



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA IN

SCIENZE DELLE PRODUZIONI VEGETALI

INDIRIZZO AGRONOMIA AMBIENTALE - CICLO XX

Dipartimento di Agronomia ambientale e produzioni vegetali

***ANALISI DELLE CARATTERISTICHE OTTICHE DELLA COPERTURA
VEGETALE DI POMODORO DA INDUSTRIA COME STRUMENTO PER
UNA GESTIONE ECO-COMPATIBILE DELLA CONCIMAZIONE***

Direttore della Scuola : Ch.mo Prof. Andrea Battisti

Supervisore : Ch.mo Prof. Paolo Sambo

Dottorando: Valente Forte

DATA CONSEGNA TESI

31 gennaio 2008

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.

31 Gennaio 2008

Valente Forte

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

INDICE

INDICE.....	5
RIASSUNTO.....	7
SUMMARY.....	9
INTRODUZIONE	11
PREMESSA.....	13
AMBIENTE E SOSTENIBILITÀ	13
IL COMPITO DELLA NUTRIZIONE VEGETALE.....	16
PROBLEMATICHE DELLA CONCIMAZIONE.....	17
IL NUTRIENTE FOSFATO	19
IL NUTRIENTE POTASSICO	21
DIAGNOSI OTTICA DELLO STATO NUTRIZIONALE	23
IMPORTANZA ECONOMICA DEL POMODORO DA INDUSTRIA.....	27
SCOPO DEL LAVORO.....	31
PROVA IN PIENO CAMPO 2005	33
MATERIALI E METODI.....	33
RISULTATI	34
CONCLUSIONI	35
PROVA IN SERRA 2005	36
MATERIALI E METODI.....	36
RISULTATI	37
CONCLUSIONI	38
PROVA IN PIENO CAMPO 2006	39
MATERIALI E METODI.....	39
RISULTATI	44
CONCLUSIONI	46
PROVA IN SERRA 2007	47
MATERIALI E METODI.....	47
RISULTATI	50
CONCLUSIONI	56
CONCLUSIONI.....	57
BIBLIOGRAFIA	59
FIGURE.....	63

APPENDICE	123
RINGRAZIAMENTI	131

RIASSUNTO

Considerando lo stimolo produttivo conferito dalla concimazione nel pomodoro da industria, le problematiche di accumulo di nutrienti nel terreno ma soprattutto il continuo aumento dei prezzi di acquisto dei fattori produttivi, si ritiene opportuno l'utilizzo di sistemi di gestione e tecnologie di distribuzione in grado di ottimizzare l'efficienza di utilizzo degli elementi nutritivi.

Le esperienze sperimentali hanno già dimostrato l'efficacia degli strumenti ottici nella gestione della concimazione azotata, pertanto sulla base dei soddisfacenti risultati ottenuti si ipotizza la possibilità di applicare gli stessi strumenti per la gestione dei macronutrienti fosforo e potassio, per l'individuazione non-distruttiva delle condizioni nutrizionali vegetali.

Il presente lavoro si pone dunque l'intento di valutare le possibili influenze sulle caratteristiche ottiche delle foglie in carenza di fosforo e potassio, utilizzando il radiometro Multispectral Radiometer Cropscan MSR-87.

Durante i tre anni di studio sono state condotte prove su pomodoro da industria, si sono susseguite una fase di screening degli indici a disposizione per determinare quale tra questi fosse in grado di individuare i sintomi indotti da diversi livelli di concimazione ed una fase di riprova dei risultati preliminari. Nella prima fase sono state utilizzate soluzioni nutritive che non apportavano uno dei tre macroelementi confrontate con una soluzione nutritiva completa. Individuati gli indici più adatti è stata ripetuta la prova in pieno campo e impostato un secondo screening in serra utilizzando dosi crescenti di fertilizzante in modo tale da verificare la sensibilità degli indici nel individuare i sintomi di carenza e/o eccesso di nutriente.

La prima fase ha permesso di confermare che l'indice NIR/Green è il più adatto nel individuare i sintomi di carenza di azoto. È stato inoltre possibile stabilire che la carenza di potassio è difficilmente identificabile e generalmente è associata dallo strumento ad una condizione vegetativa normale ma anche che la carenza di fosforo induce dei valori di riflettanza simili a quelli registrati in condizioni di scarso apporto azotato. L'utilizzo congiunto dell'indice NIR/760 e dell'indice 1/Refl Norm (560) permette, in condizioni controllate e di evidente carenza nutrizionale, di distinguere tra la carenza di azoto e quella di fosforo.

La rilevazione dei valori di riflettanza sulla canopy della prova in campo somministrando le medesime soluzioni nutritive ha evidenziato come sia più difficile raggiungere situazioni di carenza e che a differenza di quanto osservato nella prova preliminare gli indici utilizzati non sono risultati

determinanti nella discriminazione dei trattamenti. Ancora una volta è possibile notare come sia distinguibile il trattamento relativo all'azoto con l'indice NIR/Green che fa registrare nella fase finale valori di riflettanza inferiori agli altri trattamenti.

La seconda fase di screening degli indici condotta nell'anno 2007 con la prova di coltivazione in serra tunnel utilizzando soluzioni con contenuti crescenti di elementi nutritivi ha permesso di individuare indici capaci di distinguere i trattamenti relativi a ciascun elemento. Non si risolve però il problema, quando si confrontano i trattamenti, poiché i valori di riflettanza, a parità di dose, sono simili per gli elementi presi in considerazione.

La possibilità di poter dunque gestire la concimazione del pomodoro da industria utilizzando gli effetti indotti sulla canopy è dunque realtà per quanto riguarda la gestione della concimazione azotata, ma resta un'ipotesi da confermare nel caso della concimazione fosfatica e potassica.

SUMMARY

Considering the positive effects of fertilization on the yield of processed tomato and the emerging environmental risks due to heavy use of those productive factors beside the increasing market price, it would be better advised to use management systems and distribution technologies able to improve the efficiency of those important production factors.

Previous experimental trials showed the efficacy of some optical tools in the management of nitrogen fertilization in processed tomato and on the base of those results it is supposed the chance of using the same tools to optimize even the other two macro-nutrients, phosphate and potassium, for a non-destructive evaluation of crop nutritional status.

The aim of the research is to evaluate the modification induced by the deficiency of phosphorus and potassium on tomato canopy using the Multispectral Radiometer Cropsan MSR-87.

A three year trial was set up to detect, between the available indices, the ones useful to the estimate the effects of different levels of fertilization and to confirm the preliminary results.

