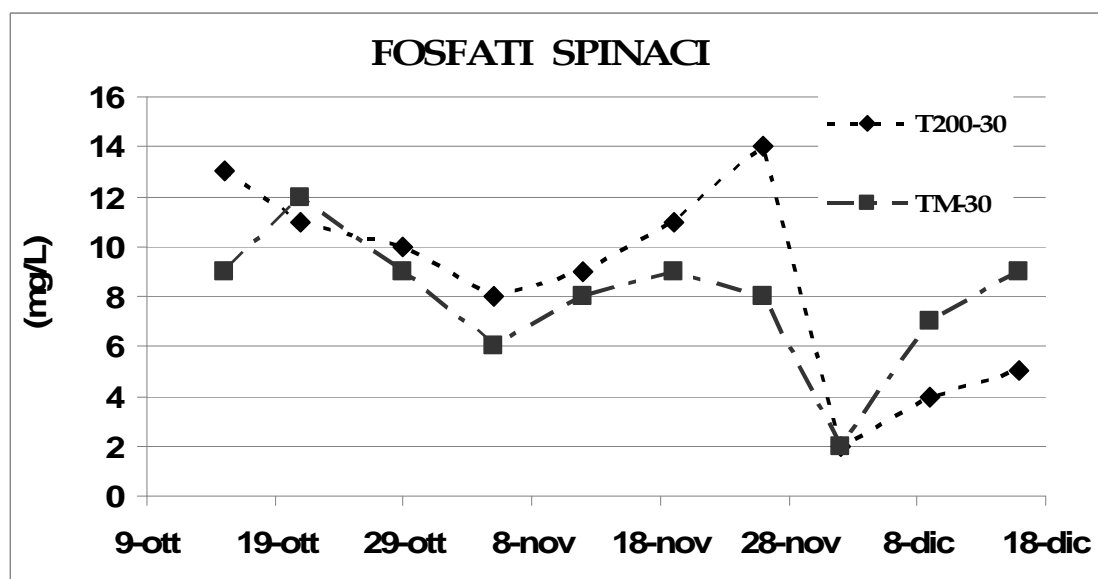


Figura 26 Spinacio – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno.

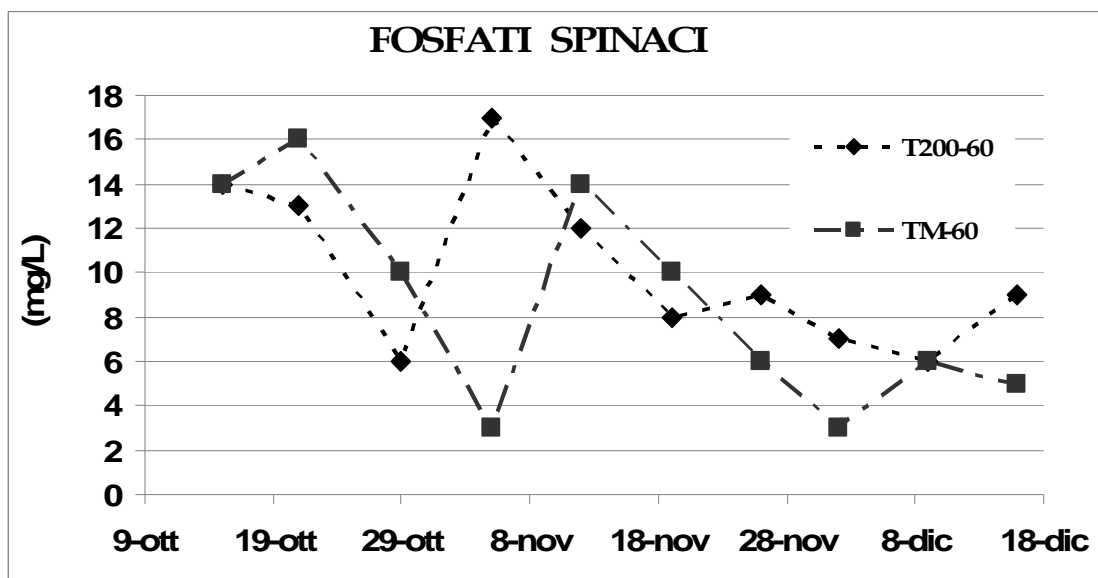


Figura 27 Spinacio – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 60 cm nel terreno.

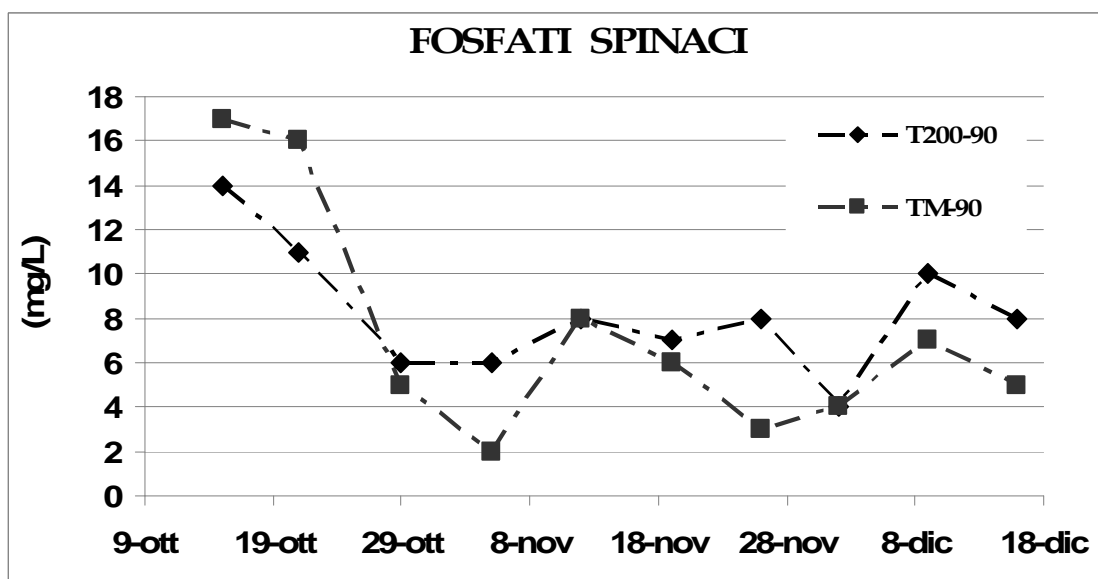


Figura 28 Spinacio – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 90 cm nel terreno.

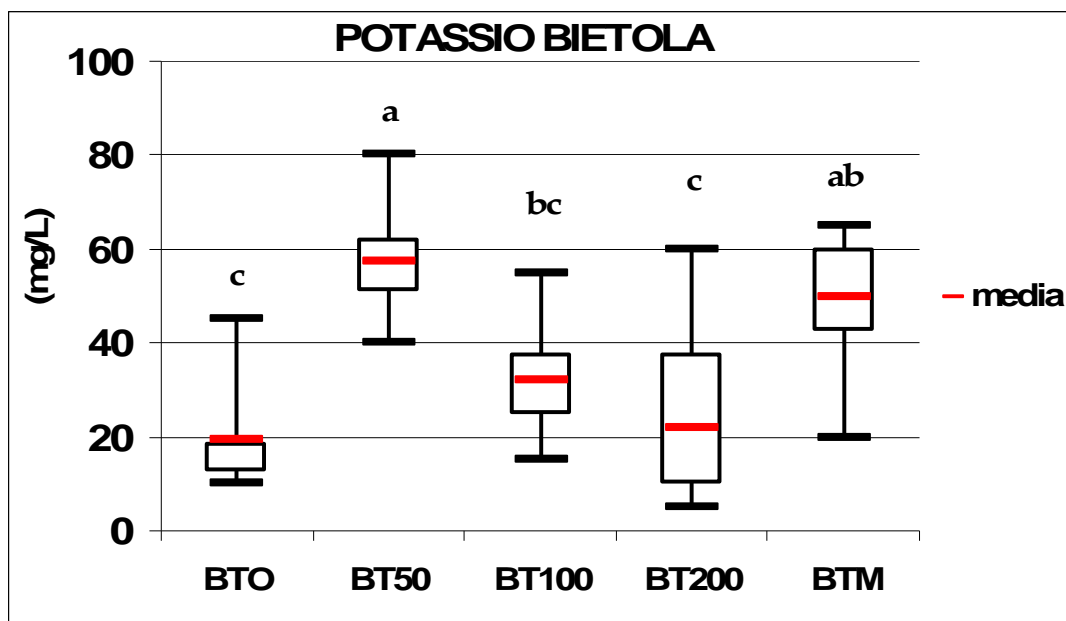


Figura 29 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

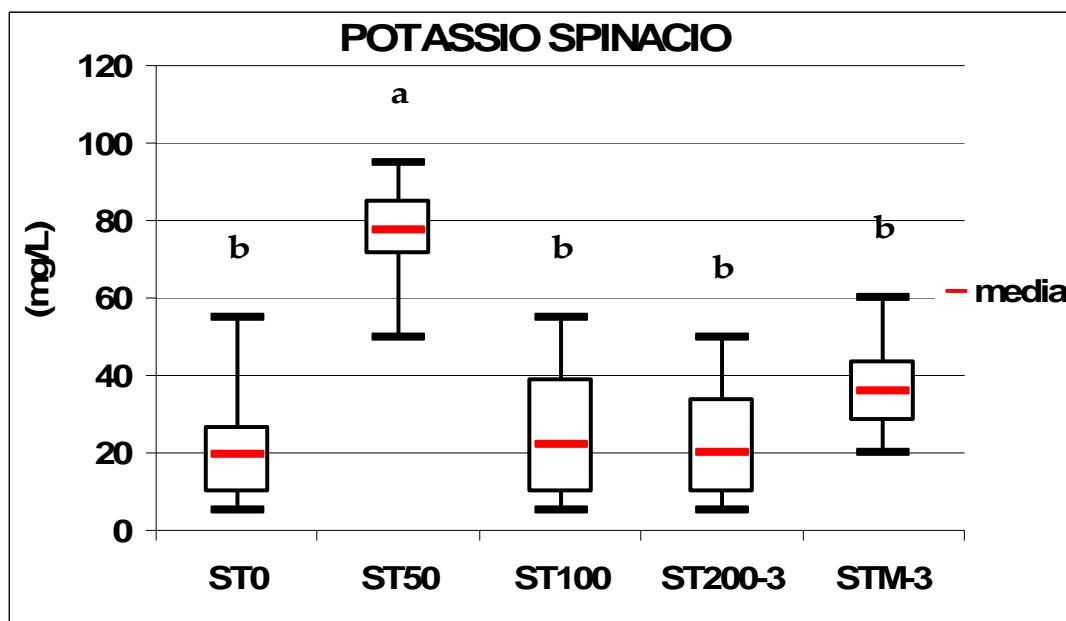


Figura 30 Spinaci – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

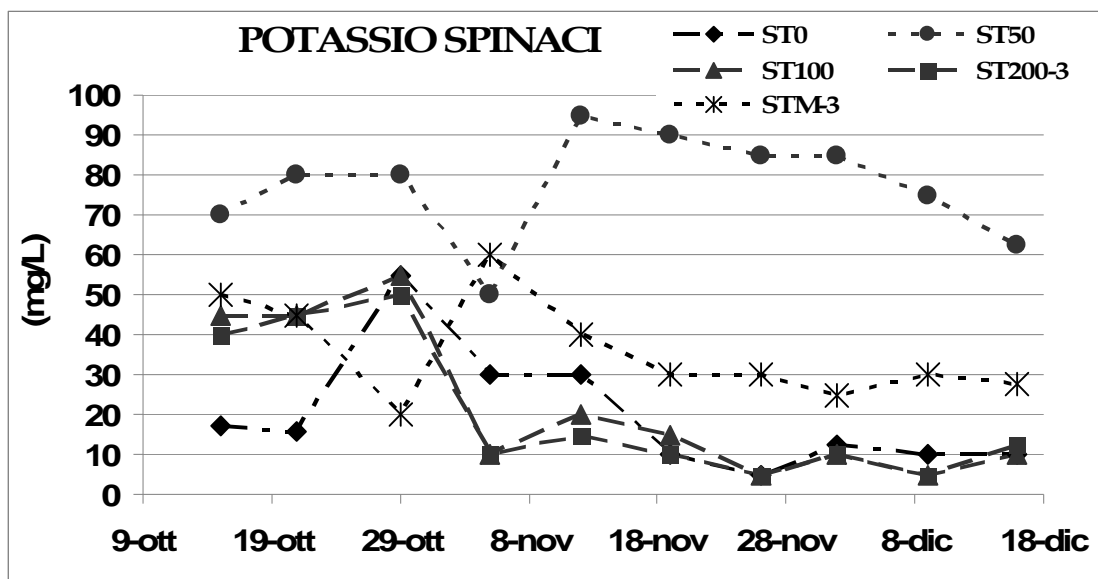


Figura 31 Spinaci – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno.

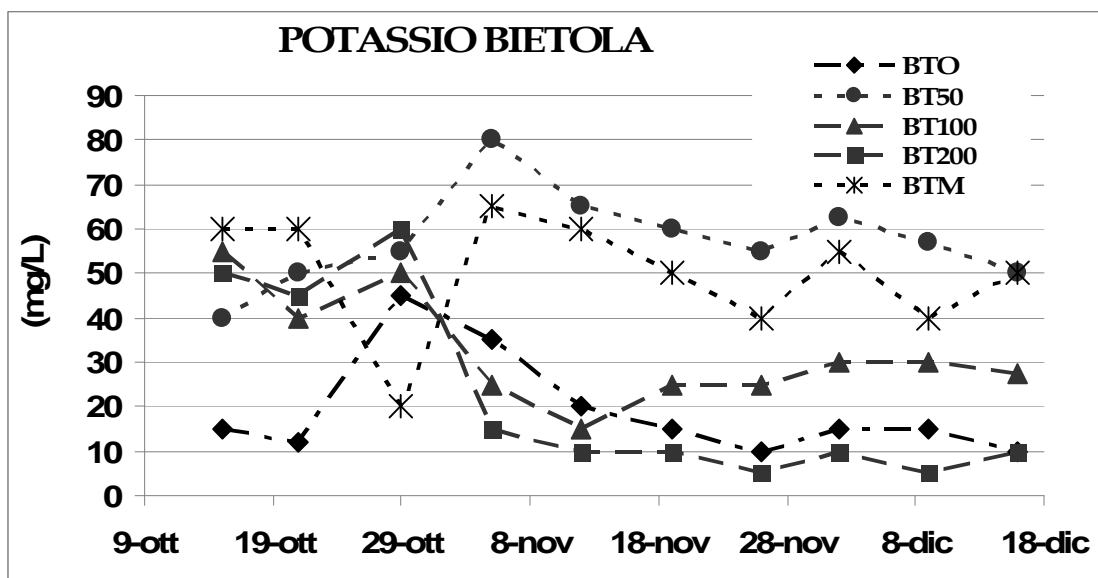


Figura 32 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno.



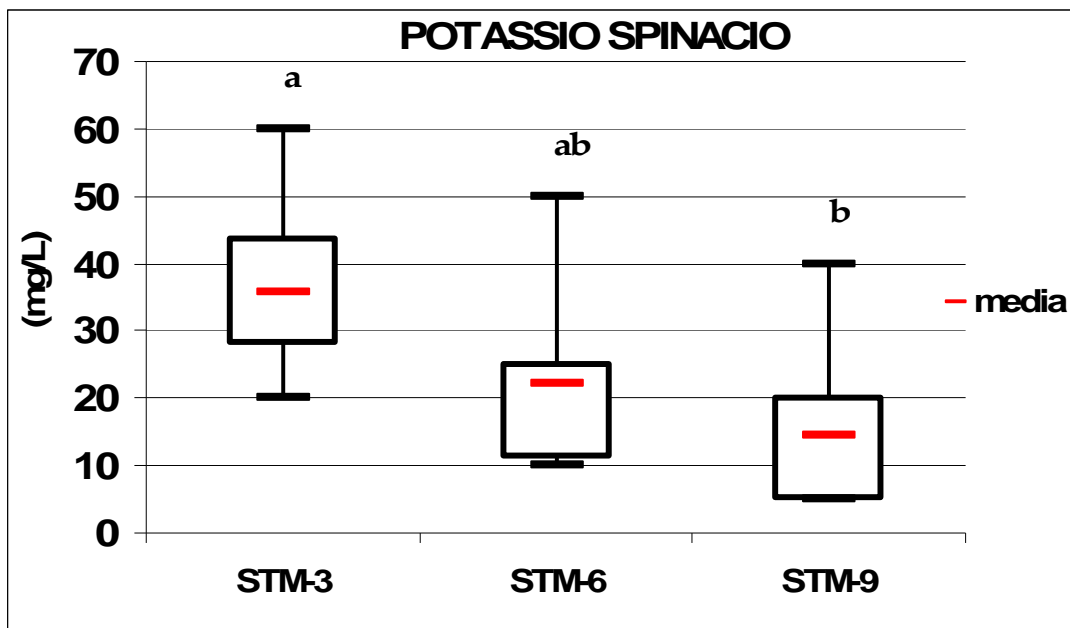


Figura 33 Spinaci – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

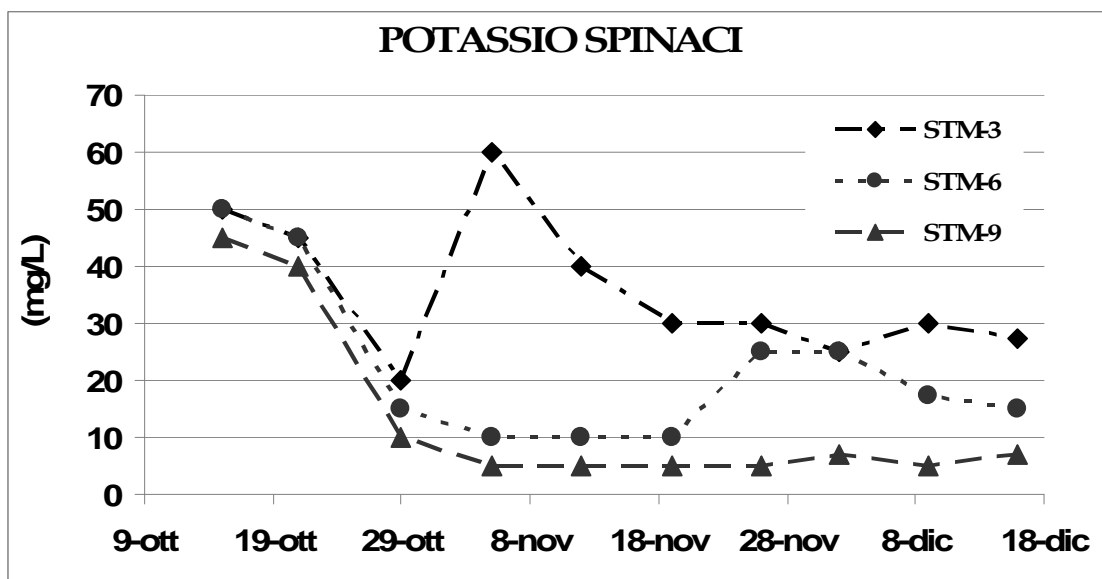


Figura 34 Spinacio – Effetto del trattamento fertilizzante minerale (TMIN) e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno.

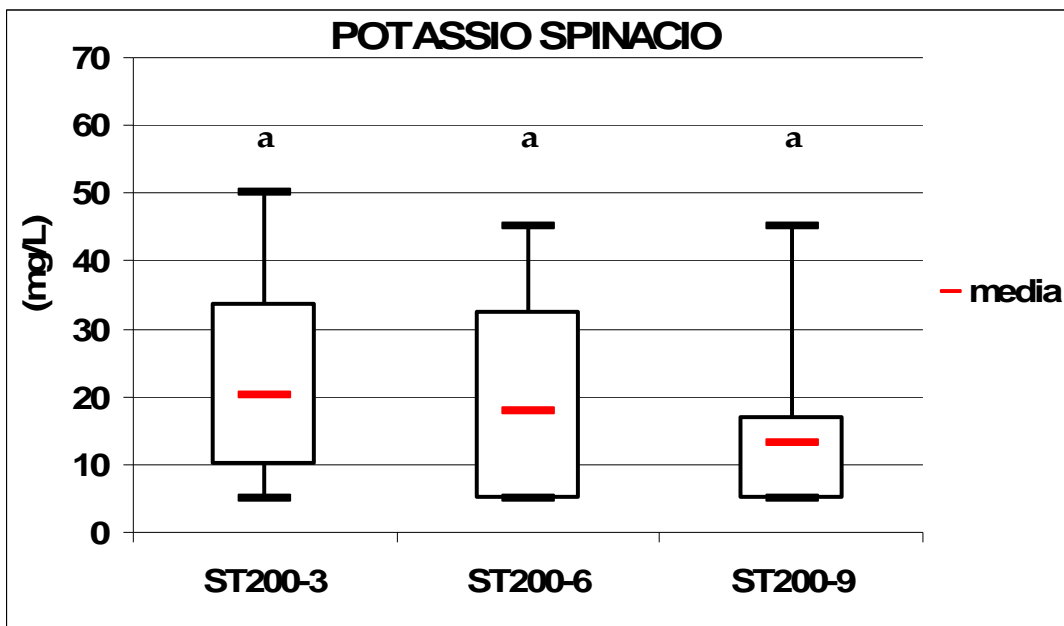


Figura 35 Spinacio – Effetto del trattamento fertilizzante minerale (TMIN) e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

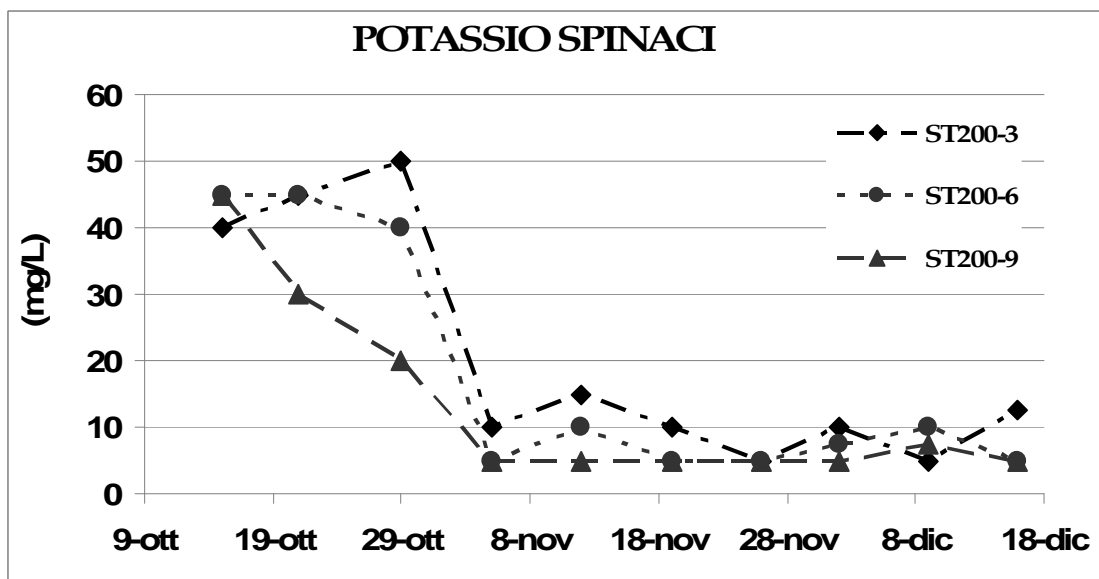


Figura 36 Spinacio – Effetto del trattamento fertilizzante T200 e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno.

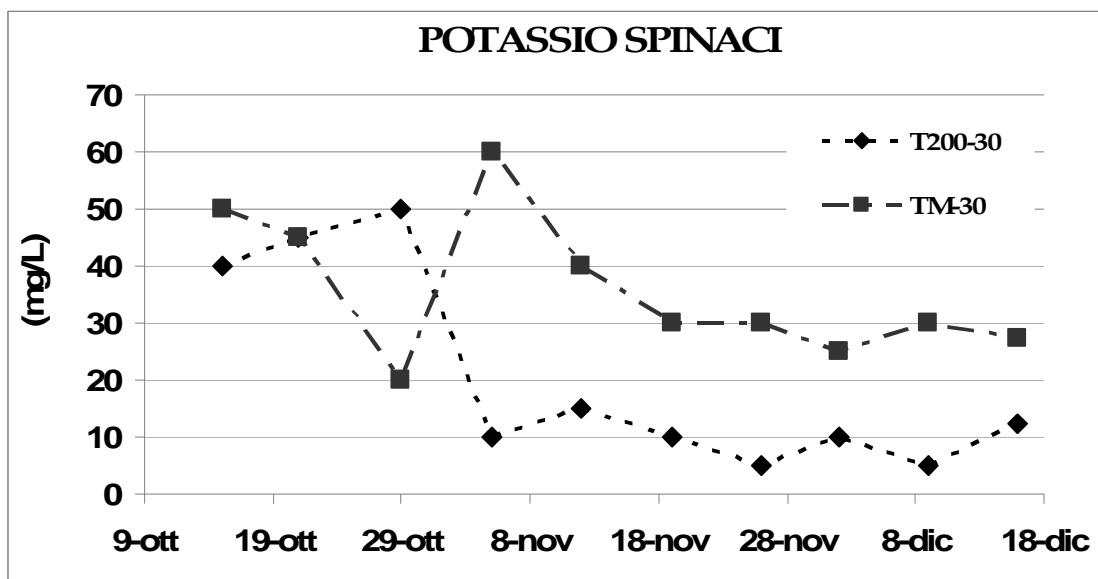


Figura 37 Spinacio – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno.

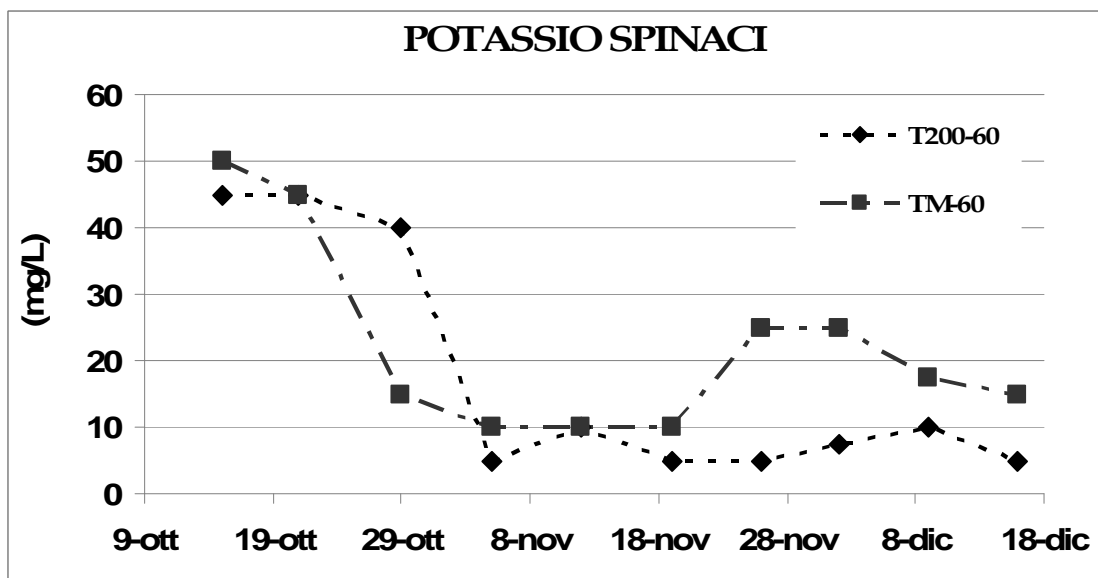


Figura 38 Spinacio – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 60 cm nel terreno.

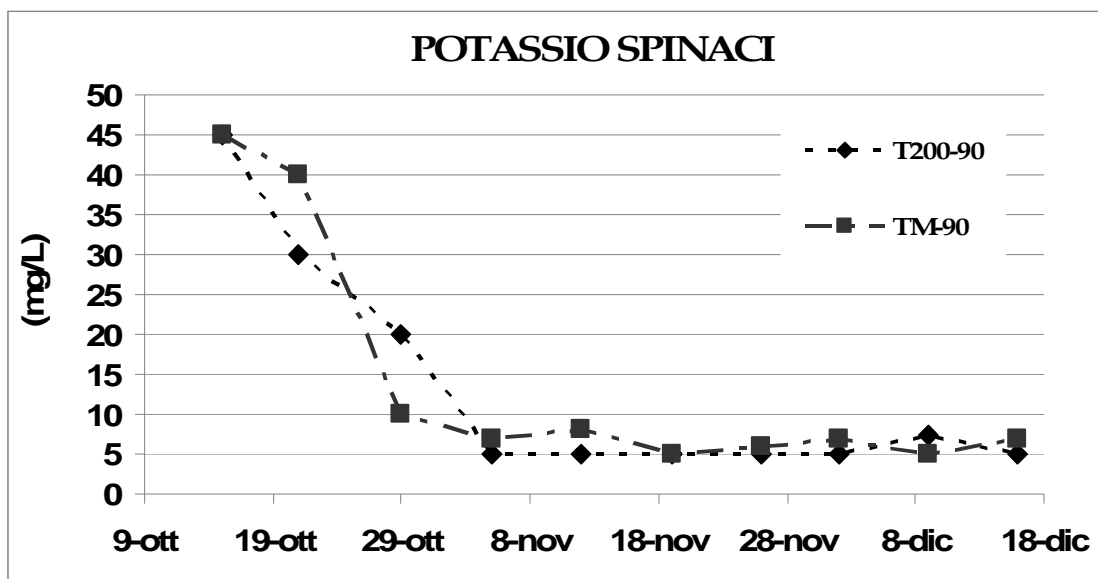


Figura 39 Spinacio – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 90 cm nel terreno.

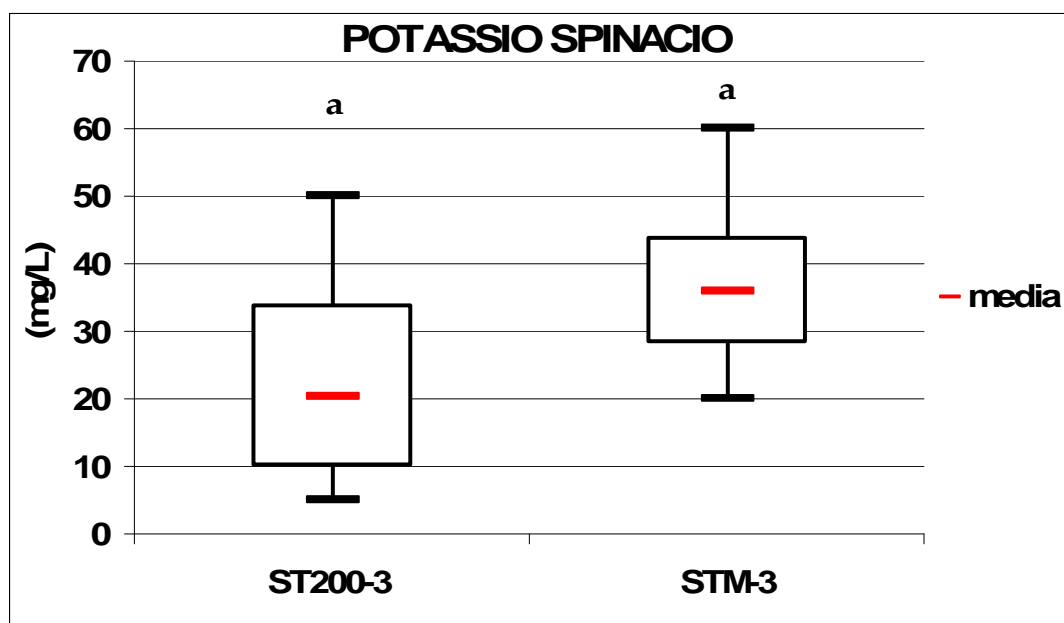


Figura 40 Spinacio – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

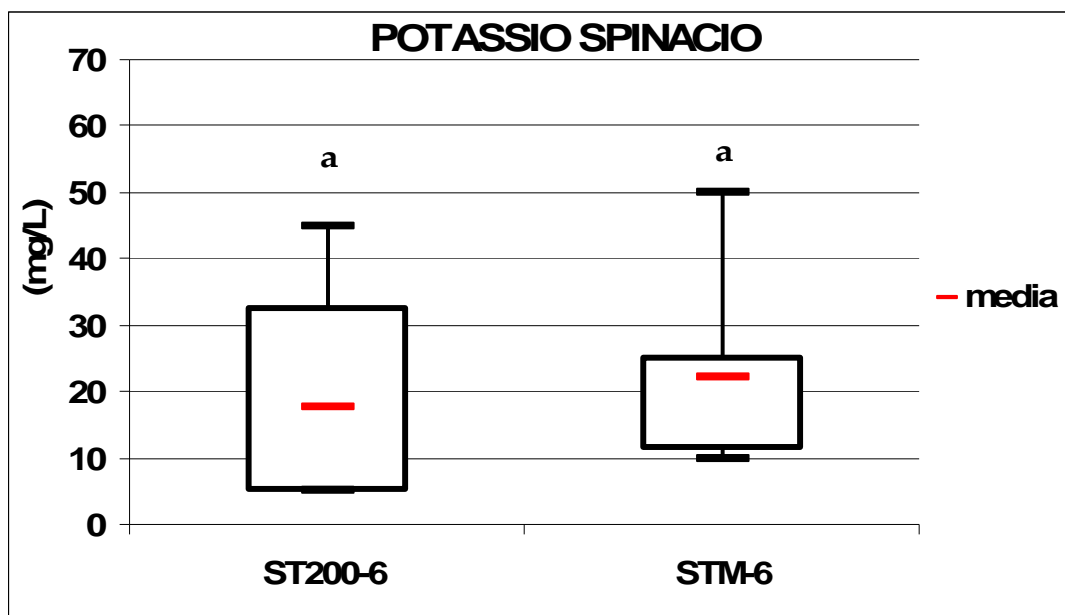


Figura 41 Spinacio – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 60 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

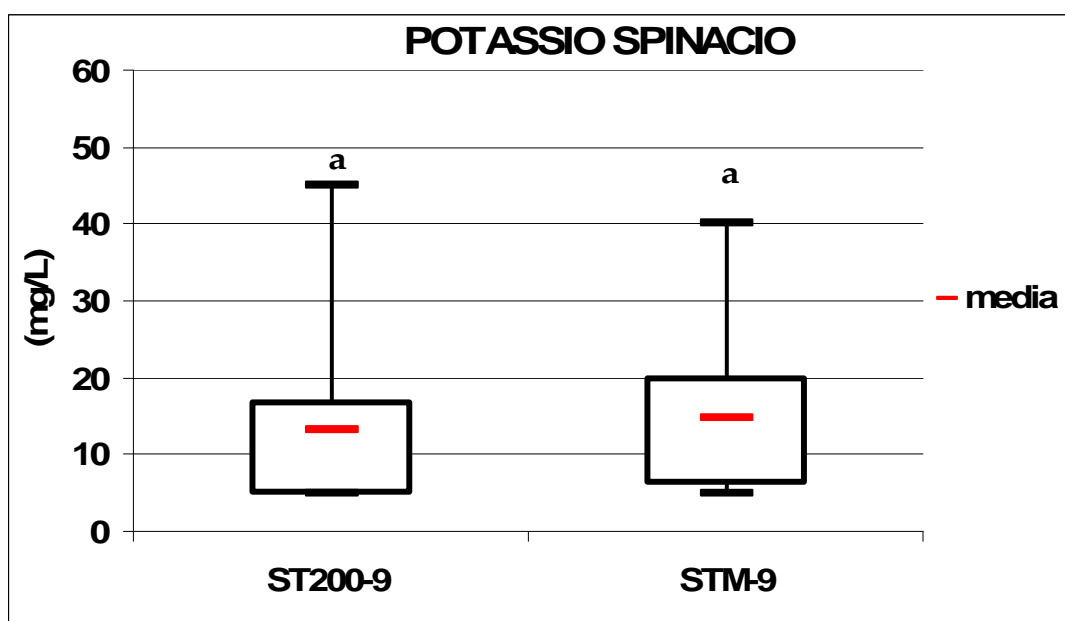


Figura 42 Spinacio – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 90 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

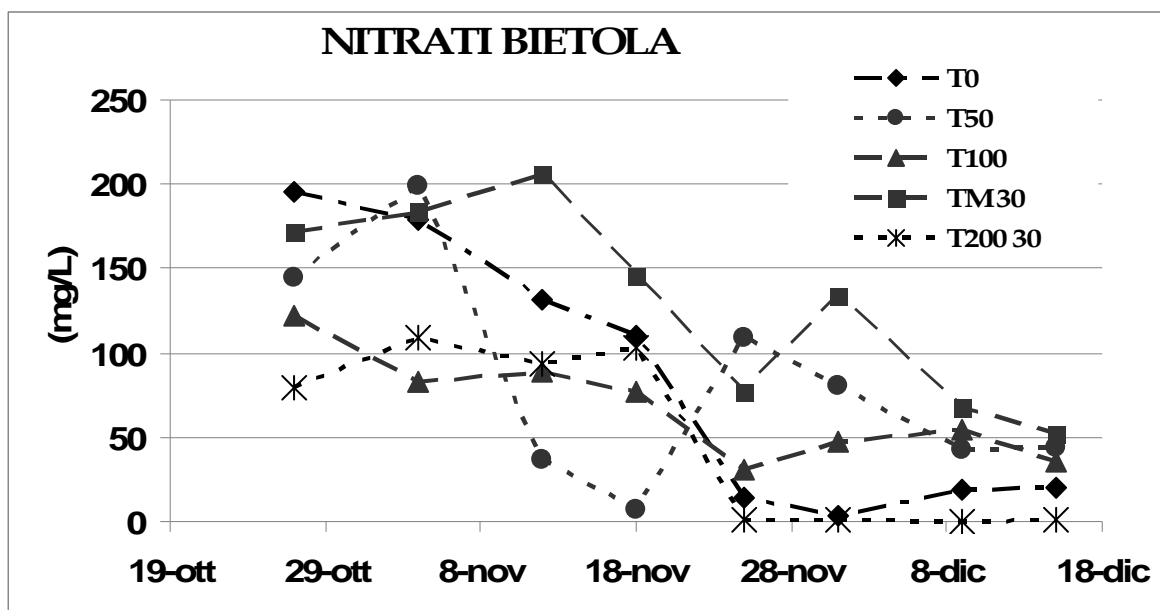


Figura 43 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno.

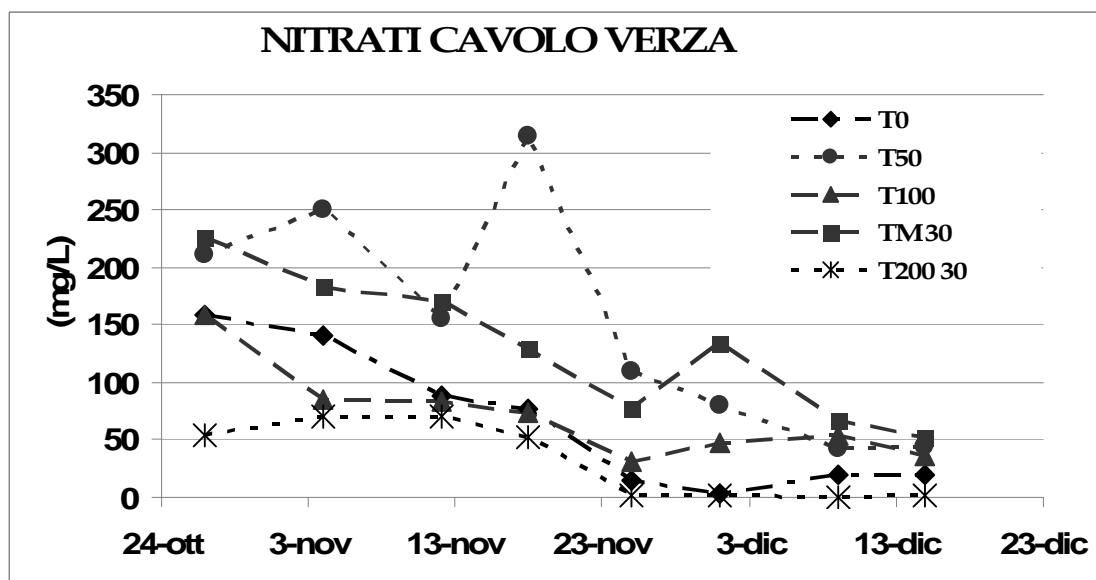


Figura 44 Cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno.

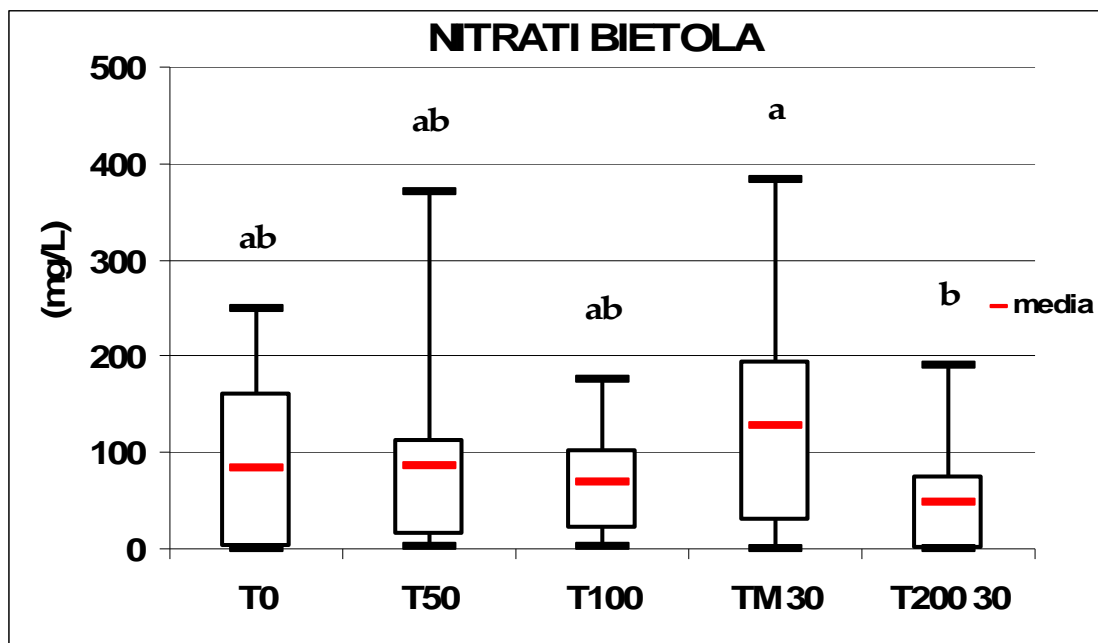


Figura 45 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

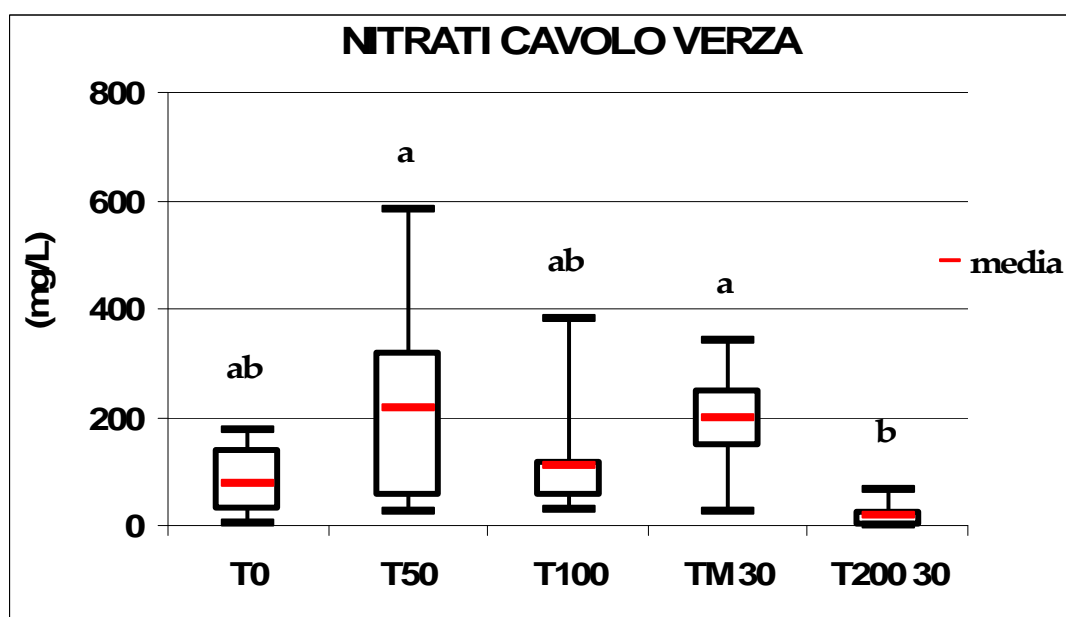


Figura 46 Cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

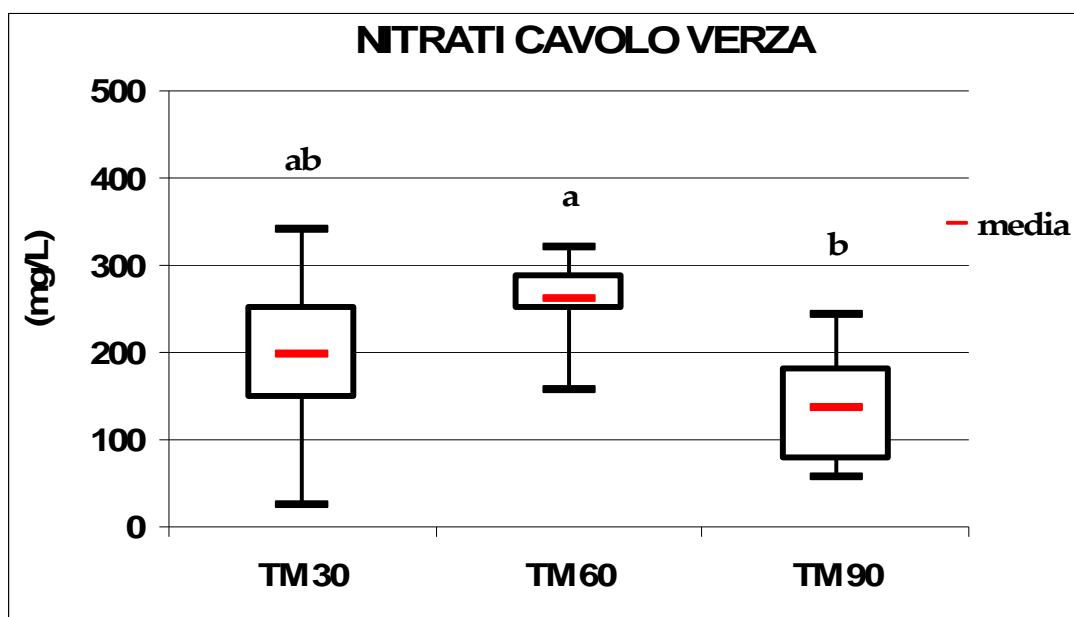


Figura 47 Cavolo verza – Effetto del trattamento fertilizzante minerale (TMIN) e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

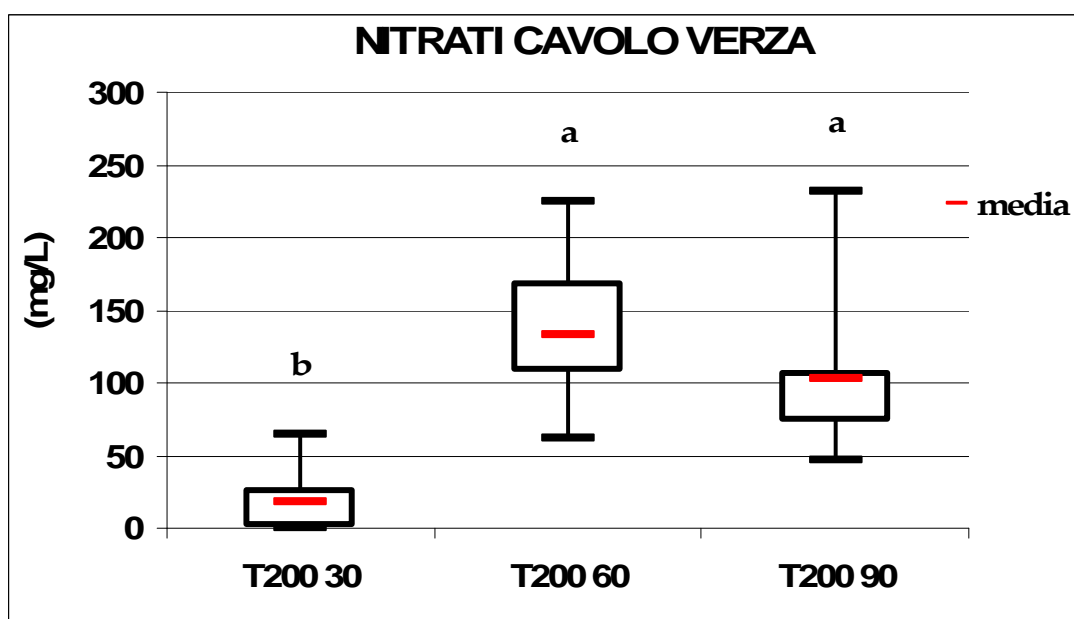


Figura 48 Cavolo verza – Effetto del trattamento fertilizzante T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).