During the first year tomato plants have been fertilized with nutrient solution deficient of one of the elements and compared to a complete nutrient solution. This preliminary trial allowed to identify few indices suitable for the purpose. Those indices have been used during the second and third year to determine their effectiveness in detecting the induced deficient status in open field cultivation using the previous nutrient solutions. Beside the open field trial, an increasing doses trial was set up to verify if the indices could detect different levels of deficiency or excess.

The first trial confirmed the suitability of NIR/Green index in detecting nitrogen deficiency. It showed that the low availability of potassium is identify by the optical tool as a non-deficient status and on the other side that the phosphate deficiency is detected by the tool as a nitrogen deficiency. Using the NIR/760 and the 1/Ref. Norm (560), in controlled condition, it is possible to distinguish the nitrogen treatment by the phosphate one.

In the open field trial it has been difficult to reach an evident deficient status even supplying the same nutrient solution used in the previous trial. In this case the indices were not able to distinguish the treatments and only the NIR/Green showed the nitrogen deficiency as was stated in previous trials.

The indices were able to detect the different levels of deficiency during the third trial conducted in a greenhouse using different doses of elements but when the same index was used to compare the same dose of different elements, no distinction between treatments was showed.

The management of fertilization in processed tomato using optical tools is possible for nitrogen application but it is still to be confirmed for the other two macronutrients.

INTRODUZIONE

PREMESSA

L'agricoltura, oggi giorno è in continua evoluzione e mutamento perché, come tutte le attività umane, deve affrontare alcune difficili problematiche, talune immediate ed altre future, quali:

- La progressiva diminuzione delle risorse energetiche attualmente utilizzate, come il petrolio;
- Il costante aumento dei prezzi per l'acquisto dei fattori produttivi;
- La diminuzione dei prezzi di vendita dei prodotti agricoli;
- La disponibilità limitata dell'acqua;
- L'inquinamento ambientale;

Per questa serie di motivi l'agricoltura deve garantire nel lungo periodo la rinnovabilità del processo produttivo, cercando in ogni momento di salvaguardare l'ambiente e cercando di tutelare la redditività del processo stesso mirando all'ottenimento del più basso rapporto tra costi e benefici. Bisogna quindi mirare ad un'agricoltura che faccia particolare attenzione alla gestione dell'acqua tramite l'irrigazione e soprattutto della concimazione. Uno dei mezzi principali che ci permette di attuare questo cambiamento nell'agricoltura è l'innovazione tecnologica e la sua applicazione nella nutrizione controllata delle piante; consentendo così di ridurre i costi di produzione nel lungo periodo e soprattutto di limitare in maniera sostanziale l'immissione di sostanze inquinanti, contribuendo alla conservazione del suolo e degli altri fattori ambientali. Da qualche decennio, in particolar modo, da quando sono divenuti evidenti i danni e i rischi legati all'uso esagerato di fattori di produzione come gli antiparassitari e i fertilizzanti, le istituzioni internazionali e nazionali hanno incominciato ad emanare leggi e regolamenti per un loro uso più disciplinato. Parallelamente è iniziata la ricerca di soluzioni alternative ai metodi tradizionali.

AMBIENTE E SOSTENIBILITÀ

Da alcuni anni è stato creato un codice di buona pratica agricola (CBPA), relativo alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati (Direttiva CEE 91/676), e da fitofarmaci provenienti da fonti agricole. Sono incoraggiate quelle tecniche con le quali la concimazione azotata è effettuata con poco anticipo rispetto ai momenti di fabbisogno (concimazione in copertura, fertirrigazione). Inoltre è ribadita l'importanza di praticare la

fertirrigazione con metodi irrigui che assicurano un'elevata efficienza distributiva dell'acqua e un razionale utilizzo degli elementi nutritivi, per limitare le perdite per dilavamento o l'accumulo di elevate quantità di elementi nel terreno non utilizzati dalle piante, divenendo così fonte di inquinamento ambientale. Nella politica agricola comune, infatti, le questioni ambientali sono di primaria importanza; è, infatti, da notare come la metà della superficie dell'Unione europea sia adibita all'agricoltura. Per questo motivo l'attività agricola è di essenziale importanza per l'ambiente naturale dell'UE, infatti, l'interazione fra agricoltura e natura è profonda. Nel corso dei secoli l'agricoltura ha contribuito alla creazione e alla salvaguardia di una grande varietà di habitat seminaturali di elevato pregio. Al giorno d'oggi sono proprio questi habitat che caratterizzano la maggioranza dei paesaggi dell'UE ed ospitano molte specie vegetali e animali. L'agricoltura è inoltre fonte di reddito per una comunità rurale diversificata che non soltanto rappresenta un bene insostituibile della cultura europea, ma svolge anche un ruolo fondamentale nel preservare l'equilibrio dell'ambiente.

Purtroppo l'inquinamento del suolo, dell'acqua e dell'aria, la frammentazione degli habitat e la scomparsa della fauna selvatica possono essere frutto di pratiche agricole e di un utilizzo della terra inappropriati, per questa ragione le politiche dell'UE, mirano sempre più a prevenire i rischi di degrado ambientale, incoraggiando al tempo stesso gli agricoltori a continuare a svolgere un ruolo positivo nella salvaguardia del paesaggio e dell'ambiente grazie a misure mirate allo sviluppo rurale e contribuendo a garantire la redditività dell'agricoltura. Alla situazione attuale è emerso che questo settore è responsabile di circa il 10% delle emissioni di gas serra nella UE. In risposta a questa situazione è stato presentato un programma europeo per il cambiamento climatico (ECCP), lanciato nel marzo 2000, esso contiene piani relativi alle modalità in cui l'UE manterrà gli impegni assunti nel protocollo di Kyoto per ridurre entro il 2012 le emissioni di gas a effetto serra (GHG) dell'8%.

Tre sono le principali fonti di emissioni GHG causate dall'agricoltura:

Emissioni di N_2O (ossido di azoto) dal suolo, ascrivibili principalmente all'utilizzo di concimi azotati;

Emissioni di CH_4 (metano) dovute alla fermentazione enterica e il 41% di tutte le emissioni di CH_4 nell'UE proviene dal settore agricolo;

Emissioni di CH_4 e di N_2O dovute al trattamento del letame.

Sono stati istituiti gruppi di lavoro ECCP sull'agricoltura e sui cosiddetti "carbon sinks", o "serbatoi di carbonio" (connessi ai terreni agricoli e alla silvicoltura), essi hanno individuato gli strumenti più efficaci per affrontare i problemi dei GHG nel settore agricolo, nonché le modalità

con cui l'agricoltura potrebbe incidere positivamente sul problema del cambio climatico. Essi hanno preso in esame misure in grado di ridurre i gas ad effetto serra, i loro effetti collaterali per l'ambiente e il potenziale impatto a livello socio-economico.

Per quanto riguarda le emissioni GHG, il gruppo di lavoro ha individuato un potenziale tecnico corrispondente al 7,4% delle emissioni GHG provenienti dall'agricoltura. Tuttavia si è stimato che tale potenziale sia molto inferiore al potenziale di riduzione dei gas ottenibile con la produzione agricola di biocarburanti.

Le misure tecniche per la riduzione dei GHG prese in considerazione includono:

Incoraggiare l'utilizzo di fertilizzanti più efficaci per ridurre l'uso complessivo, processo già avviato nel quadro dell'esistente legislazione sui nitrati (la direttiva comunitaria sui nitrati);

Introdurre il compostaggio e taluni miglioramenti nei sistemi di digestione anaerobica (ad esempio per la produzione di biogas) per risolvere il problema dei sottoprodotti e dei materiali di scarto biodegradabili;

Dare nuovo impulso alla produzione della biomassa, alla lavorazione del terreno basata su principi di tutela dell'ambiente e all'agricoltura biologica.

La politica agricola comune ha migliorato il criterio di rispetto delle buone pratiche agronomiche e delle condizioni ambientali finalizzate alla protezione del suolo. Infatti, per quanto riguarda i processi di degrado del suolo, quali la desertificazione, l'erosione, la diminuzione di sostanza organica presente all'interno di esso, l'inquinamento (ad esempio da metalli pesanti), l'impermeabilizzazione, la compattazione, la diminuzione della biodiversità e la salinizzazione, possono far sì che il suolo perda la capacità di adempiere le sue principali funzioni. Questi processi di degrado spesso sono causati da pratiche agricole inadatte, quali una concimazione non equilibrata, un'eccessiva estrazione di acque sotterranee a fini di irrigazione, l'uso improprio di antiparassitari e il ricorso a macchinari pesanti.

Per cercare di contrastare questo degrado sono state prese delle misure agroambientali finalizzate alla protezione del suolo dall'erosione, al mantenimento della struttura e della quantità di materia organica in esso presente.

Per contrastare i problemi dovuti all'utilizzo dell'acqua la politica agricola comune sostiene gli investimenti volti a migliorare lo stato delle infrastrutture di irrigazione e a consentire agli agricoltori di passare a tecniche di irrigazione più efficienti. Essa tutela inoltre la qualità delle acque in relazione agli antiparassitari ed ai vari elementi nutritivi, in particolar modo ai nitrati.

L'uso a fini agricoli dell'acqua costituisce il 30% circa dell'utilizzo complessivo dell'acqua nell'Unione europea. Nella maggior parte dei paesi dell'Europa meridionale (dove costituisce un elemento fondamentale) l'irrigazione rappresenta oltre il 60% dell'uso dell'acqua; negli Stati membri settentrionali essa va da zero fino al 30% e oltre. La quantità di acqua utilizzata a fini di irrigazione dipende da fattori quali il clima, il tipo di coltura, le caratteristiche del suolo, la qualità dell'acqua, le pratiche di coltivazione e i metodi di irrigazione.

La pratica dell'irrigazione consente il miglioramento della produttività delle colture e la diminuzione dei rischi associati a periodi di siccità, rendendo possibile la coltivazione di colture più redditizie.

Tuttavia, l'irrigazione è anche fonte di numerose preoccupazioni di carattere ambientale, quali l'eccessiva estrazione di acqua dalle falde acquifere sotterranee, il fenomeno dell'erosione provocato dall'irrigazione, la salinizzazione del suolo, l'alterazione di habitat seminaturali preesistenti e le conseguenze secondarie dell'intensificazione della produzione agricola.

La comunicazione della Commissione "Politiche di tariffazione per una gestione più sostenibile delle riserve idriche" enuncia i principi fondamentali delle politiche idriche, senza dimenticare di promuovere l'utilizzo sostenibile delle risorse idriche. Nel quadro delle misure di sviluppo rurale, la PAC sostiene gli investimenti intesi a migliorare lo stato delle infrastrutture di irrigazione e a consentire agli agricoltori di passare a tecniche di irrigazione più efficienti (quali l'irrigazione a goccia) che richiedono l'estrazione di minori quantità d'acqua. Inoltre, i regimi agroambientali prevedono l'impegno a ridurre i volumi di irrigazione e ad adottare tecniche di irrigazione più efficaci (www.fertirrigazione.it).

IL COMPITO DELLA NUTRIZIONE VEGETALE

Nell'attuale scenario agricolo la produttività delle colture agrarie viene sostenuta, agendo direttamente sulla disponibilità di nutrienti presenti nel substrato di coltivazione, attraverso le operazioni di arricchimento con sostanze fertilizzanti oppure ammendanti. Per sostenere il proprio metabolismo autotrofo, infatti, gli organismi vegetali necessitano di una grande varietà di fattori nutritivi, che assorbono in parte dall'atmosfera (C e O), ma principalmente dal suolo. Mentre la prima fonte di approvvigionamento contiene una quantità elevata ed estremamente omogenea di elementi, il suolo presenta tenori di nutrienti variabili in funzione del tipo di substrato pedogenetico di provenienza e dal tipo di ambiente determinato dall'evoluzione per cui risulta un fattore discriminante la produttività delle colture (Dell'Agnola, 1978; Giardini, 1992). Infatti, in relazione

alle proprie origini, ogni suolo evidenzia esclusive caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche, determinanti le funzioni di abitabilità e di nutrizione nei confronti degli organismi vegetali. Nell'ambito della funzione nutritiva, nel terreno agrario distinguiamo 12 elementi minerali indispensabili allo sviluppo, all'accrescimento ed alla produzione vegetale, che risultano classificabili in:

Macronutrienti o elementi plastici, ovvero elementi richiesti in quantità piuttosto elevate nei terreni coltivati. Essi poi vengono suddivisi, in macroelementi principali (N, P, K) ed in macroelementi secondari (Mg, Ca, S, Fe), in funzione alla loro importanza in ambito vegetale. Mentre per i primi le piante sono capaci di depauperare velocemente le riserve del suolo, per i secondi la concentrazione nel terreno si mantiene a livelli di sufficienza per tempi piuttosto lunghi;

Micronutrienti o elementi oligodinamici, ovvero elementi presenti nel suolo in concentrazioni basse, ma comunque sufficienti al sostentamento del metabolismo vegetale, comprendenti sia metalli (Cu, Zn, Mb), sia non metalli (B, Mn).