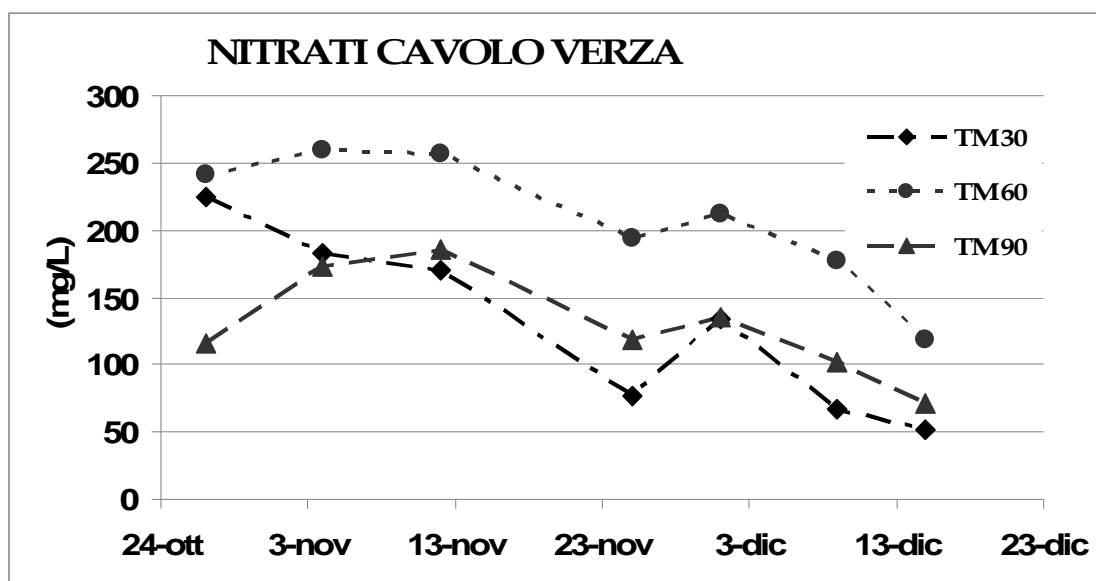


Figura 49 Cavolo verza – Effetto del trattamento fertilizzante minerale (TMIN) e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno.

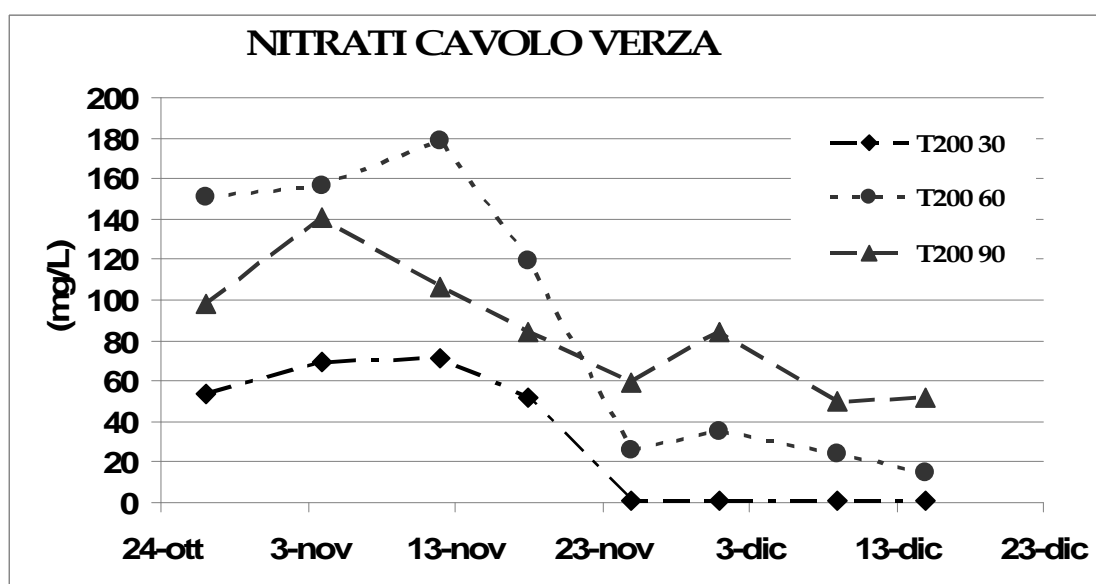


Figura 50 Cavolo verza – Effetto del trattamento fertilizzante T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno.

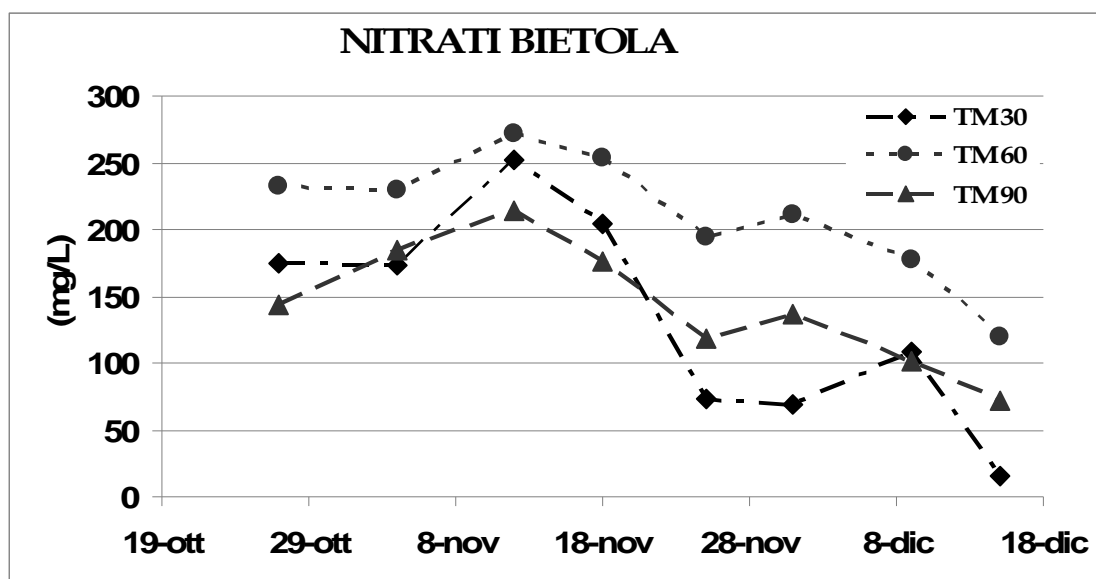


Figura 51 Bietola – Effetto del trattamento fertilizzante minerale (TMIN) e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno.

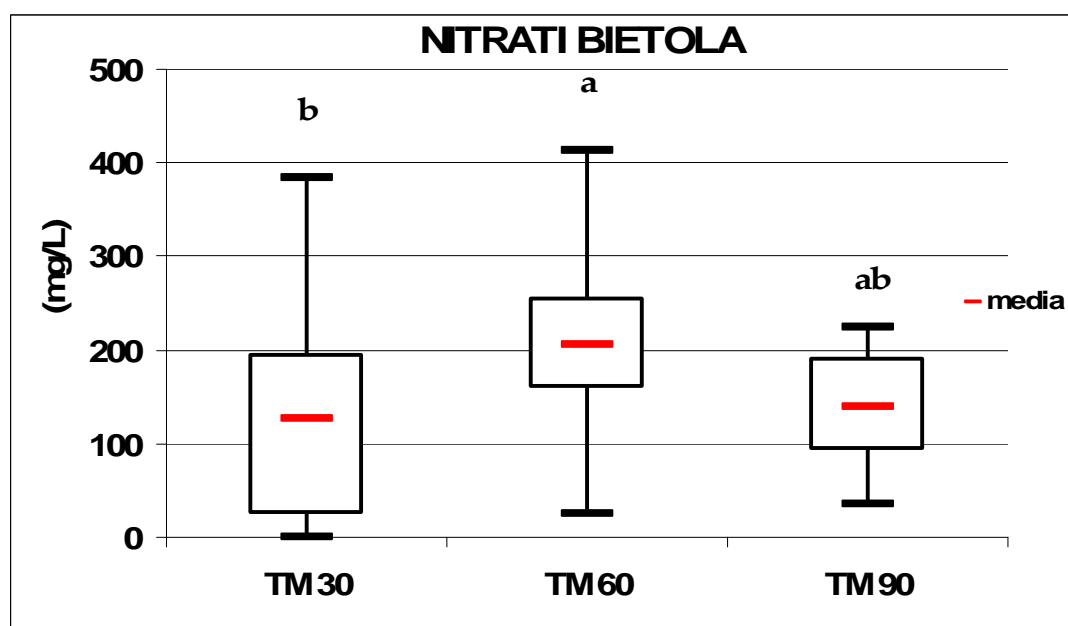


Figura 52 Bietola – Effetto del trattamento fertilizzante minerale (TMIN) e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

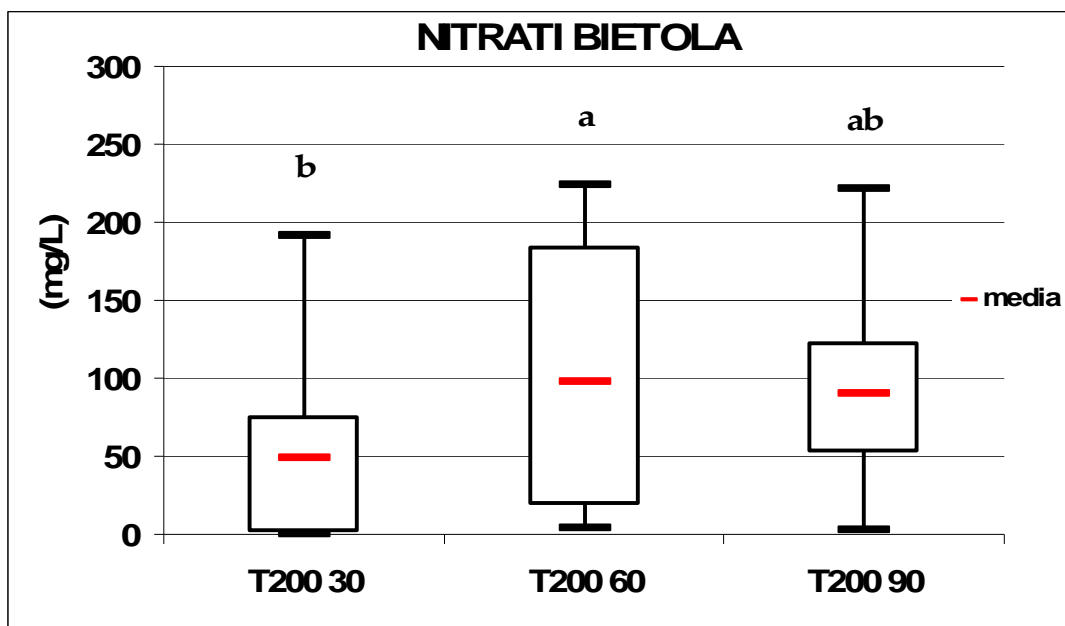


Figura 53 Bietola – Effetto del trattamento fertilizzante T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

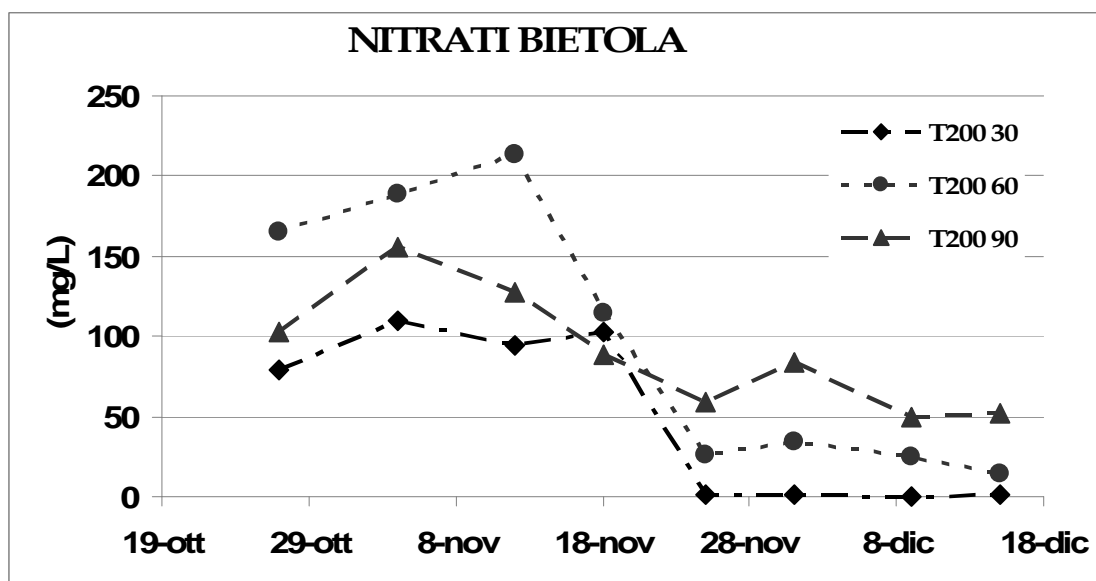


Figura 54 Bietola – Effetto del trattamento fertilizzante T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno.

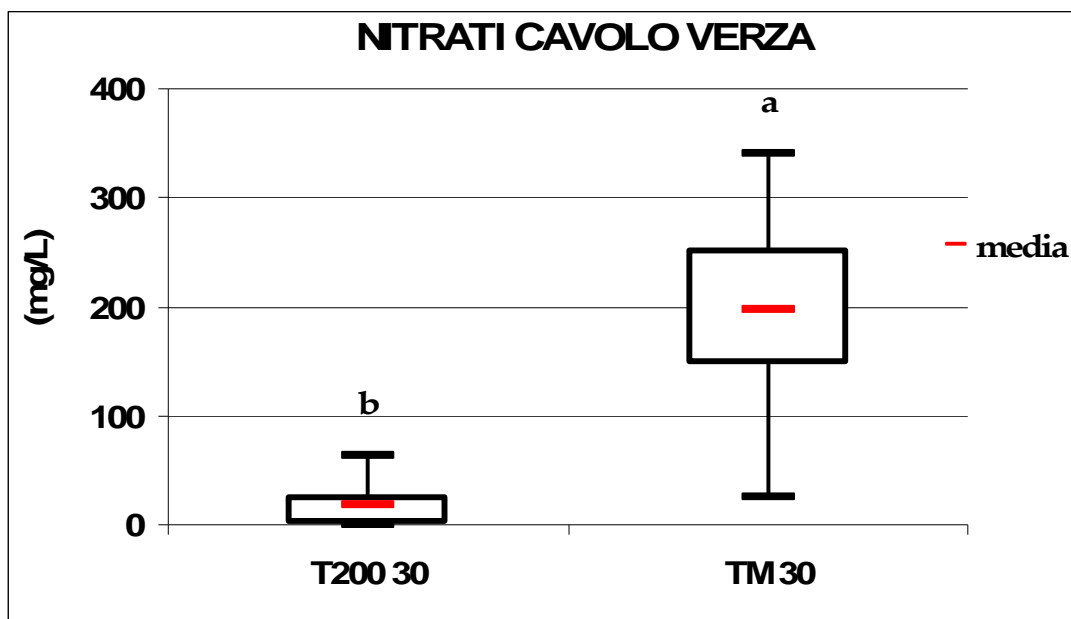


Figura 55 Cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

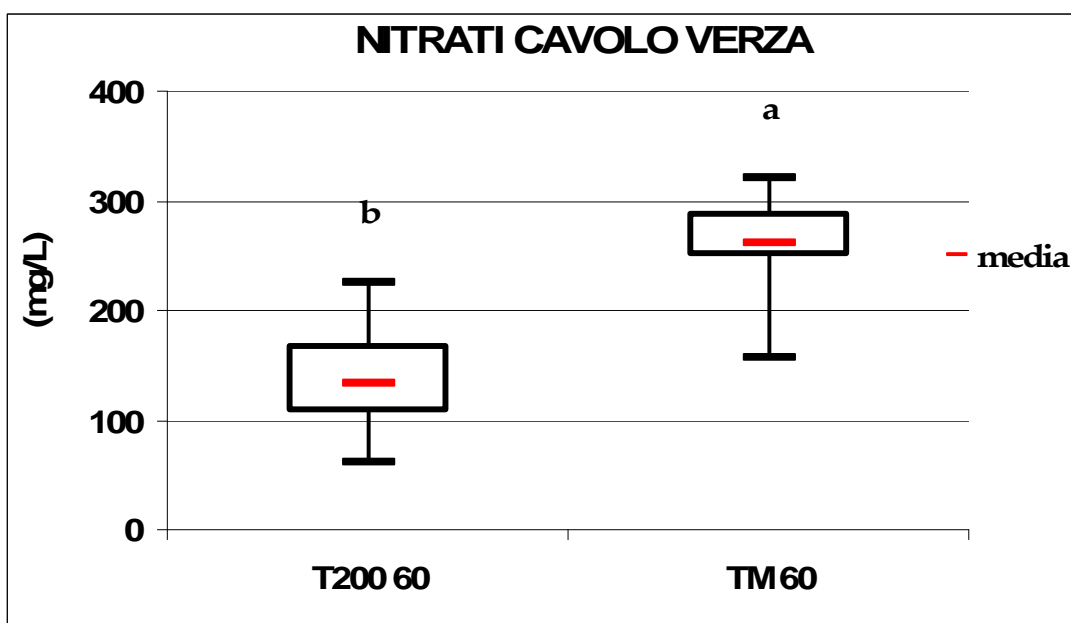


Figura 56 Cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 60 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

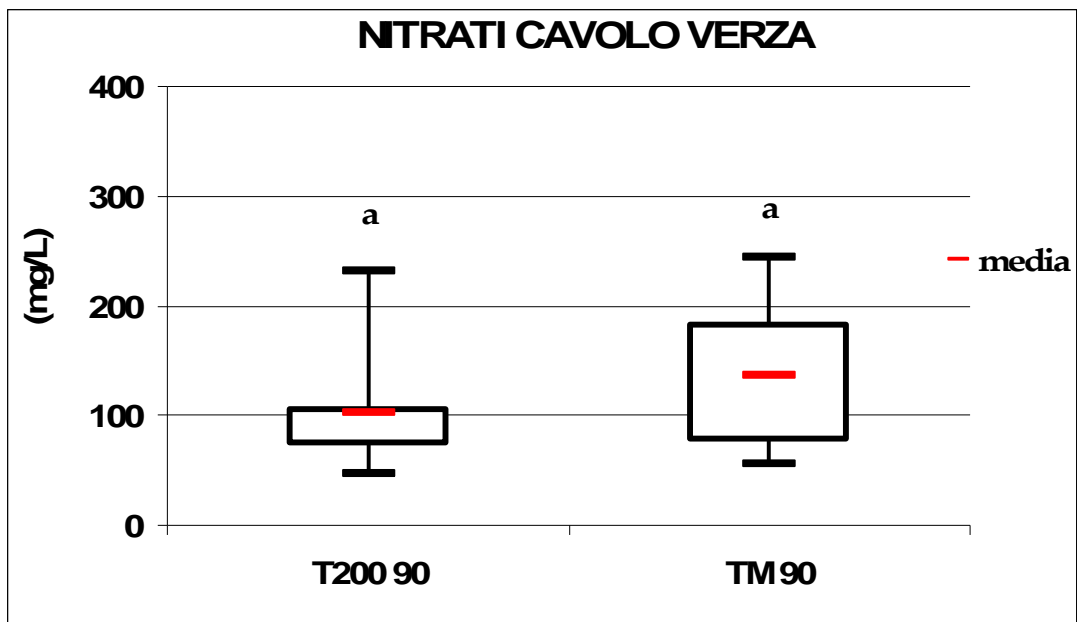


Figura 57 cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 90 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

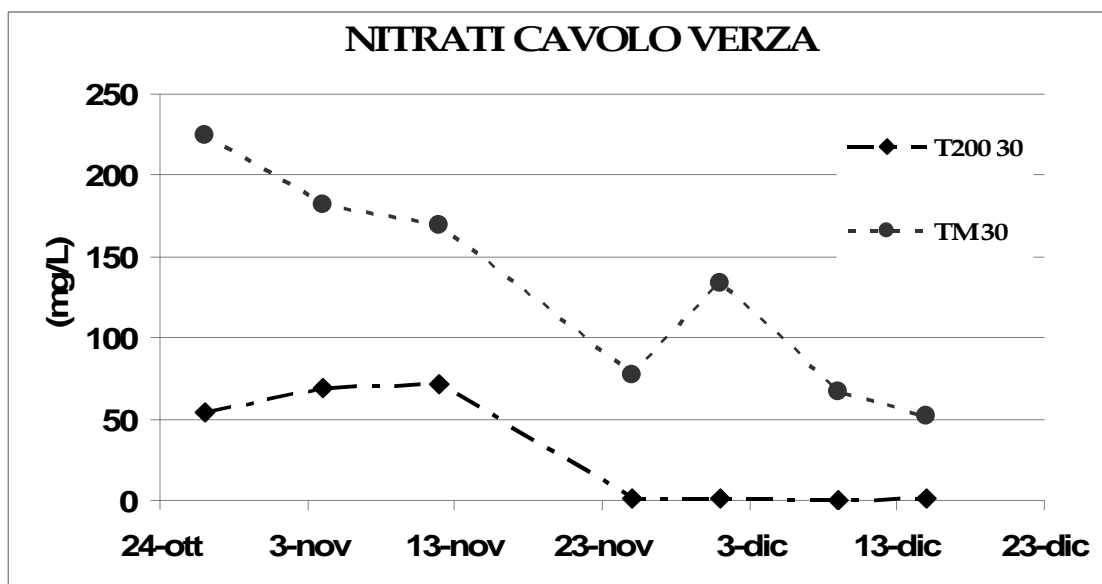


Figura 58 Cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno.

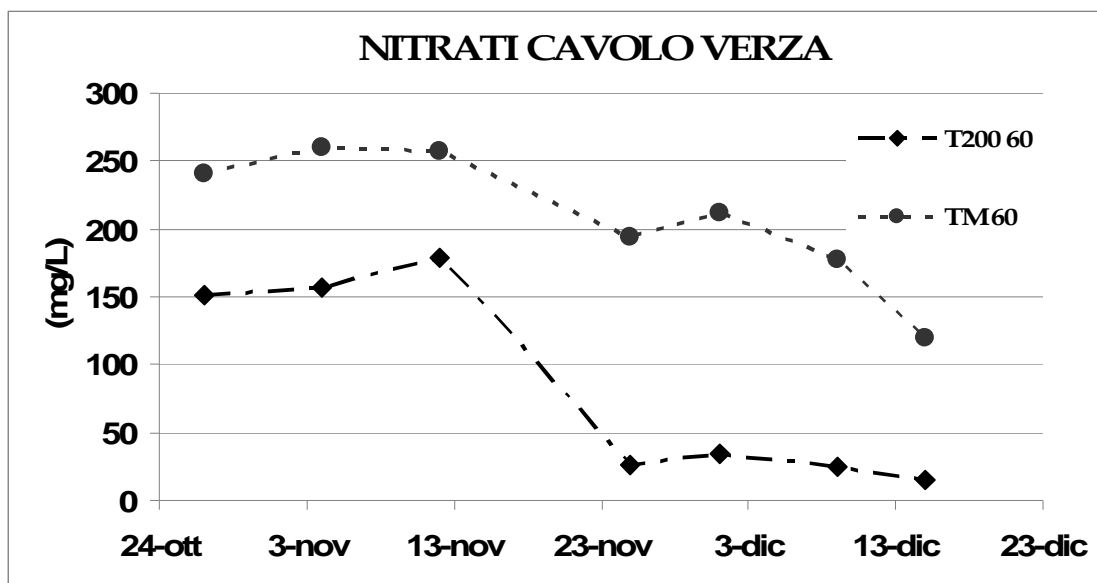


Figura 59 Cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 60 cm nel terreno.

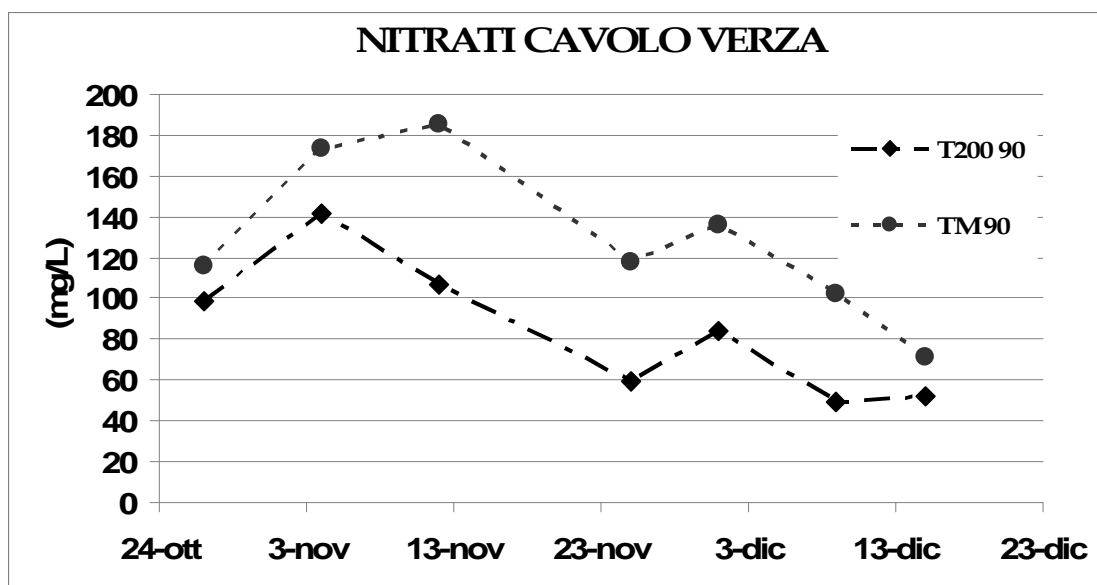


Figura 60 Cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 90 cm nel terreno.

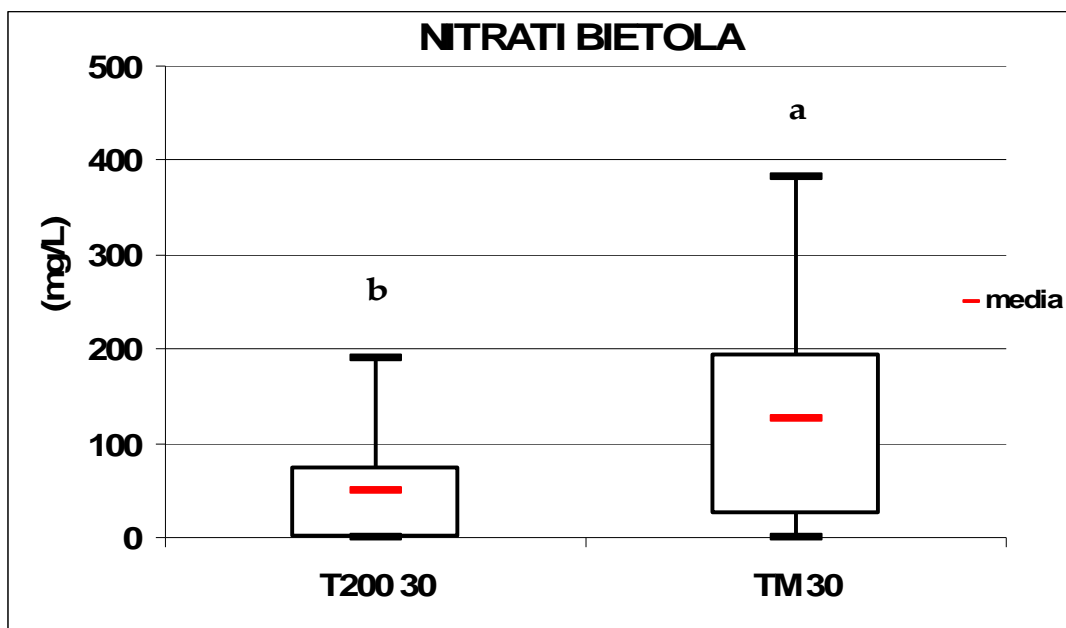


Figura 61 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

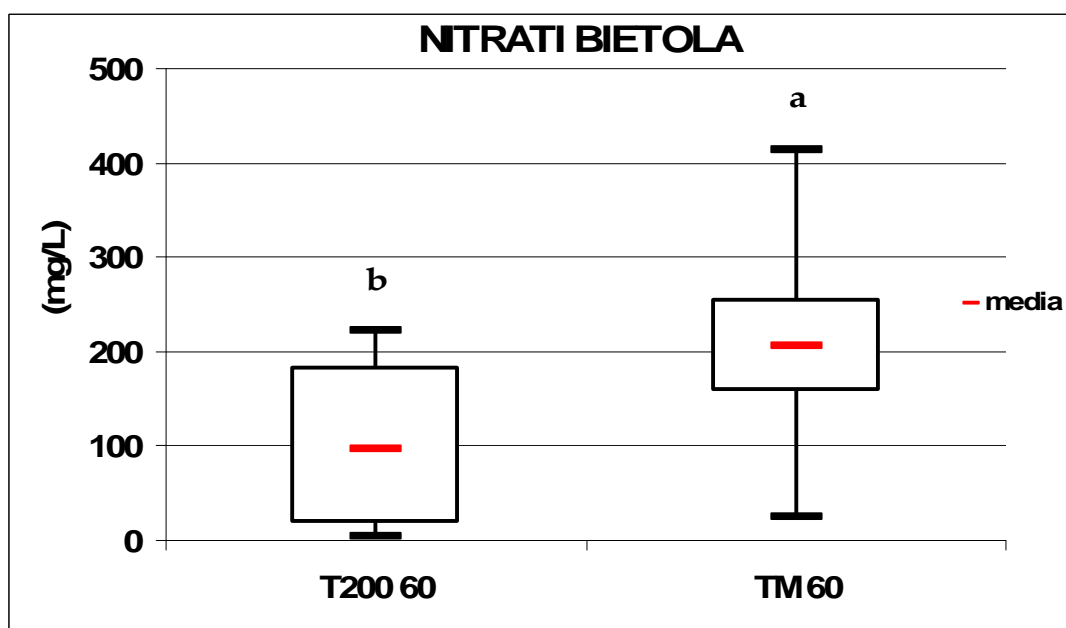


Figura 62 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 60 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

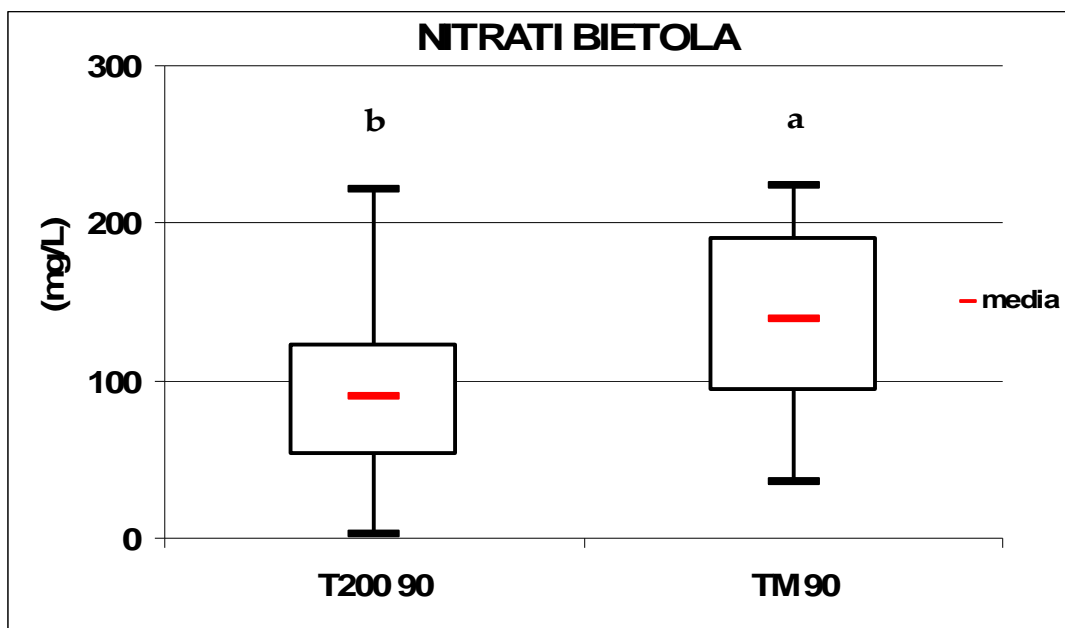


Figura 63 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

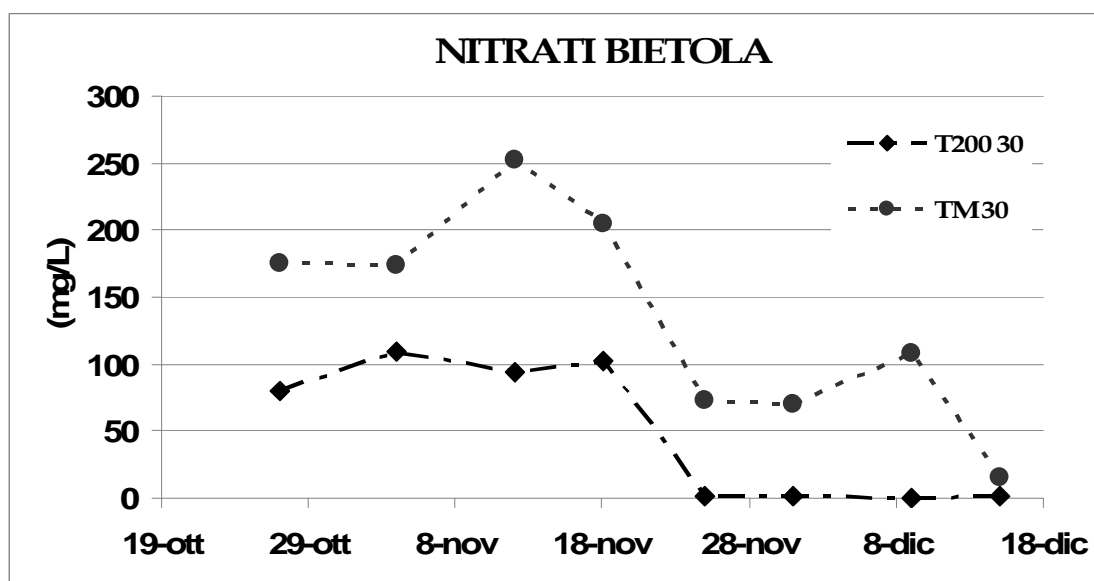


Figura 64 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno.



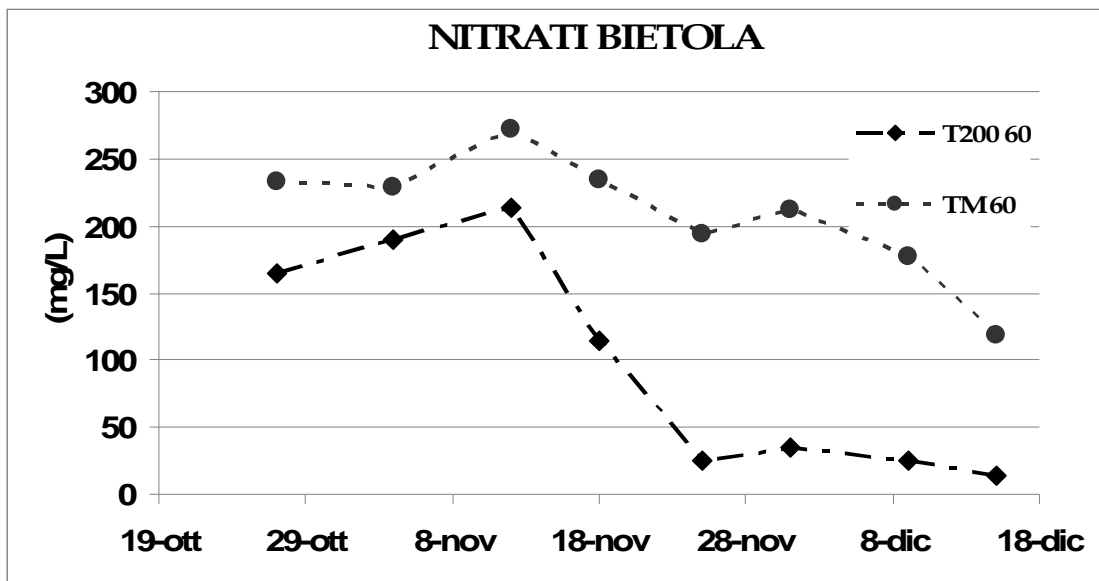


Figura 65 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 60 cm nel terreno.

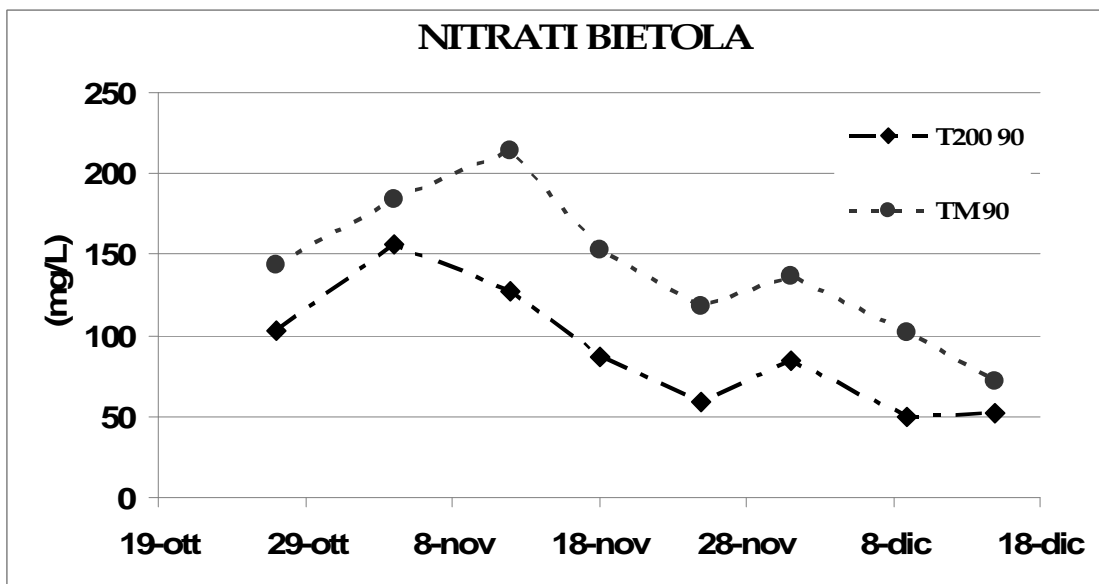


Figura 66 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 90 cm nel terreno.

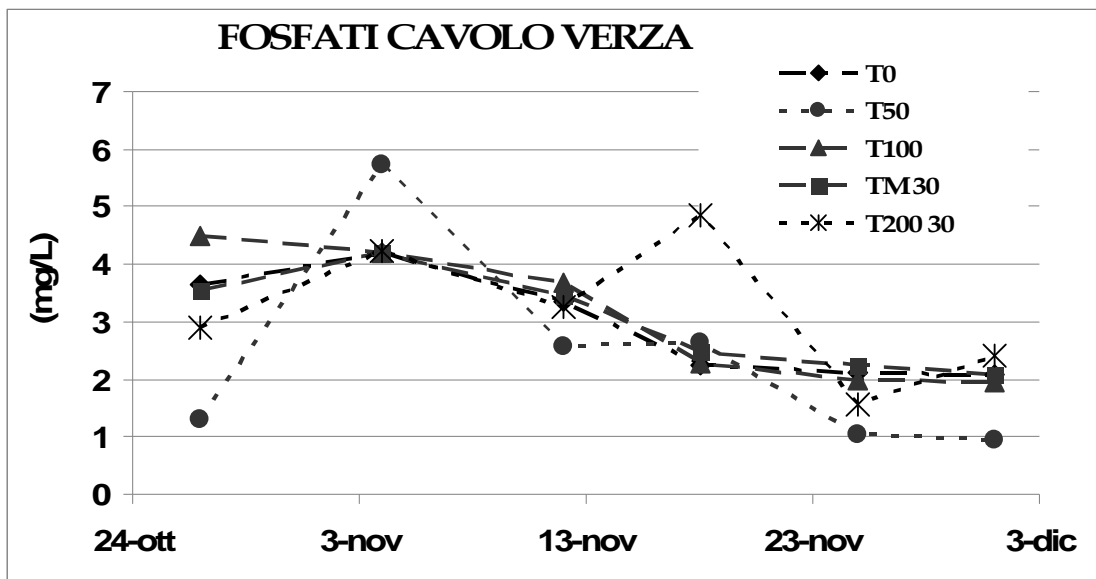


Figura 67 Cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno.

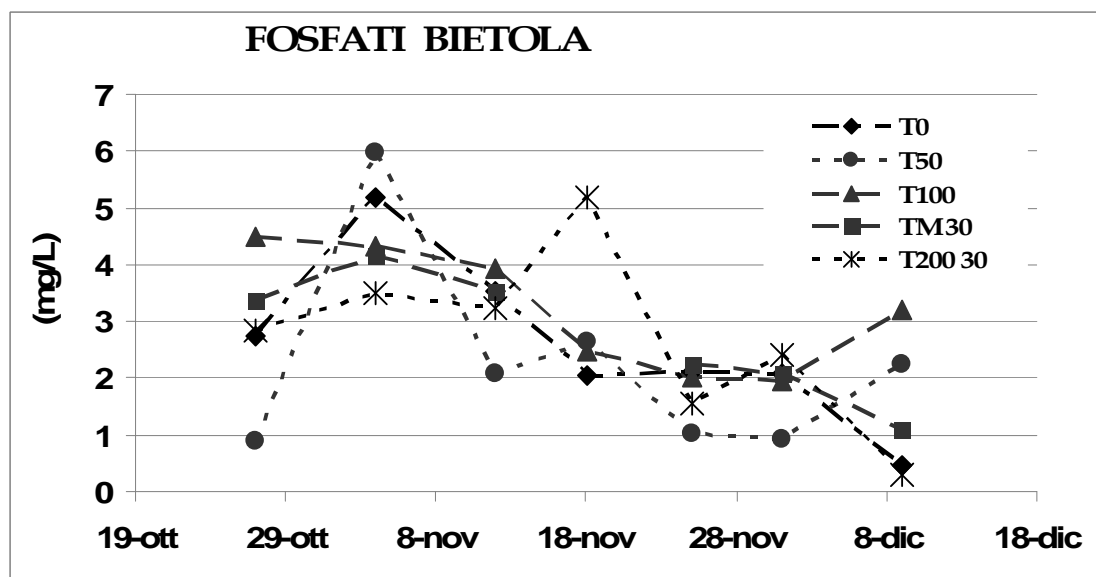


Figura 68 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno.