Applicati come fertilizzanti questi elementi esplicano un notevole stimolo sulle colture, che reagiscono rapidamente con un vigoroso sviluppo vegetativo, una colorazione verde molto intensa ed una dinamica di crescita notevole e rapida.

PROBLEMATICHE DELLA CONCIMAZIONE

Per costituire una visione globale dei concimi italiani presenti sul mercato, dall'anno 2003 è entrato in vigore il regolamento Ce n° 2003 del 13-10-2003 introducendo, anche per questi prodotti, il concetto di tracciabilità. Il nuovo regolamento si applica soltanto per prodotti presenti sul mercato con l'indicazione di "concime Ce".

Le novità del nuovo regolamento consistono nel chiarimento di alcune fondamentali definizioni:

concime: sostanza la cui funzione è quella di fornire sostanze nutritive alle piante;

elementi nutritivi principali: N, P, K;

elementi nutritivi secondari: Ca, Mg, S, Fe;

microelementi: B, Co, Cu, Na, Mn, Mo, Zn;

concime minerale: concime nel quale gli elementi nutritivi dichiarati sono sottoforma di composti principali;

concime semplice: concime nel quale è dichiarabile soltanto il titolo dell'elemento nutritivo principale;

concime composto: concime per il quale è dichiarabile il titolo di almeno due degli elementi nutritivi principali, ottenuto per via chimica o per miscelazione o per combinazione dei due;

concime complesso: concime composto, ottenuto per reazione chimica, per soluzione o allo stato solido per granulazione, per il quale sia dichiarabile il titolo di almeno due degli elementi nutritivi principali;

concime fogliare: concime adatto per l'applicazione e l'assunzione dell'elemento nutritivo all'apparato fogliare di una coltura;

concime fluido: concime in soluzione o in sospensione.

La "rivoluzione del verde", consentendo il miglioramento del tenore di vita, ha inevitabilmente provocato effetti collaterali, poiché ha sottoposto a contaminazione le produzioni ottenute ed inquinato l'ambiente con un uso irrazionale di pesticidi, diserbanti e concimi (Savoia, 2003).

Ciò ha indotto notevoli preoccupazioni nell'opinione pubblica, delegando gli organi di ricerca, a svolgere sperimentazioni volte alla risoluzione del problema. Ad esempio negli stati uniti, basandosi su alcuni studi epidemiologici rilevanti un'anomala insorgenza di diverse tipologie di cancro tra gli addetti del settore agricolo (Richard *et al.*, 1999), il "National Cancer Institute" (NCI) ha costituito un sistema di ricerca finalizzato a valutare il ruolo assunto dal settore agricolo nella diffusione di patologie gravi quali tumori, malattie nervose, asma ed altri disturbi cronici.

In Italia è stato rilevato che su una superficie di 18.643.584 ettari di terreno agricolo, utilizzato per la produzione vegetale, sono distribuite annualmente 157.980 tonnellate di prodotti fitoiatrici e 4.417.100 tonnellate di concimi (Kuchand e Crosswhite, 1998). Pur meno tossiche rispetto ai prodotti fitoiatrici, le sostanze fertilizzanti di sintesi hanno cagionato la programmazione di diversi studi intrapresi da centri sperimentali specializzati, volti a dimostrare la reale entità dei pericoli indotti ed a valutare nuove tecniche di gestione per ottimizzarne l'utilizzo. Per questi motivi, e con la spinta della politica agricola comunitaria, le tecniche agronomiche ad alto input di prodotti chimici di sintesi (concimi, fitofarmaci, diserbanti), pur garantendo traguardi produttivi consistenti, hanno e dovranno subire mutamenti concettuali, offrendo non solo prodotti di elevata qualità, ma soprattutto, servizi al consumatore e rispetto alle condizioni biologiche delle zone di coltivazione. Conseguentemente è l'agricoltore che, ritenuto uno dei gestori dell'ambiente, (il territorio nazionale è interessato per circa il 51% dell'attività agricola e per circa il 23% da foreste – Dati FAO), viene "investito" dal compito di preservare il patrimonio naturale, salvaguardandolo da ogni possibile

fonte di inquinamento. Inoltre, il surplus produttivo che si è avuto negli ultimi decenni, unitamente alla crescente sensibilità ecologica del consumatore, hanno indotto nei produttori agricoli l'esigenza di ottenere produzioni di alta qualità, aderendo a disciplinari produttivi e certificazioni quali il DOC, il DOP, e l'IGP. Questo in sintonia con la necessità della popolazione di alimentarsi con prodotti salubri, preservando l'integrità ambientale e tutelando le tradizioni popolari. Per risolvere tutte queste problematiche sono in corso numerose attività, condotte dai centri di sperimentazione per incrementare l'efficienza delle comuni tecniche agronomiche per ridurre sia l'inquinamento che i costi di produzione.

IL NUTRIENTE FOSFATO

Il fosforo nella maggior parte dei terreni è presente sottoforma di ioni fosforici (H_2PO_4^- e HPO_4^{2-}) in combinazioni minerali ed organiche insolubili e poco utilizzabili dalle piante. Al contrario dell'azoto (per il quale si hanno perdite nel terreno), per il fosforo, data l'insolubilità dei fosfati presenti nel terreno, in genere non si verifica nessuna perdita, tranne logicamente la quantità asportata con i raccolti. La fertilità fosfatica di un terreno dipende dalla disponibilità nutritiva delle varie forme di fosforo fissato dai componenti del terreno. Bisogna tenere presente che parte del fosforo che viene assorbito dalle piante ritorna al terreno con i residui colturali sotto forma di sostanza organica, degradata poi dalla microflora con la liberazione di ioni fosforici.

Questi ioni sono rapidamente bloccati dai costituenti minerali del terreno, i quali contengono elementi metallici (ferro, alluminio, calcio) capaci di formare fosfati insolubili. Nei terreni alcalini, ricchi di calcare, i fosfati di calcio evolvono verso forme cristalline ancora più resistenti all'attacco. Un terreno è considerato povero di fosforo quando la P_2O_5 estratta è inferiore a 50 parti per milione. La concimazione fosfatica, è necessaria per la maggior parte dei terreni, data la facilità con cui il fosforo passa allo stato di carenza; ma inoltre si rende necessaria in dosi eccedenti il fabbisogno delle colture, affinché queste possano disporre della quantità a loro destinata, dopo che è stata più o meno soddisfatta la capacità fosfato-fissatrice del terreno. L'assorbimento del fosforo da parte della pianta risulta però essere molto depresso dalle basse temperature del substrato (inferiori a 13°C) o da elevati valori di pH (superiori a 6,5). Spesso, infatti, è più efficace un innalzamento della temperatura del substrato, se possibile, o una diminuzione del pH che una concimazione minerale, questo però è applicabile in sistemi fuori suolo. Per quanto riguarda la nutrizione delle piante, il fosforo è un macroelemento nutritivo plastico che, sottoforma di radicale dell'acido ortofosforico, occupa un ruolo importante nel biochimismo vegetale, soprattutto per quanto riguarda il

metabolismo dei carboidrati; infatti, procede normalmente solo se i vari composti sono stati prima elaborati con il fosforo.

Questo elemento inoltre è presente in tutti i processi che comportano trasformazioni energetiche, infatti, è uno dei costituenti essenziali dei nucleotidi, degli amminoacidi e di numerosi enzimi. Sono inoltre molto ricchi di fosforo i materiali di riserva accumulati dalla pianta nei semi, nei tuberi e nelle radici. La fonte principale di fosforo è rappresentata dal terreno dove si trova sottoforma di anioni H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} . La nutrizione fosfatica delle piante avviene per assorbimento radicale e per questo ha più importanza la quantità di fosforo disponibile per le colture che il fosforo totale nel terreno. Poiché tuttavia la maggior parte dei terreni agrari ha solo di rado una buona disponibilità naturale di fosfati, un apporto di fertilizzanti fosfatici è la fonte migliore per apportare fosforo alle colture. Il fosforo inoltre, non ha perdite per dilavamento, infatti, con le concimazioni fosfatiche possiamo avere solamente perdite di disponibilità per insolubilizzazione più o meno forte da parte del terreno.

.. *Disordini nutrizionali dovuti al fosforo*

Nel caso di eccessi di somministrazioni fosfatiche viene provocata una nutrizione accelerata a spese del normale sviluppo vegetativo e di conseguenza una maturazione anticipata. In alcuni casi si possono manifestare carenze micronutritive a carico del ferro e dello zinco.

Nel caso di carenza di fosforo invece, le piante hanno una riduzione dello sviluppo dell'apparato radicale, con fenomeni di nanismo e con colorazioni brune delle foglie, inoltre la fioritura e la maturazione sono ritardate, mentre i frutti ed i semi restano piccoli. La diminuzione dei raccolti in seguito a carenze fosfatiche si accompagna spesso a qualità scadente dei prodotti.

Un'ulteriore interazione che avviene riguardo al fosforo è legata al fatto che il terreno è in concorrenza con la pianta per l'assorbimento dei fosfati assimilabili somministrati con i fertilizzanti. Infatti, questo è il punto critico nel bilancio delle concimazioni fosfatiche, con le quali si deve prima soddisfare le eventuali deficienze di fosforo nel terreno e successivamente fornire alle piante il giusto apporto di fosforo in equilibrio con l'azoto ed il potassio. Considerando poi le interazioni con altri elementi. Quella tra P-N in cui l'azoto, stimolando lo sviluppo delle radici, pone la pianta in condizione di assorbire quantità maggiori di fosfati. Si spiega in questo modo il favorevole utilizzo di fertilizzanti fosfo-azotati, specialmente quelli contenenti azoto ammoniacale.

Le interazioni P-Fe, in cui eccessi di fosfati possono indurre clorosi bloccando l'assorbimento del ferro nelle piante. Infine abbiamo interazioni tra P-Mo che in genere risulta positiva, dato che gli

ioni fosfato apportati con i fertilizzanti possono scambiarsi con gli ioni molibdato assorbiti dal terreno, ed accrescere quindi la disponibilità di molibdeno per le piante (www.fertirrigazione.it).

IL NUTRIENTE POTASSICO

Anche il potassio, come il fosforo, è presente nel terreno in massima parte sottoforma insolubile, sia come costituente di minerali primari del terreno, sia come catione non scambiabile nelle strutture di alcuni minerali argillosi. In minima parte si trova come catione di scambio sul complesso adsorbente ed una parte ancora più piccola si trova come catione solubile nella fase acquosa del terreno. Il potassio, a differenza dell'azoto e del fosforo, non entra in combinazioni organiche nei vegetali, i quali con i loro residui lo ritornano al terreno. La mobilità chimica del potassio e la sua dinamica sono essenzialmente minerali e sono basate su equilibri che si instaurano tra il K primario presente nei minerali primari, il K fissato presente negli interstrati dei minerali argillosi, il K scambiabile assorbito e scambiato dai componenti organici e minerali del terreno. In quest'ultima forma, troviamo anche il K solubile che normalmente non supera il valore di 1% del K scambiabile.

Tra queste forme di potassio, solo quello scambiabile è disponibile dal punto di vista nutritivo. Il K fissato è meno disponibile e rappresenta la riserva che non viene utilizzata dalle piante ma che si rende disponibile lentamente in equilibrio con le altre forme. Risulta quindi che per effetto dell'adsorbimento radicale, il K solubile somministrato con i fertilizzanti potassici, oltre ad essere assorbito dal terreno come potassio scambiabile, è anche fissato in forma non scambiabile in quantità piccole che dipendono dalla ricchezza del terreno in argille e dal loro stato di svuotamento cationico; svuotamento operato dalle piante, con conseguente maggiore capacità di utilizzare il potassio fissato. Il K disponibile di un terreno si identifica con il K scambiabile il cui valore, a parità di minerali primari, sarà tanto più elevato quanto sarà più ricco di colloidali il complesso adsorbente del terreno. Perdite di K disponibile avvengono per dilavamento in terreni sabbiosi e poveri di colloidali, sottoposti a climi umidi. In tali condizioni, l'impiego di fertilizzanti potassici diventa una necessità, a causa del notevole asporto di potassio da parte delle colture che spesso è superiore a quello dell'azoto. Un terreno è ritenuto povero di potassio disponibile quando la quantità estratta per scambio cationico è inferiore a 120 p.p.m di K_2O . Per quanto riguarda la nutrizione delle piante il potassio è un macronutriente dinamico che, pur non facendo parte di particolari composti organici della pianta, viene assorbito in notevoli quantità e per molte piante (es. orticole) in quantità maggiore rispetto agli altri elementi. Il potassio si accumula in quelle zone delle

piante dove sono più attive le divisioni cellulari. Esso neutralizza gli acidi nei tessuti vegetali, agisce sul protoplasma regolandone il rigonfiamento e normalizzando i processi di traspirazione; presiede quindi al mantenimento dell'equilibrio idrico (turgore). Di qui la sua azione favorevole all'aumento della resistenza dei tessuti vegetali al gelo ed alla siccità.