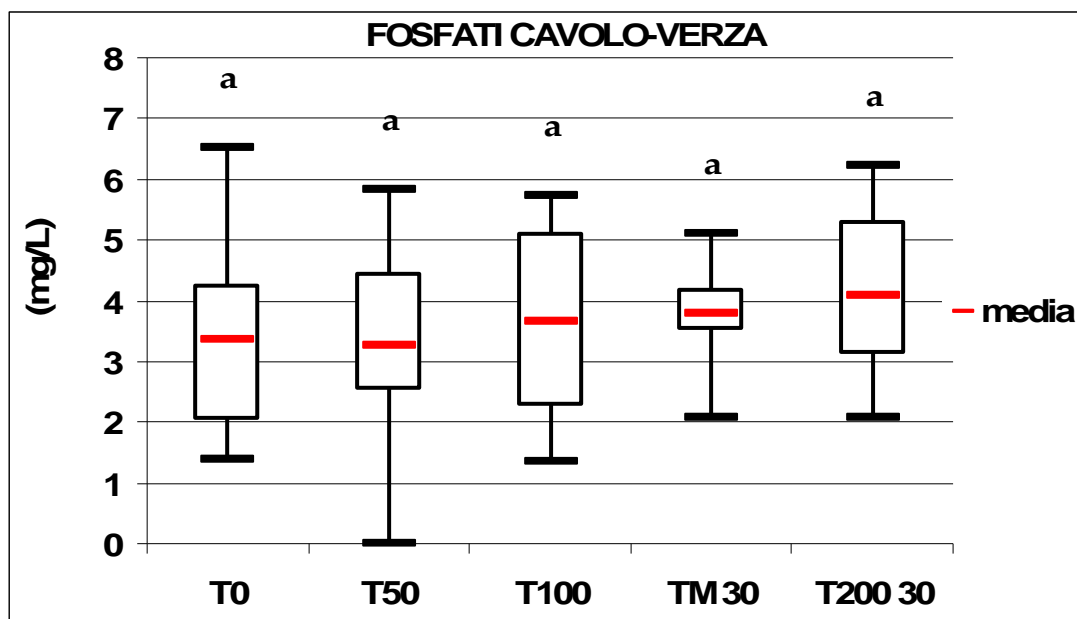


Figura 69 Cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

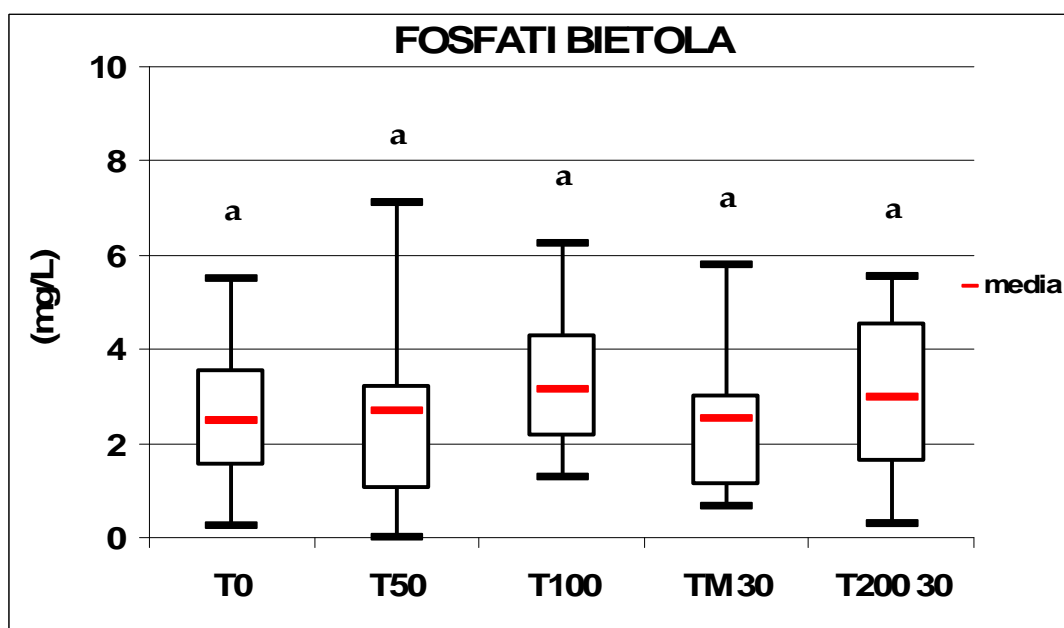


Figura 70 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

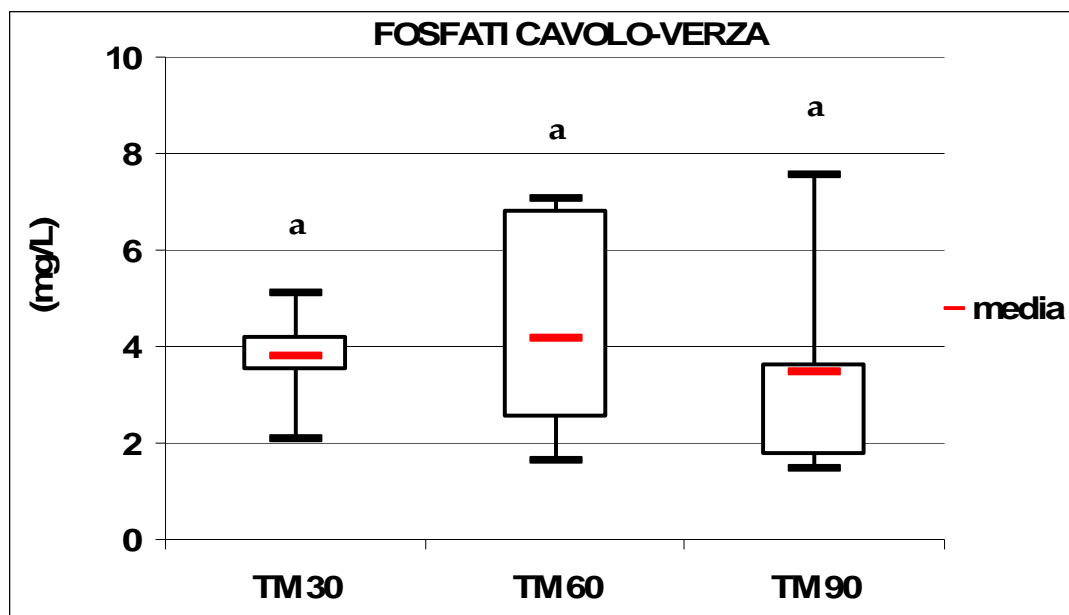


Figura 71 Cavolo verza – Effetto del trattamento fertilizzante minerale (TMIN) e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

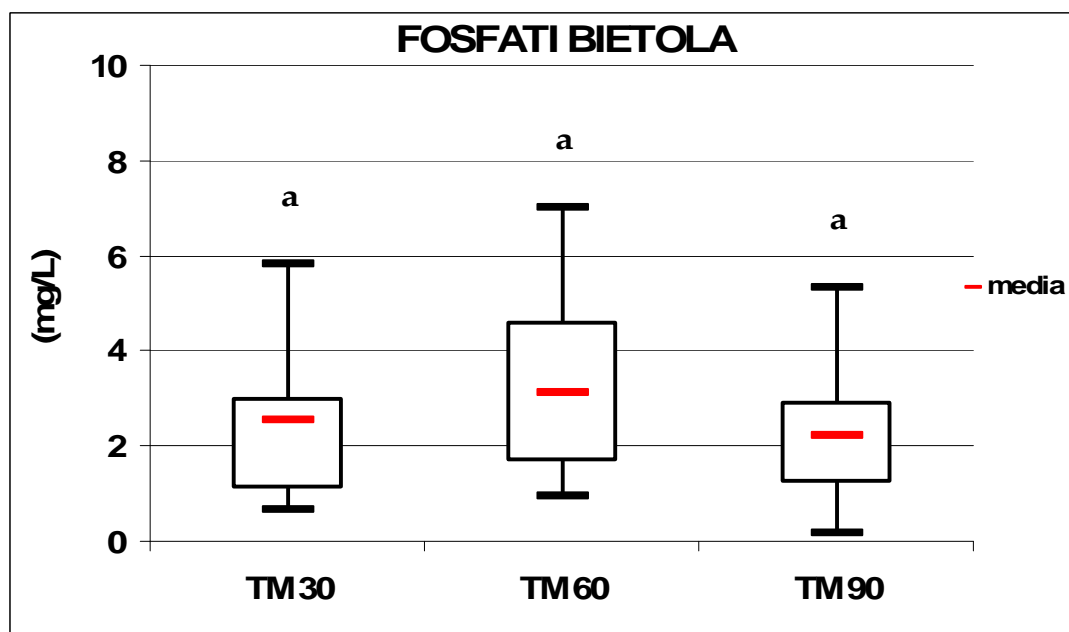


Figura 72 Bietola – Effetto del trattamento fertilizzante minerale (TMIN) e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

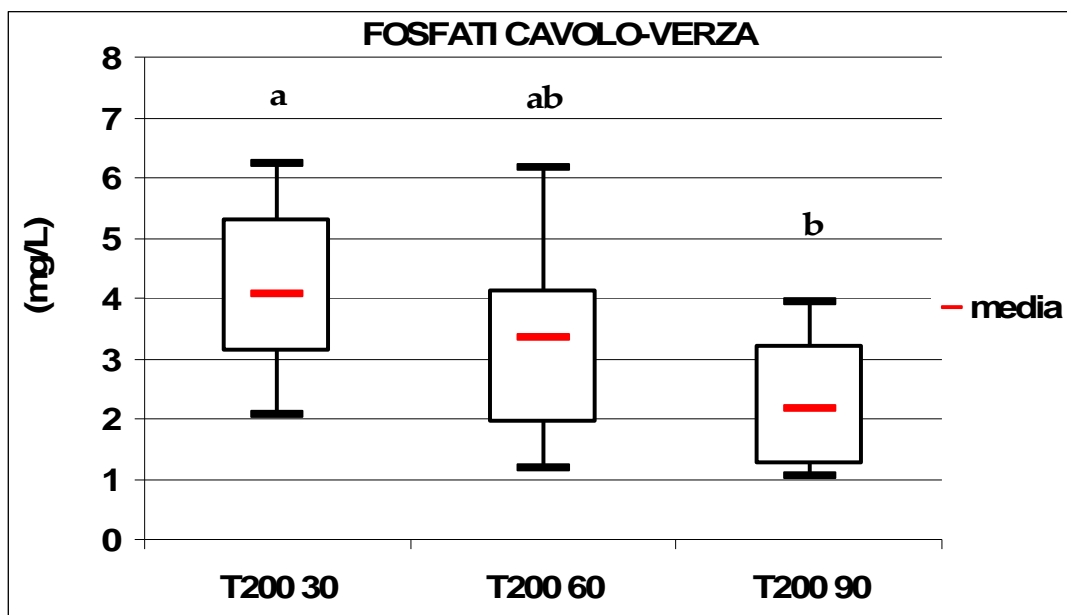


Figura 73 Cavolo verza – Effetto del trattamento fertilizzante T200 e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

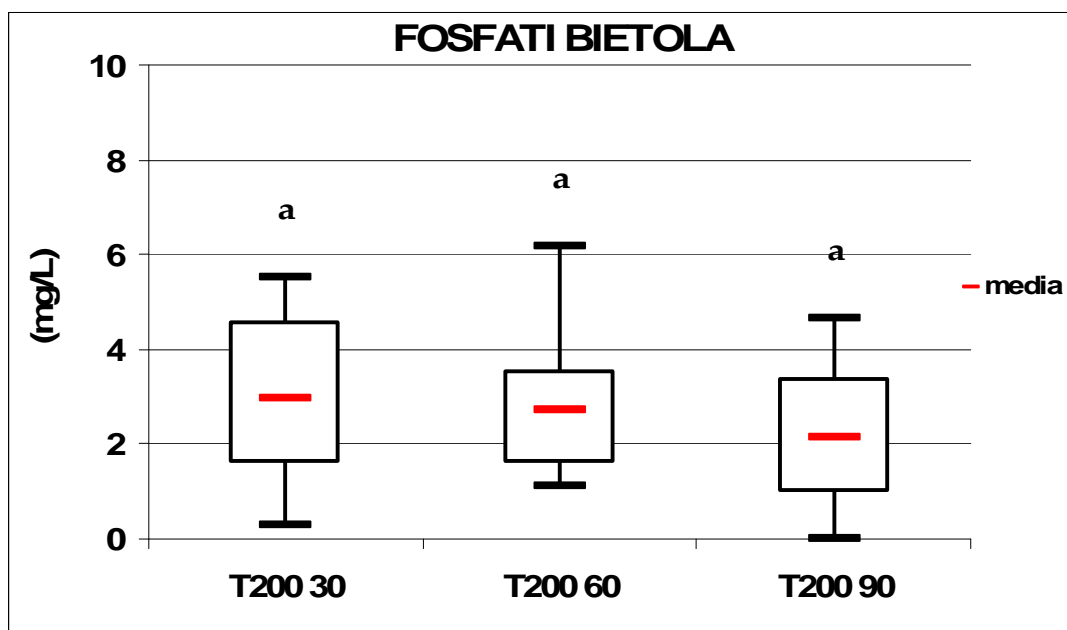


Figura 74 Bietola – Effetto del trattamento fertilizzante T200 e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

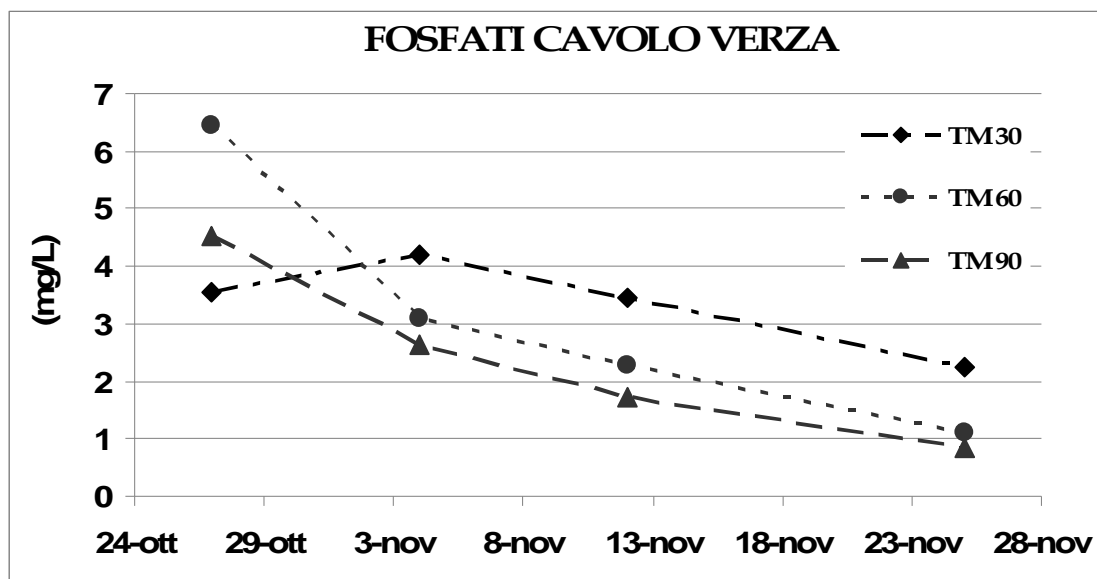


Figura 75 Cavolo verza – Effetto del trattamento fertilizzante minerale (TMIN) e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno.

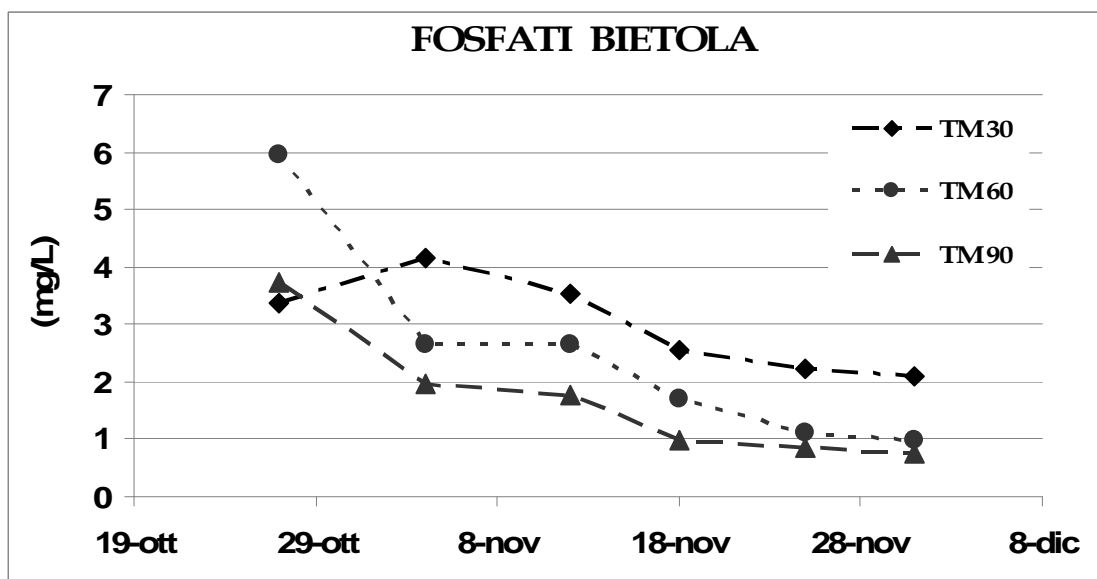


Figura 76 Bietola – Effetto del trattamento fertilizzante minerale (TMIN) e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno.

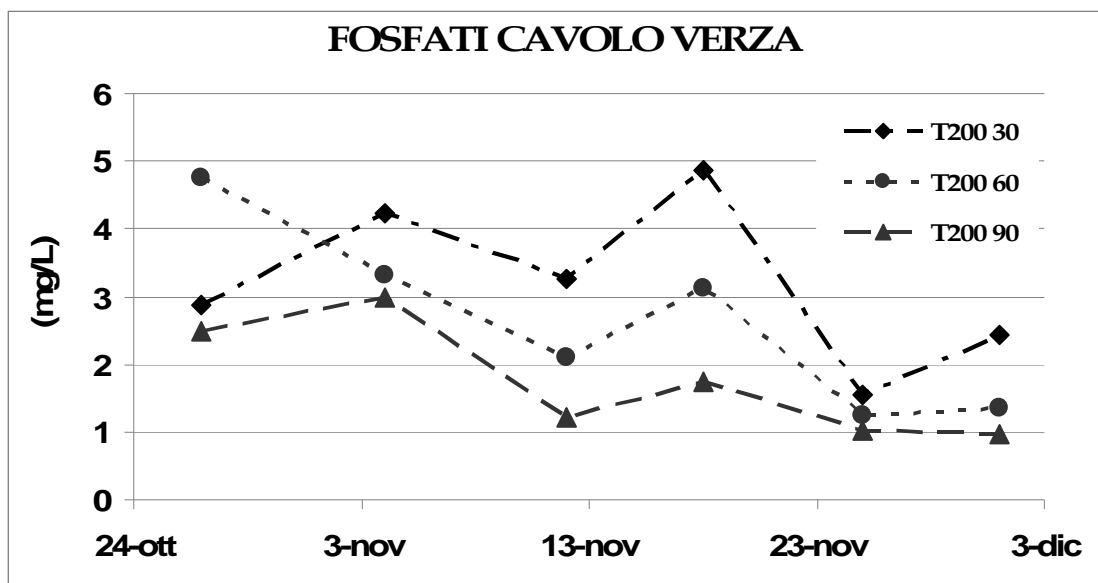


Figura 77 Cavolo verza – Effetto del trattamento fertilizzante T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno.

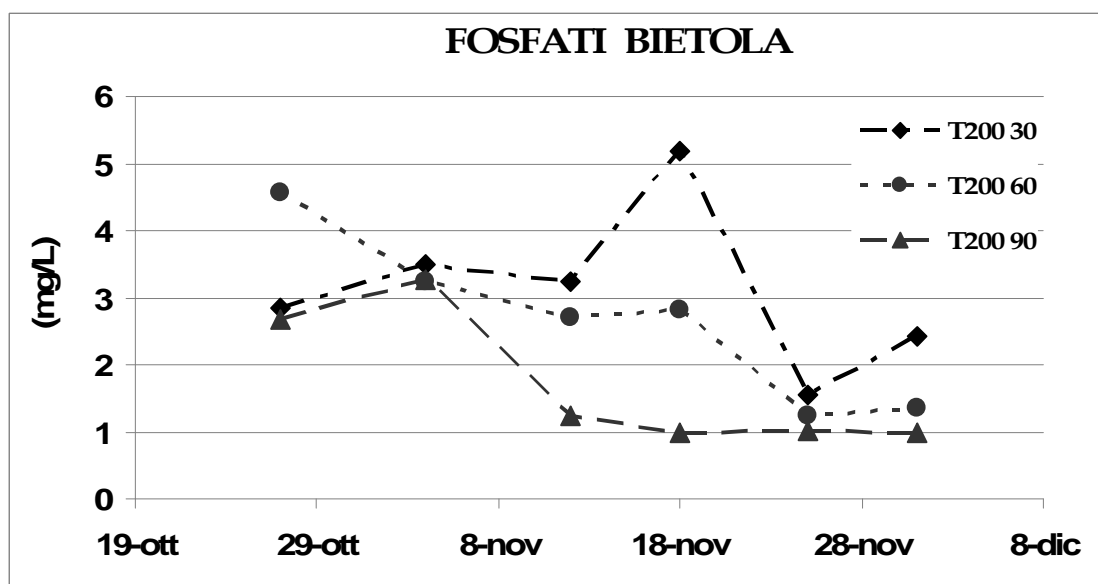


Figura 78 Bietola – Effetto del trattamento fertilizzante T200 e della specie coltivata nella concentrazione di nitrati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno.

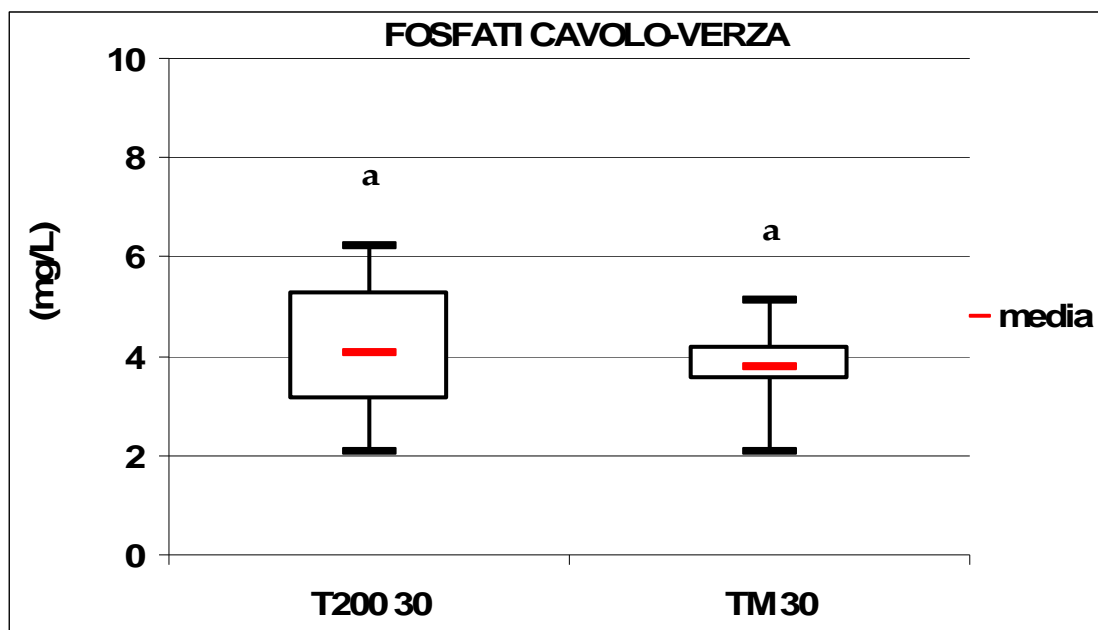


Figura 79 Cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

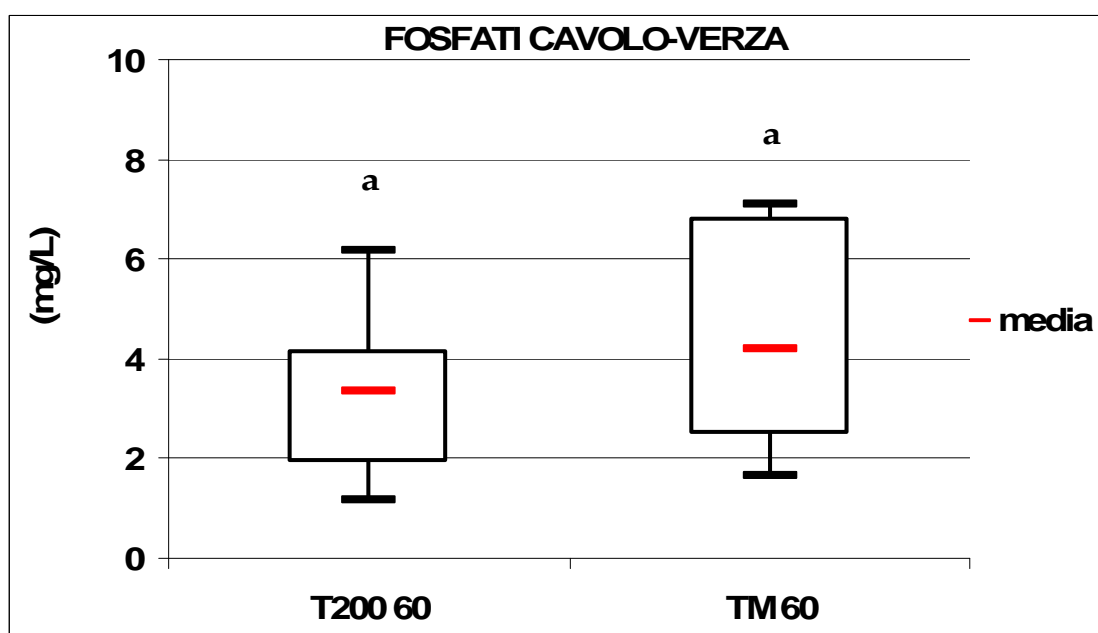


Figura 80 Cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 60 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).



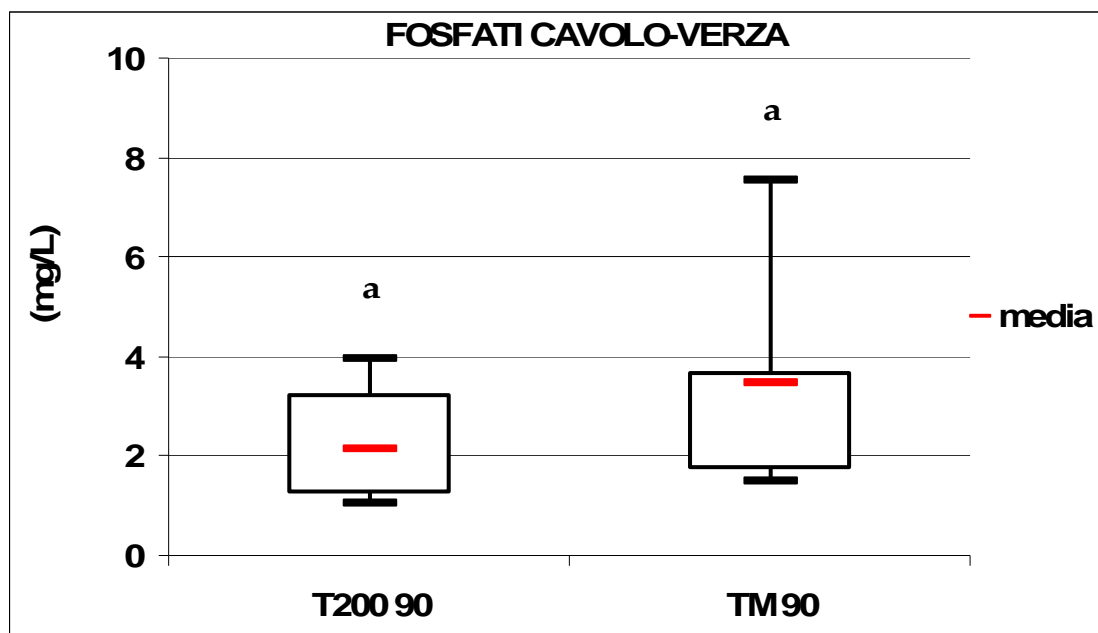


Figura 81 Cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 90 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

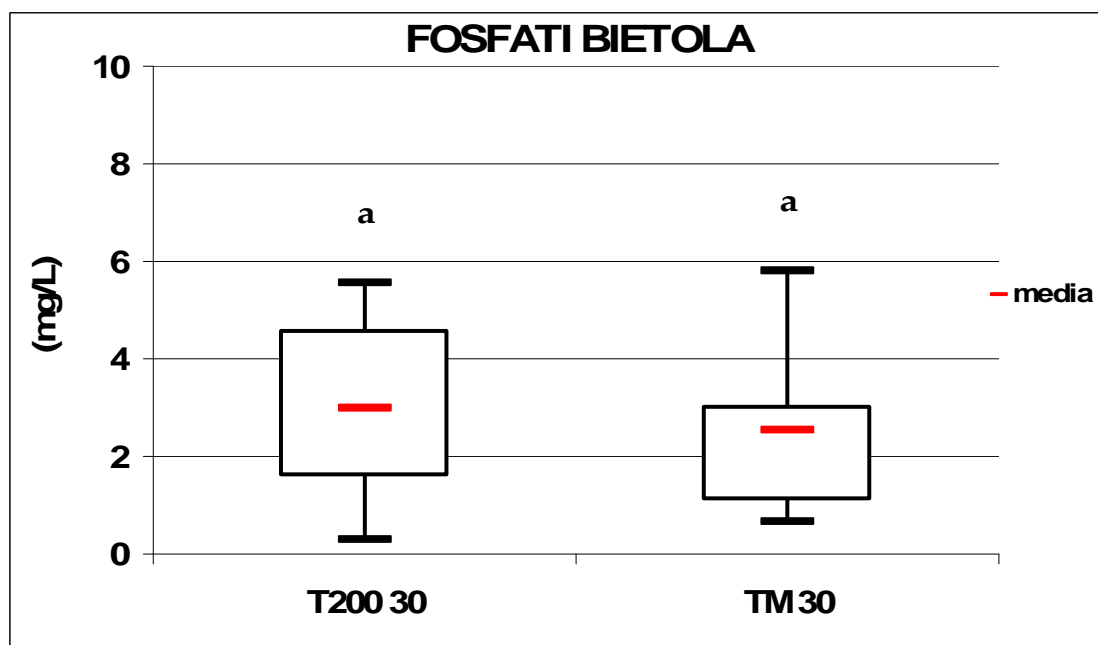


Figura 82 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

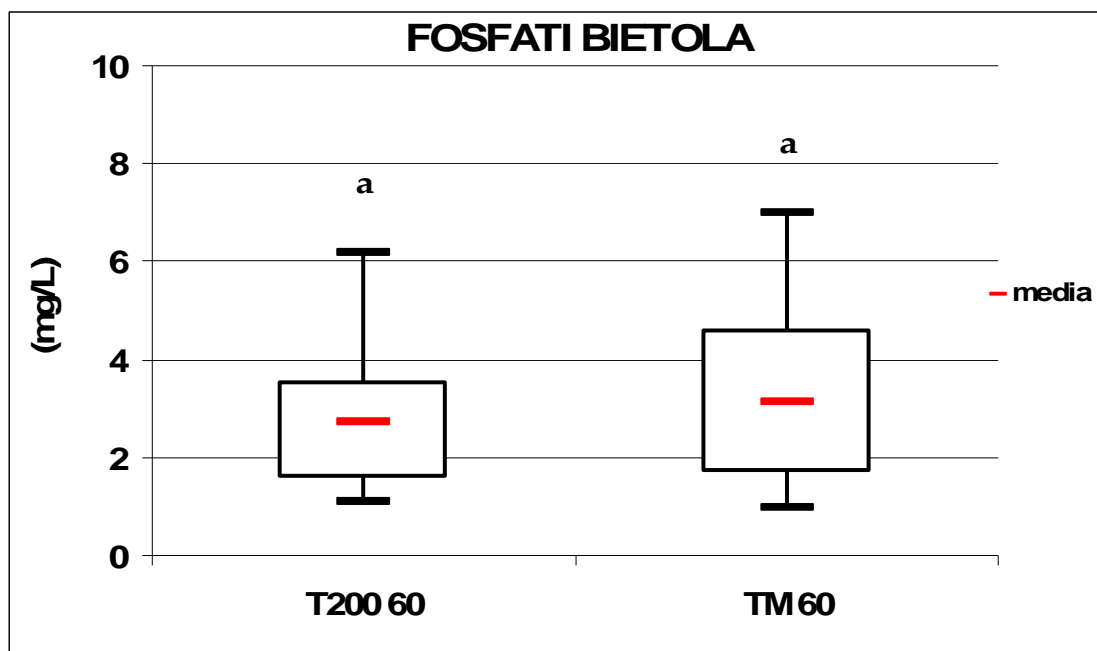


Figura 83 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 60 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

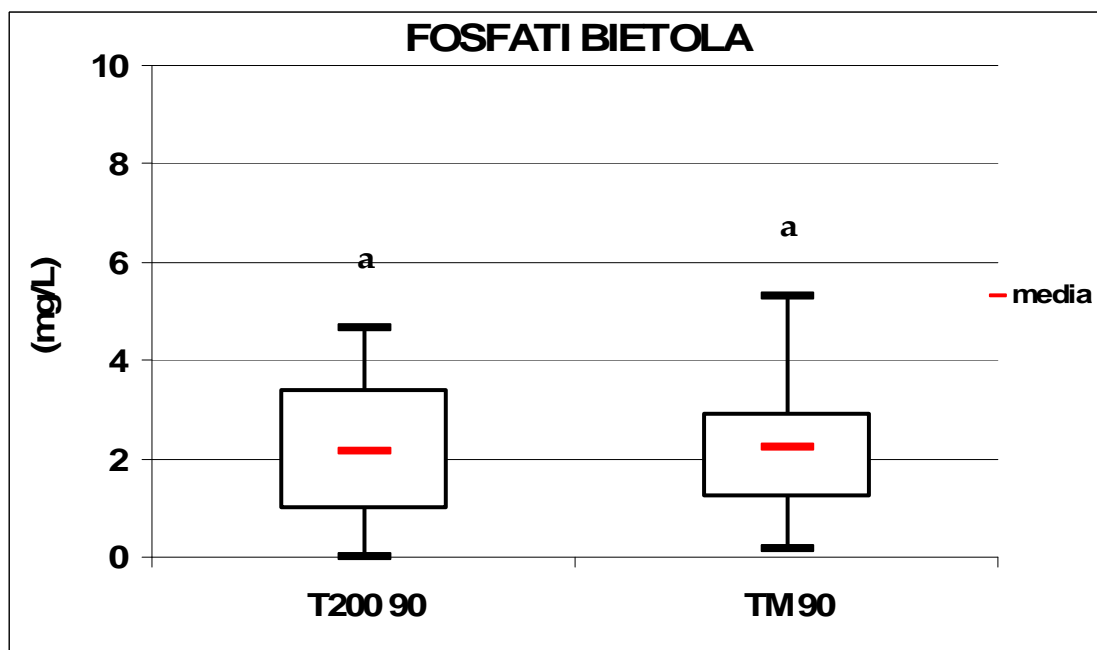


Figura 84 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 60 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

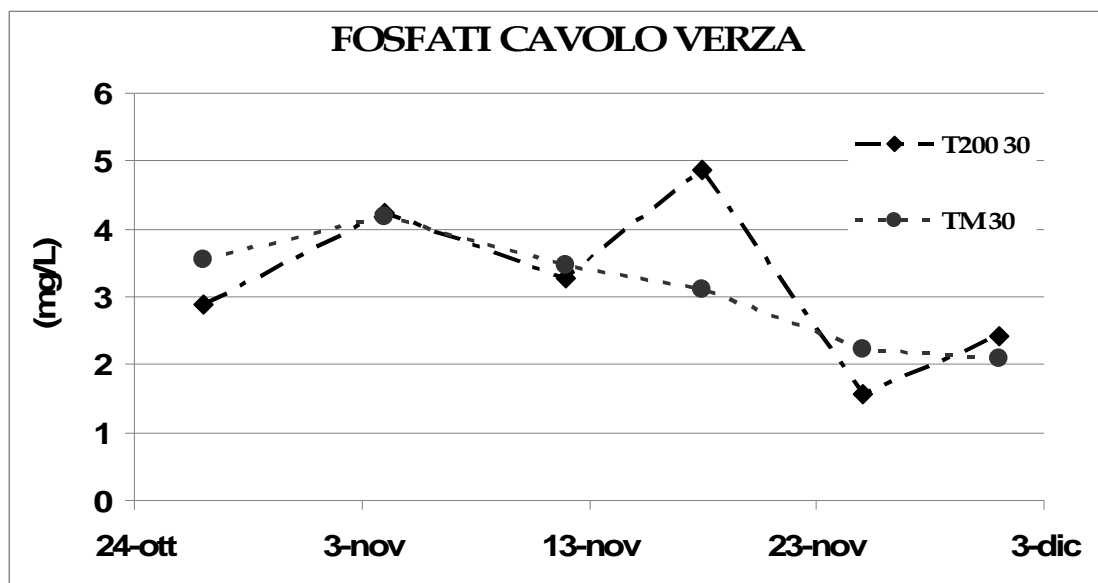


Figura 85 Cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno.

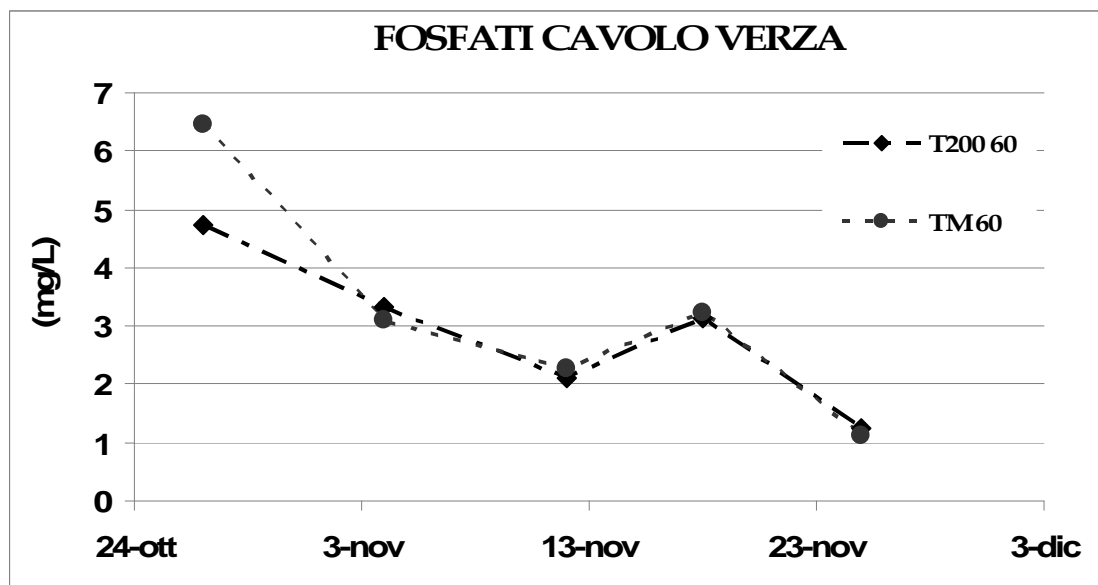


Figura 86 Cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 60 cm nel terreno.

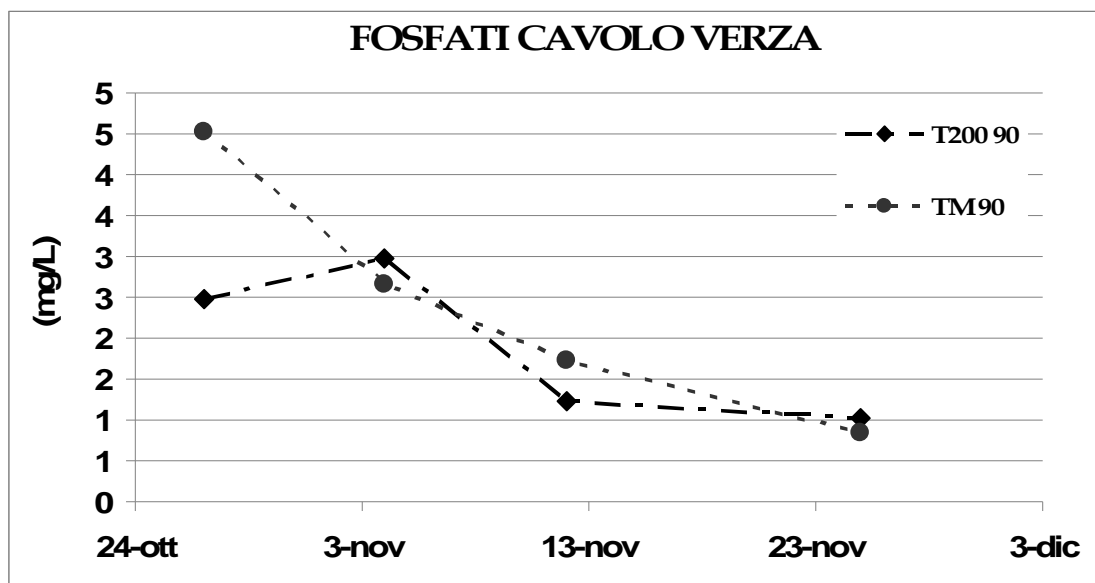


Figura 87 Cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 90 cm nel terreno.

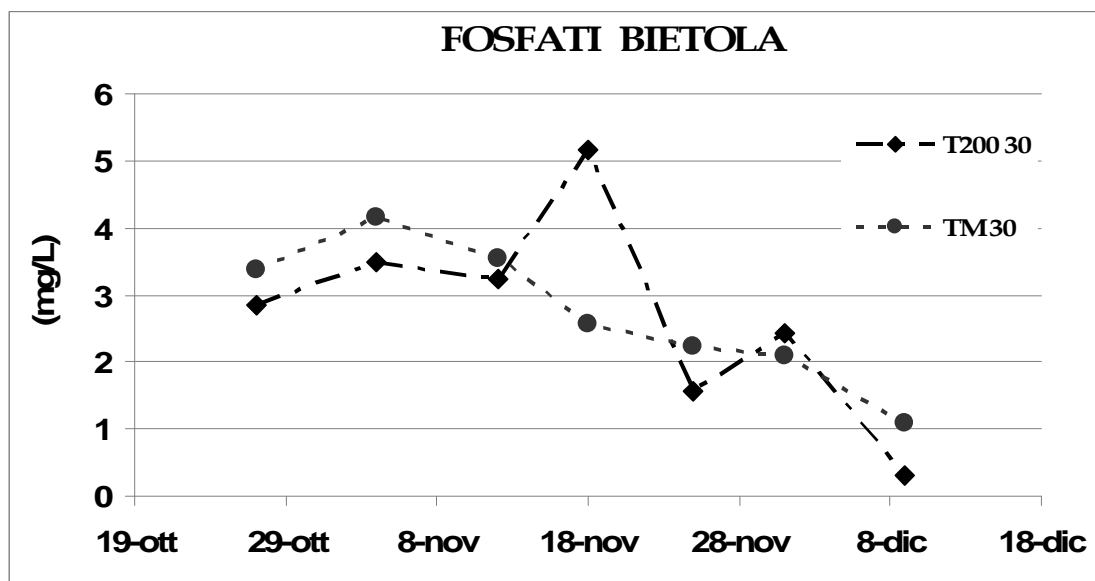


Figura 88 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno.

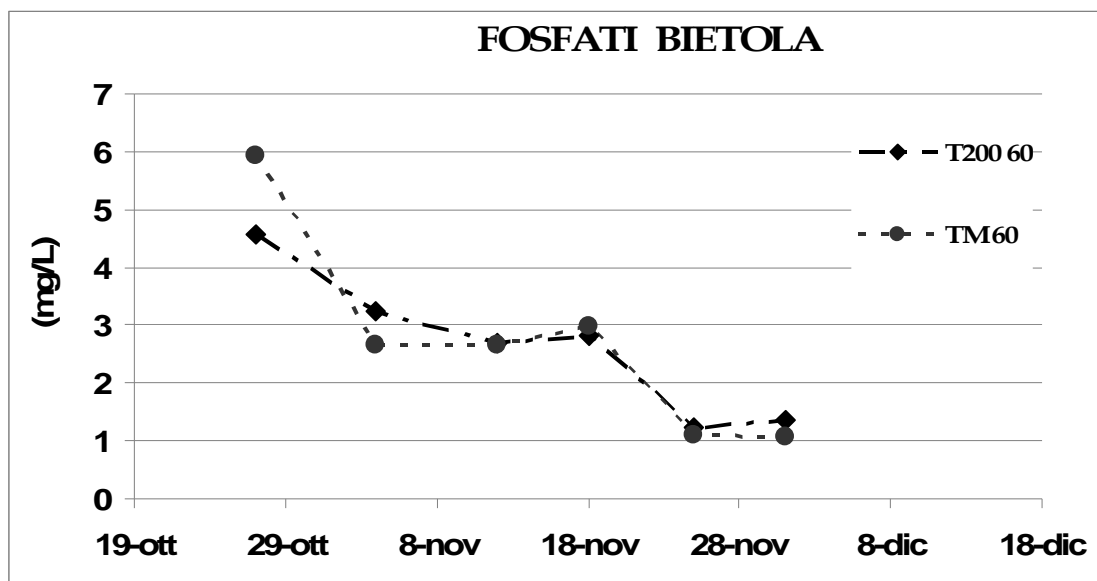


Figura 89 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 60 cm nel terreno.

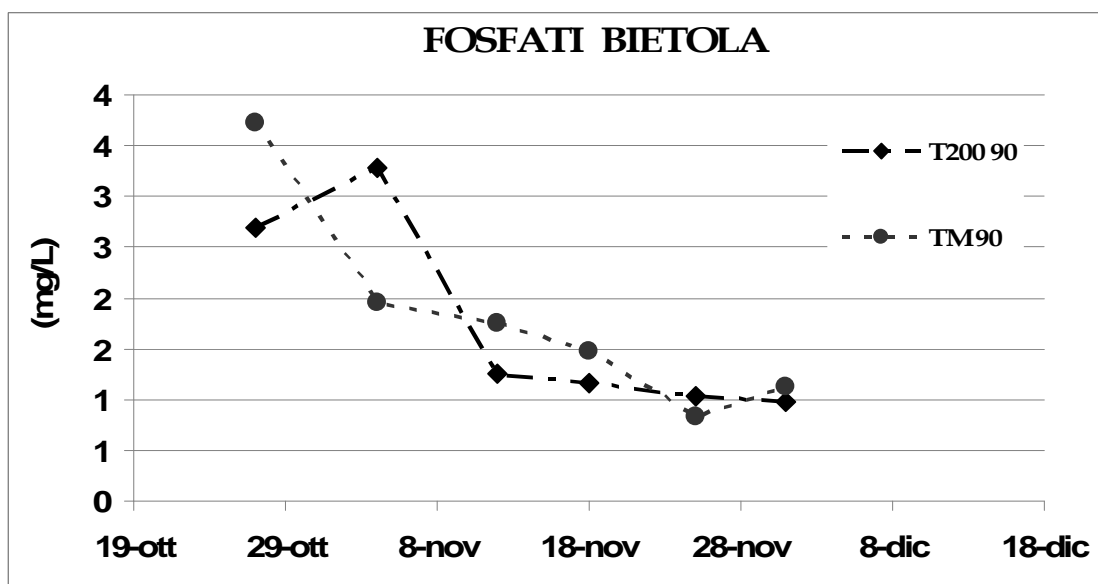


Figura 90 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di fosfati presenti nella soluzione circolante prelevata a 90 cm nel terreno.

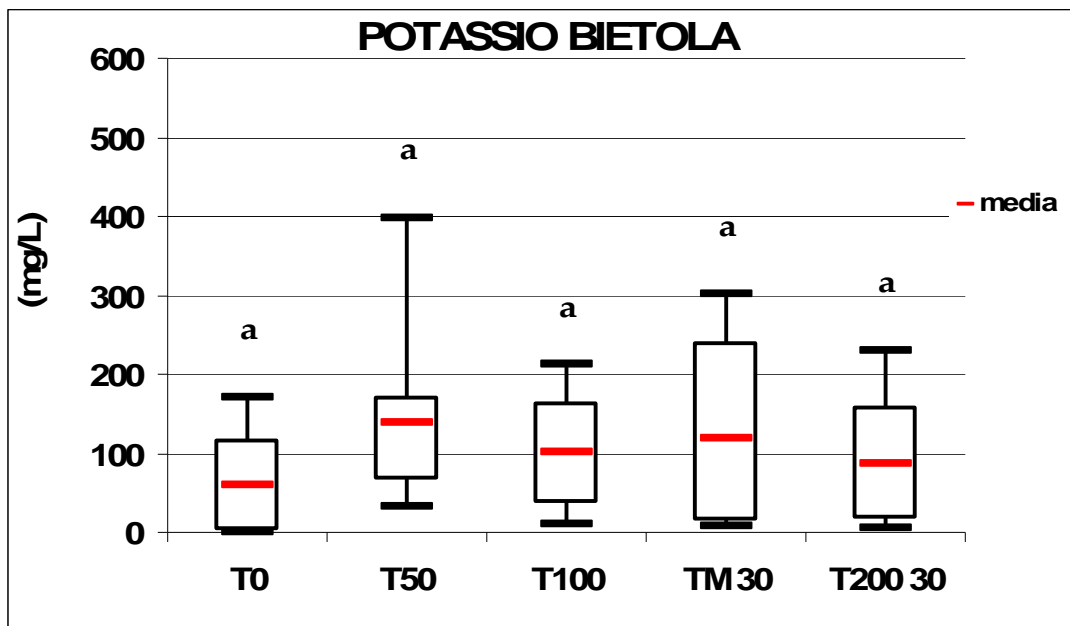


Figura 91 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

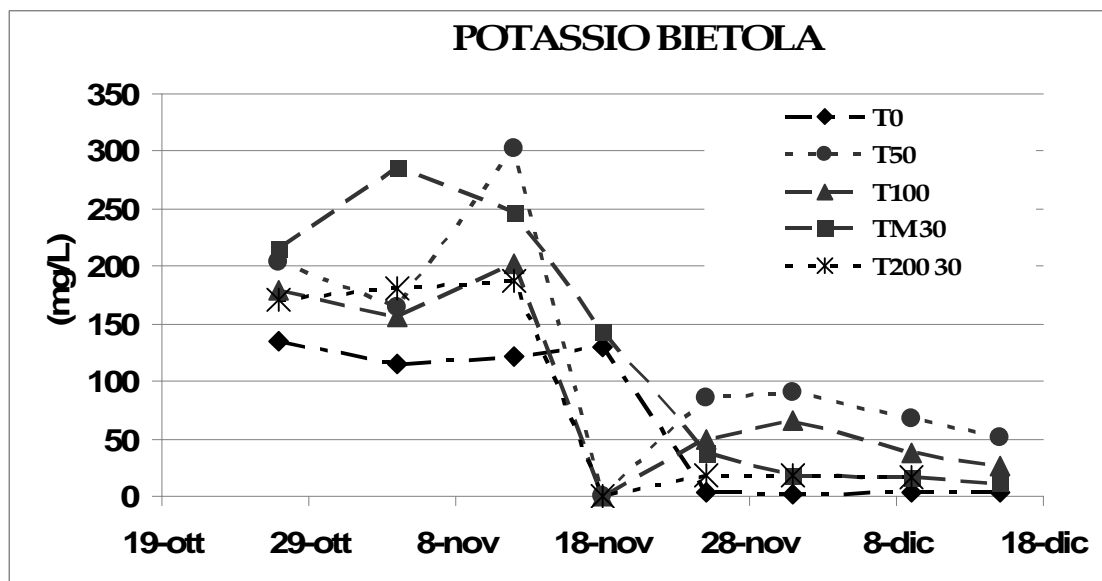


Figura 92 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno.