Il potassio inoltre determina una maggiore turgescenza dei tessuti, rendendo la pianta più resistente agli attacchi dei parassiti. Dal punto di vista biochimico, sembra che il potassio sia un attivatore enzimatico ed agisca quale catalizzatore per la sintesi dei carboidrati ed equilibratore fra queste e la sintesi delle sostanze proteiche. Per molte piante (orticole e frutticole, ecc.) ha effetti positivi tanto sulla qualità (sapore, colore, consistenza, ecc.) quanto sulla conservabilità dei prodotti raccolti. Per es. nel tabacco migliora la combustibilità delle foglie. La pianta attinge il potassio solo dal terreno, unicamente sottoforma di ione K^+ , sia se proviene dalla decomposizione di minerali sia se proviene da sostanza organica, ed anche se deriva dall'apporto di fertilizzanti potassici.

.. *Disordini nutrizionali dovuti al potassio*

Nel caso di eccessi dovuti ad abbondanti concimazioni potassiche provocano solo un consumo di lusso del potassio, spesso a scapito di altri cationi nutritivi, come il calcio ed il magnesio. Mentre nel caso di carenze le piante manifestano un ingiallimento degli apici e dei lembi fogliari e successiva formazione di zone necrotizzate. Spesso la carenza di potassio induce un aumento di azotati solubili in alcune piante industriali (barbabietola da zucchero, orzo) con ripercussioni sfavorevoli sulla qualità e quantità dei prodotti elaborati. Anche per il potassio abbiamo delle interazioni con altri elementi nutritivi, infatti, le interazioni K-N vengono considerate sotto l'aspetto fisiologico, legate alla qualità merceologica dei prodotti raccolti. Sotto questo aspetto, il potassio più che un antagonista assume il ruolo di moderatore dell'azoto, in quanto riesce spesso a compensare i danni provocati da un eccessivo impiego di azoto. D'altra parte l'importanza dell'equilibrio N-K è tale che anche nei terreni provvisti di potassio si raggiungono alti livelli produttivi quando ad una maggior quantità di azotati si unisce una certa dose di sali potassici. Le interazioni K-Ca influiscono a livello dell'assorbimento radicale, poiché il potassio compete con il calcio, verificandosi in tal modo un antagonismo ionico che spesso incide negativamente sulla nutrizione potassica delle colture, specialmente nei terreni ricchi di calcio attivo, anche se provvisti di potassio scambiabile. In terreni invece poveri di calcio, un'abbondante concimazione potassica può deprimere l'assorbimento del calcio. Interazioni K-Mg invece riguardano soprattutto i fenomeni di clorosi che si verificano, quando si somministrano forti dosi di sali potassici in terreni poveri di magnesio, a causa dell'antagonismo fra i due cationi in fase di assorbimento radicale. Infine abbiamo interazioni K-B sono conseguenze indirette dell'antagonismo K-Ca. Nei terreni ben

provvisi di boro, la somministrazione di sali potassici può talvolta determinare nelle piante fenomeni di tossicità da boro (www.fertirrigazione.it).

DIAGNOSI OTTICA DELLO STATO NUTRIZIONALE

.. Lo spettro elettromagnetico

Ai tempi di Maxwell (metà dell'800) la luce visibile e le radiazioni infrarosse e ultraviolette erano le uniche radiazioni elettromagnetiche conosciute. Stimolato dalle previsioni di Maxwell, tuttavia, Heinrich Hertz scoprì quelle che oggi sono dette onde radio e verificò che esse si muovevano nel laboratorio alla stessa velocità della luce visibile.

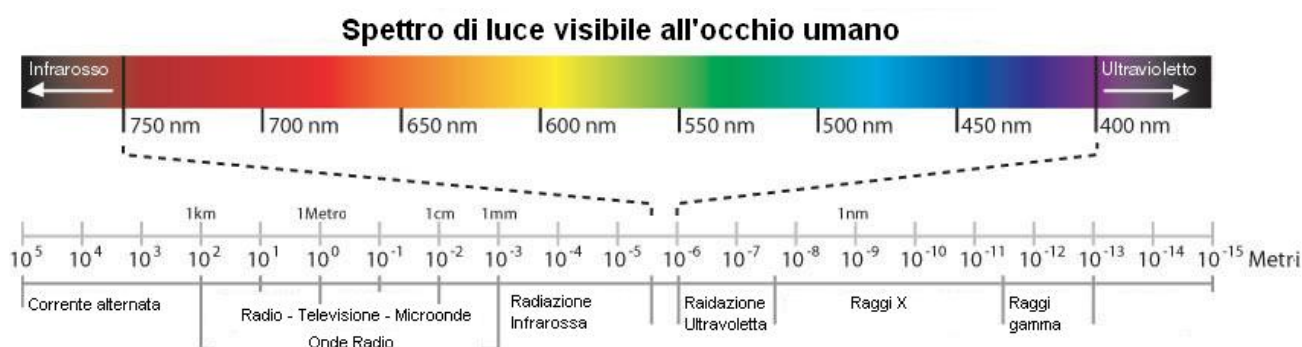


Figura 1 Lo spettro elettromagnetico.