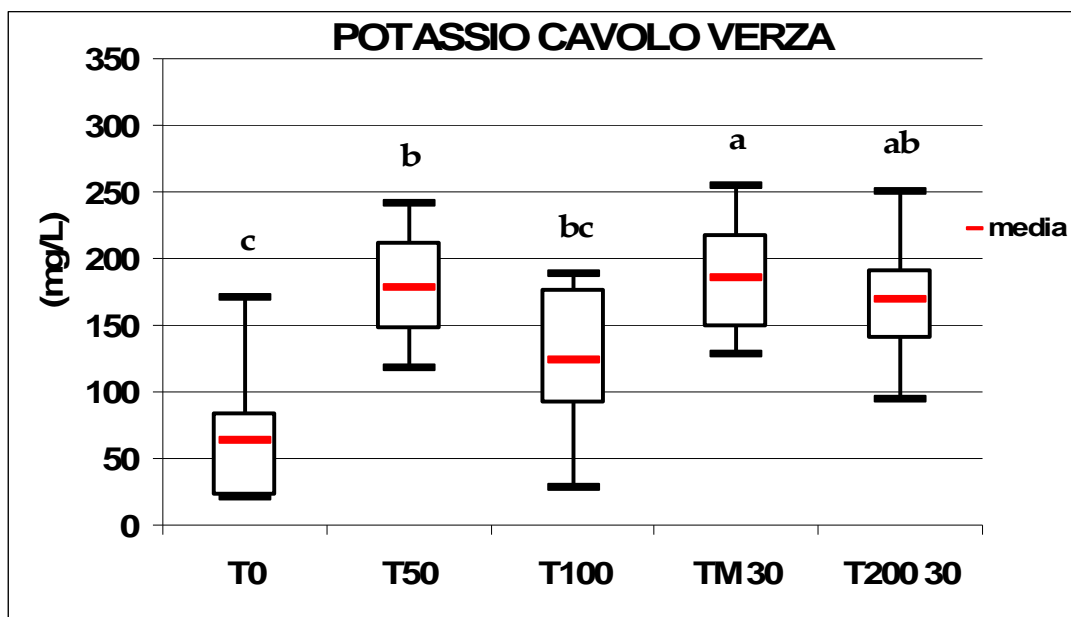


Figura 93 Cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

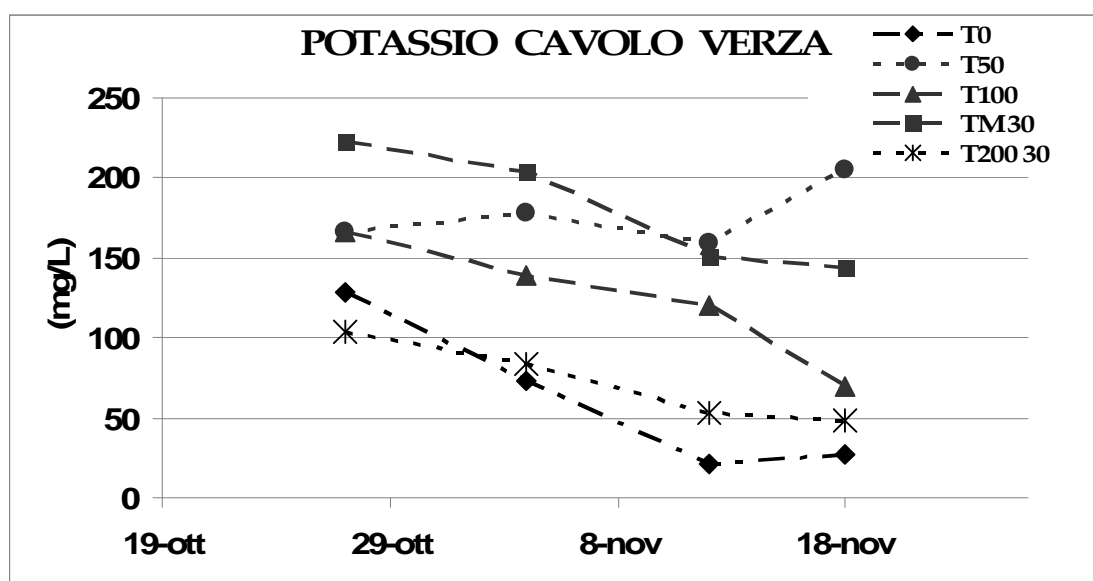


Figura 94 Cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno.

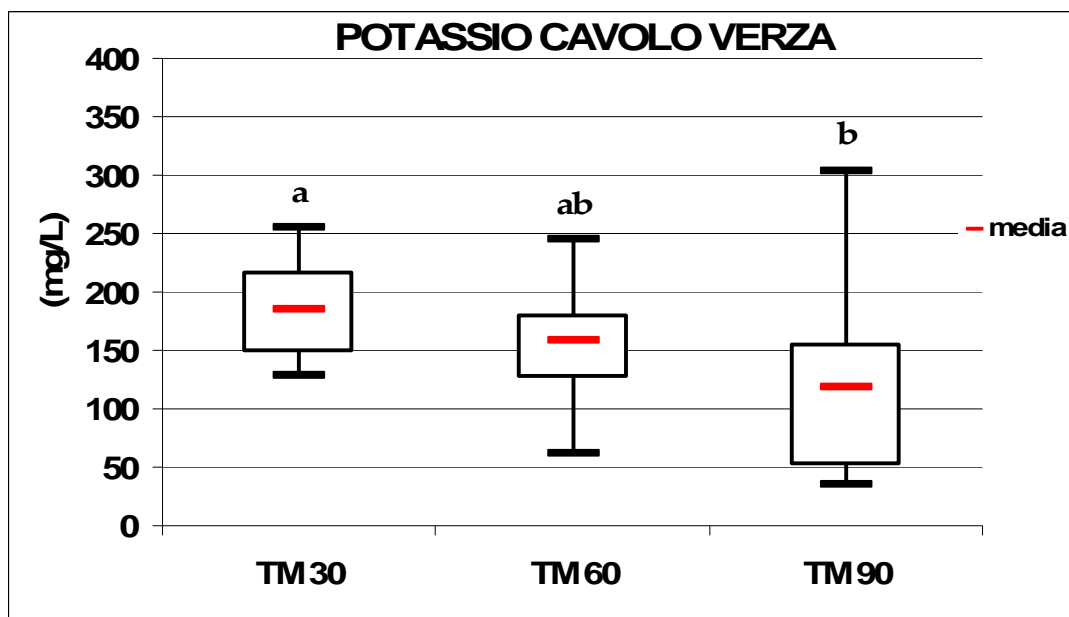


Figura 95 Cavolo verza – Effetto del trattamento fertilizzante minerale (TMIN) e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

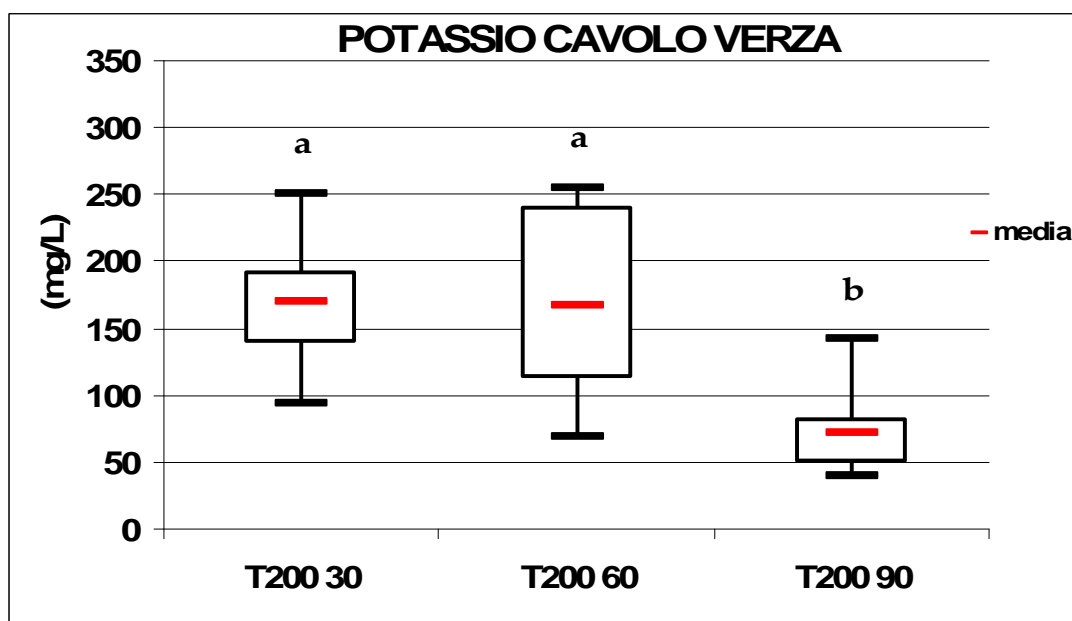


Figura 96 Cavolo verza – Effetto del trattamento fertilizzante T200 e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).



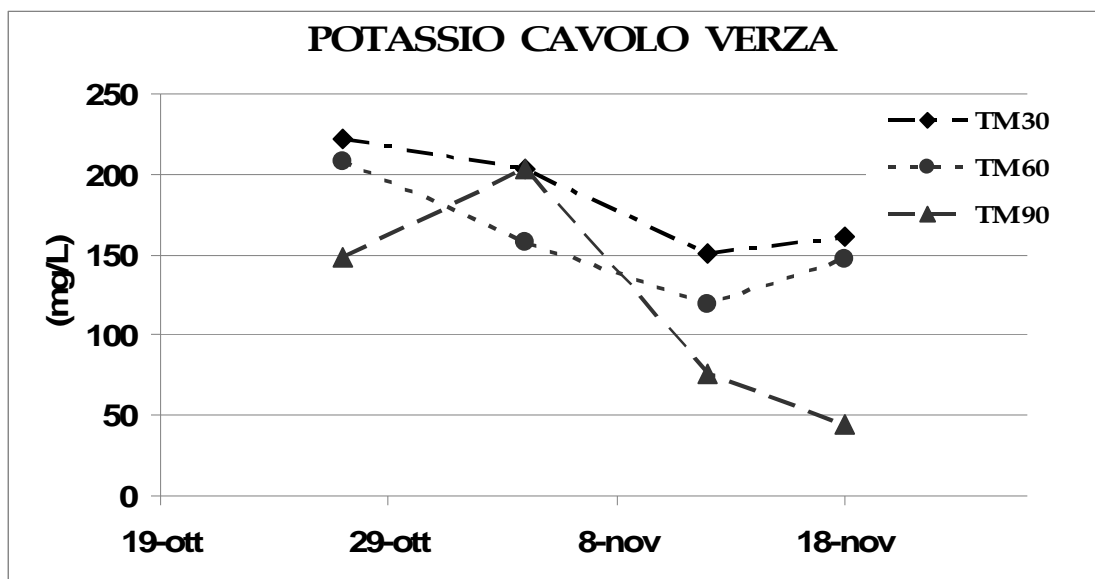


Figura 97 Cavolo verza – Effetto del trattamento fertilizzante minerale (TMIN) e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno.

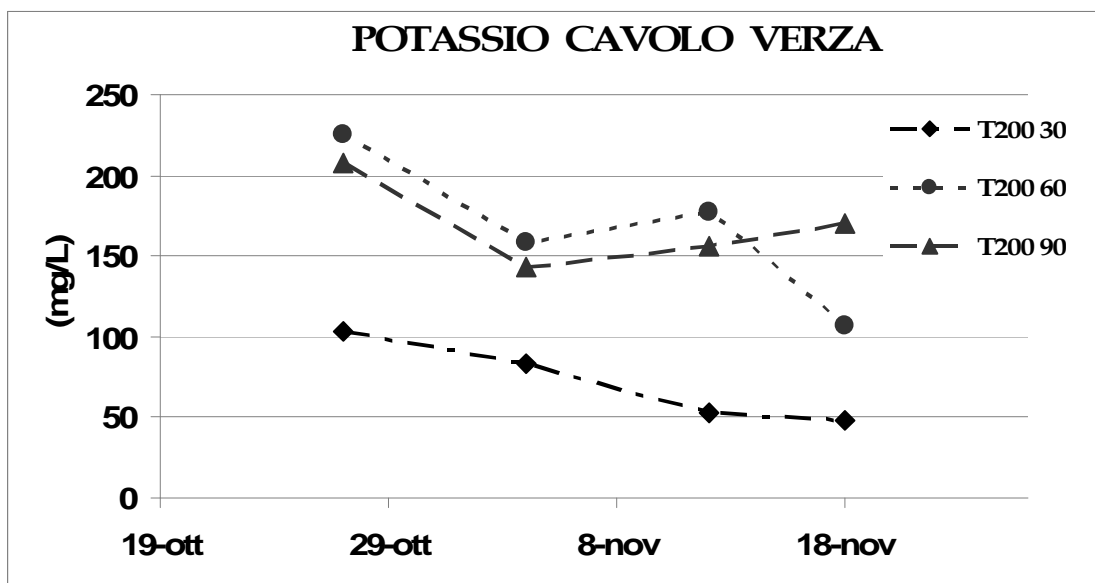


Figura 98 Cavolo verza – Effetto del trattamento fertilizzante minerale (TMIN) e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno.

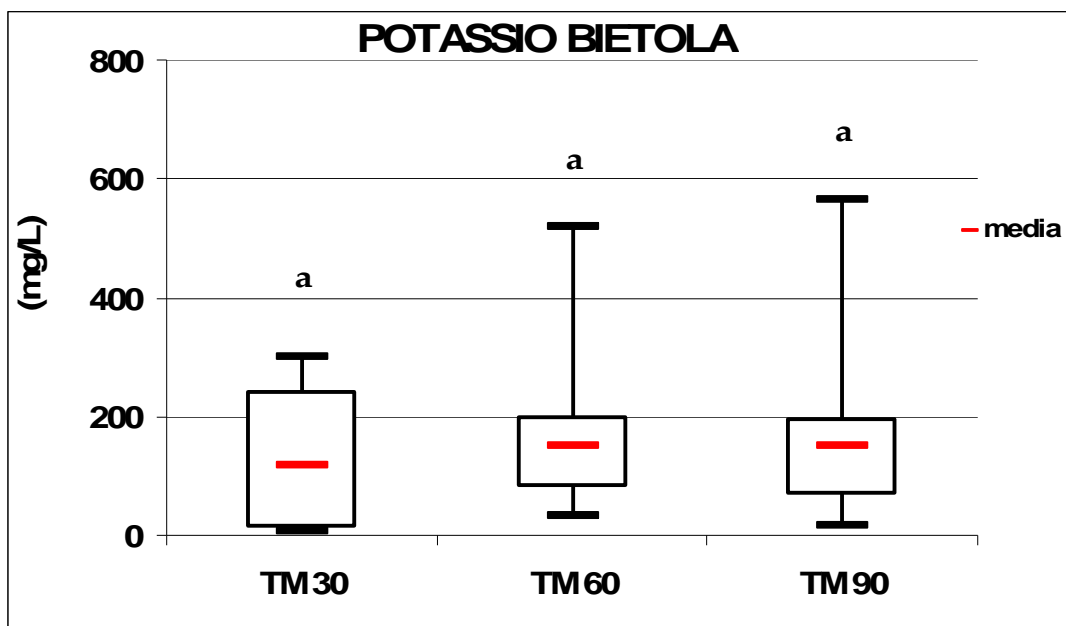


Figura 99 Bietola – Effetto del trattamento fertilizzante minerale (TMIN) e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

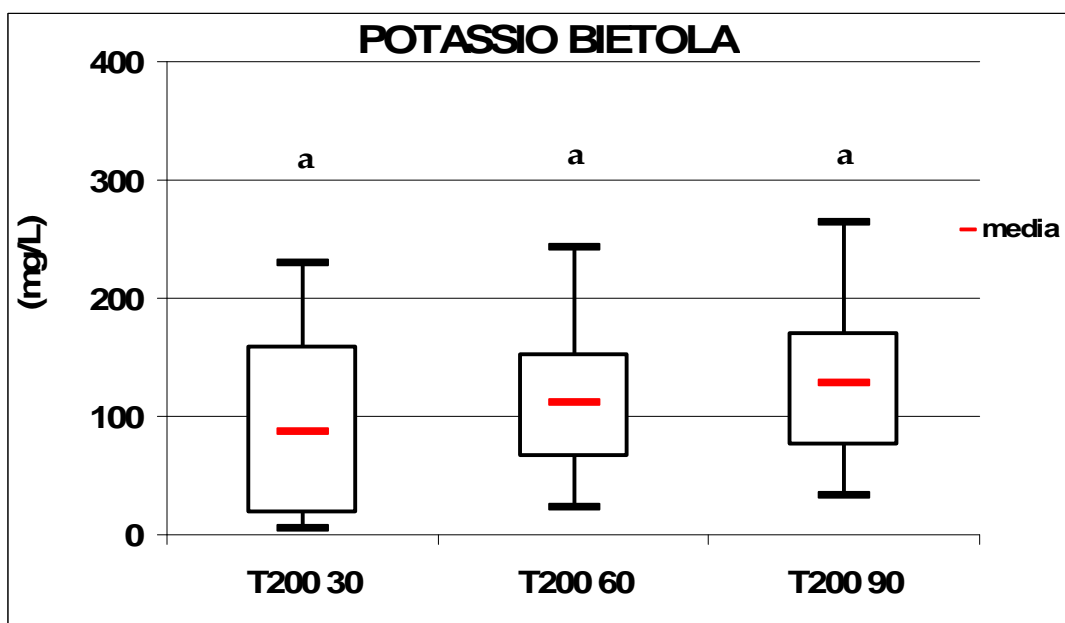


Figura 100 Bietola – Effetto del trattamento fertilizzante T200 e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

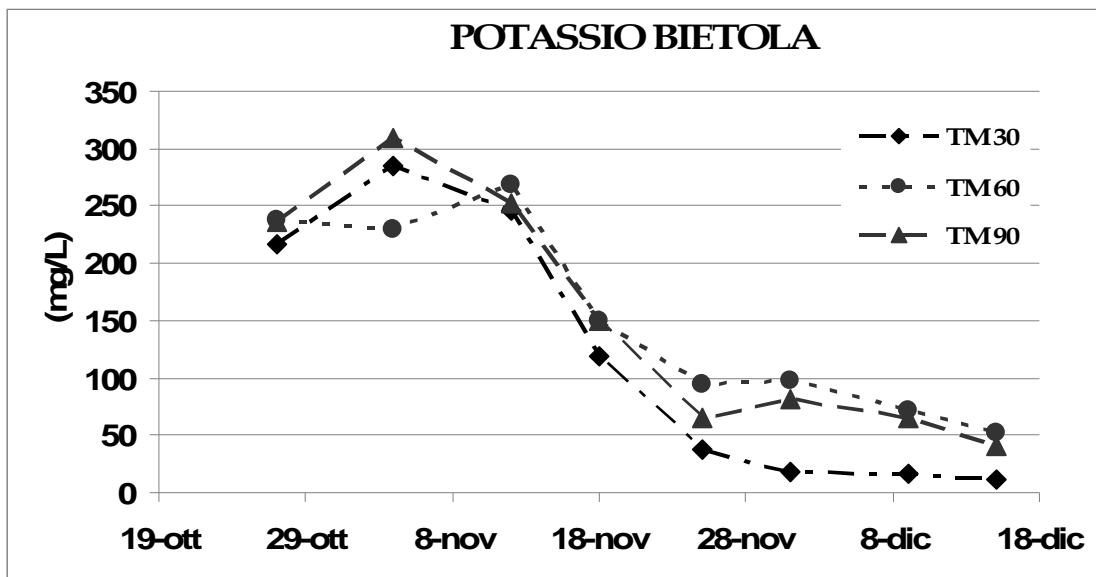


Figura 101 Bietola – Effetto del trattamento fertilizzante T200 e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30, 60 e 90 cm nel terreno.

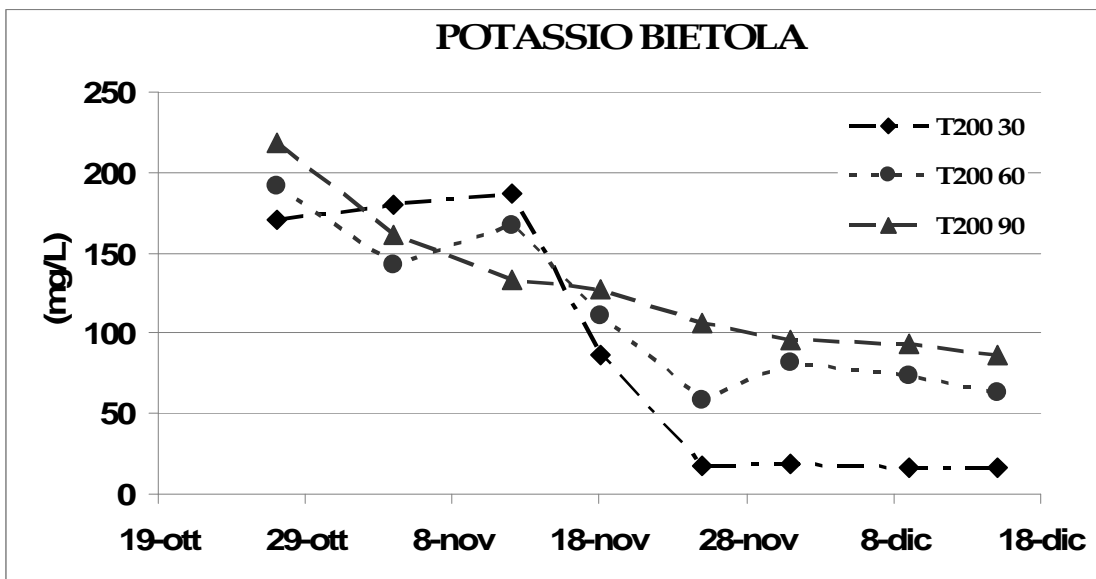


Figura 102 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno.

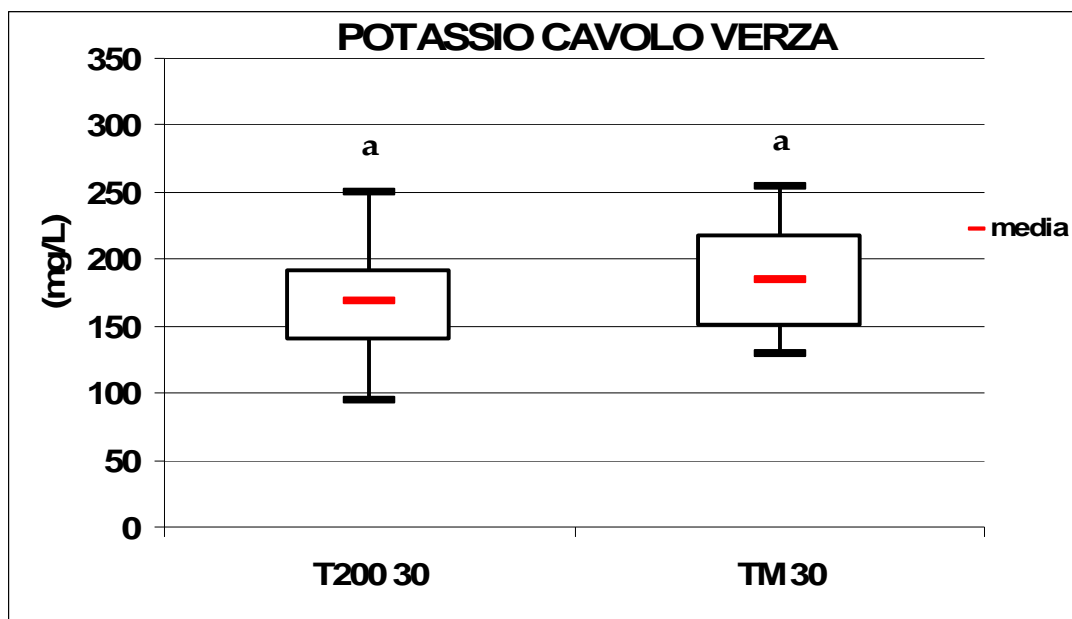


Figura 103 Cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

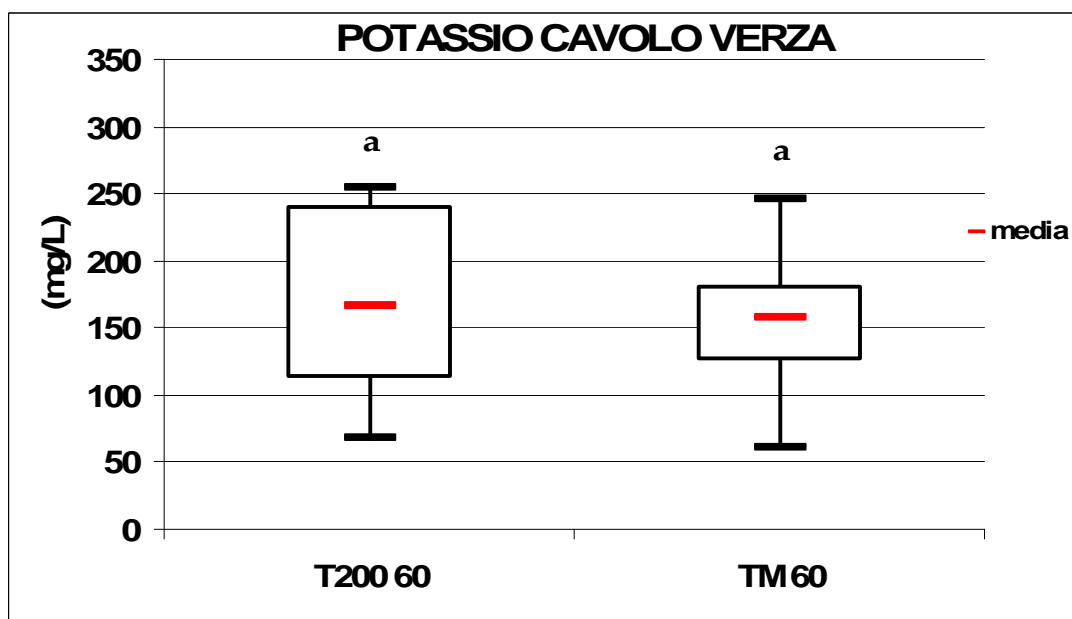


Figura 104 Cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 60 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

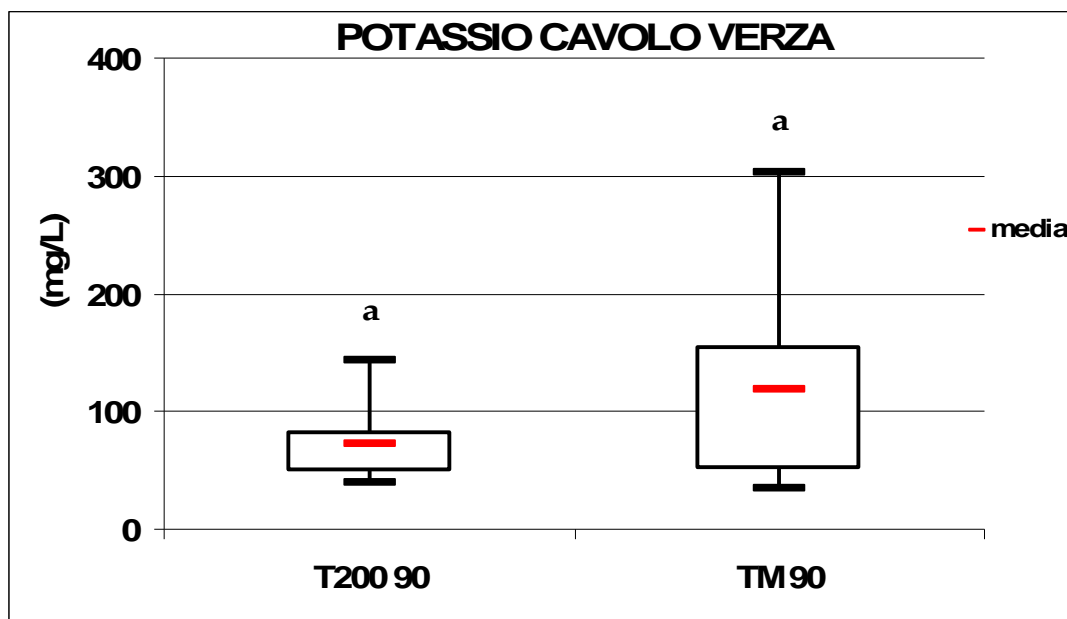


Figura 105 Cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 90 cm nel terreno. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

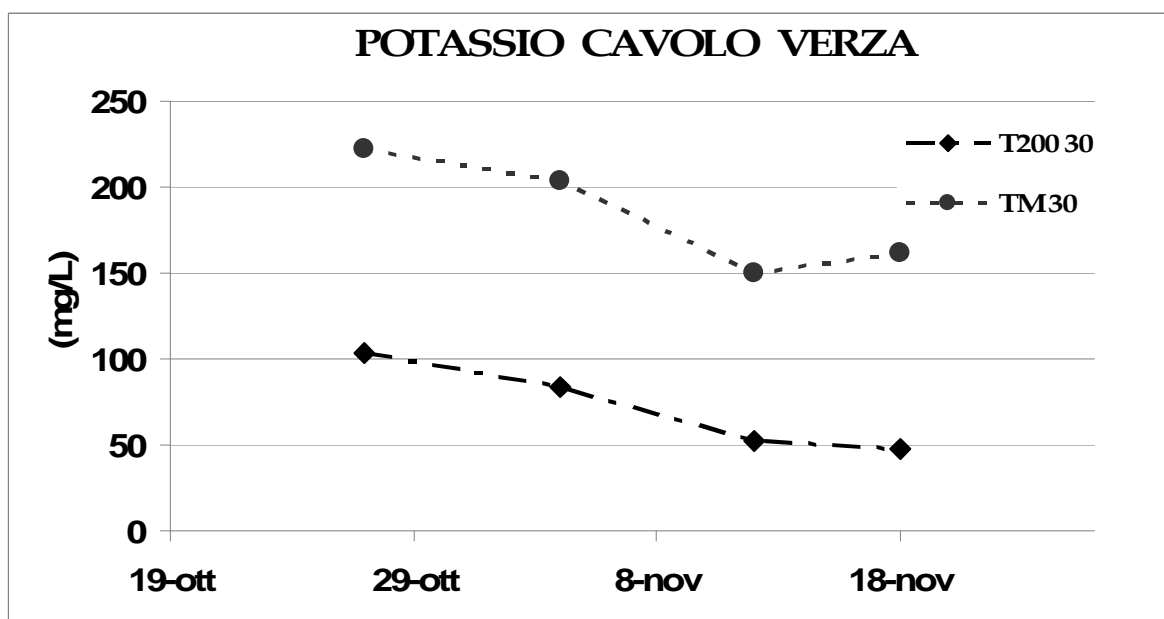


Figura 106 Cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno.

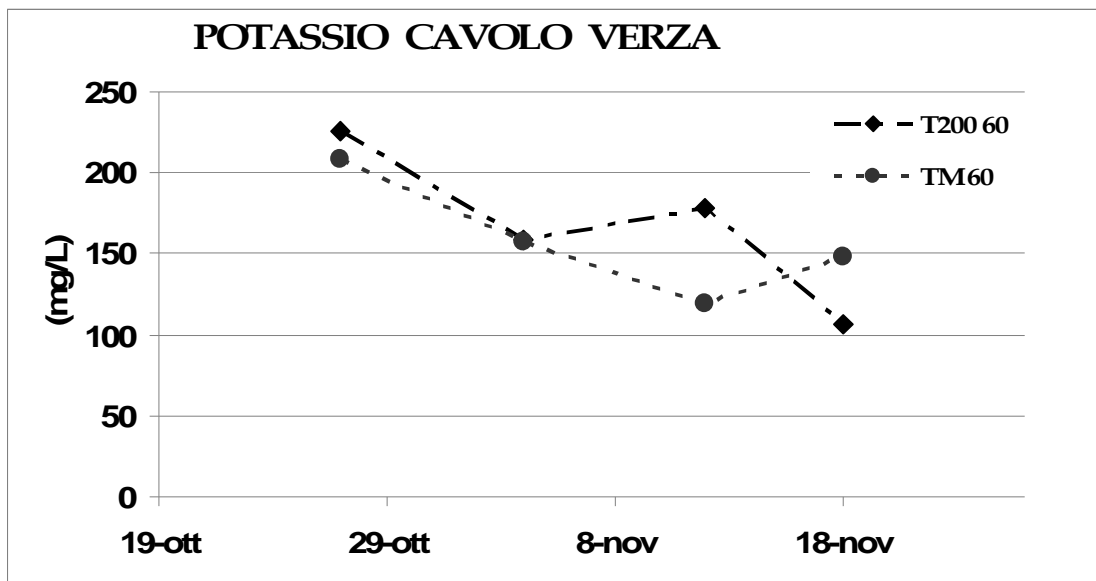


Figura 107 Cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 60 cm nel terreno.

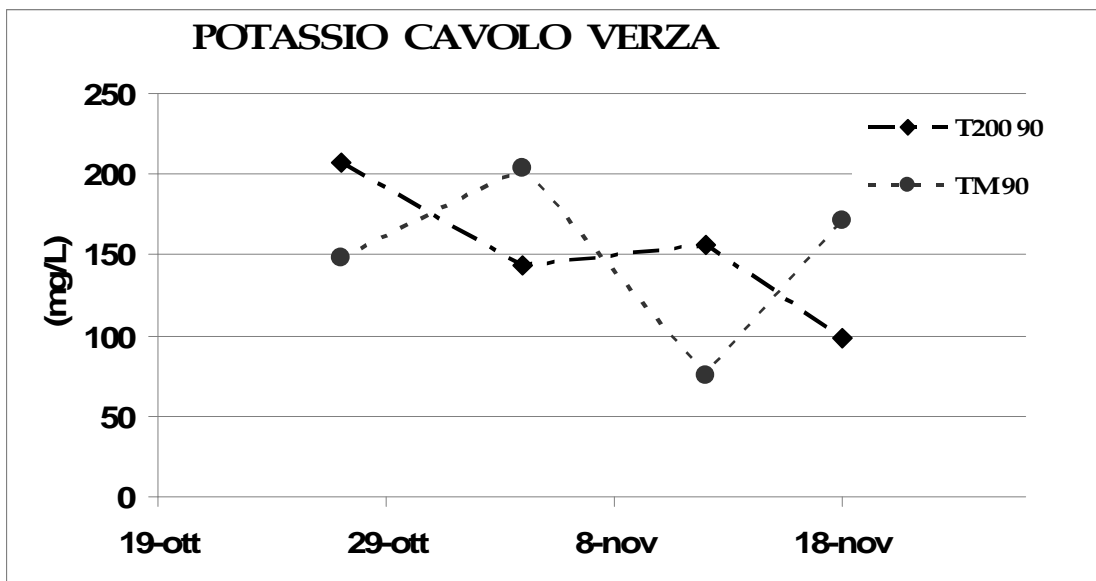


Figura 108 Cavolo verza – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 90 cm nel terreno.

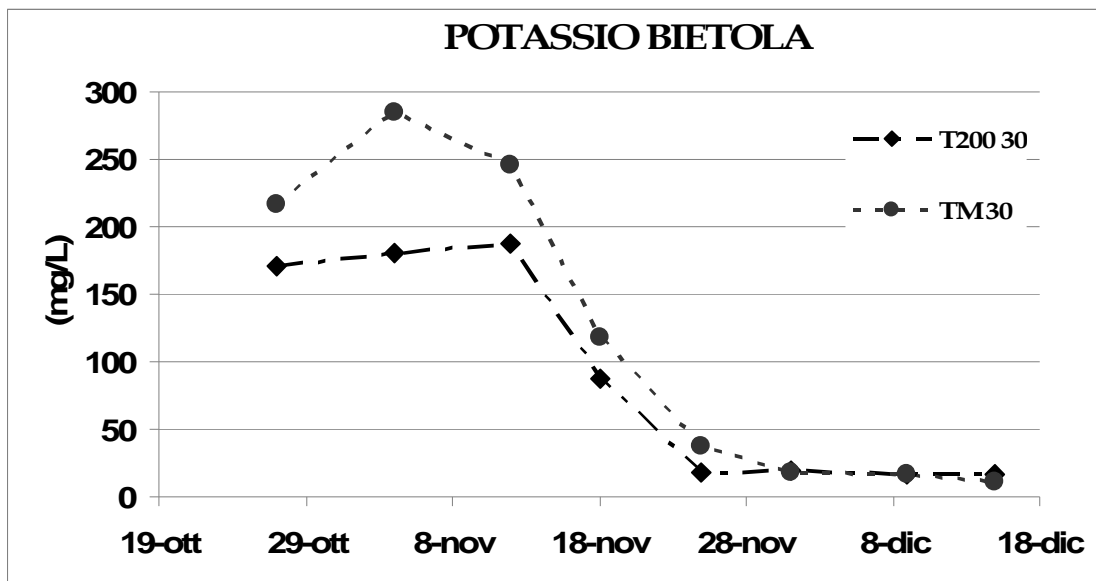


Figura 109 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 30 cm nel terreno.

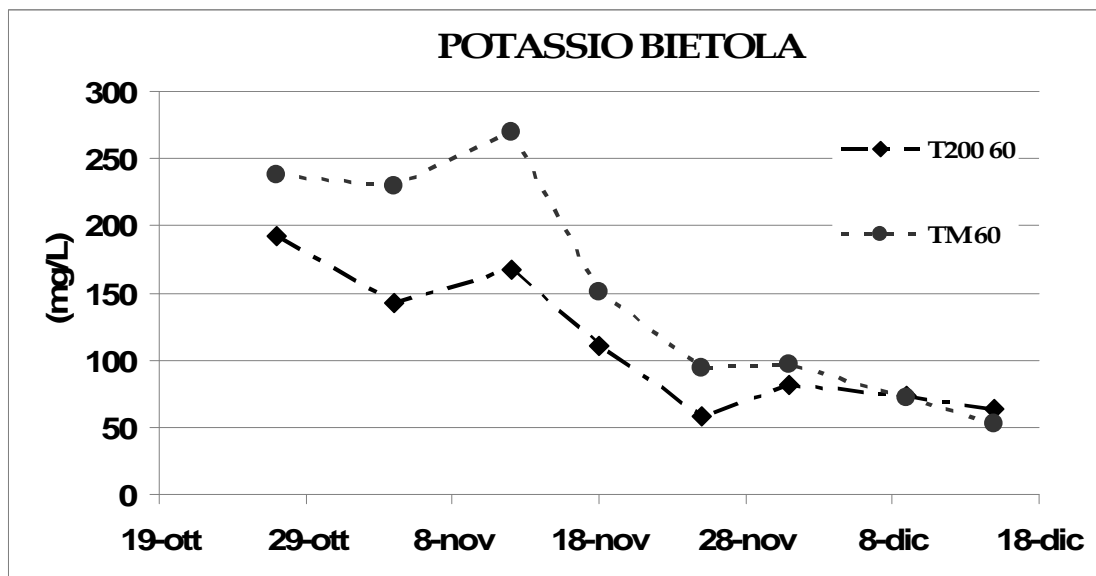


Figura 110 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 60 cm nel terreno.

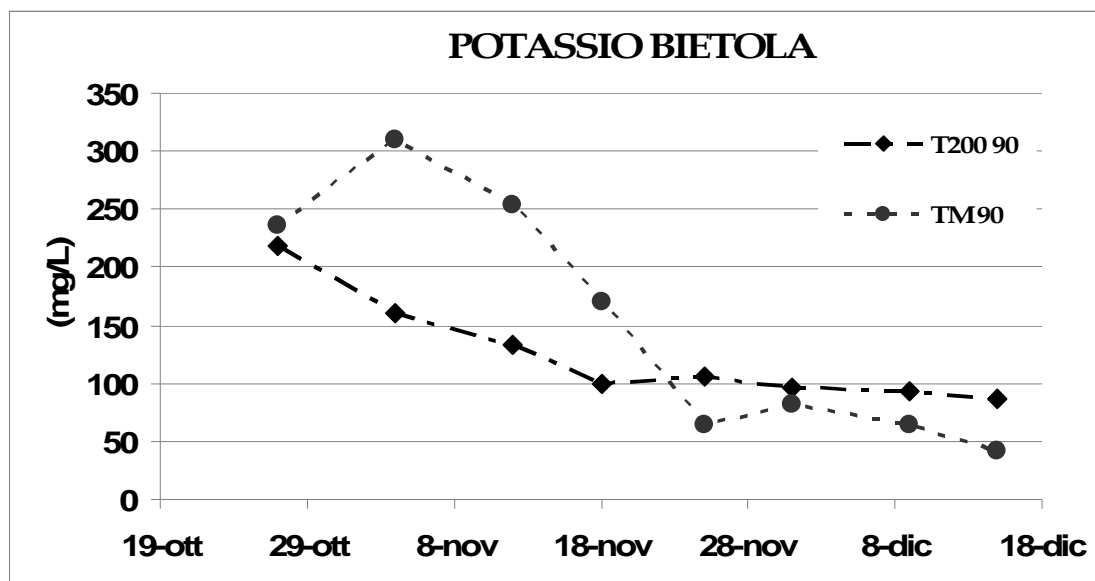


Figura 111 Bietola – Effetto dei trattamenti fertilizzanti TMIN e T200 e della specie coltivata nella concentrazione di potassio presenti nella soluzione circolante prelevata a 90 cm nel terreno.

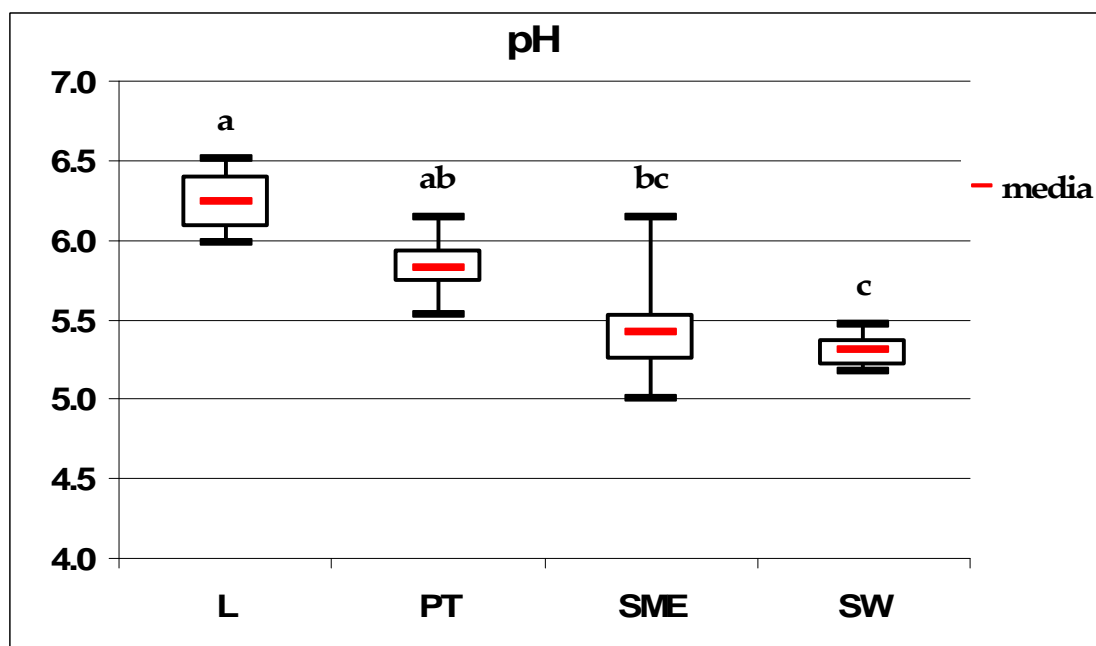


Figura 112 pH – Effetto dei trattamenti fertilizzante 200 ppm di azoto nella soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2 v/v.



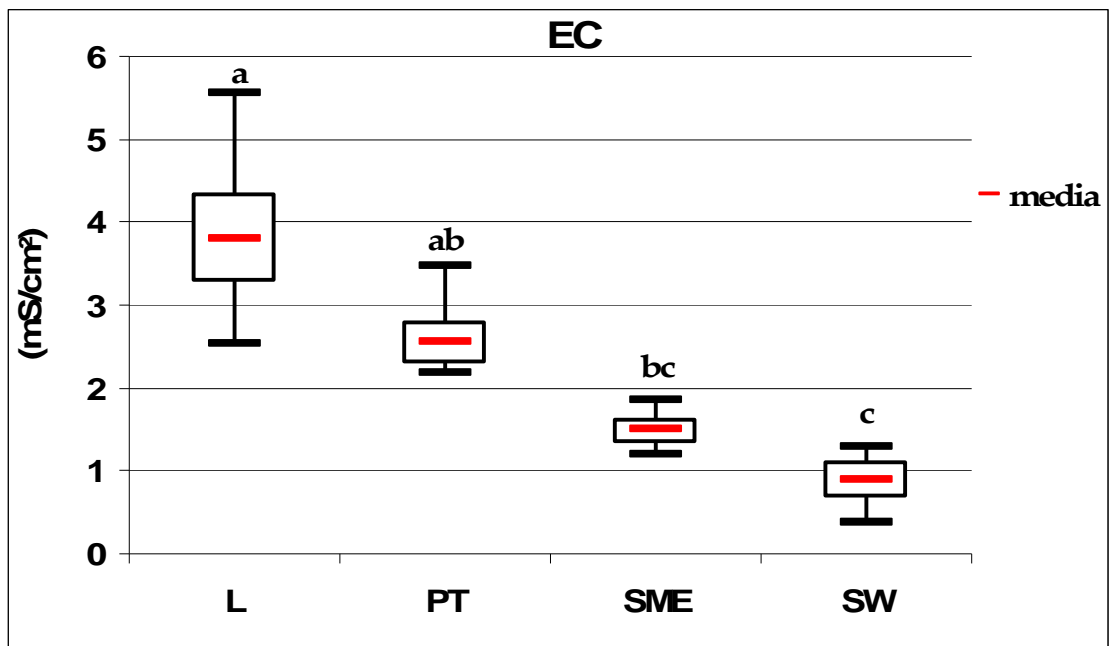


Figura 113 EC – Effetto del trattamenti fertilizzante 200 ppm di azoto nella soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

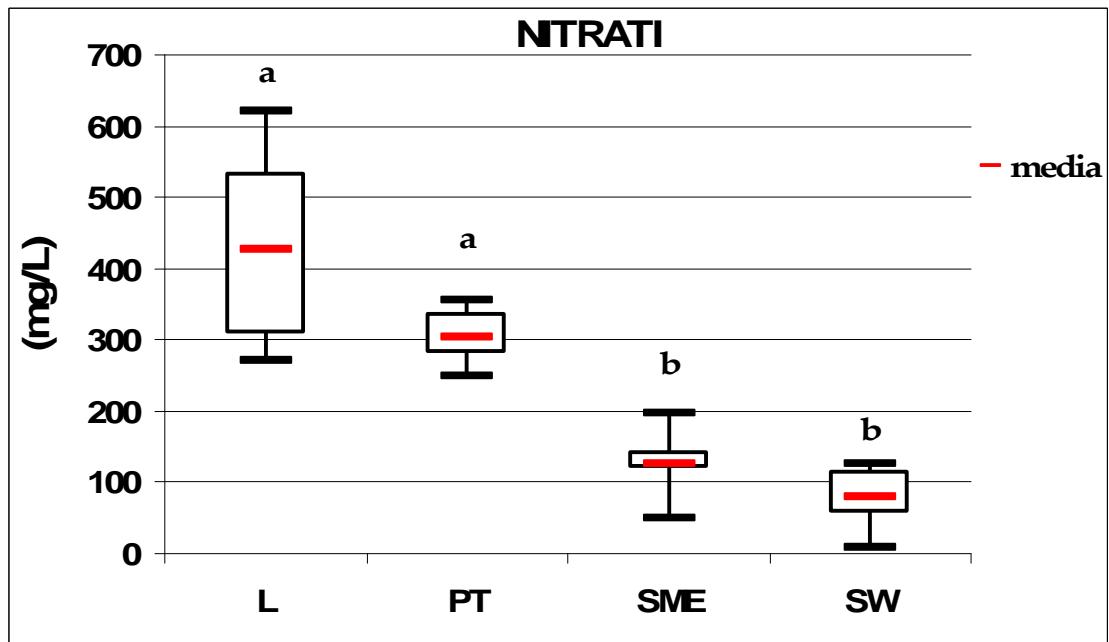


Figura 114 Nitrati – Effetto del trattamenti fertilizzante 200 ppm di azoto nella concentrazione di nitrati della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

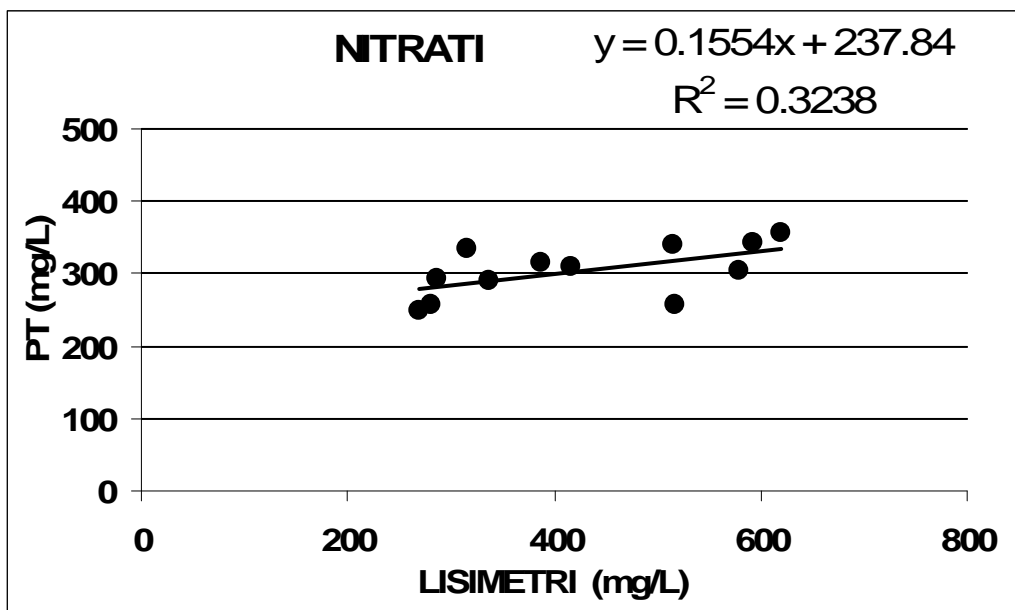


Figura 115 Nitrati – Relazione tra il contenuto di nitrati rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PourThru.