La scala della lunghezza d'onda è riportata in modo che ogni trattino rappresenti una variazione in lunghezza d'onda di un fattore 10; la scala è illimitata; le lunghezze d'onda delle onde elettromagnetiche non hanno limiti intrinseci superiori o inferiori. Alcune regioni dello spettro hanno nomi più o meno familiari che caratterizzano, anche se non nettamente, gli intervalli di lunghezza d'onda entro cui certi tipi di sorgenti o rivelatori di radiazioni vengono comunemente impiegati (Figura 1). Non ci sono discontinuità nello spettro elettromagnetico e tutte le onde, indifferentemente da dove sono collocate nello spettro, viaggiano nel vuoto alla stessa velocità c . La regione visibile dello spettro risulta naturalmente per noi di particolare interesse. Il centro della regione visibile corrisponde a circa 555 nm e la luce di questa lunghezza d'onda produce la sensazione colorata che chiamiamo giallo-verde. I limiti dello spettro visibile non sono ben definiti tuttavia ponendo dei limiti arbitrari scegliendo le lunghezze d'onda a cui la sensibilità visiva cade all'1% del suo valore massimo, si delimita la zona tra circa 430 e 690 nm. Per quanto un'onda

luminosa si espanda allontanandosi dalla sorgente, spesso potremo approssimare il suo cammino con una linea retta quindi uno stretto fascio luminoso. Quando questo stretto fascio luminoso incontra una superficie piana, parte della luce viene riflessa dalla superficie come se rimbalzasse su di essa, parte viene rifratta (o trasmessa) e parte assorbita. Non si sottraggono a questi fenomeni i tessuti vegetali e i loro componenti che sono caratterizzati da particolari spettri di assorbimento.

.. **I pigmenti e la luce**

I pigmenti sono strettamente correlati alle funzioni fisiologiche delle foglie. La clorofilla assorbe l'energia luminosa e la trasferisce all'apparato fotosintetico. Anche i carotenoidi (pigmenti gialli) possono fornire energia all'apparato fotosintetico ma quando questa energia eccede il fabbisogno provvedono a dissiparla in modo tale da evitare il danneggiamento del sistema fotosintetico (Demmig-Adams e Adams, 1996). Gli antociani (pigmenti rosa, viola e rossi) proteggono le foglie dagli eccessi di energia luminosa (Barker, Seaton, e Robinson 1997; Dodd, Critchlet, Woodall, e Stewart, 1998; Gould, Kuhn, Lee, e Oberbauer, 1995) o dagli ultravioletti (Burger e Edwards, 1996; Klaper, Frankel, e Berenbaum, 1996; Mendez, Gwynn, e Manetas, 1999).

La clorofilla assorbe la maggior parte della radiazione rossa e blu, ma, poiché lo spettro del blu coincide anche con il picco di assorbimento dei carotenoidi, la riflettanza nel blu non è generalmente usata per la determinazione della clorofilla (Sims e Gamon 2002). Il picco di assorbanza si ha a 660-680nm. In questa regione bastano piccole quantità di pigmento per saturare l'assorbanza rendendo poco sensibile la lettura ad alti quantitativi di clorofilla. Si preferisce usare il range 550-700nm per la determinazione della clorofilla poiché è necessario più pigmento per saturare l'assorbanza di questa regione (Curran, 1989; Buschman e Nagel, 1993; Datt, 1998, 1999; Gitelson e Merzlyak, 1994a, 1994b, 1996; Lichtenthaler, Gitelson, e Lang, 1996; Schepers, Blackmer, Wilhelm, e Resende, 1996; Thomas e Gausman, 1977; Yoder e Waring, 1994).

L'assorbanza degli antociani, il picco si ha a 545nm, si sovrappone a quella della clorofilla rendendo la determinazione di questo pigmento particolarmente difficoltosa. Gamon e Surfus (1999) hanno evidenziato come il rapporto tra la riflettanza nella regione del rosso e quella del verde sia utile nella determinazione del rapporto tra antociani e clorofilla durante lo sviluppo fogliare secondo l'equazione:

$$\frac{Red}{Green} = \frac{\sum_{i=600}^{699} R_i}{\sum_{i=500}^{599} R_i}$$

Un altro approccio seguito da Shchurina (1990) prevedeva l'utilizzo di raggi X per la determinazione del contenuto di fosforo nel suolo e nelle piante. L'utilizzo dei raggi X faceva sì che il fosforo diventasse fluorescente. Lauree et al. hanno notato che piante allevate in carenza di fosforo presentavano una maggiore fluorescenza della clorofilla inoltre che le foglie di piante allevate con elevati apporti di fosforo presentavano un picco di saturazione più alto nel range tra 400 e 700 nm. Lai e Tompetrini (2005) hanno invece evidenziato come il reciproco della riflettanza normalizzata a 545 nm

$$1/\text{Refl} = 1/\text{Refl}(\lambda) = 1/(\text{R}(\lambda) - \text{R}(\text{UV}))/\text{R}(\text{NIR}))$$

Dove:

λ = lunghezza d'onda considerata

R(UV) = Riflettanza a 385nm

R(NIR) = Riflettanza a 800nm

sia strettamente correlata al contenuto di antociani se la lettura ottica viene effettuata sulla lamina inferiore della foglia.

.. I macroelementi e la luce

Le lunghezze d'onda correlate alla concentrazione del fosforo sono dunque simili a quelle utilizzate per l'azoto. Le equazioni sviluppate per la determinazione del fosforo sono basate principalmente sull'assorbimento di caratteri legati all'azoto, sia perchè queste lunghezze d'onda possono essere direttamente attribuibili a composti azotati, sia perchè c'è una stretta correlazione tra la concentrazione di azoto e fosforo nelle foglie. Inoltre la maggior parte del fosforo è presente forma inorganica e pertanto non assorbe energia nella banda del NIR.

Anche il potassio è principalmente presente in forma ionica e pertanto non ha uno spettro nella banda del NIR. Il potassio è però indispensabile per la sintesi di carboidrati e proteine dei quali si conosce lo spettro di assorbimento. E' inoltre importante per il mantenimento del turgore cellulare, per il controllo degli stomi e l'osmoregolazione delle cellule. Due sono i tratti di assorbimento, entrambi a ridosso del range di assorbimento dell'acqua, centrati a 1450 e 1940 nm. Un ulteriore picco di assorbimento si ha a 1190 nm dove è centrato il picco di assorbimento dell'acqua (Dury et Turner (2001)).

.. I principali indici

La stima dello stato nutrizionale, può essere dunque eseguita con l'ausilio di sistemi di diagnosi ottica; essi sono in grado di rilevare il comportamento della radiazione che investe la copertura vegetale della coltura. L'apporto solare che giunge sulla biomassa vegetale sottoforma radioattiva, viene assorbito come energia calorica, dando luogo contemporaneamente a fenomeni ottici quali la riflessione e la trasmissione (Barichelo, 1987).

Forte che la radiazione solare che investe la copertura vegetale, verrà in parte assorbita dagli organi fotosintetizzanti delle foglie per incrementare lo stato energetico della pianta, mentre la radiazione che non viene direttamente utilizzata verrà riflessa e trasmessa, in porzioni diverse in relazione alle condizioni fisiologiche delle colture.