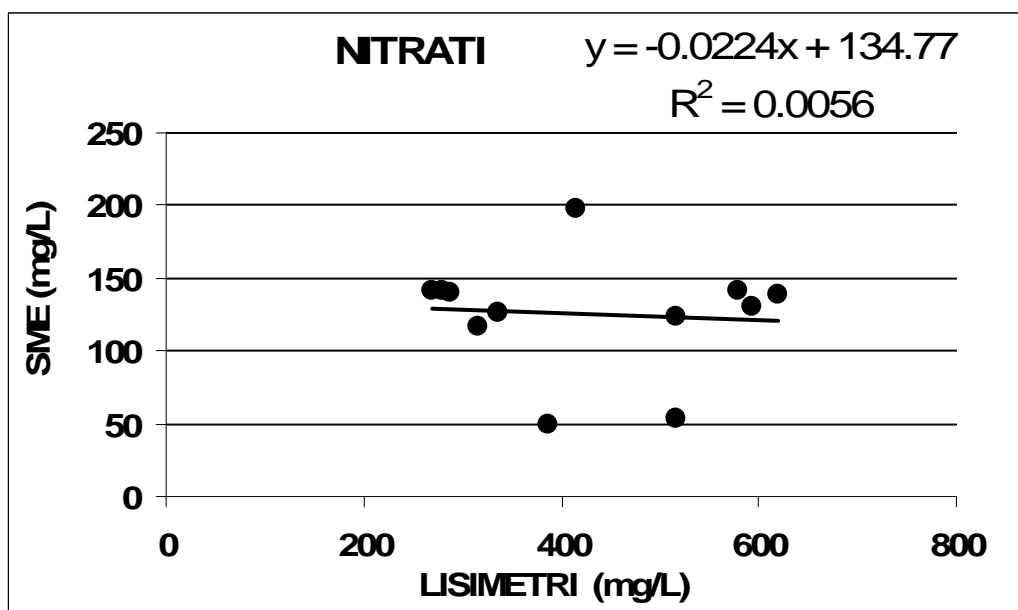


Figura 116 Nitrati – Relazione tra il contenuto di nitrati rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo SME.

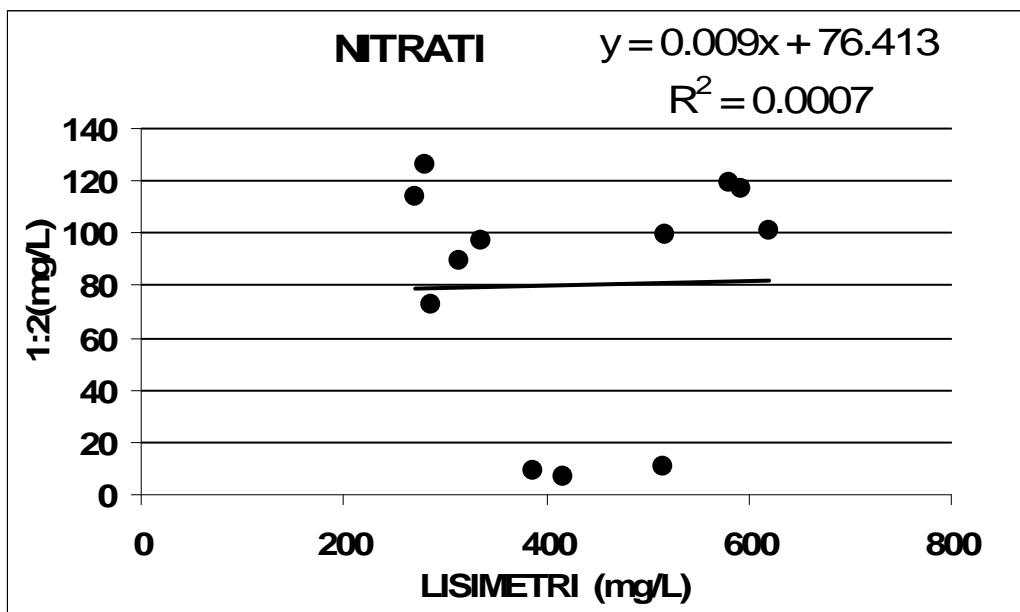


Figura 117 Nitrati – Relazione tra il contenuto di nitrati rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo 1:2.

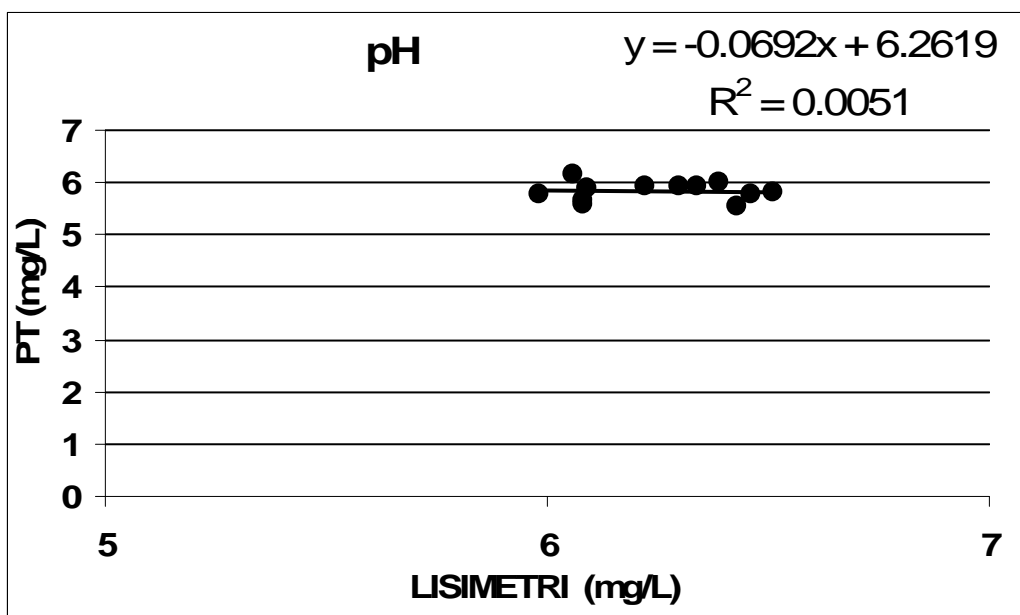


Figura 118 pH – Relazione tra il valore del pH rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PourThru.

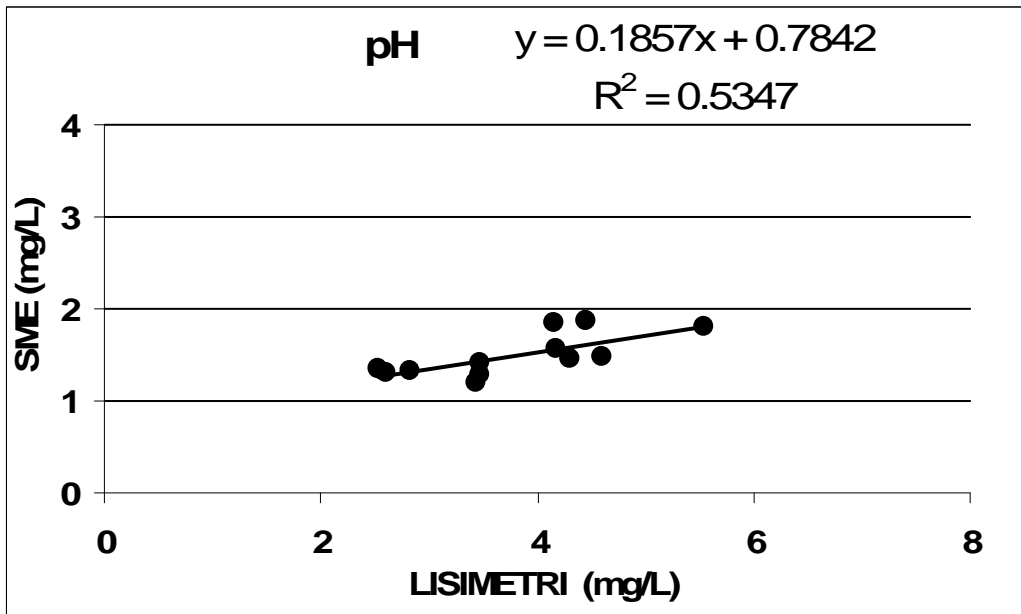


Figura 119 pH – Relazione tra il valore del pH rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo SME.

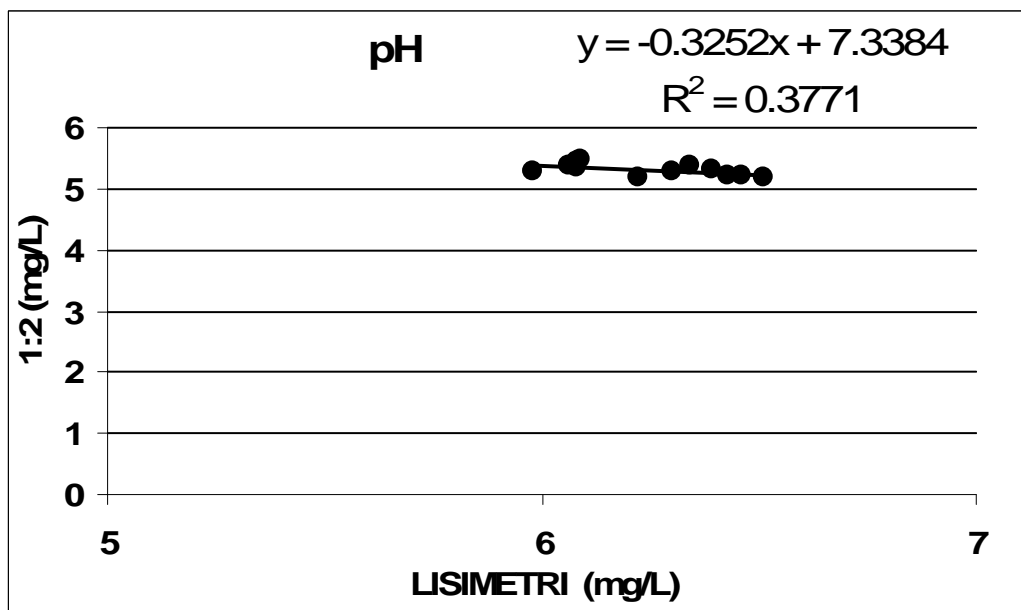


Figura 120 pH – Relazione tra il valore del pH rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo 1:2.

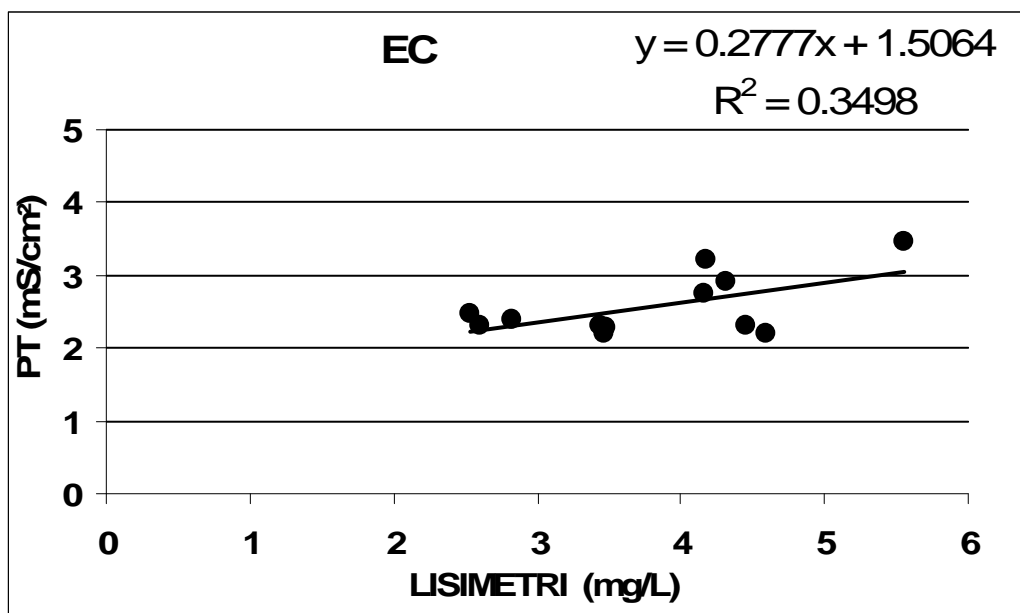


Figura 121 EC – Relazione tra il valore della conducibilità elettrica rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PourThru.

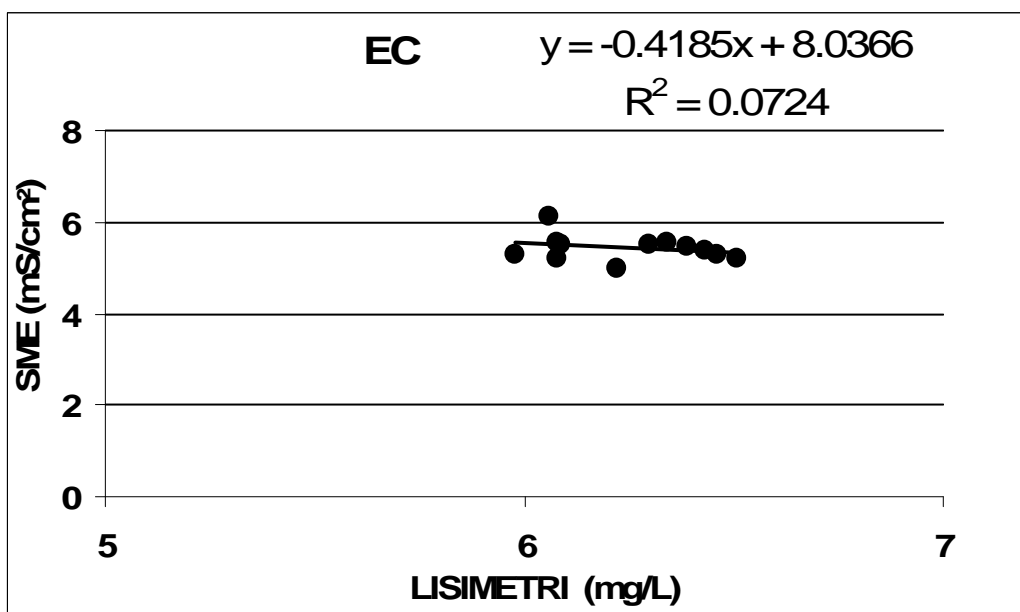


Figura 122 EC – Relazione tra il valore della conducibilità elettrica rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo SME.

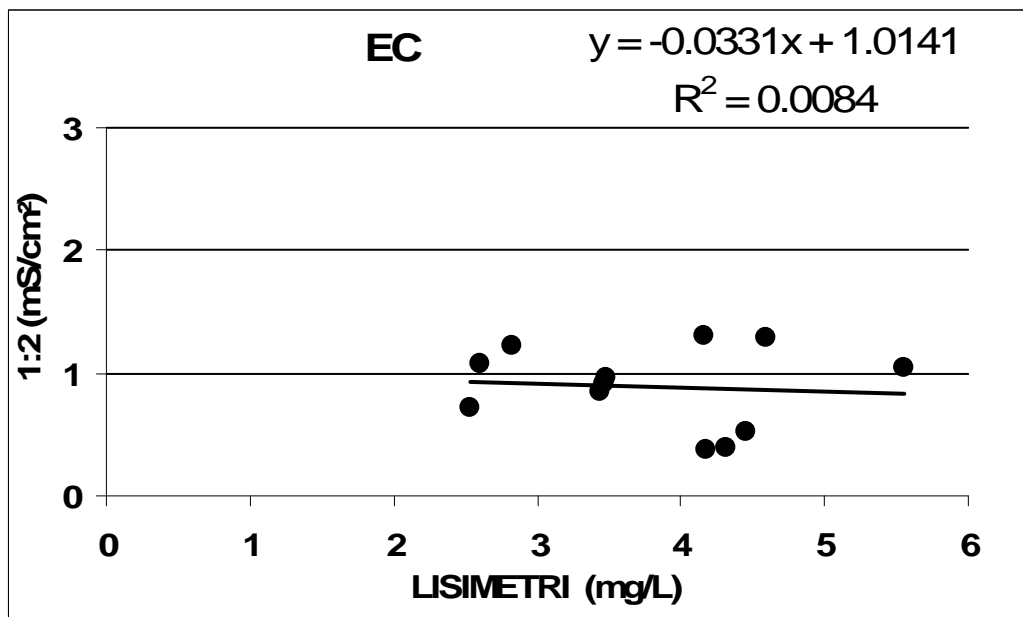


Figura 123 EC – Relazione tra il valore della conducibilità elettrica rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo 1:2.

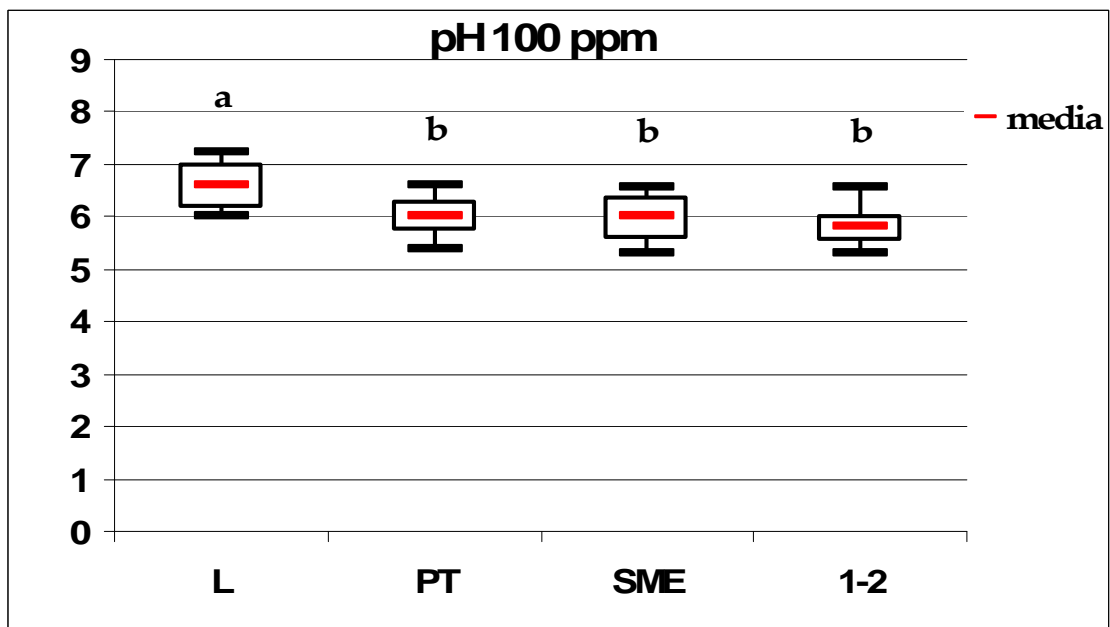


Figura 124 pH – Effetto del trattamento fertilizzante 100 ppm di azoto nei valori di pH della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

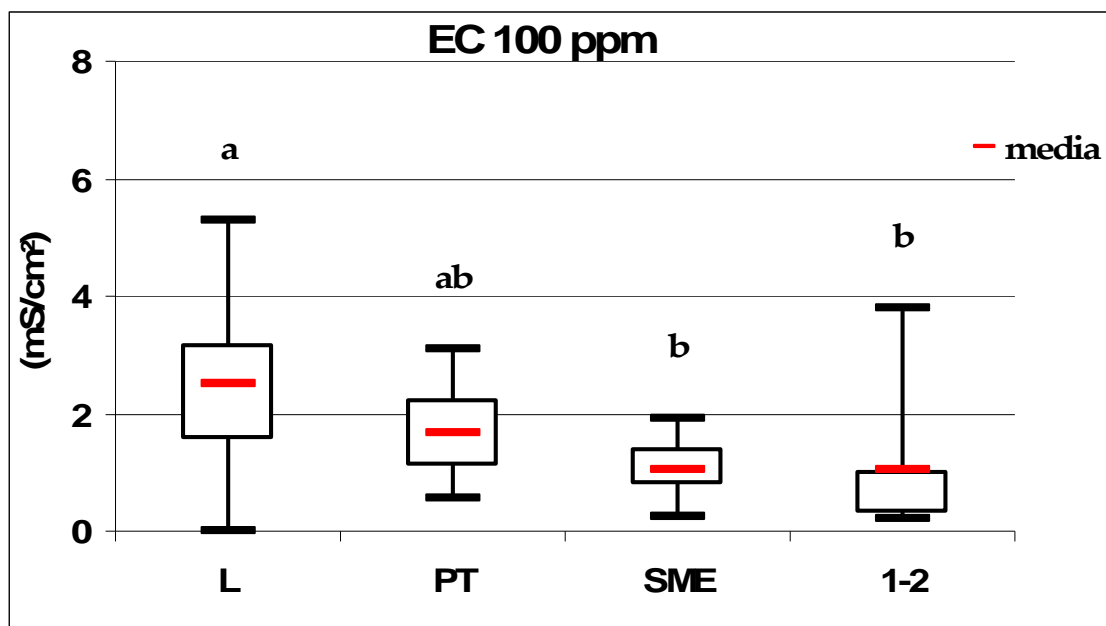


Figura 125 EC – Effetto del trattamento fertilizzante 100 ppm di azoto sui valori di conducibilità della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan).

L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

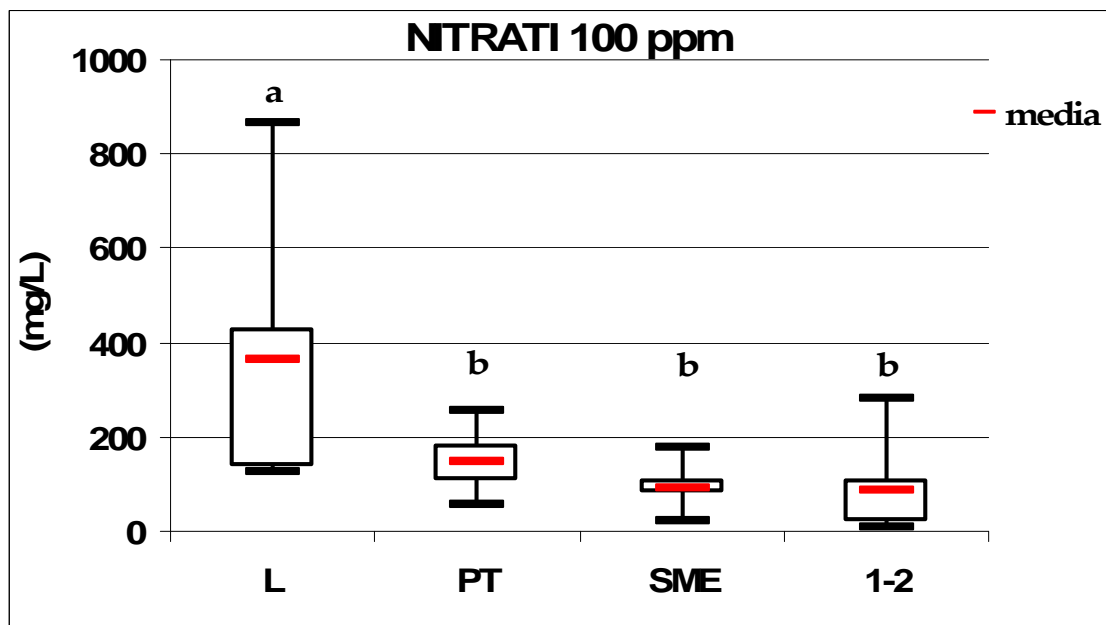


Figura 126 Nitrato – Effetto del trattamento fertilizzante 100 ppm di azoto nella concentrazione di nitrati della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

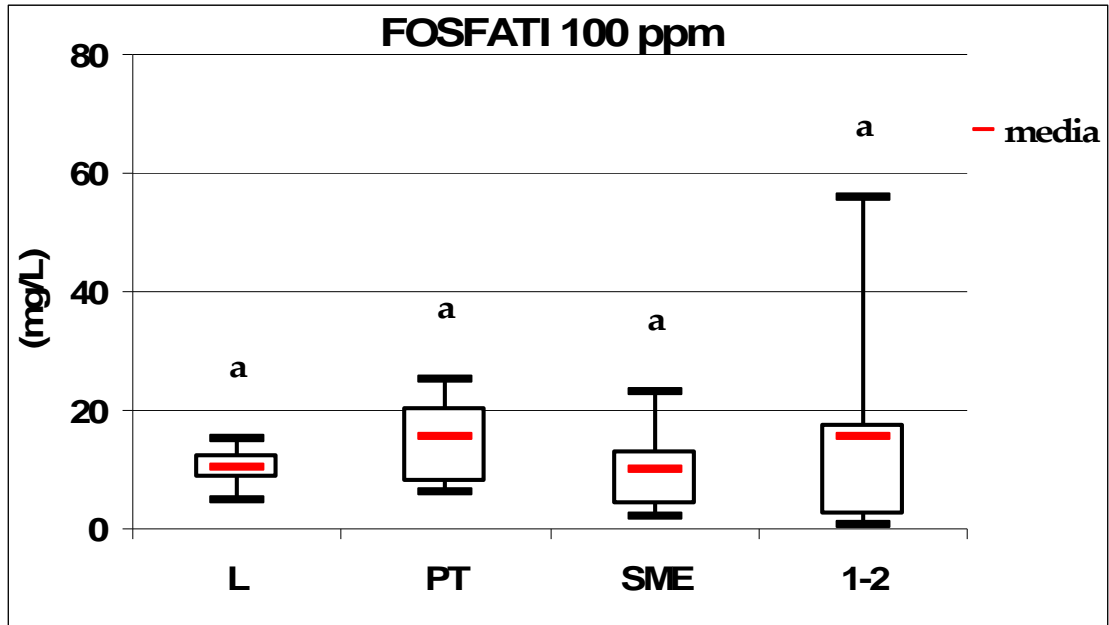


Figura 127 Fosfato – Effetto del trattamento fertilizzante 100 ppm di azoto nella concentrazione di fosfati della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

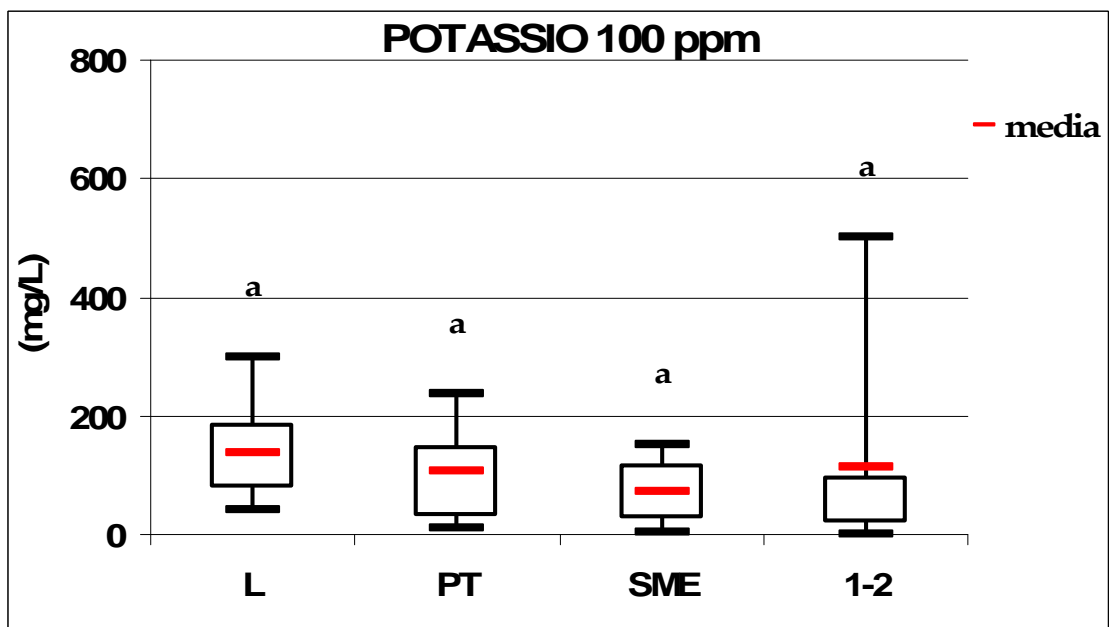


Figura 128 Potassio – Effetto del trattamento fertilizzante 100 ppm di azoto nella concentrazione di potassio della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.



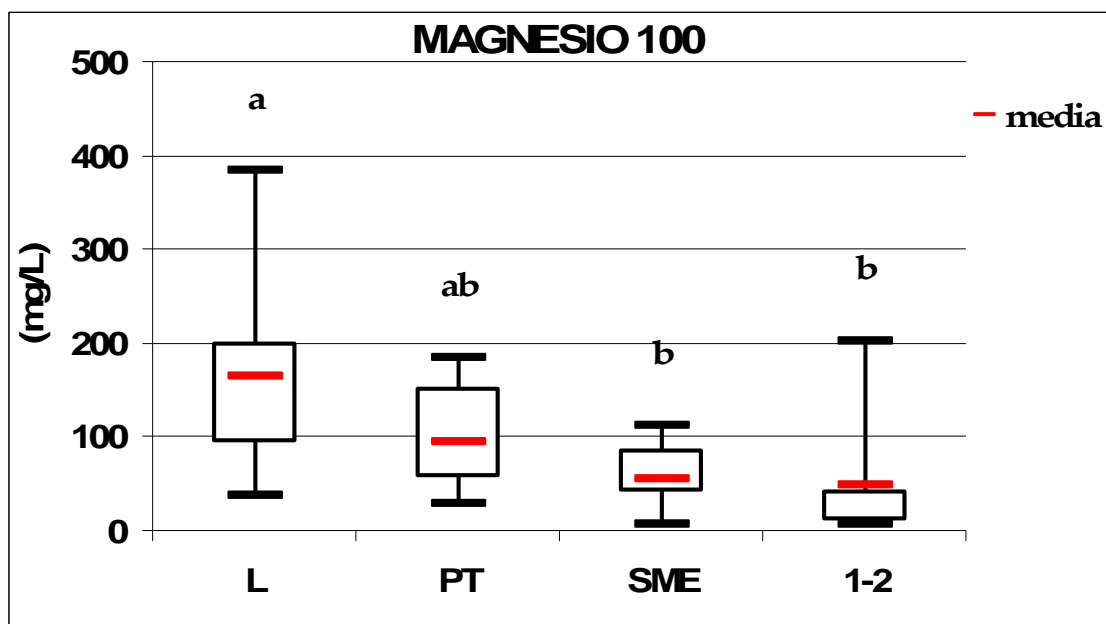


Figura 129 Magnesio – Effetto del trattamento fertilizzante 100 ppm di azoto azoto nella concentrazione di magnesio della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

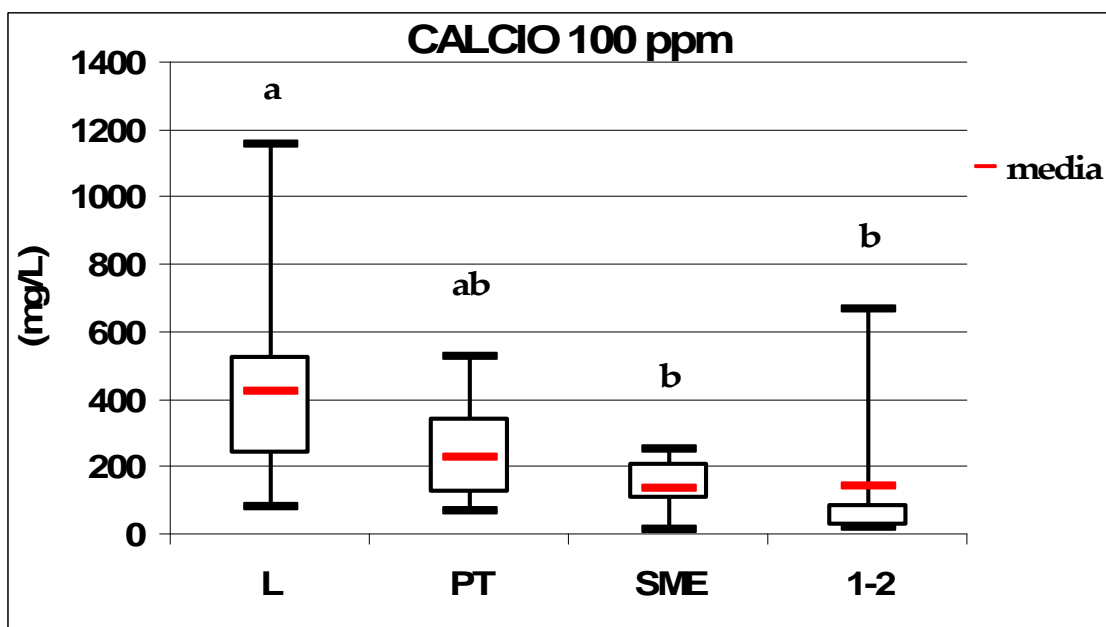


Figura 130 Calcio – Effetto del trattamento fertilizzante 100 ppm di azoto azoto nella concentrazione di calcio della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

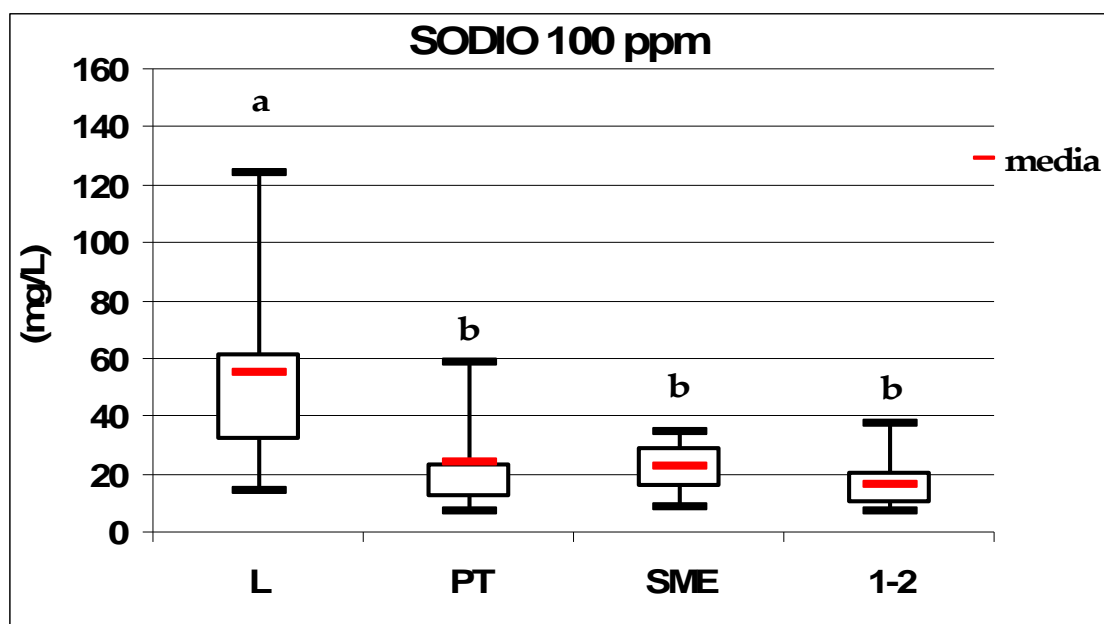


Figura 131 Sodio – Effetto del trattamento fertilizzante 100 ppm di azoto azoto nella concentrazione di sodio della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

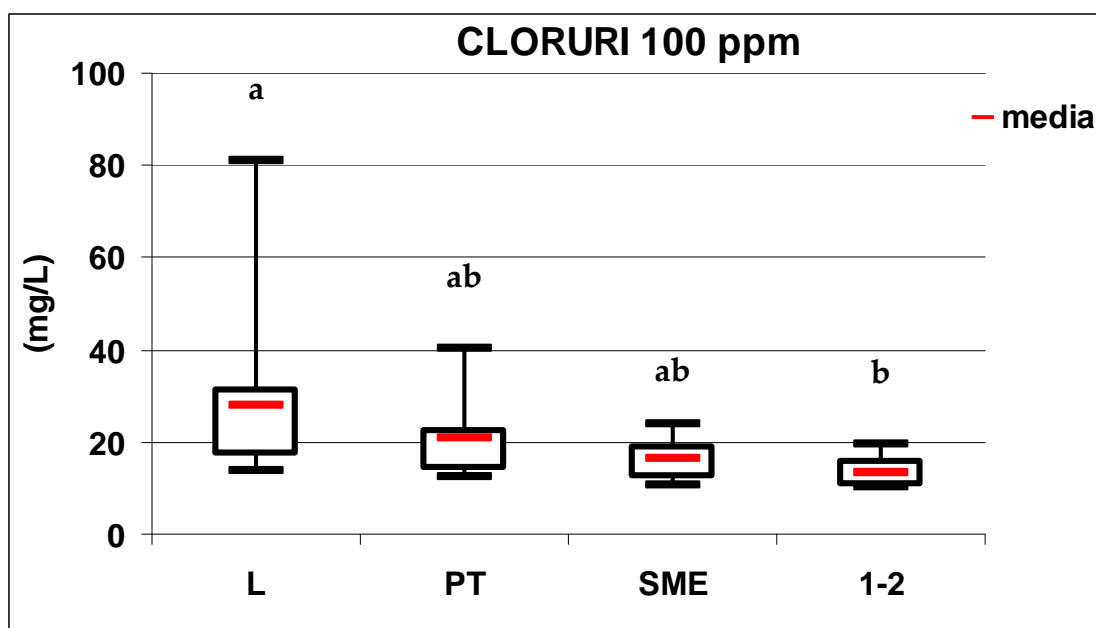


Figura 132 Cloruri – Effetto del trattamento fertilizzante 100 ppm di azoto azoto nella concentrazione di cloruri della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

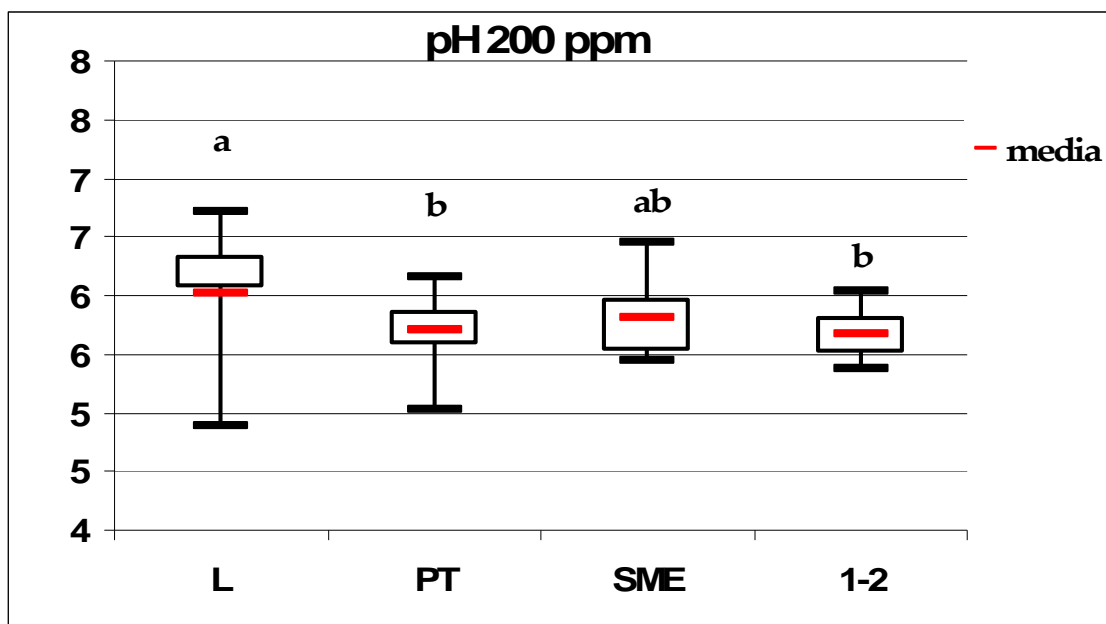


Figura 133 pH – Effetto del trattamento fertilizzante 200 ppm di azoto nei valori di pH della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

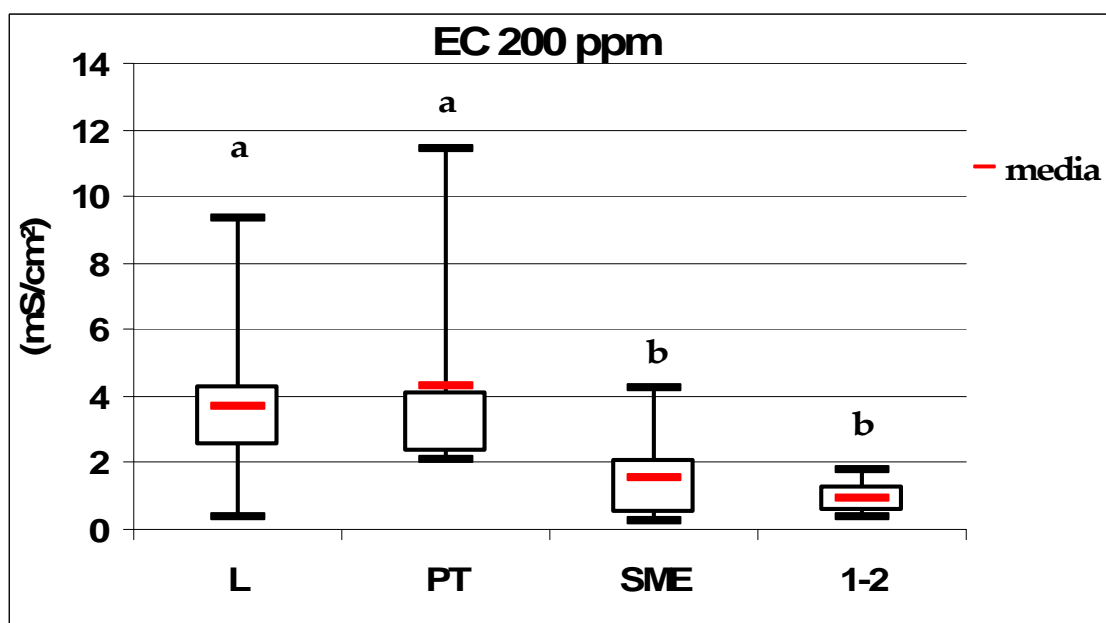


Figura 134 EC – Effetto del trattamento fertilizzante 200 ppm di azoto sui valori di conducibilità della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

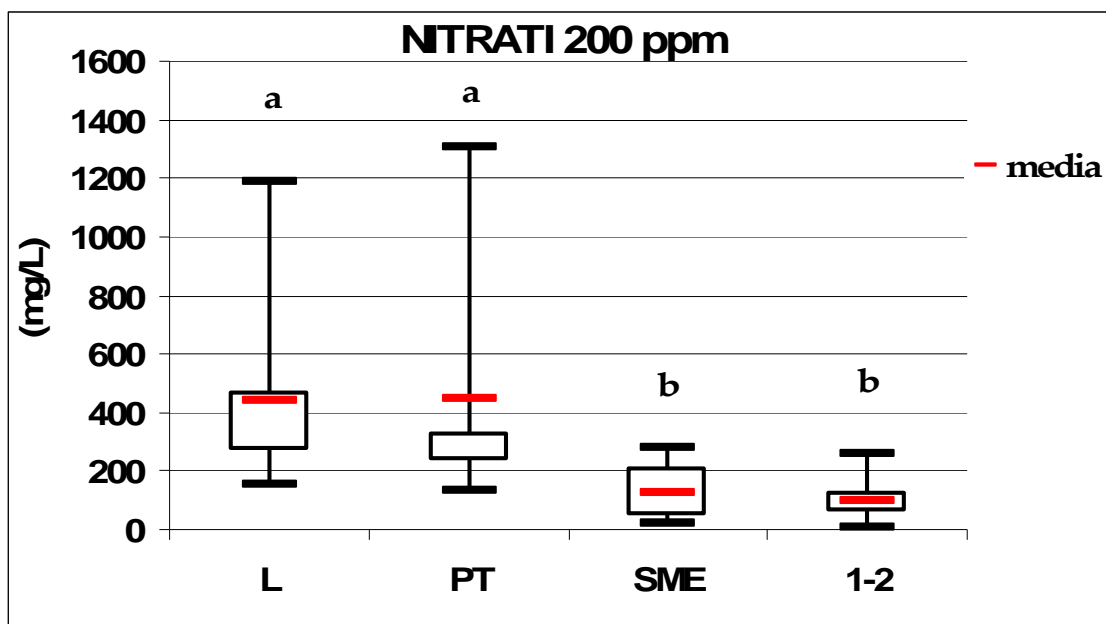


Figura 135 Nitrato – Effetto del trattamento fertilizzante 200 ppm di azoto nella concentrazione di nitrati della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

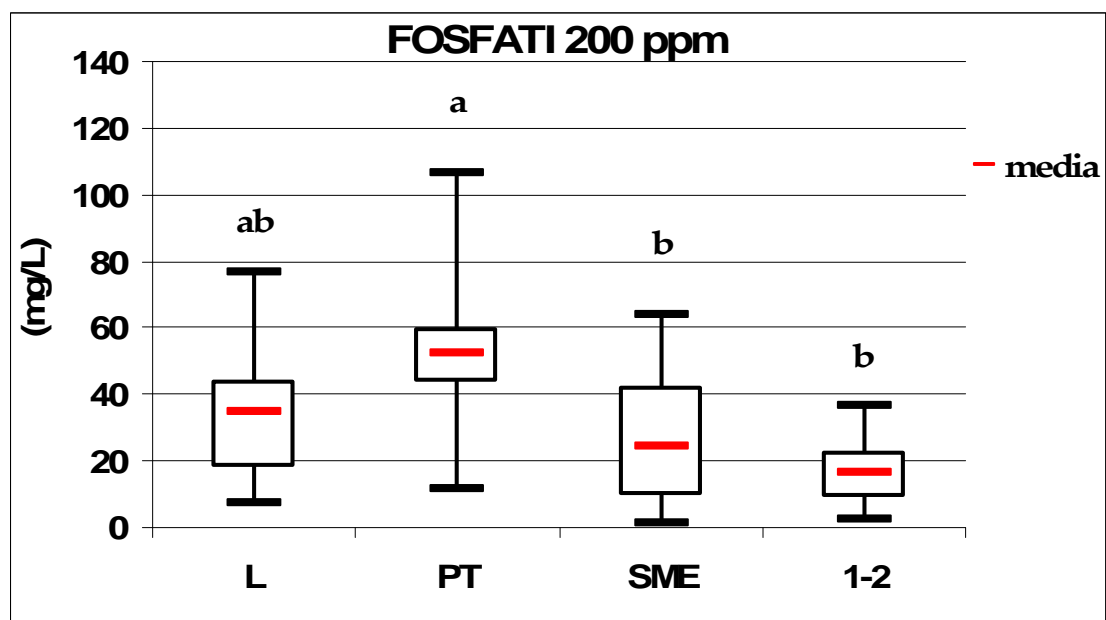


Figura 136 Fosfato – Effetto del trattamento fertilizzante 200 ppm di azoto nella concentrazione di fosfati della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

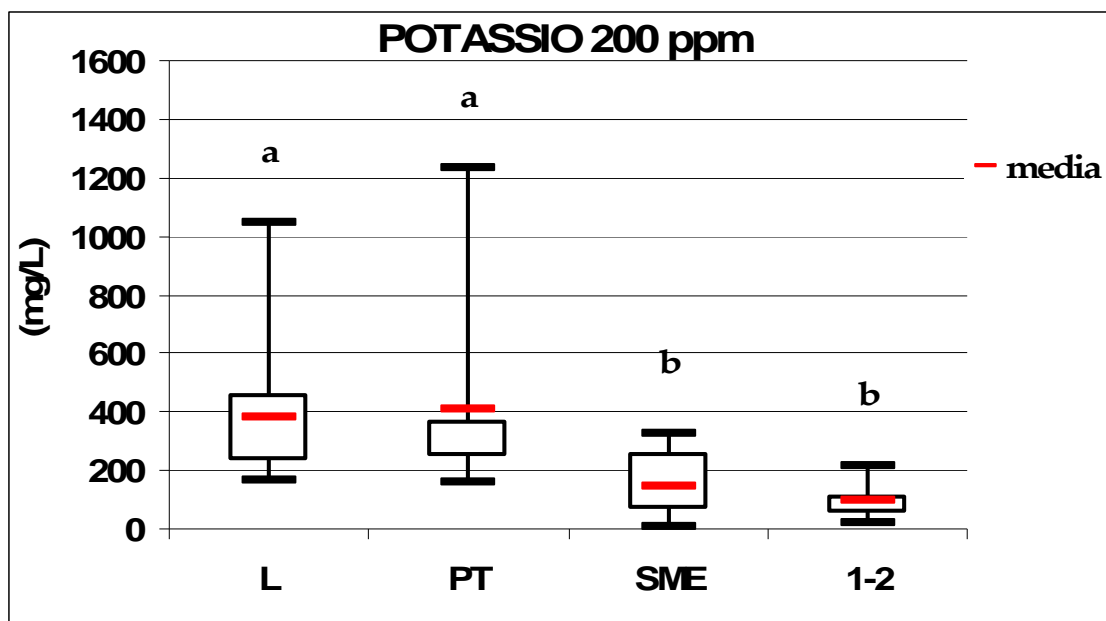


Figura 137 Potassio – Effetto del trattamento fertilizzante 200 ppm di azoto azoto nella concentrazione di potassio della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

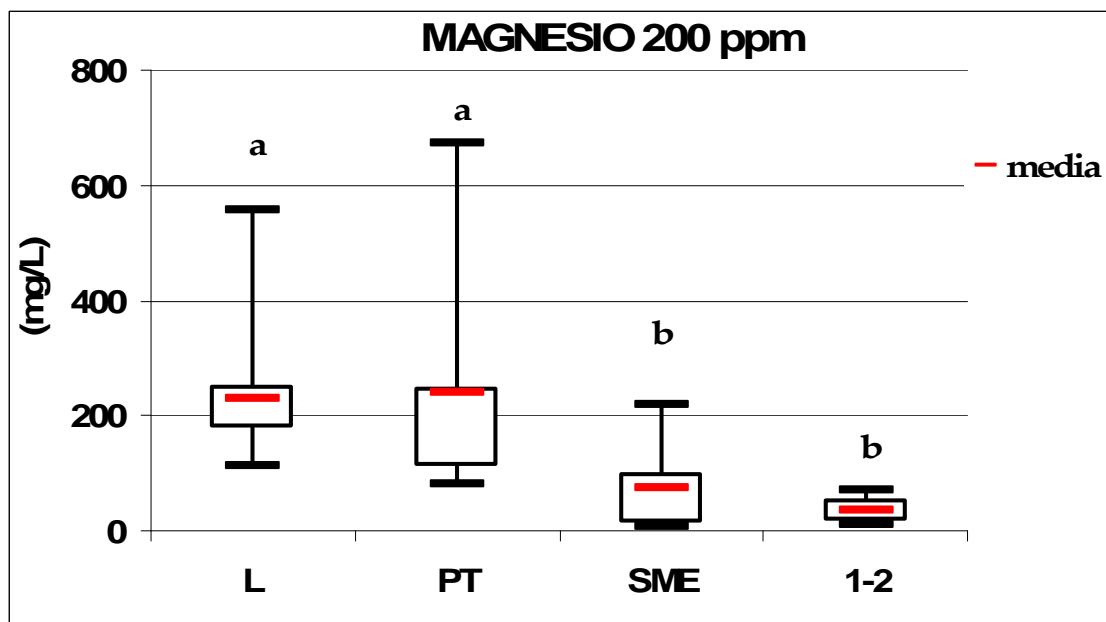


Figura 138 Magnesio – Effetto del trattamento fertilizzante 200 ppm di azoto azoto nella concentrazione di magnesio della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

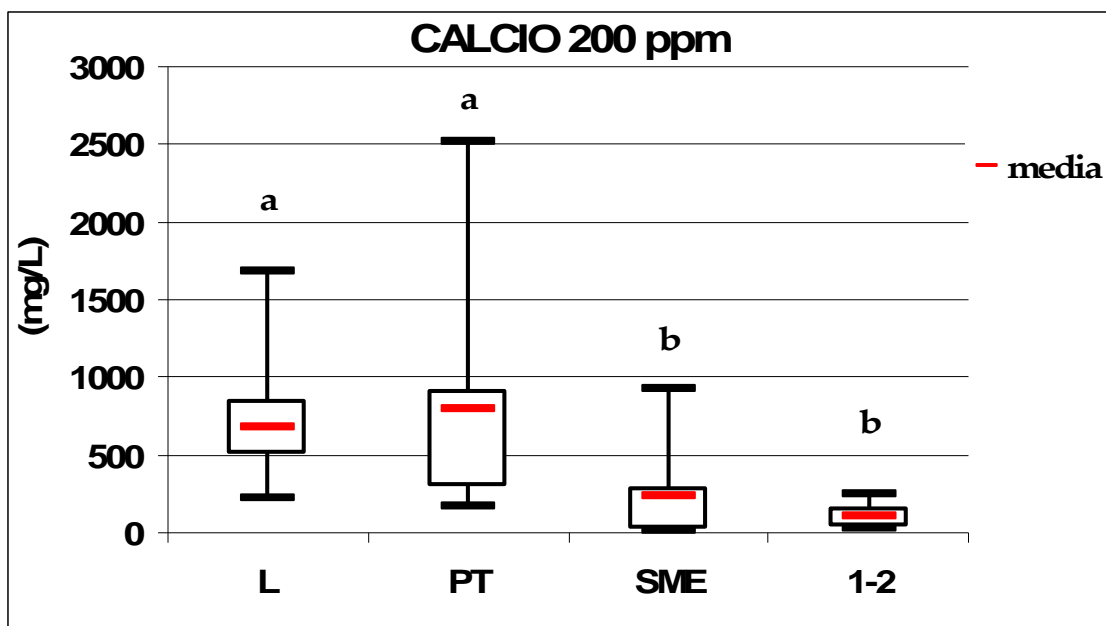


Figura 139 Calcio – Effetto del trattamento fertilizzante 200 ppm di azoto azoto nella concentrazione di calcio della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

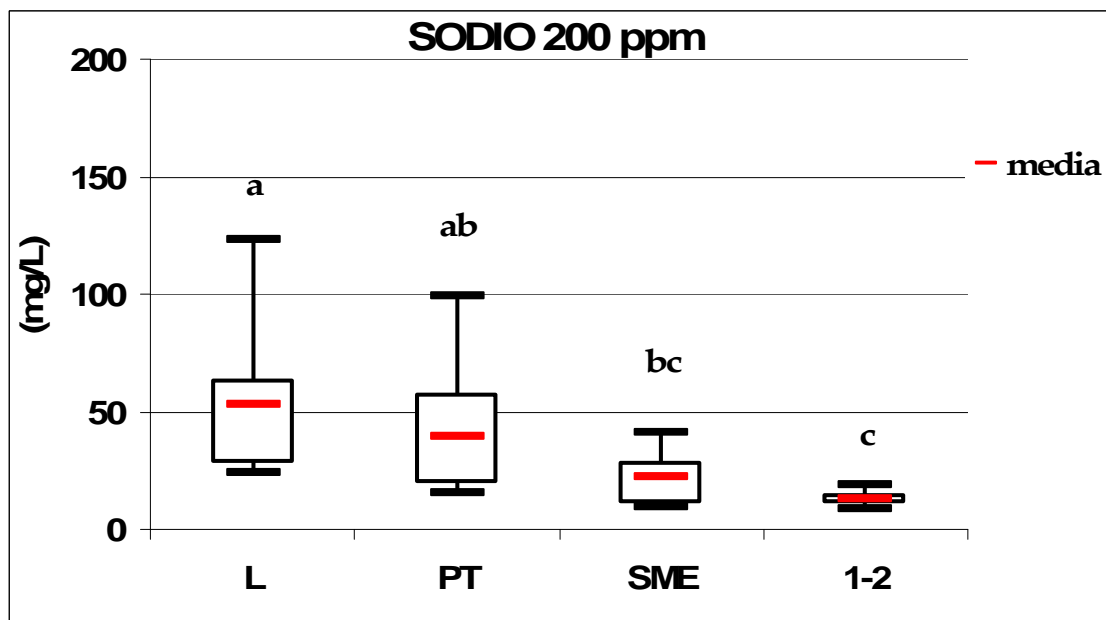


Figura 140 Sodio – Effetto del trattamento fertilizzante 200 ppm di azoto azoto nella concentrazione di potassio della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

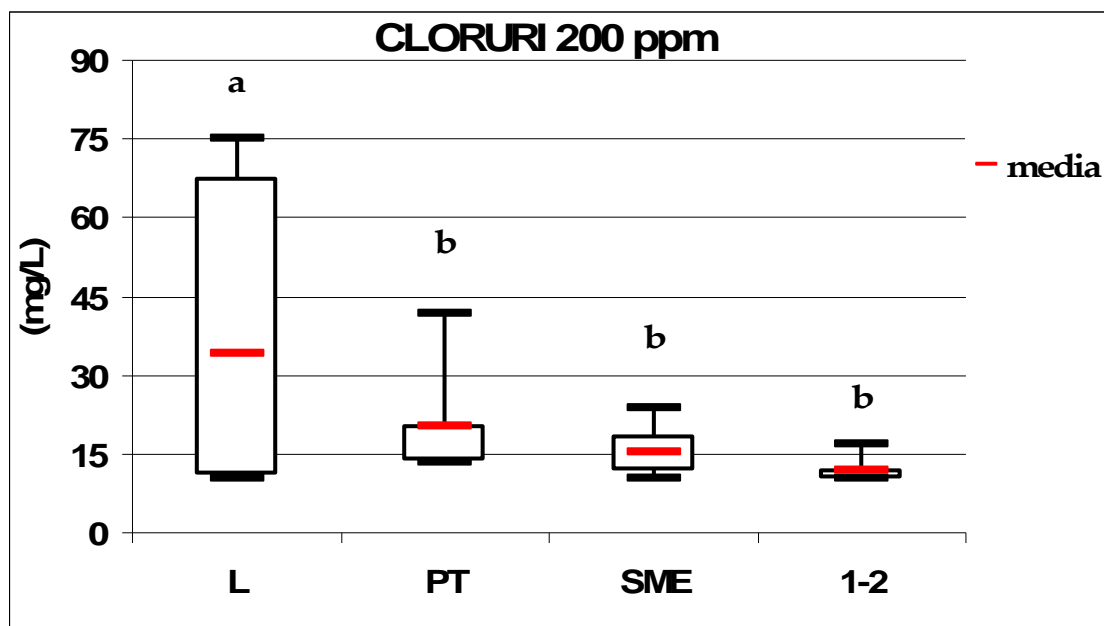


Figura 141 Cloruri – Effetto del trattamento fertilizzante 200 ppm di azoto azoto nella concentrazione di cloruri della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

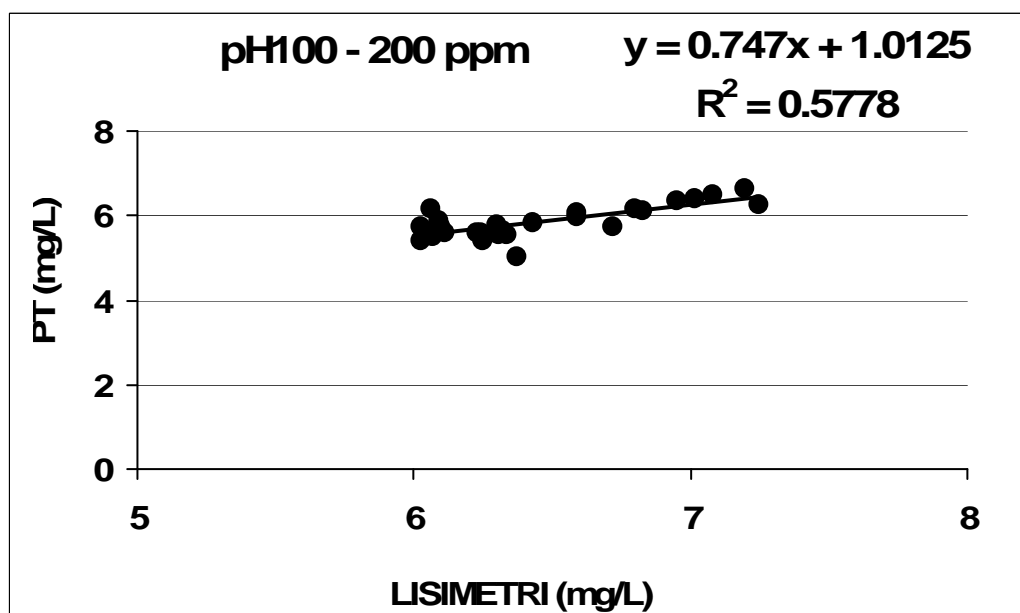


Figura 142 pH – Relazione tra i valori del pH della soluzione circolante delle tesi fertilizzate con 100 e 200 ppm di azoto, rilevati nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PourThru.

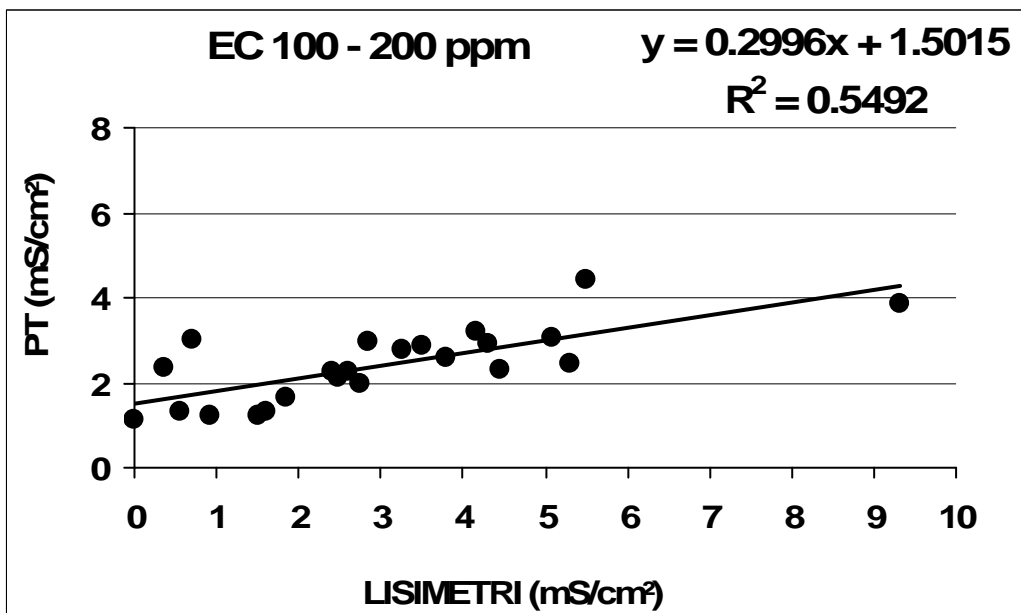


Figura 143 EC – Relazione tra i valori della conducibilità elettrica della soluzione circolante delle tesi fertilizzate con 100 e 200 ppm di azoto, rilevati nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PourThru.

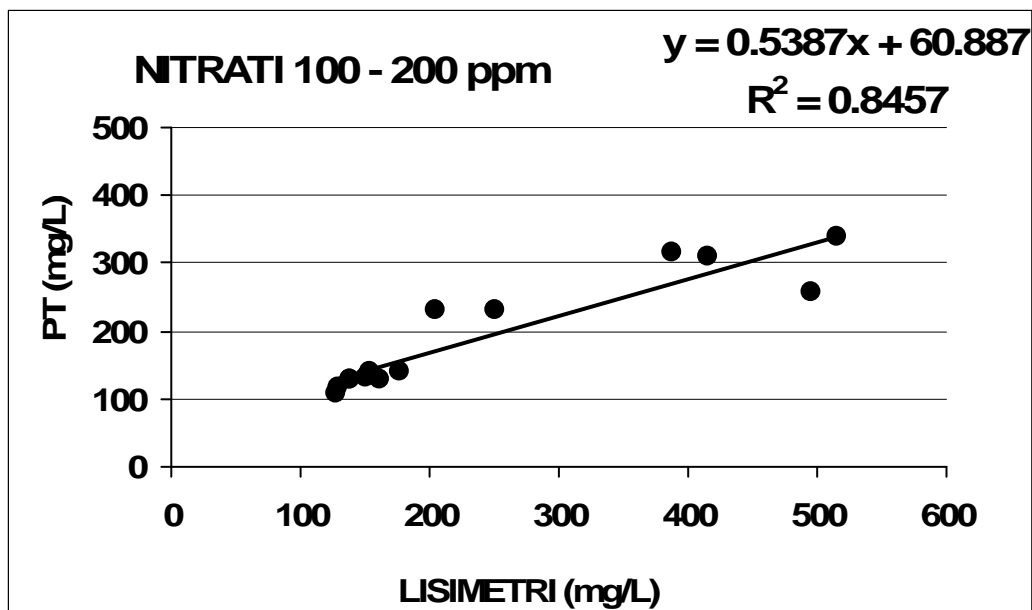


Figura 144 Nitrati – Relazione tra i valori del contenuto di nitrati nella soluzione circolante delle tesi fertilizzate con 100 e 200 ppm di azoto, rilevati nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PourThru.



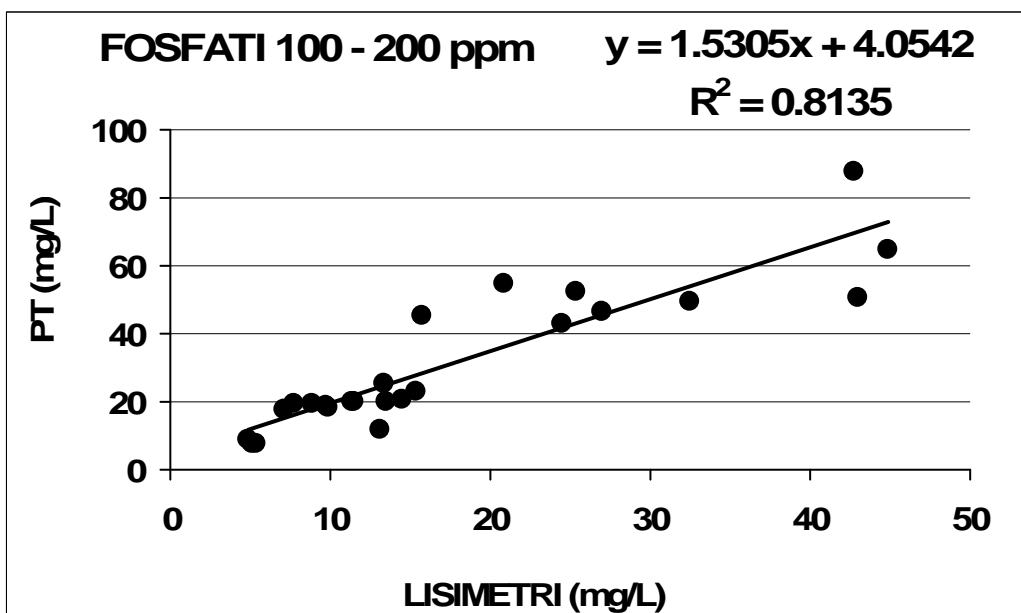


Figura 145 Fosfati – Relazione tra i valori del contenuto di fosfati nella soluzione circolante delle tesi fertilizzate con 100 e 200 ppm di azoto, rilevati nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PourThru.

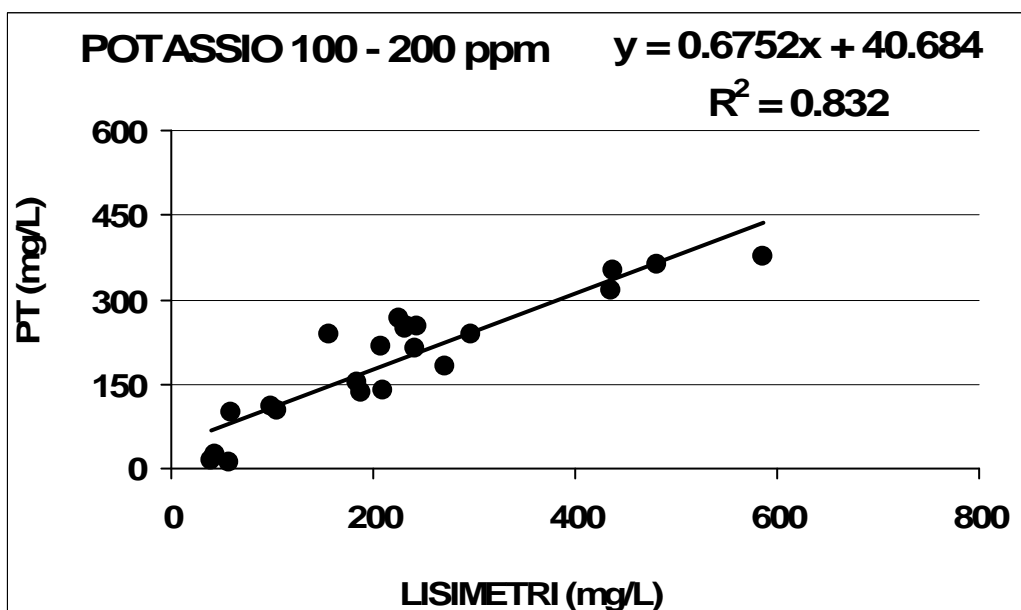


Figura 146 Potassio – Relazione tra i valori del contenuto di potassio nella soluzione circolante delle tesi fertilizzate con 100 e 200 ppm di azoto, rilevati nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PourThru.

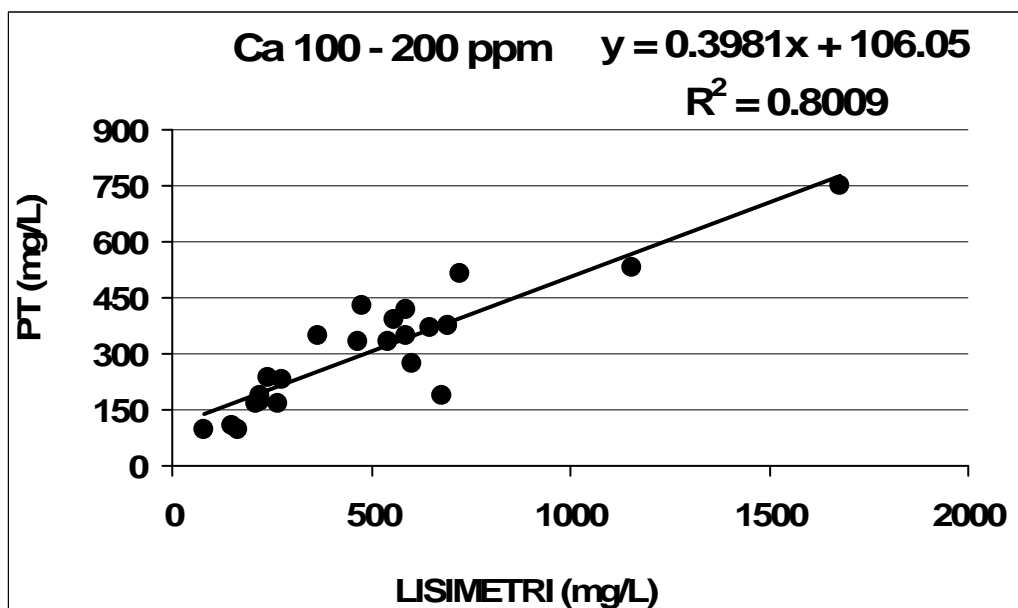


Figura 147 Calcio – Relazione tra i valori del contenuto di calcio nella soluzione circolante delle tesi fertilizzate con 100 e 200 ppm di azoto, rilevati nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PourThru.

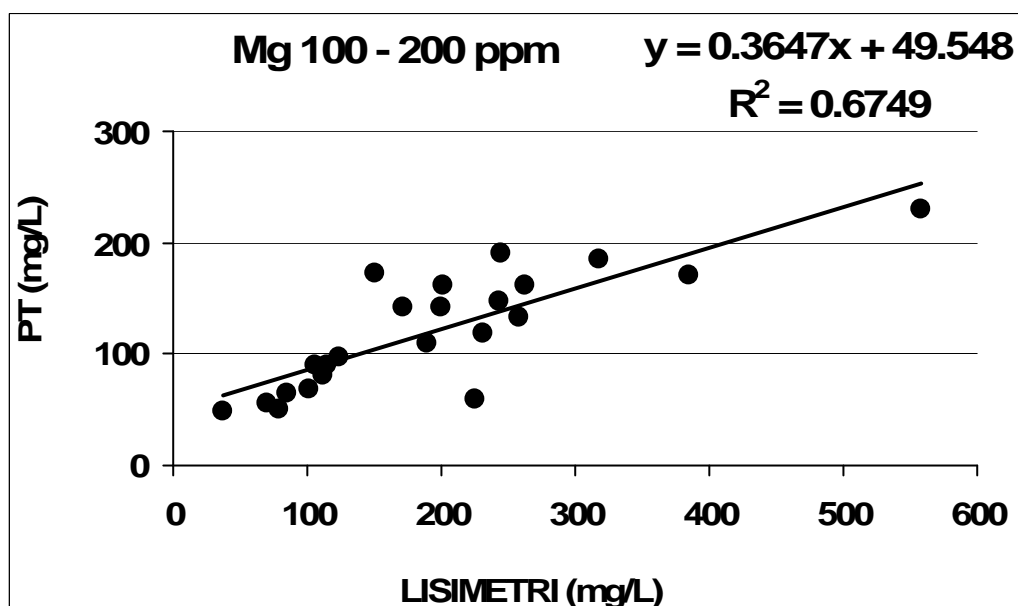


Figura 148 Magnesio – Relazione tra i valori del contenuto di magnesio nella soluzione circolante delle tesi fertilizzate con 100 e 200 ppm di azoto, rilevati nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PourThru.

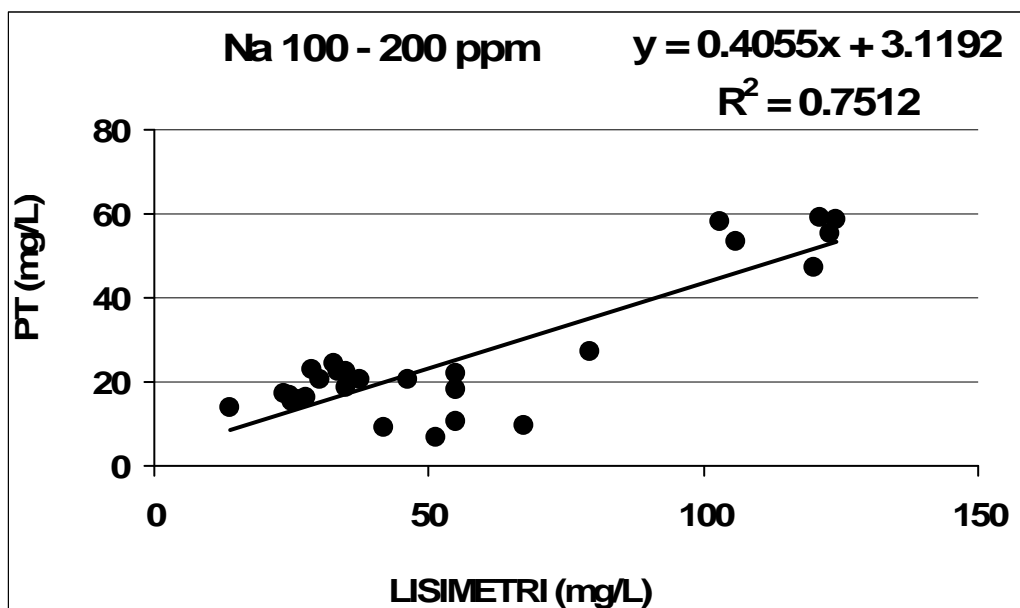


Figura 149 Sodio – Relazione tra i valori del contenuto di sodio nella soluzione circolante delle tesi fertilizzate con 100 e 200 ppm di azoto, rilevati nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PourThru.

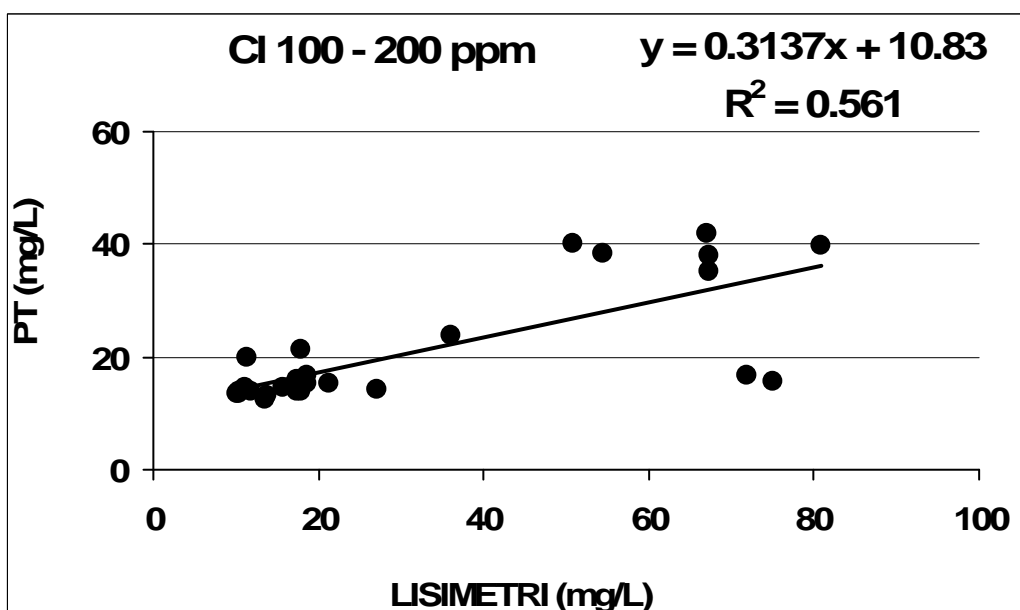


Figura 150 Cloruri – Relazione tra i valori del contenuto di cloruri nella soluzione circolante delle tesi fertilizzate con 100 e 200 ppm di azoto, rilevati nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PourThru.

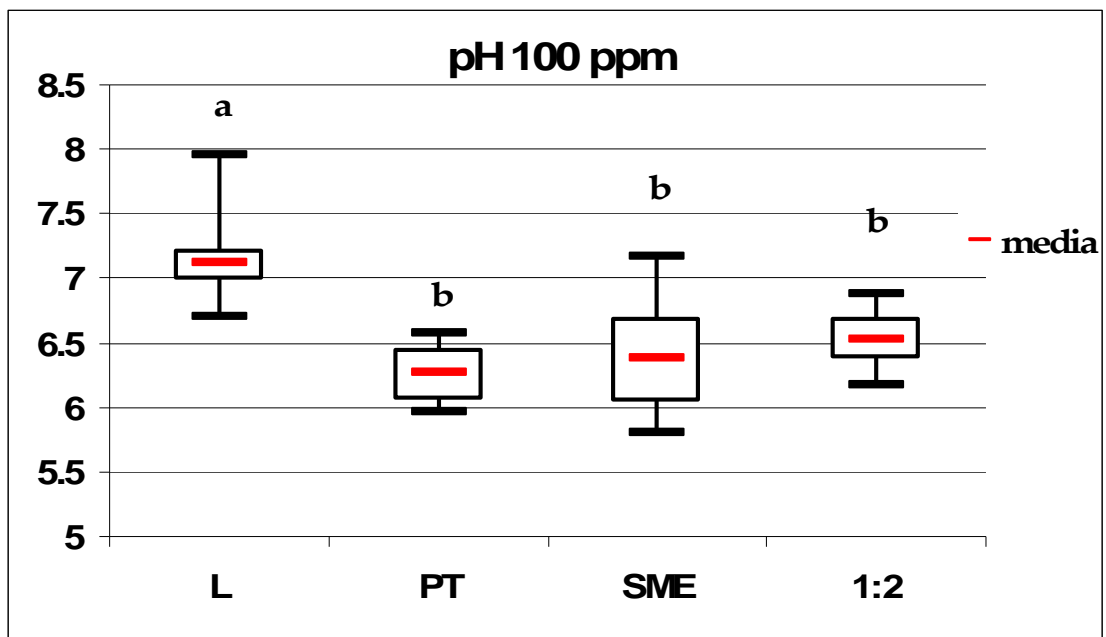


Figura 151 pH – Effetto del trattamento fertilizzante 100 ppm di azoto nei valori di pH della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

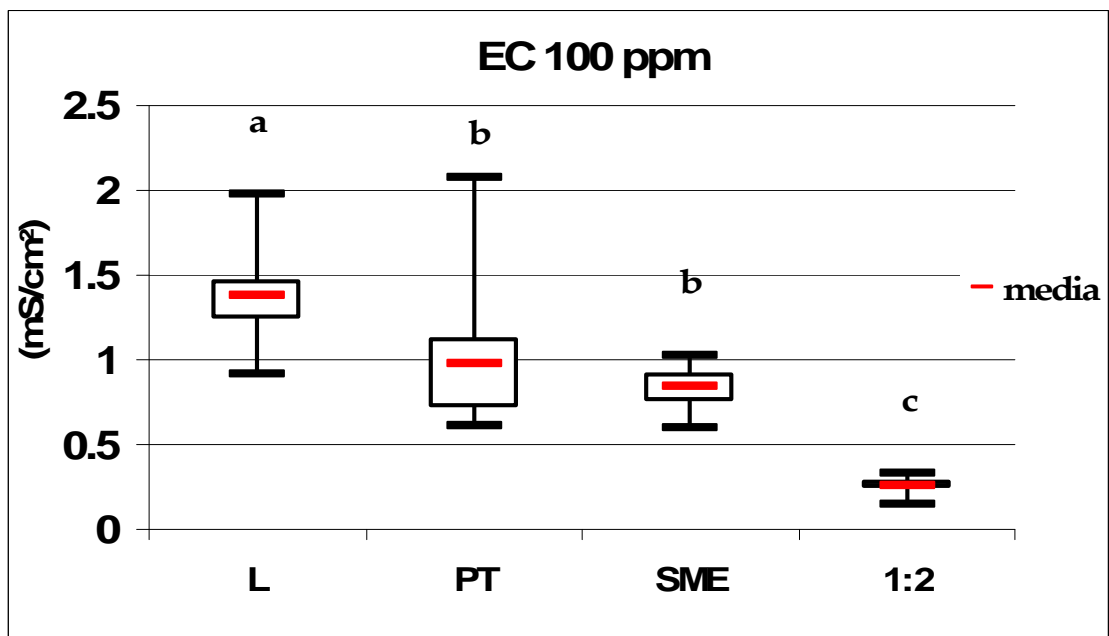


Figura 152 EC – Effetto del trattamento fertilizzante 100 ppm di azoto sui valori di conducibilità della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

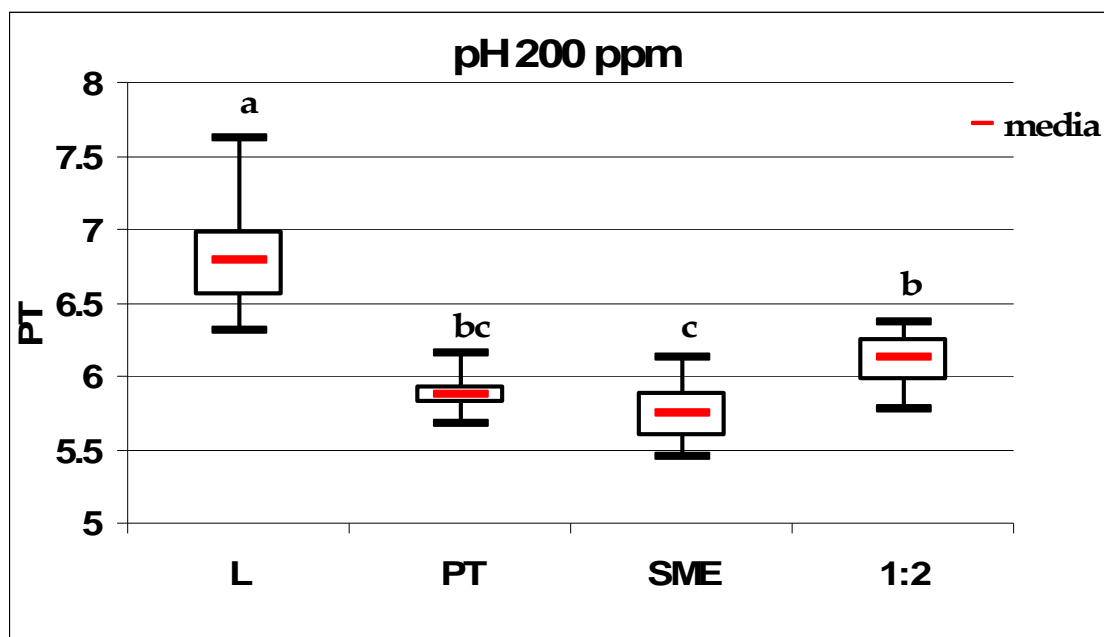


Figura 153 pH – Effetto del trattamento fertilizzante 200 ppm di azoto nei valori di pH della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

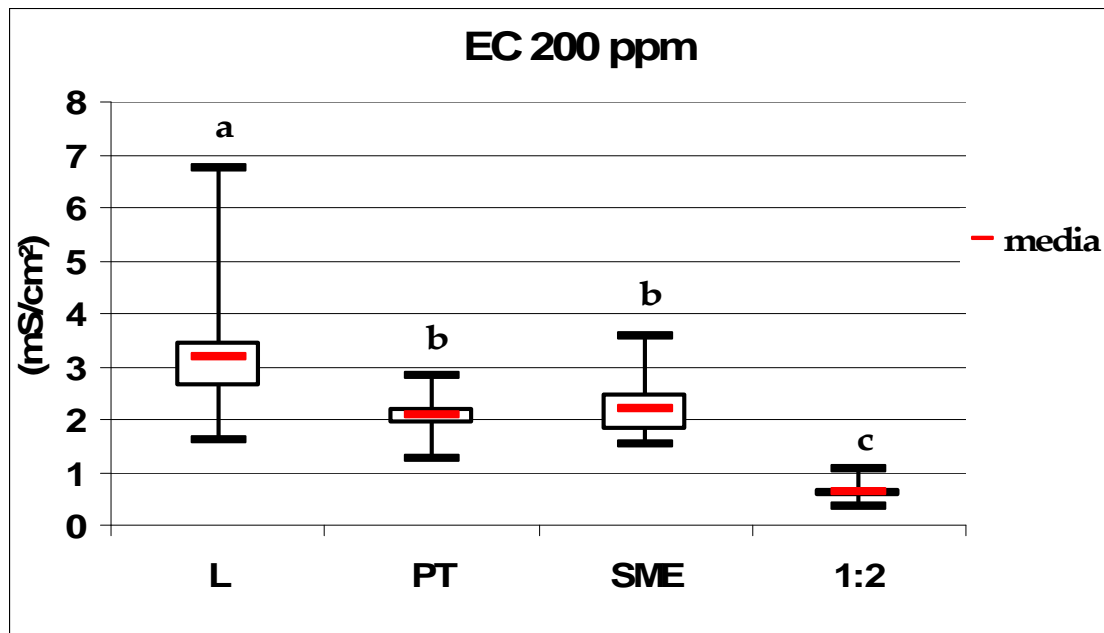


Figura 154 EC – Effetto del trattamento fertilizzante 200 ppm di azoto sui valori di conducibilità della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

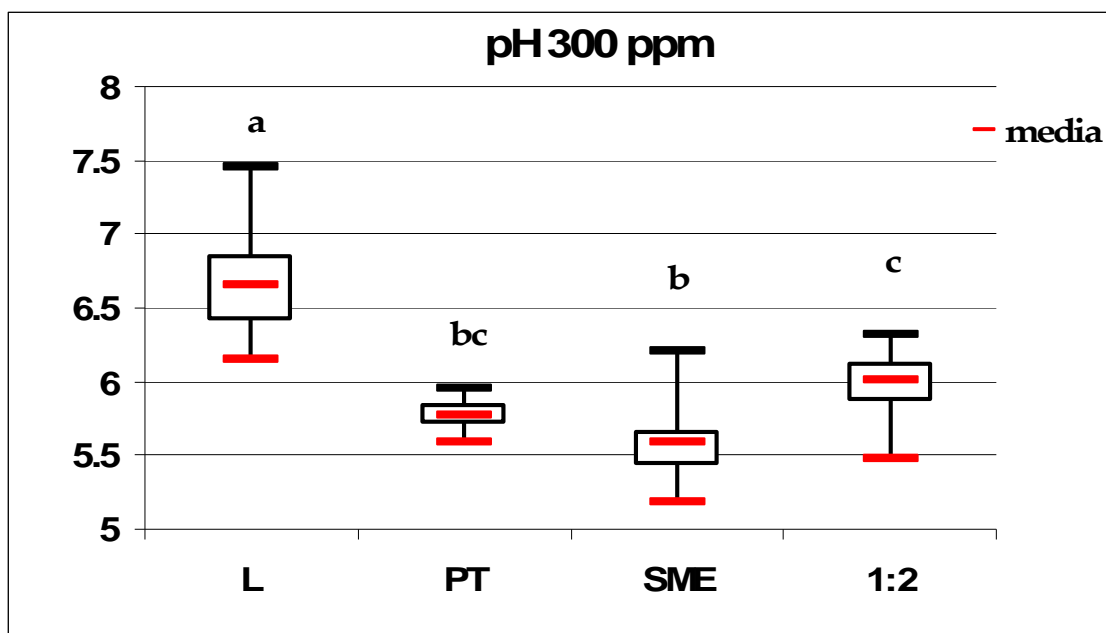


Figura 155 pH – Effetto del trattamento fertilizzante 300 ppm di azoto nei valori di pH della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

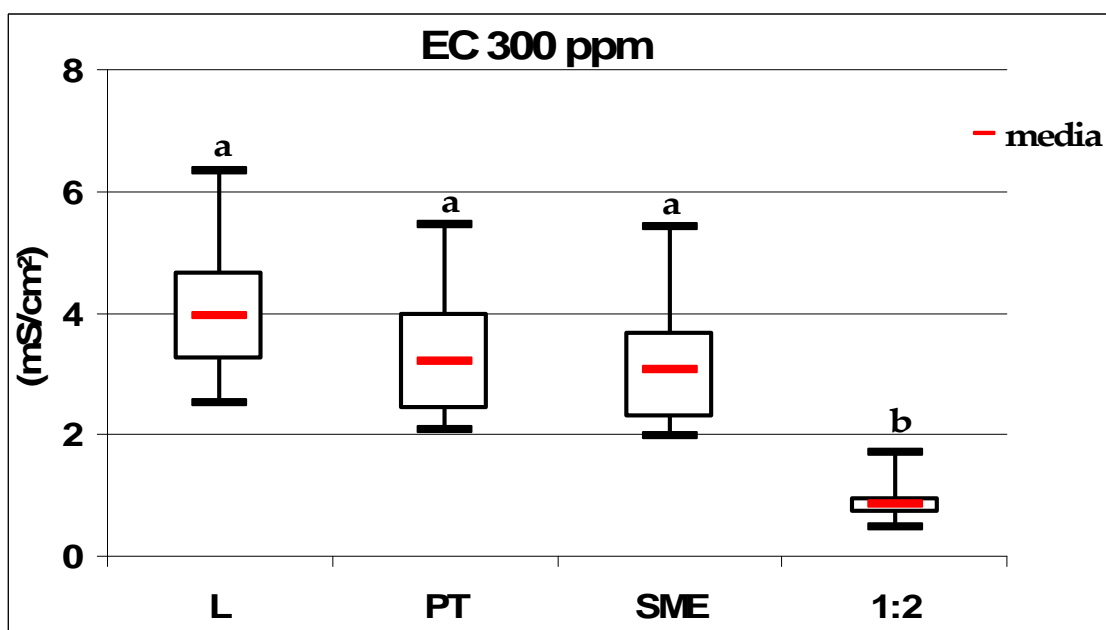
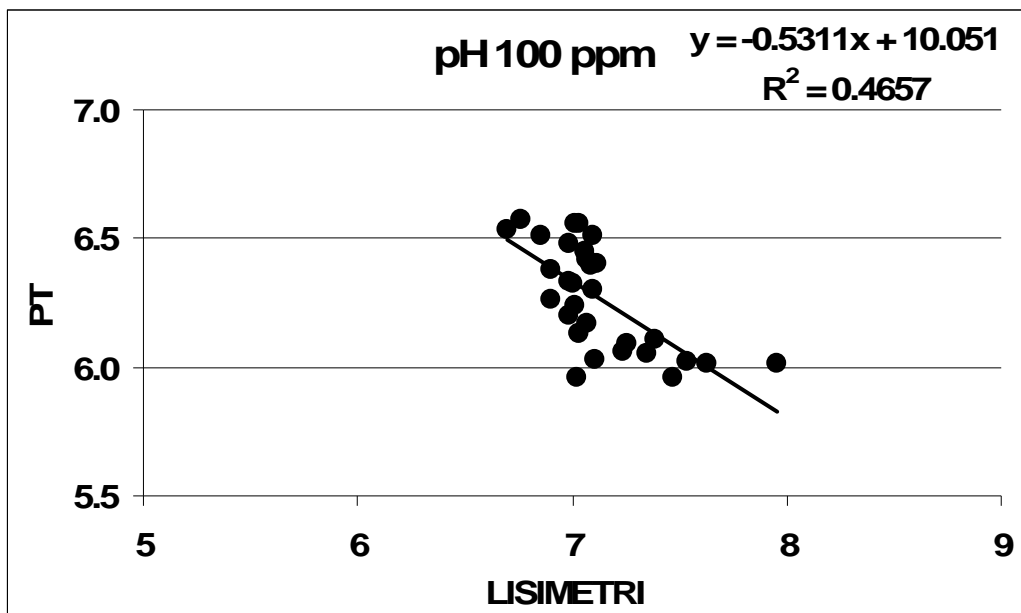


Figura 156 EC – Effetto del trattamento fertilizzante 300 ppm di azoto sui valori di conducibilità della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.



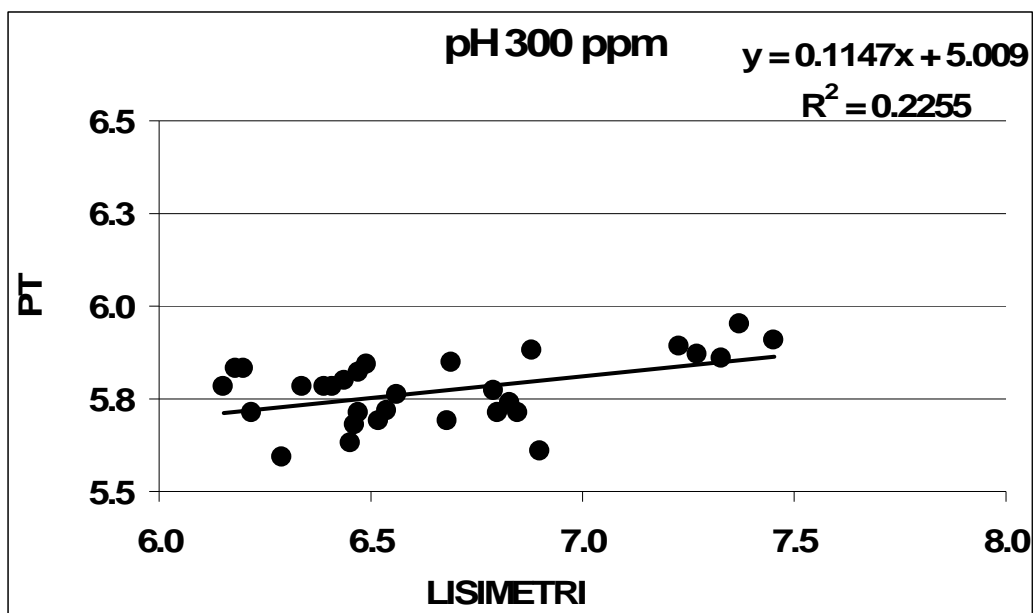


Figura 159 pH – Relazione tra i valori di pH rilevati nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PourThru fertilizzati con 300 ppm di azoto.

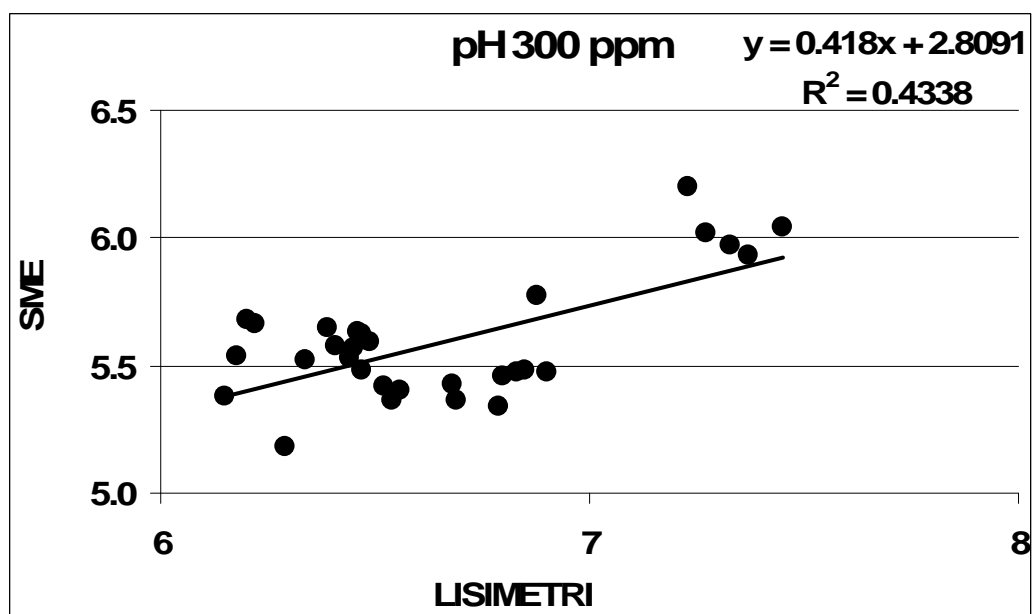


Figura 160 pH – Relazione tra i valori di pH rilevati nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo SME fertilizzati con 300 ppm di azoto.



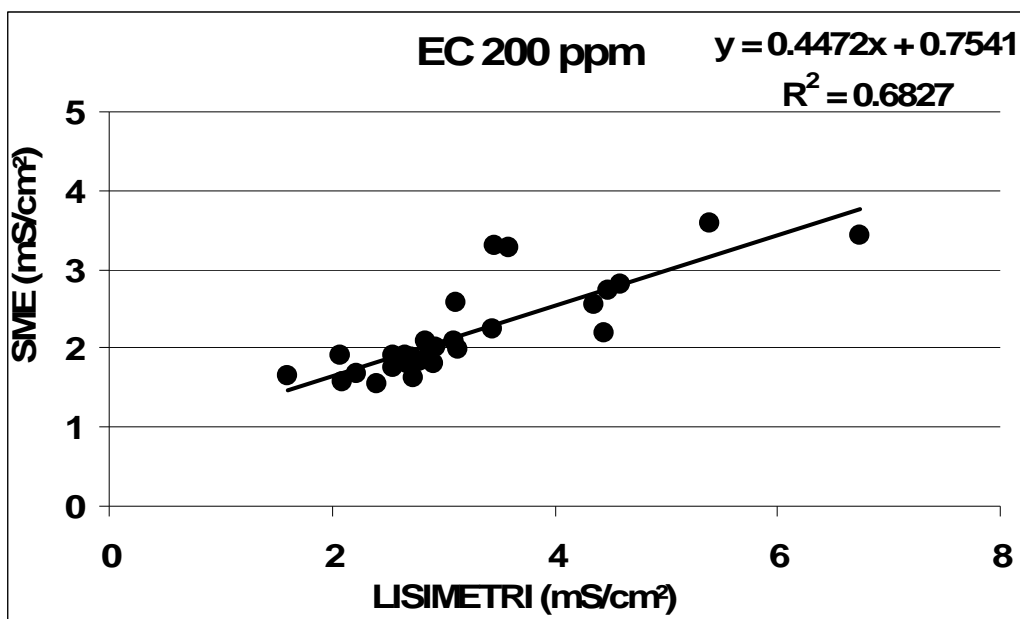


Figura 161 EC – Relazione tra i valori della conducibilità elettrica rilevati nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo SME fertilizzati con 200 ppm di azoto.

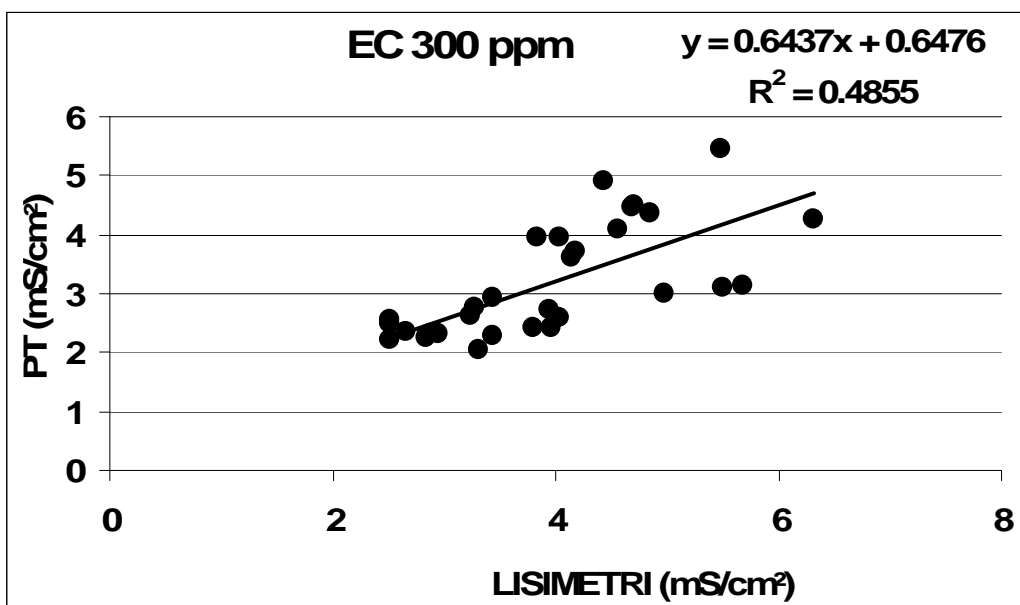


Figura 162 EC – Relazione tra i valori della conducibilità elettrica rilevati nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PourThru fertilizzati con 300 ppm di azoto.

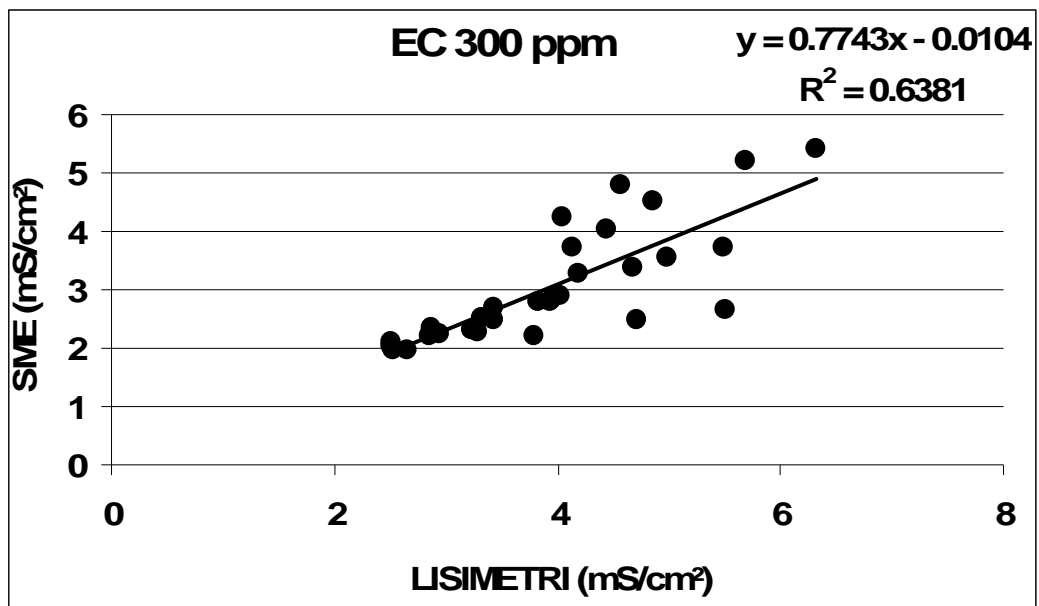


Figura 163 EC – Relazione tra i valori della conducibilità elettrica rilevati nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo SME fertilizzati con 300 ppm di azoto.

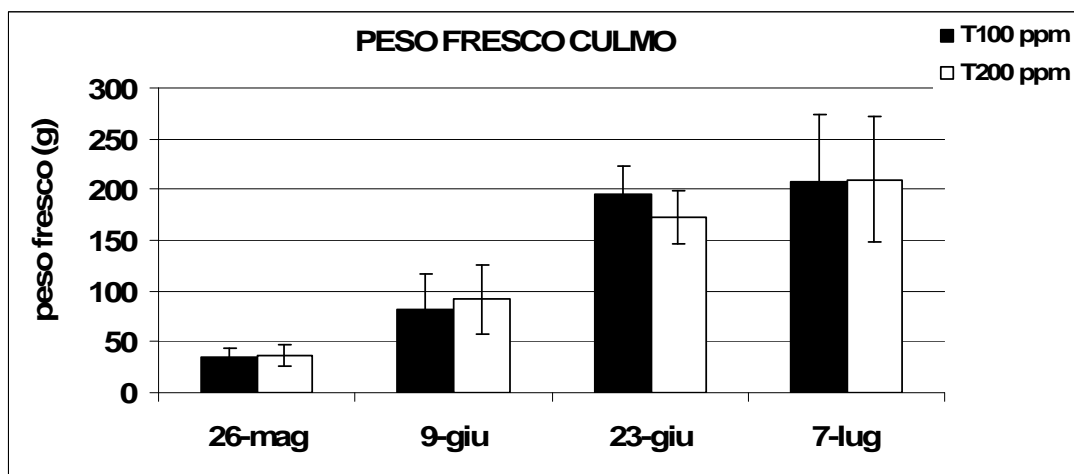


Figura 164 Peso fresco – Effetto dei trattamenti fertilizzanti sul peso fresco del culmo delle piante di geranio.

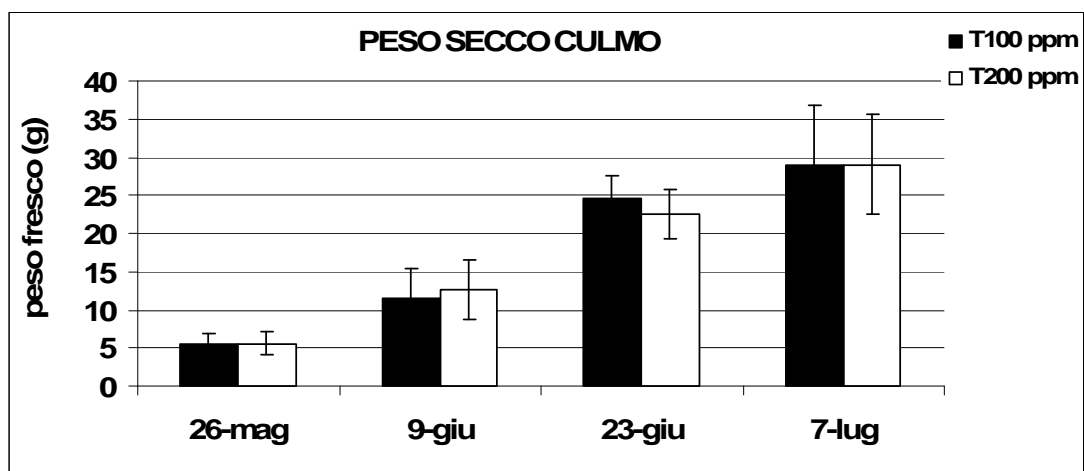


Figura 165 Peso secco – Effetto dei trattamenti fertilizzanti sul peso secco del culmo delle piante di geranio.

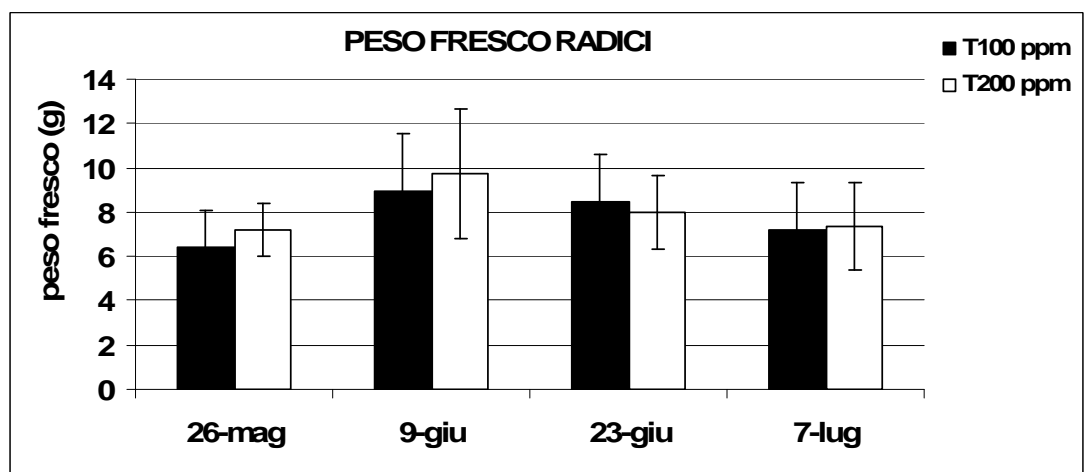


Figura 166 Peso fresco – Effetto dei trattamenti fertilizzanti sul peso fresco delle radici delle piante di geranio.

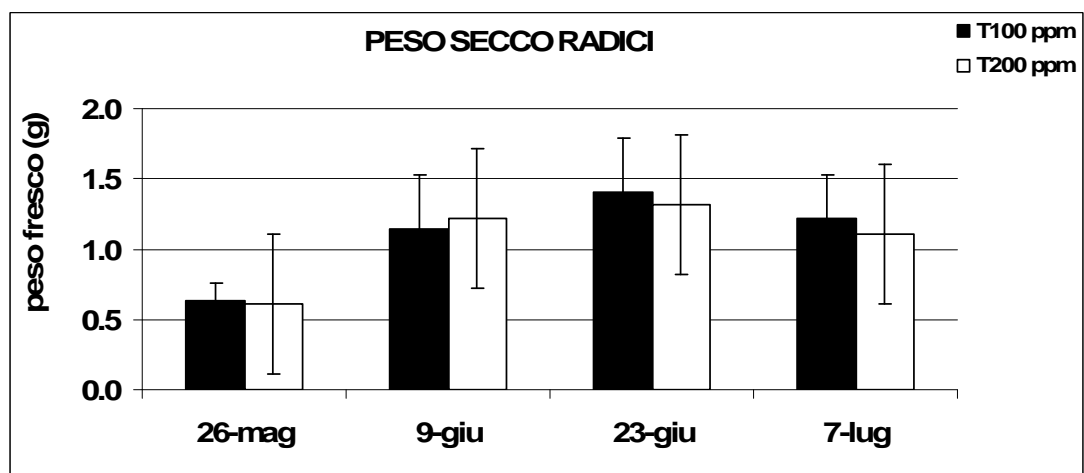


Figura 167 Peso secco – Effetto dei trattamenti fertilizzanti sul peso secco delle radici delle piante di geranio.

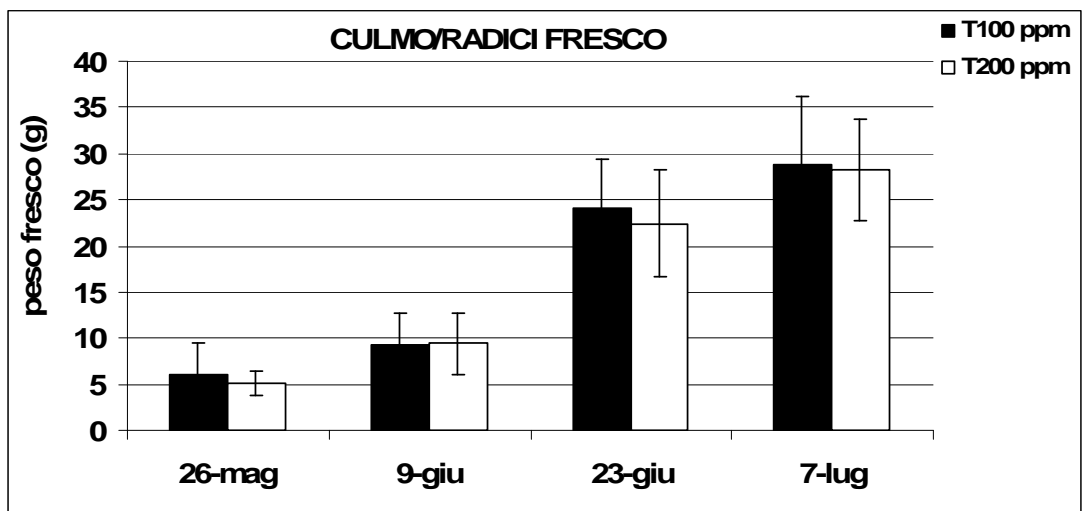


Figura 168 Peso fresco – Effetto dei trattamenti fertilizzanti sul rapporto del peso fresco culmo/radici delle piante di geranio.

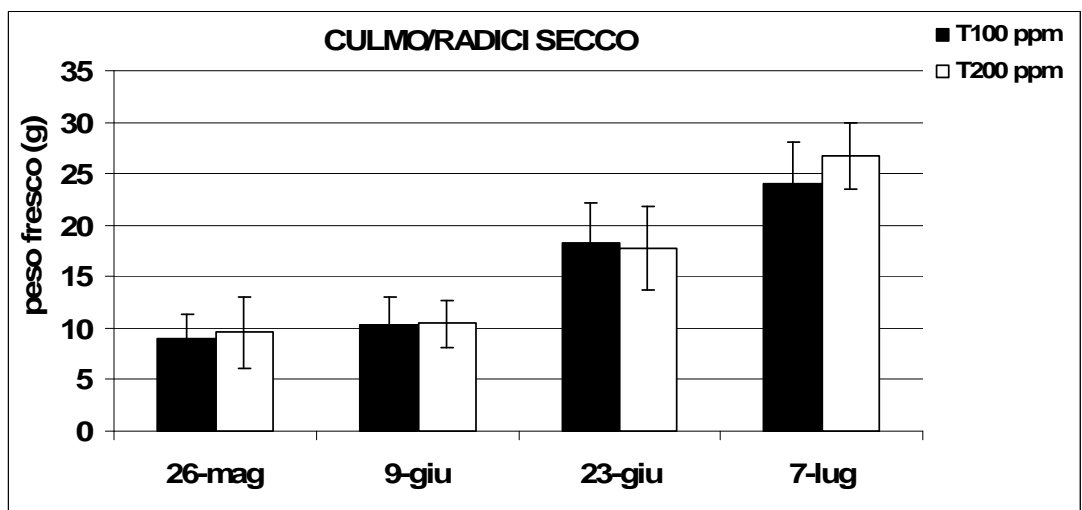


Figura 169 Peso secco – Effetto dei trattamenti fertilizzanti sul rapporto del peso secco culmo/radici delle piante di geranio.

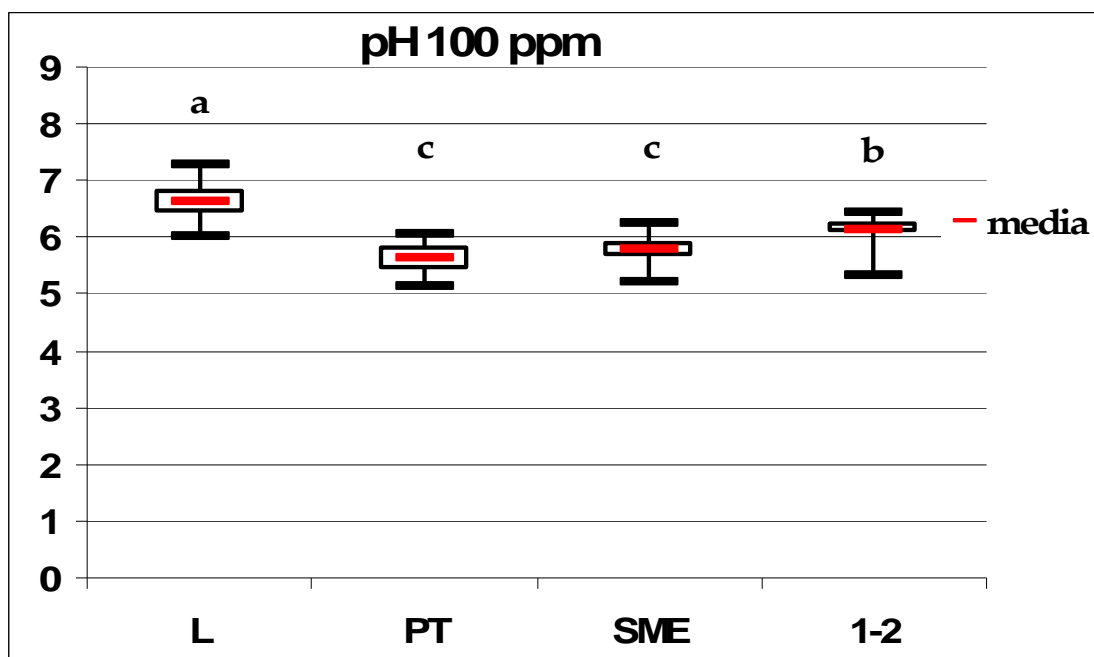


Figura 170 pH – Effetto del trattamento fertilizzante 100 ppm di azoto sui valori di pH della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

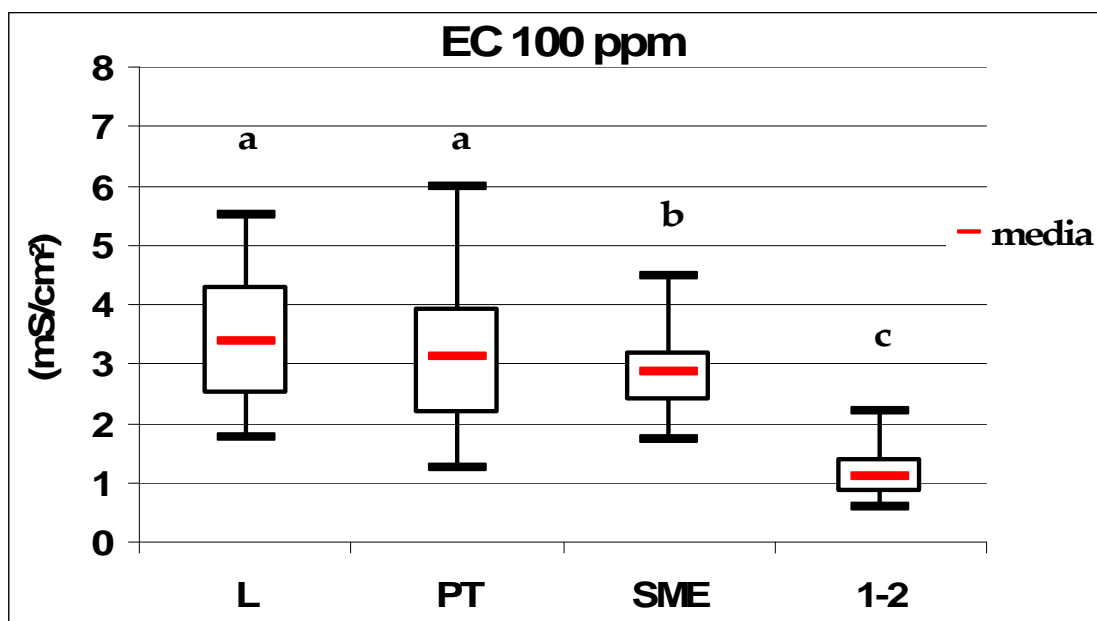


Figura 171 EC – Effetto del trattamento fertilizzante 100 ppm di azoto sui valori di conducibilità della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

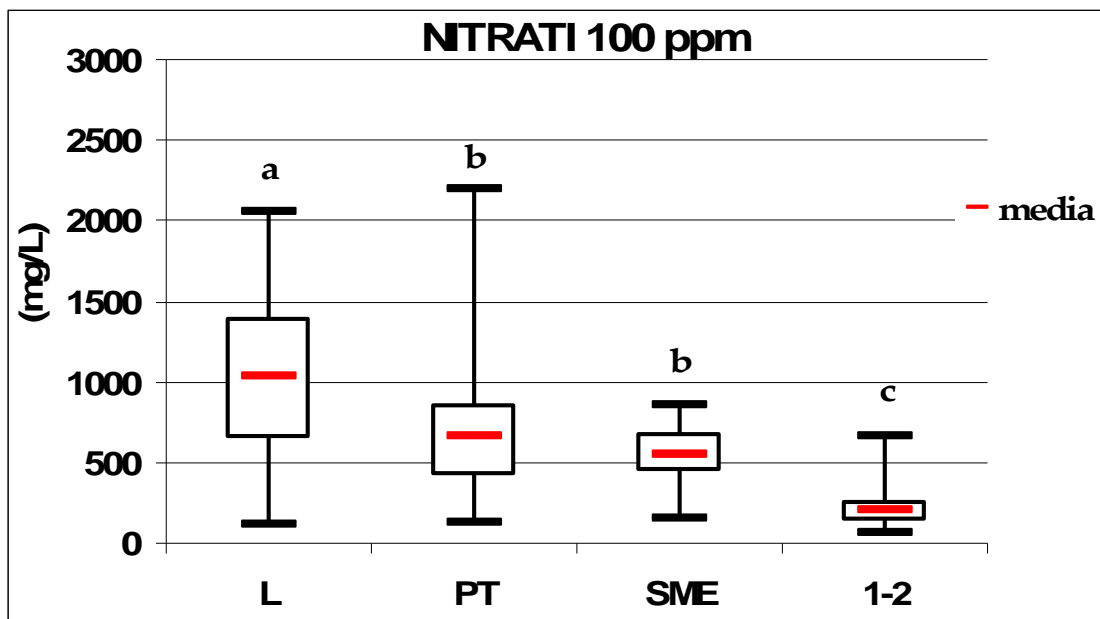


Figura 172 Nitrati – Effetto del trattamento fertilizzante 100 ppm di azoto sul contenuto di nitrati della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

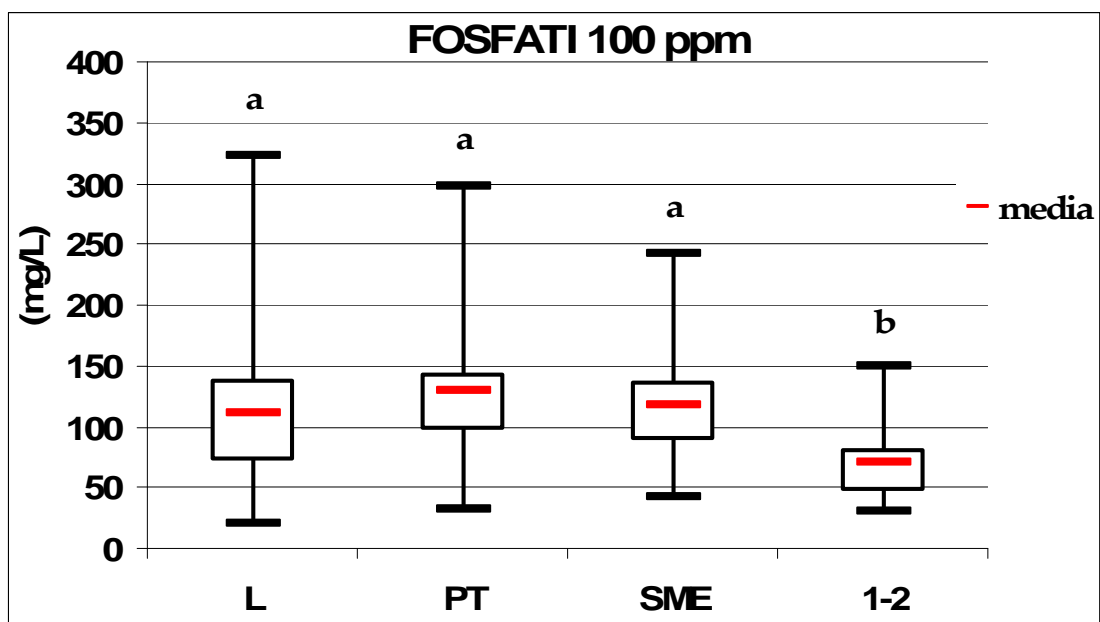


Figura 173 Fosfati – Effetto del trattamento fertilizzante 100 ppm di azoto sul contenuto di fosfati della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

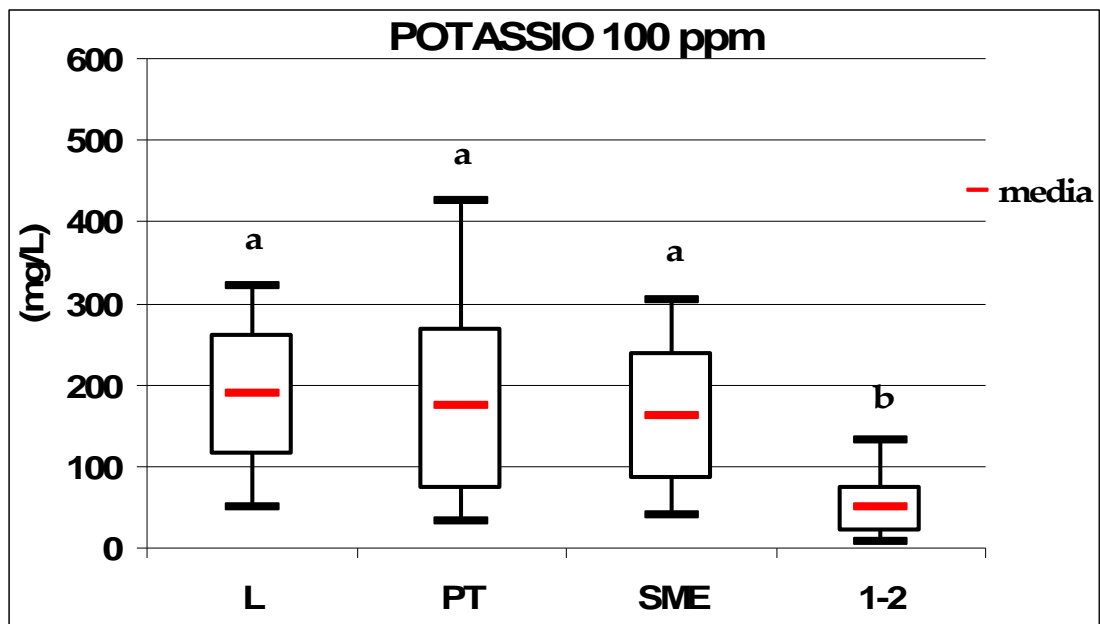


Figura 174 Potassio – Effetto del trattamento fertilizzante 100 ppm di azoto sul contenuto di potassio della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

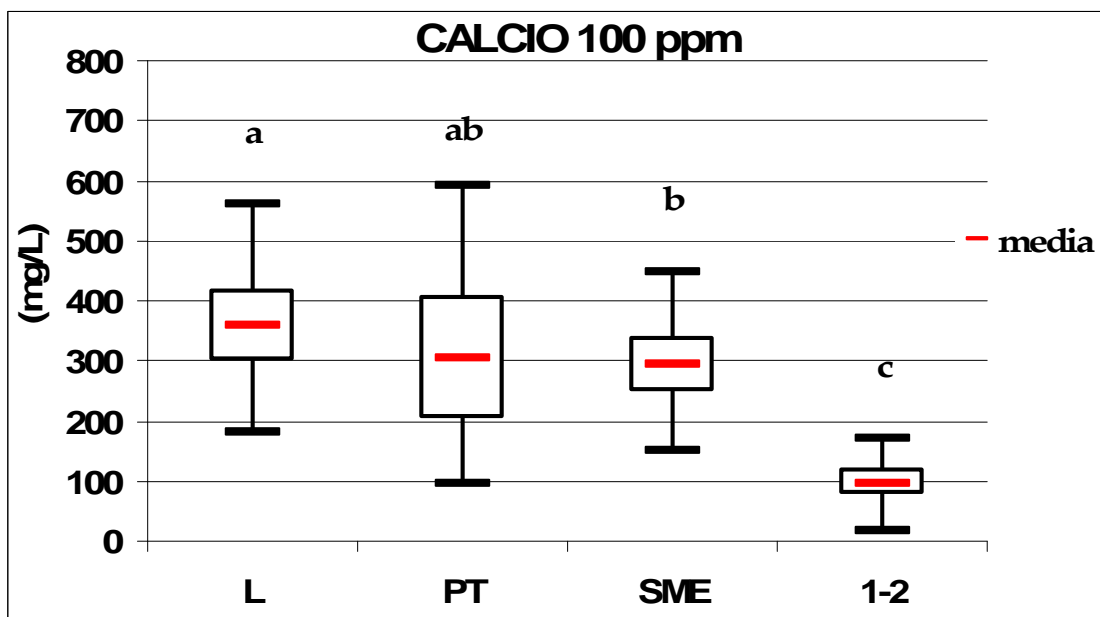


Figura 175 Calcio – Effetto del trattamento fertilizzante 100 ppm di azoto sul contenuto di calcio della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

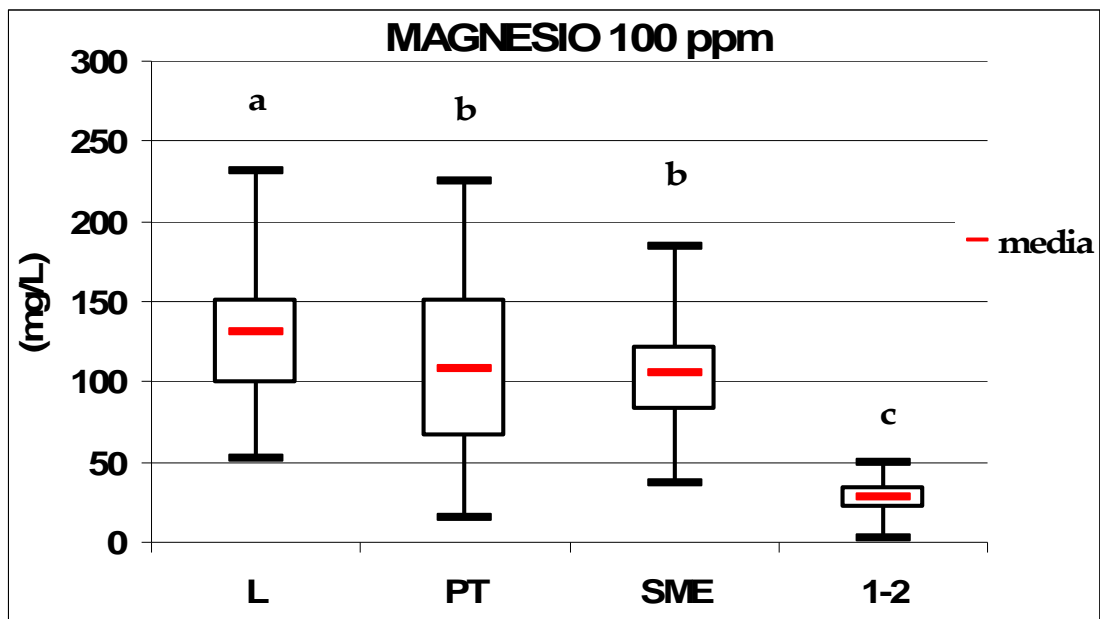


Figura 176 Magnesio – Effetto del trattamento fertilizzante 100 ppm di azoto sul contenuto di magnesio della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

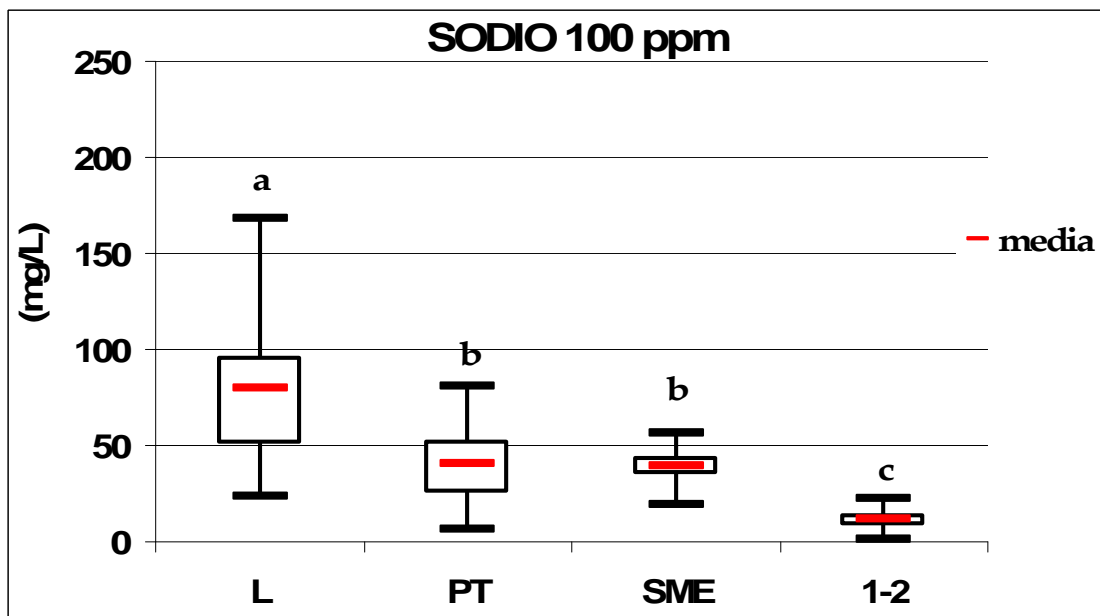


Figura 177 Sodio – Effetto del trattamento fertilizzante 100 ppm di azoto sul contenuto di sodio della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.



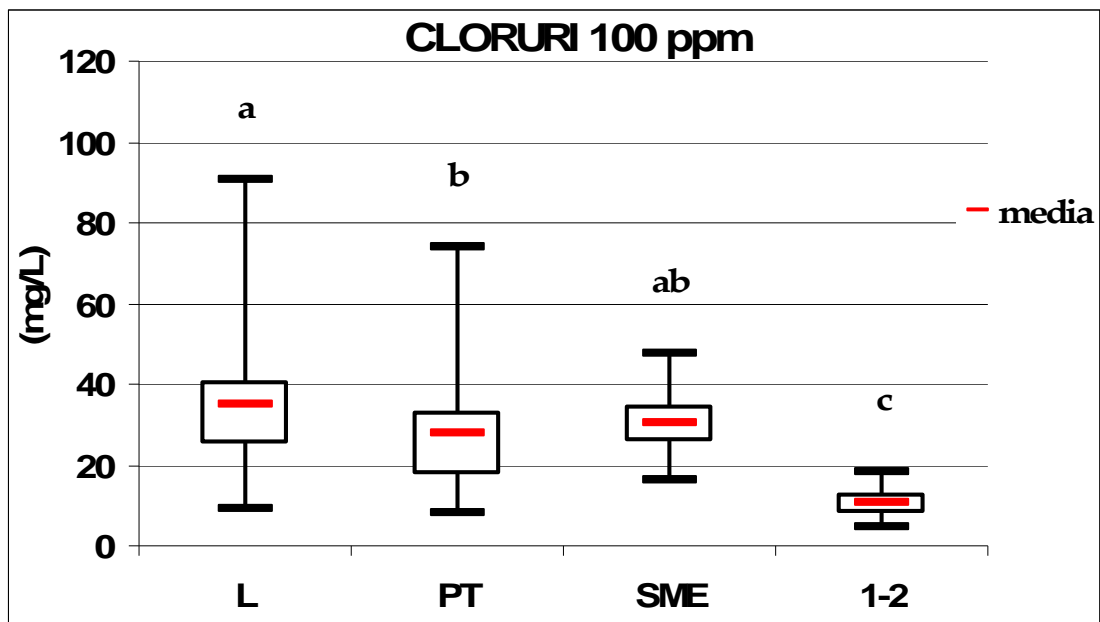


Figura 178 Cloruri – Effetto del trattamento fertilizzante 100 ppm di azoto sul contenuto di cloruri della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

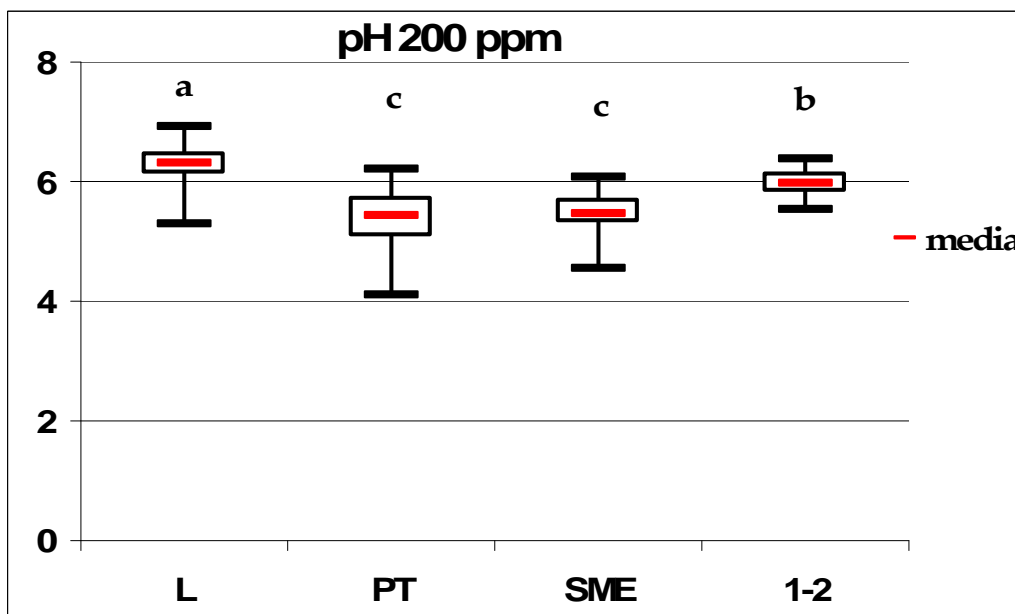


Figura 179 pH –Effetto del trattamento fertilizzante 200 ppm di azoto sui valori di pH della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

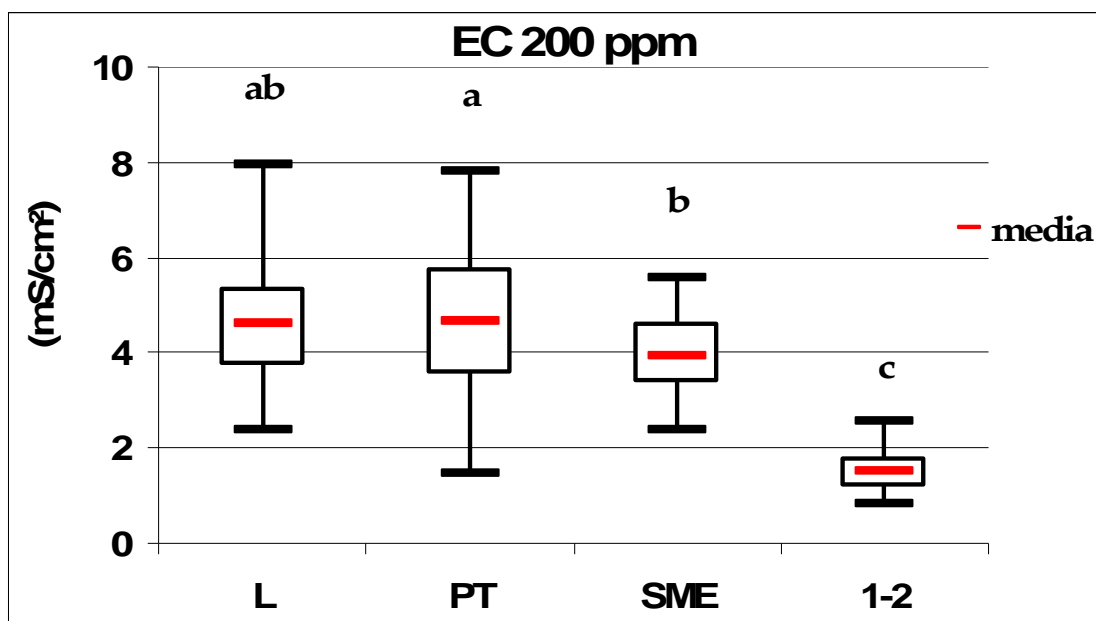


Figura 180 Nitrati – Effetto del trattamento fertilizzante 200 ppm di azoto sul contenuto di nitrati della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

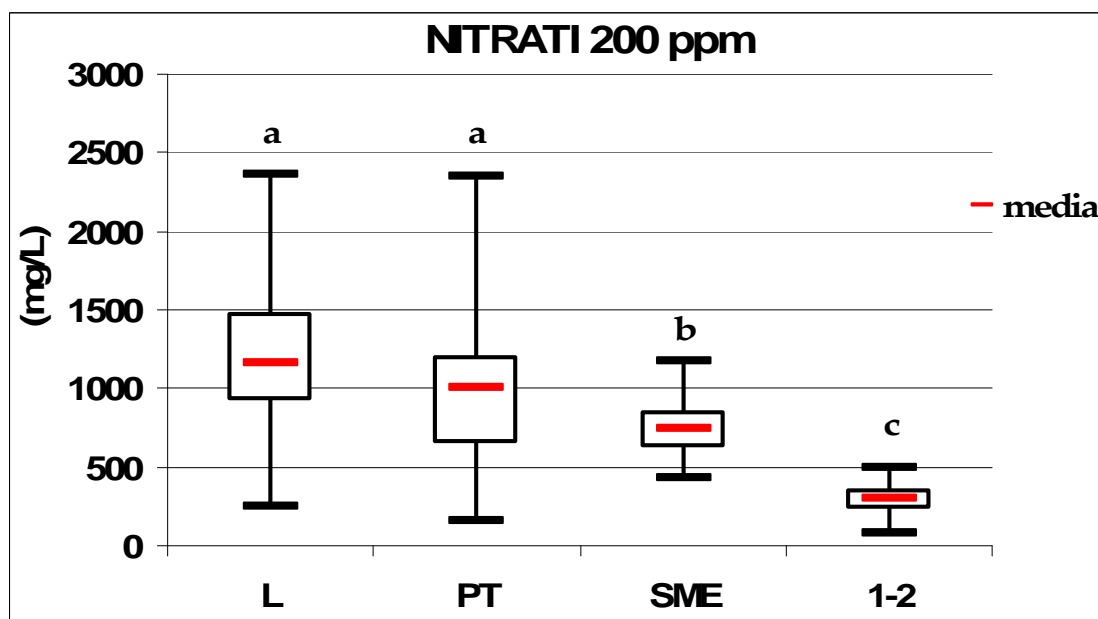


Figura 181 Nitrati – Effetto del trattamento fertilizzante 200 ppm di azoto sul contenuto di nitrati della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

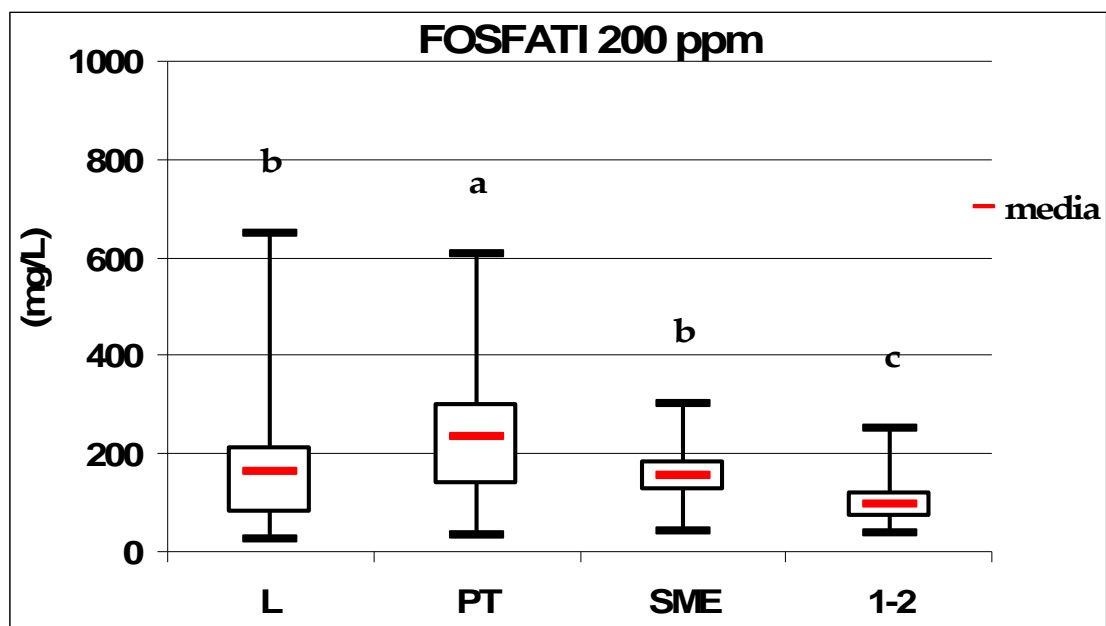


Figura 182 Fosfati – Effetto del trattamento fertilizzante 200 ppm di azoto sul contenuto di fosfati della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

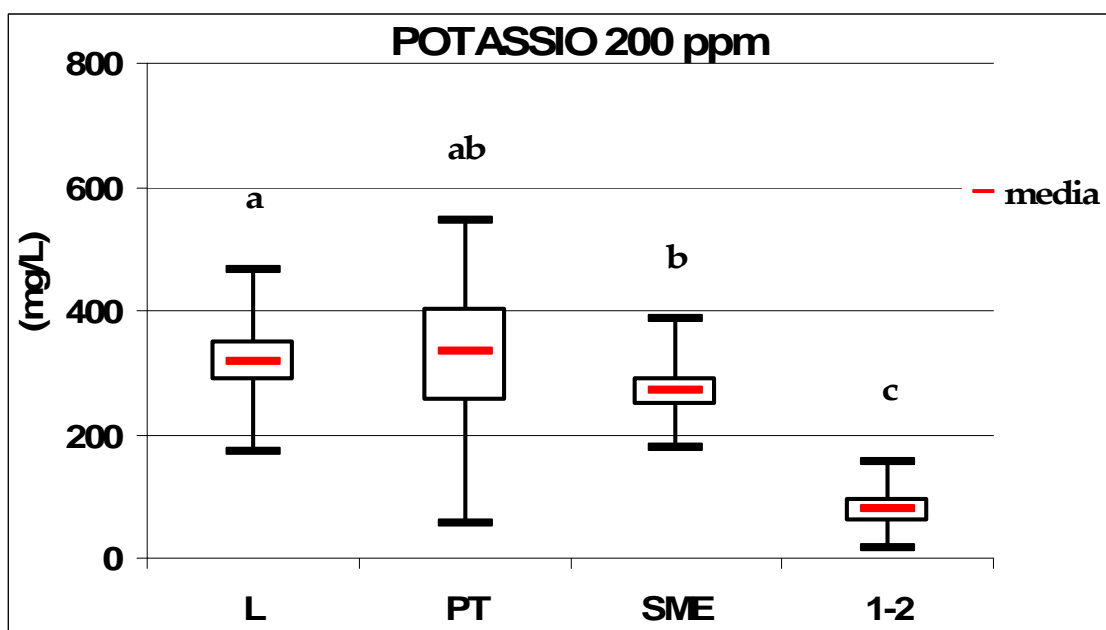


Figura 183 Fosfati – Effetto del trattamento fertilizzante 200 ppm di azoto sul contenuto di fosfati della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

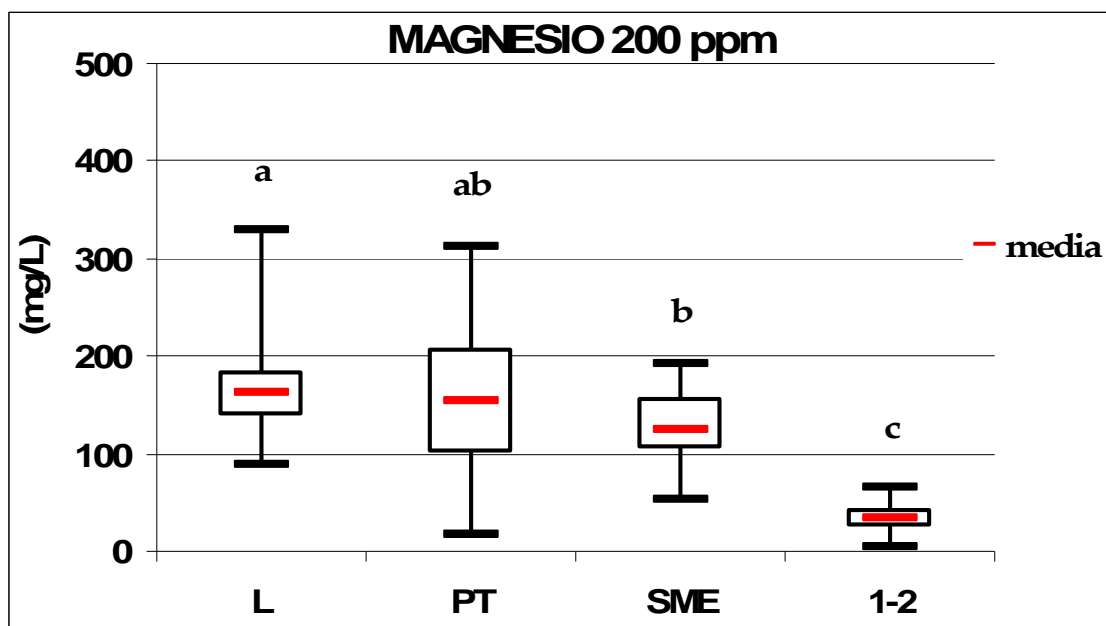


Figura 184 Magnesio – Effetto del trattamento fertilizzante 200 ppm di azoto sul contenuto di magnesio della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

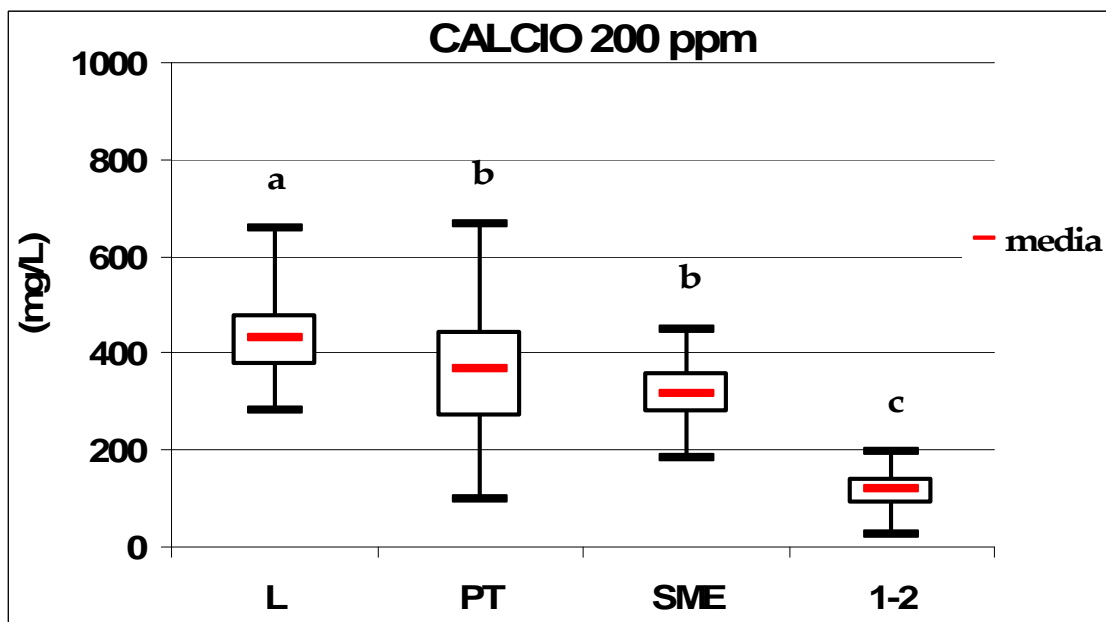


Figura 185 Calcio – Effetto del trattamento fertilizzante 200 ppm di azoto sul contenuto di calcio della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

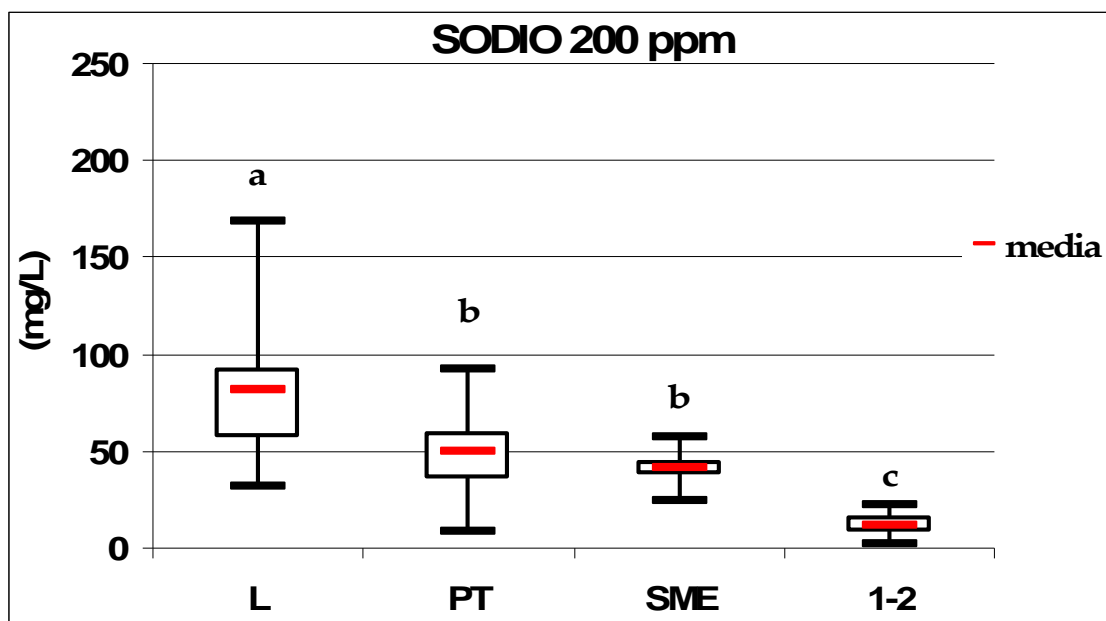


Figura 186 Sodio – Effetto del trattamento fertilizzante 200 ppm di azoto sul contenuto di sodio della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

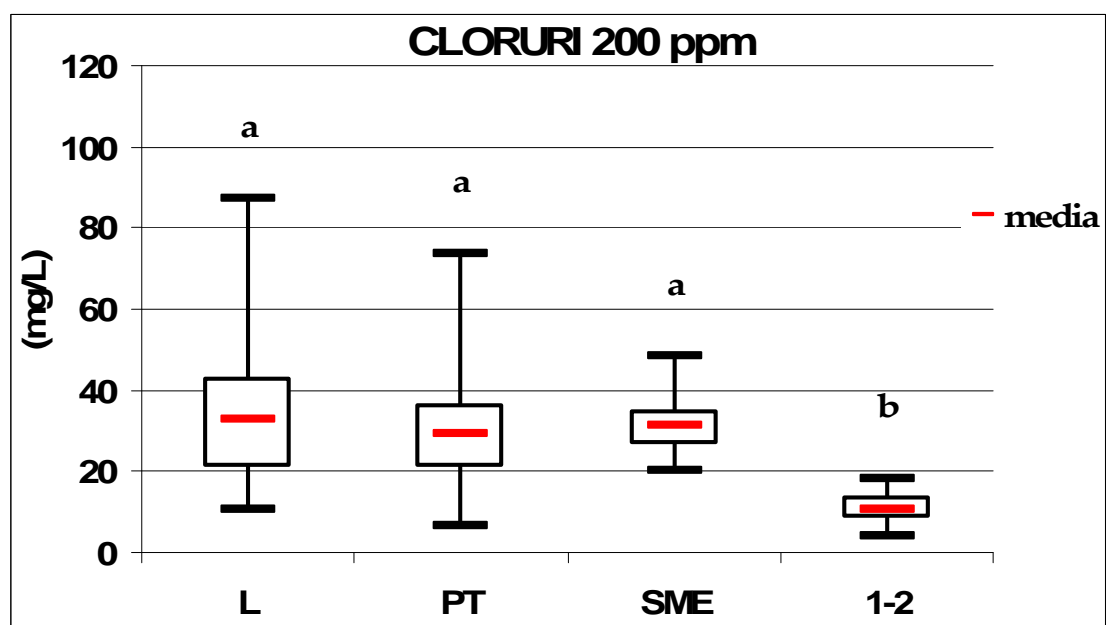


Figura 187 Cloruri – Effetto del trattamento fertilizzante 200 ppm di azoto sul contenuto di cloruri della soluzione circolante estratta con quattro tecniche diverse. Valori con lettere diverse differiscono per  $P \leq 0,05$  (test di Duncan). L= lisimetri a suzione; PT= metodo PourThru; SME= metodo SME; 1:2= metodo 1:2.

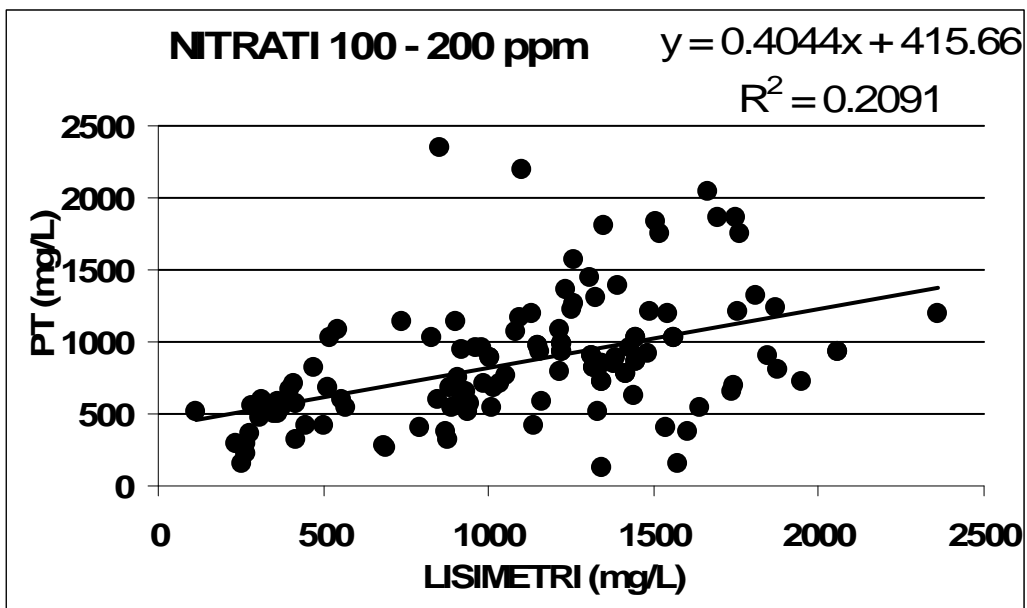


Figura 188 Nitrati – Relazione tra il contenuto di nitrati rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PourThru.

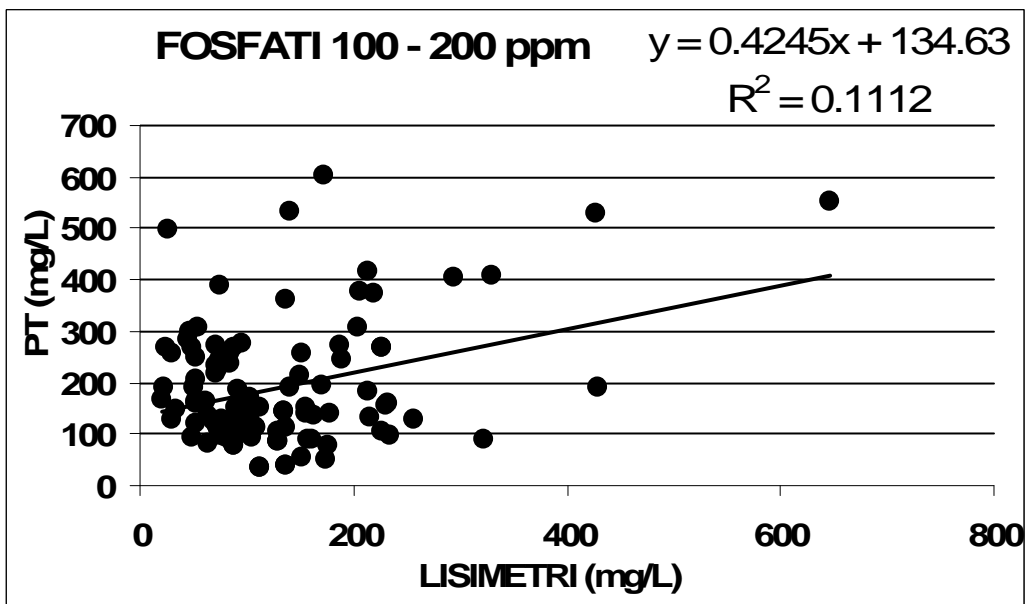


Figura 189 Fosfati – Relazione tra il contenuto di fosfati rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PourThru.

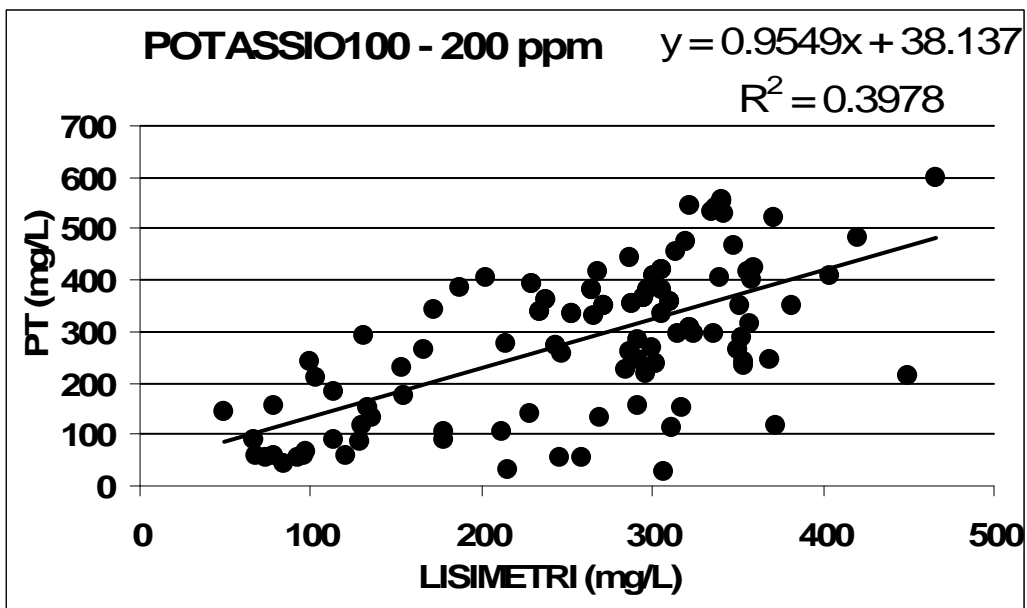


Figura 190 Potassio – Relazione tra il contenuto di potassio rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PourThru.

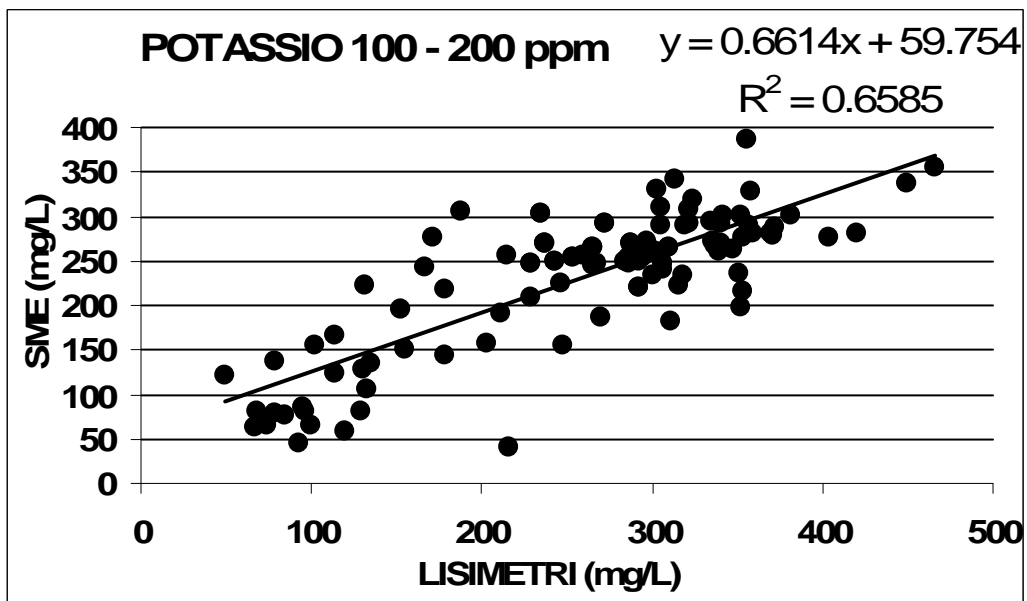


Figura 191 Potassio – Relazione tra il contenuto di potassio rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo SME.

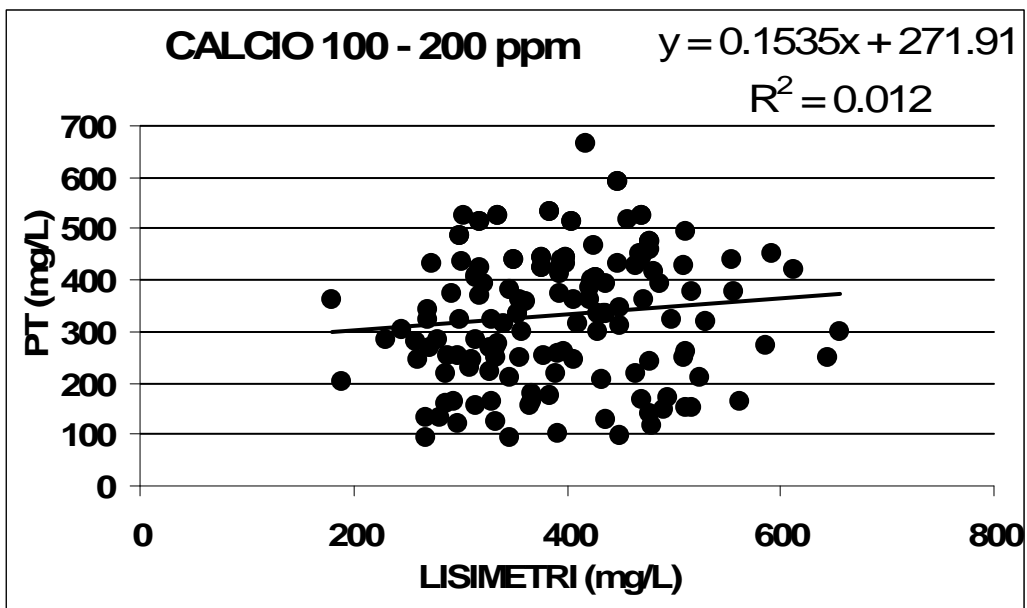


Figura 192 Calcio – Relazione tra il contenuto di calcio rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PourThru.

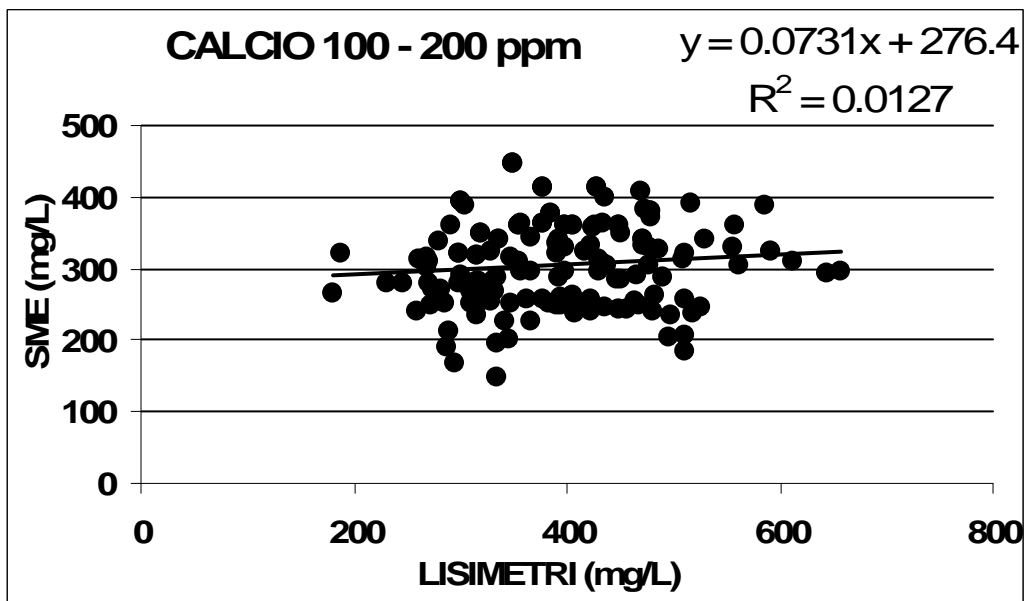


Figura 193 Calcio – Relazione tra il contenuto di calcio rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo SME.



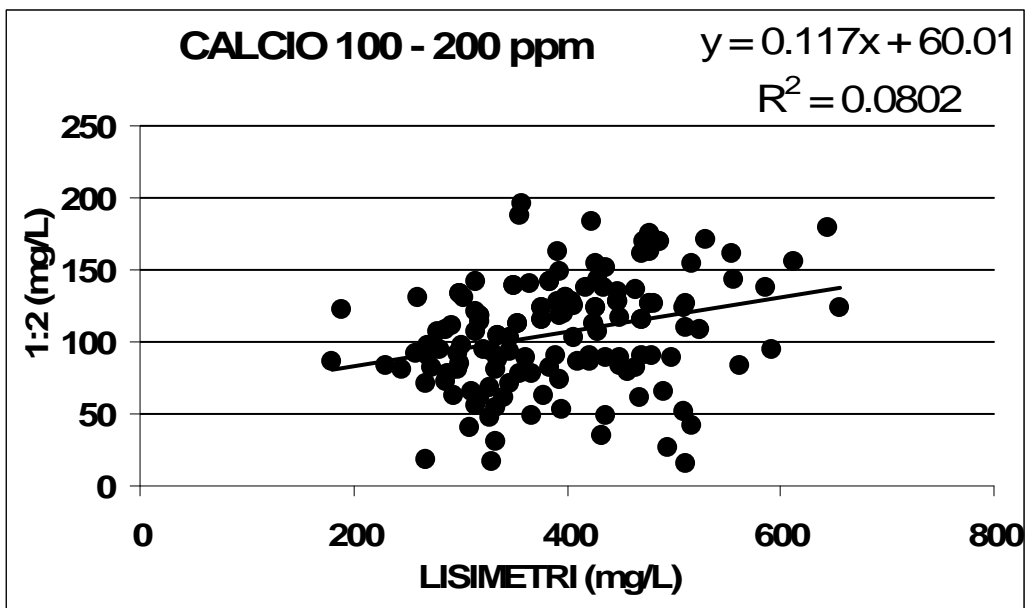


Figura 194 Calcio – Relazione tra il contenuto di calcio rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo 1:2.

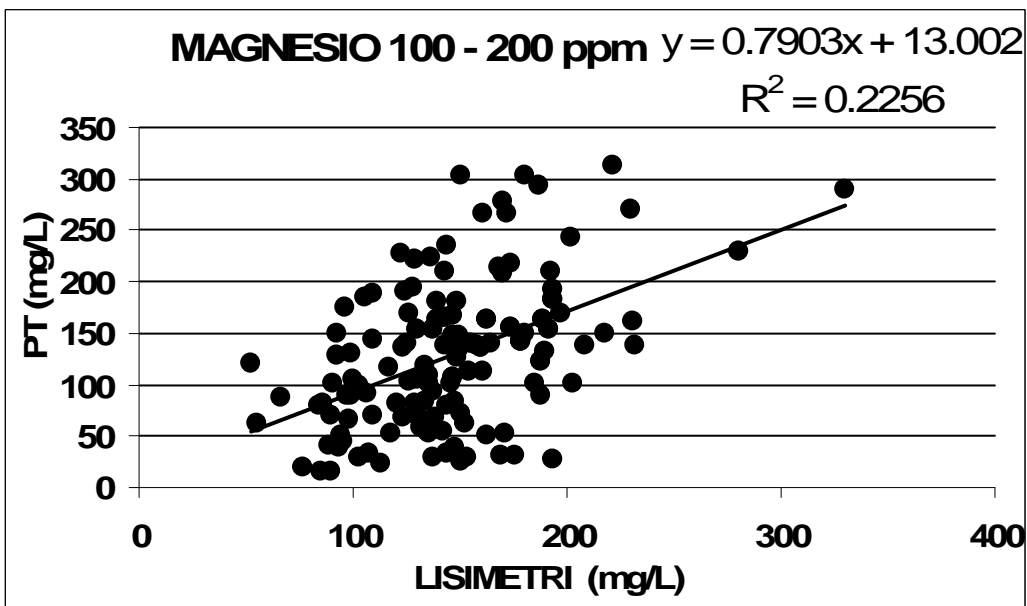


Figura 195 Magnesio – Relazione tra il contenuto di magnesio rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PourThru.

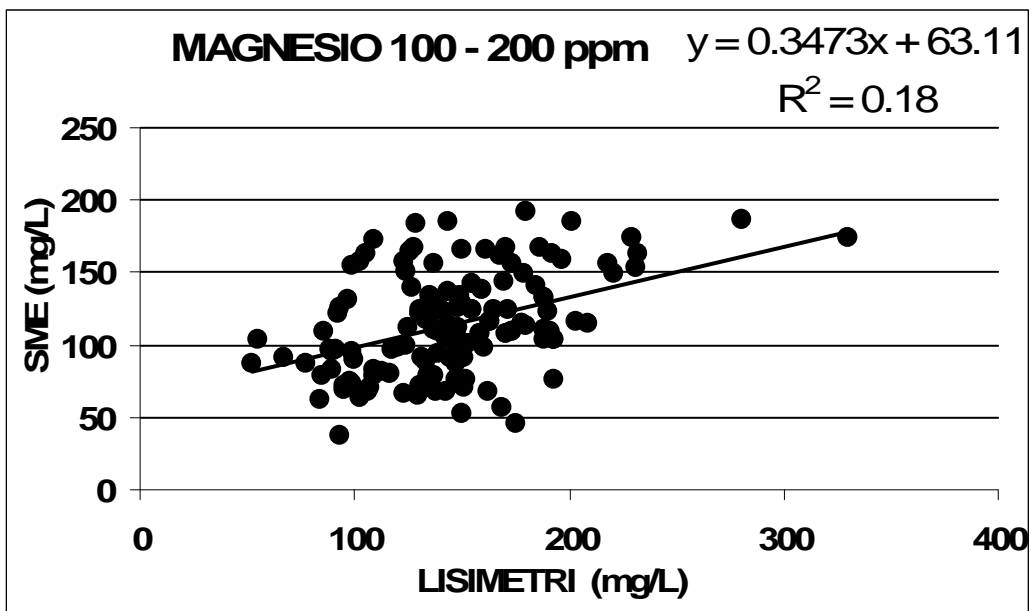


Figura 196 Magnesio – Relazione tra il contenuto di magnesio rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo SME.

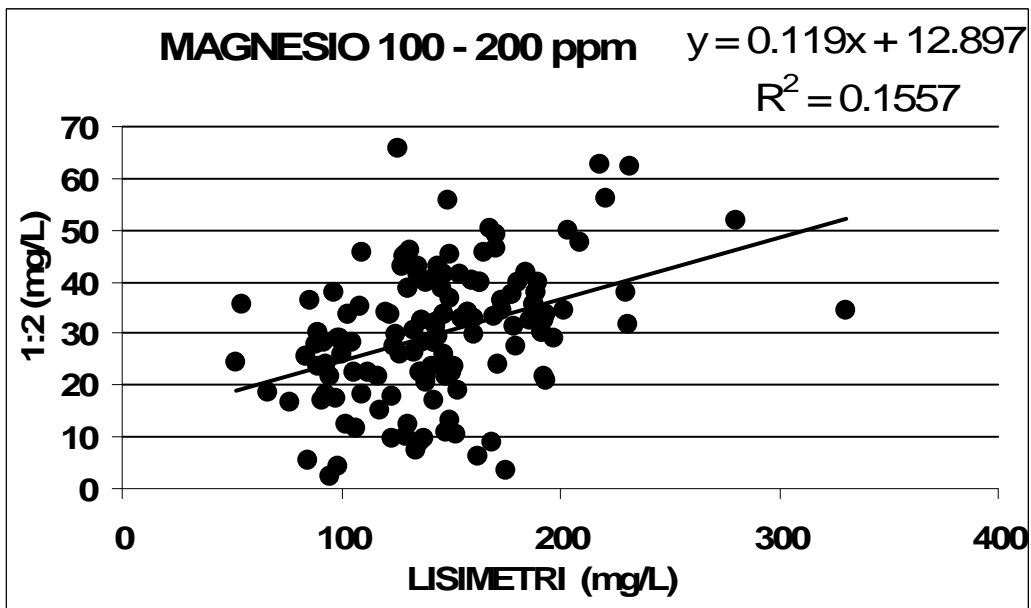


Figura 197 Magnesio – Relazione tra il contenuto di magnesio rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo 1:2.

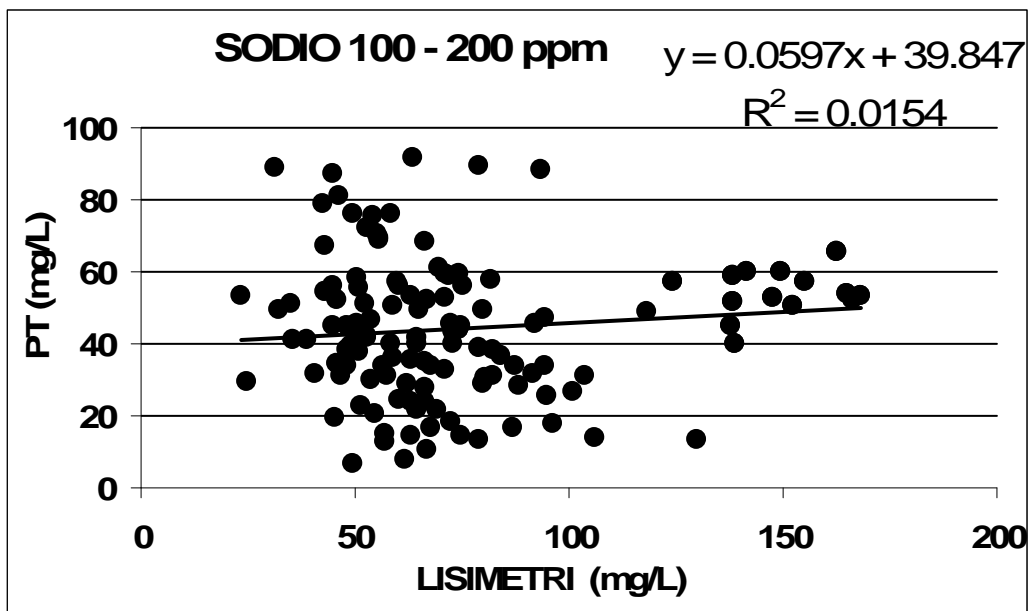


Figura 198 Sodio – Relazione tra il contenuto di sodio rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PourThru.

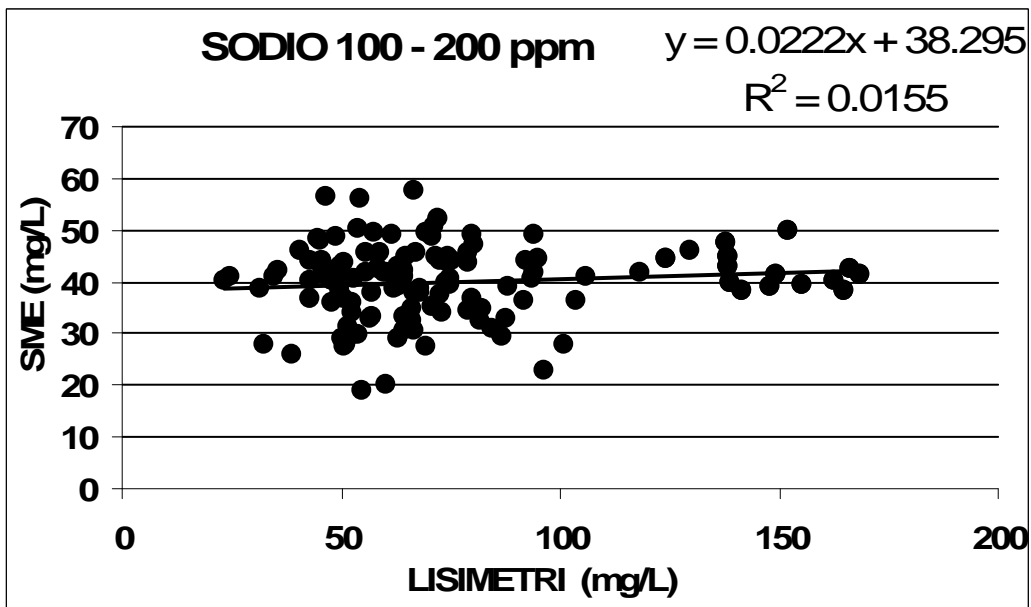


Figura 199 Sodio – Relazione tra il contenuto di sodio rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo SME.

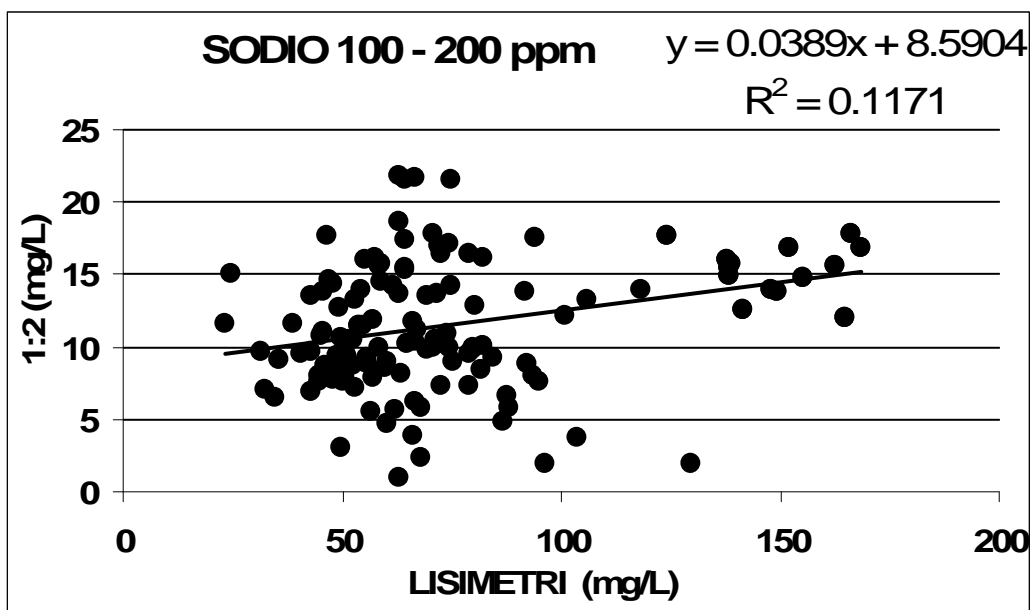


Figura 200 Sodio – Relazione tra il contenuto di sodio rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo 1:2.

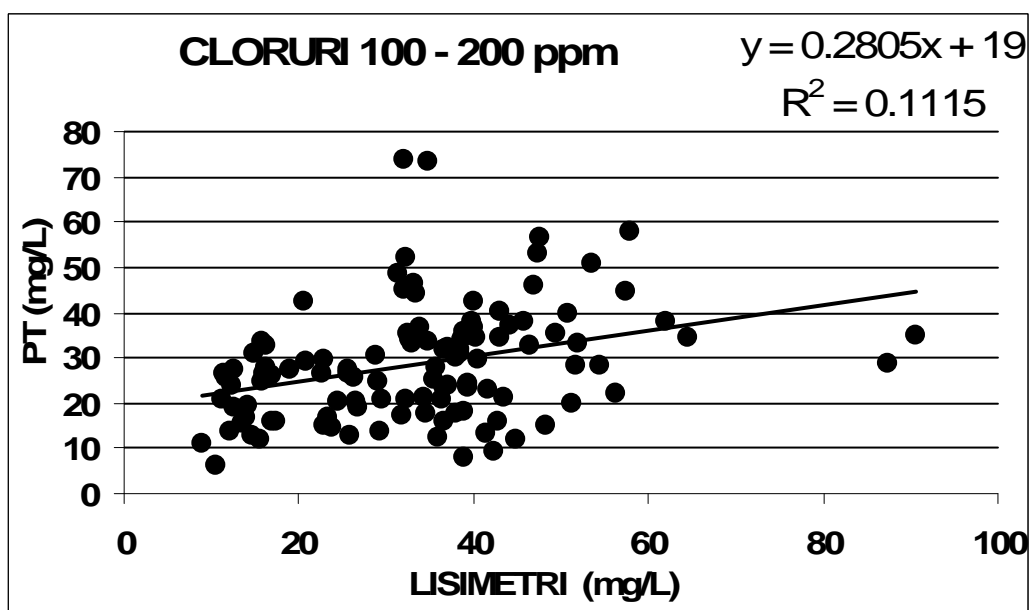


Figura 201 Cloruri – Relazione tra il contenuto di cloruri rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo PourThru.

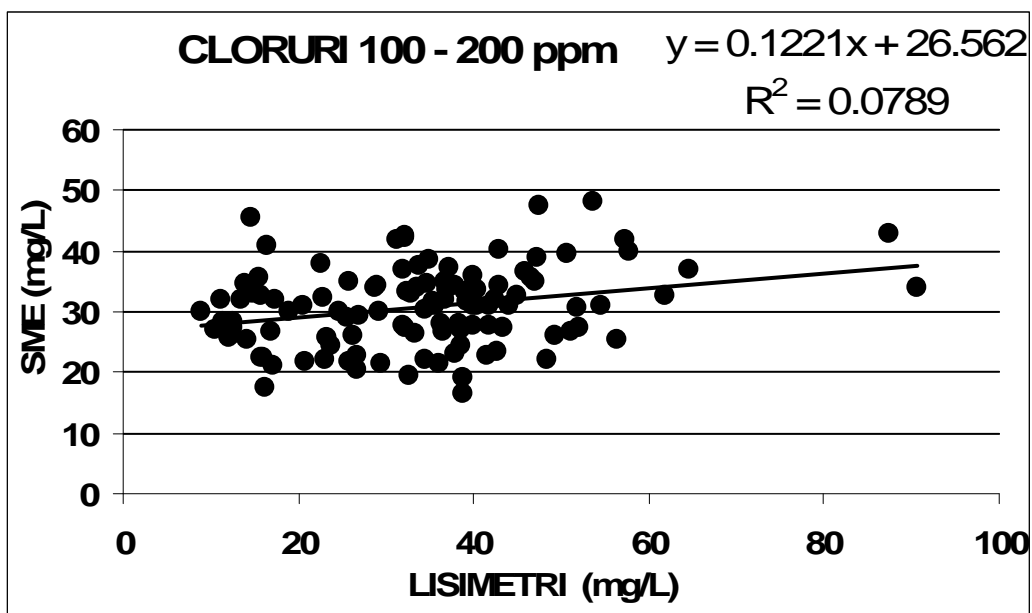


Figura 202 Cloruri – Relazione tra il contenuto di cloruri rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo SME.

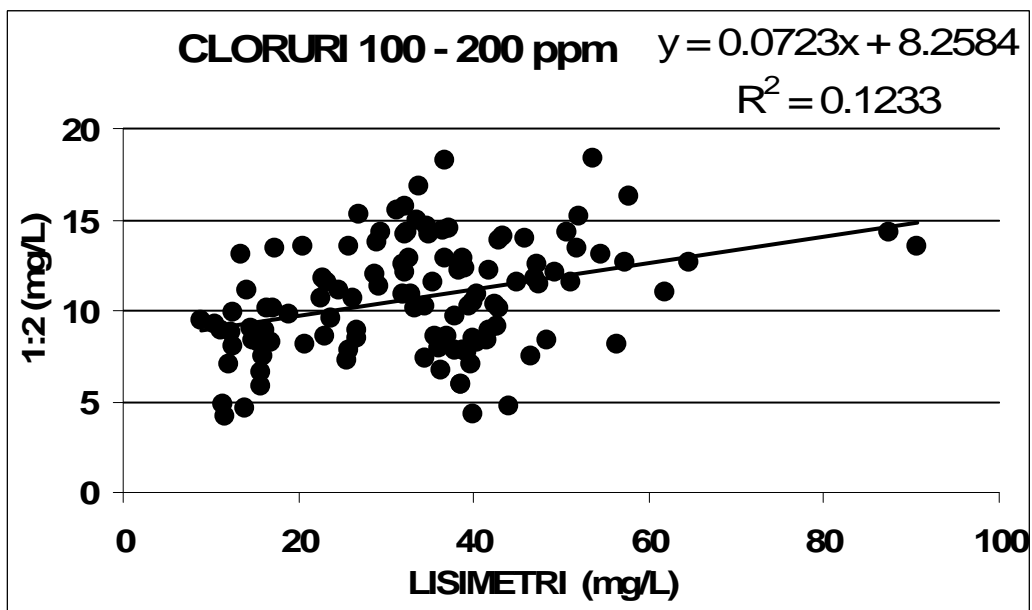


Figura 203 Cloruri – Relazione tra il contenuto di cloruri rilevato nei campioni ottenuti con i lisimetri e il metodo 1:2.

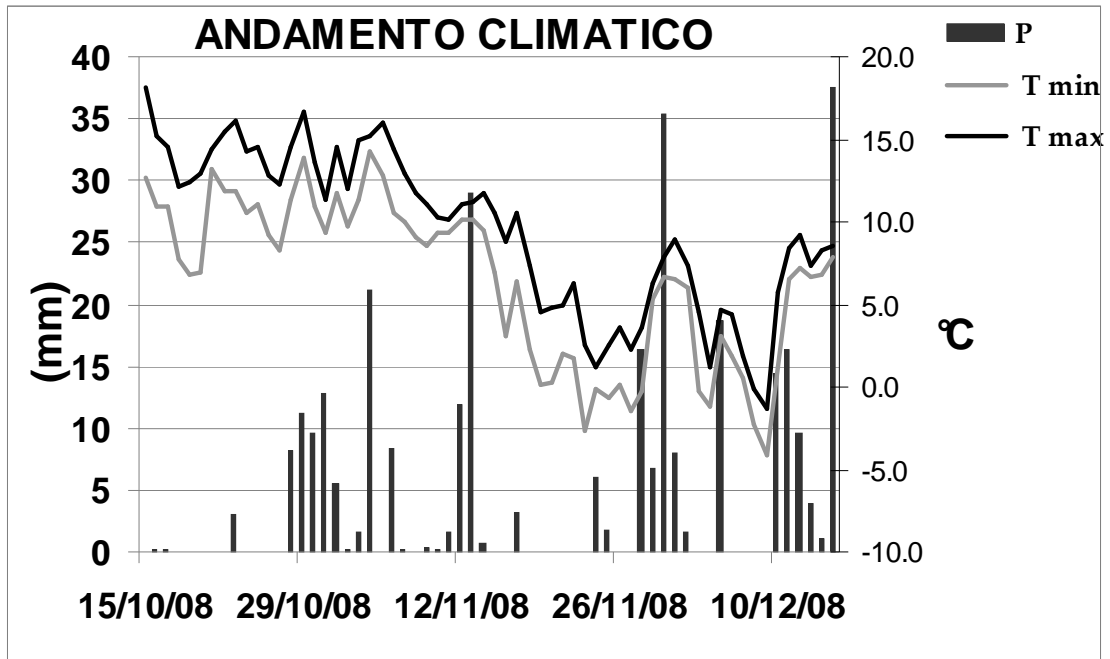


Figura 204 Bietola / Spinacio – Andamento termo-pluviometrico rilevato durante il periodo di esecuzione dei prelievi di soluzione circolante nel terreno.

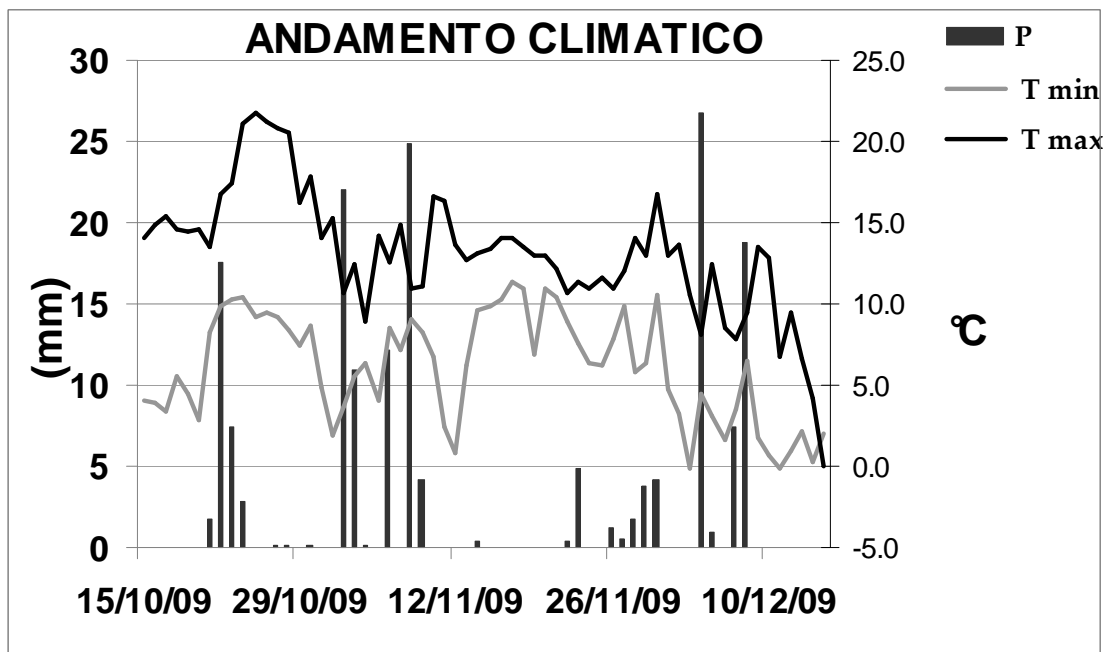


Figura 205 Bietola / Cavolo verza – Andamento termo-pluviometrico rilevato durante il periodo di esecuzione dei prelievi di soluzione circolante nel terreno.