I sistemi diagnostici ottici sono quindi tecnologie in grado di rilevare lo stato nutrizionale vegetale, riescono a fornire stime precise con bassi margini di errore e con relativa economicità.

Tuttavia essi, sono sistemi non sempre facili da utilizzare soprattutto per quel che riguarda l'elaborazione dei dati raccolti.

Gli strumenti ottici utilizzati forniscono dei valori puri che, elaborati mediante algoritmi, producono degli indici dei quali è stata dimostrata una stretta correlazione con le condizioni fisiologiche della coltura.

Questi sono detti indici spettrali della vegetazione (Spectral vegetation index) in genere sono determinati ponendo in relazione la bassa riflettanza della porzione visibile dello spettro con quella non-visibile delle radiazioni infrarosse-vicine (Near InfraRed-NIR).

Nel complesso gli indici spettrali di vegetazione sono divisibili in tre categorie:

indici intrinseci;

indici correlati con la linea-suolo (soil-line);

indici di aggiustamento atmosferico.

Gli indici intrinseci rappresentativi possono derivare da un semplice rapporto tra la riflettanza (%) a lunghezze d'onda diverse:

$$\text{NIR}/460 = R_{810}/R_{460}$$

$$\text{NIR}/510 = R_{810}/R_{510}$$

$$\text{NIR}/560 = R_{810}/R_{560} \text{ (NIR/Green)}$$

$$\text{NIR}/610 = R_{810}/R_{610}$$

$$\text{NIR}/660 = R_{810}/R_{660} \text{ (NIR/Red)}$$

$$\text{NIR}/710 = R_{810}/R_{710}$$

$$\text{NIR}/760 = R_{810}/R_{760}$$

oppure essere concepiti sulla base di calcoli più complessi:

$$\text{NDVI-R} = (R_{810} - R_{660}) / (R_{810} + R_{660})$$

$$\text{G-NDVI} = (R_{810} - R_{560}) / (R_{810} + R_{560})$$

$$\text{MCARI} = [(R_{710} - R_{660}) - 0,2 (R_{710} - R_{560}) \times (R_{710} / R_{660})].$$

In alternativa a questi semplici indici sono stati ideati degli indici correlati con la linea suolo, gli indici SAVI e OSAVI per i quali viene rimossa l'interferenza determinata dal suolo (soil-background).

La relazione tra la riflettanza nell'infrarosso vicino e la riflettanza nel visibile generato dal suolo è infatti generalmente lineare (soil-line).

IMPORTANZA ECONOMICA DEL POMODORO DA INDUSTRIA

Il pomodoro è stato classificato scientificamente per la prima volta da Carlo Linneo nel 1753 nel genere Solanum, come Solanum lycopersicum (lycopersicum deriva dal latino e significa pesca dei lupi). Nel 1768 tuttavia Philip Miller cambiò il nome, sostenendo che le differenze dalle altre piante del genere Solanum, quali patata e melanzana, erano sostanziali, tali da giustificare la creazione di un nuovo genere: da qui il nuovo nome scientifico di Lycopersicon esculentum. Questo nome ebbe notevole successo, sebbene fosse contrario alle regole di nomenclatura vegetale, secondo cui, se si sposta la specie in un nuovo genere, il nome della specie (lycopersicum) non deve essere cambiato, ma solo il nome del genere: H. Karst corresse l'errore nel 1881 e pubblicò il nome formalmente corretto Lycopersicon lycopersicum. La controversia sul nome scientifico del pomodoro non è tuttavia finita. Innanzitutto il nome di Miller era fino a poco fa il più usato, nonostante l'errore indicato prima. Poi, le moderne tecniche di biologia molecolare hanno permesso di creare precisi alberi filogenetici, che hanno indicato come il pomodoro in realtà faccia parte veramente del genere Solanum, dando sostanzialmente ragione a Linneo. Il nome ufficiale è oggi quindi Solanum lycopersicum, sebbene il nome di Miller rimanga ancora in uso in molte pubblicazioni (www.wikipedia.it). Per quanto riguarda l'affermazione di tale frutto, essa fu lenta e graduale. Nel

Nuovo Mondo, durante il Cinquecento, il pomodoro faceva parte della dieta quotidiana, assieme al mais e alla manioca, degli indigeni di Messico e Perù, in Europa la sua diffusione incontrò molti più ostacoli. Sbarcato per la prima volta nel Vecchio Continente nel 1523, trasportato su alcune caravelle spagnole, le sue bacche erano di piccole dimensioni e in una sua varietà di colore giallastro, per questa caratteristica veniva chiamato “pomo d’oro”, venne però considerato come una curiosità botanica e pianta da ornamento. L’eccezione in questa tendenza è rappresentata dall’Italia, paese in cui, come conferma lo stesso Pier Andrea Mattioli, a metà del Cinquecento c’era già chi consumava pomodori fritti in olio con sale e pepe, così come si usava per melanzane e funghi. La diffusione di questa pianta in Italia e in tutto il bacino del Mediterraneo prese piede già alla fine del Cinquecento, con almeno un secolo d’anticipo rispetto all’Europa continentale. Con l’inizio dell’Ottocento, questo frutto è ormai normalmente coltivato nelle regioni meridionali di Italia e Francia, nonché in tutta la Spagna. Nel Nord America, nonostante siano attestate coltivazioni fin dalla fine del XVIII secolo, il pomodoro è ancora guardato con sospetto, avendo, di fatto, subito una minore domesticazione, solo verso la metà del XIX secolo si diffonde la coltivazione, senza pregiudizi dell’opinione pubblica. Per quanto riguarda la diffusione negli altri continenti, è attestata con certezza la presenza del pomodoro in Egitto e Tunisia già dalla fine del XVI secolo. Le varietà qui importate provenivano direttamente dal Messico e non dall’Europa. In Asia, infine, l’introduzione di tale frutto si deve probabilmente agli scambi commerciali degli spagnoli con le Filippine (www.pomodoroitaliano.it). Attualmente la sua coltivazione è praticata un po’ in tutto il mondo, occupando una superficie stimata in 3,6 milioni di ha, con una produzione di circa 100 milioni di t ed una resa media di 27,5 t ha⁻¹. Negli ultimi decenni con l’avvento dei concimi di sintesi, innovazione tecnologica e l’intenso lavoro di miglioramento genetico che ha portato alla selezione di varietà più produttive ed idonee alla raccolta meccanica; si è verificato un trend di costante aumento della produttività della coltura, sia per il consumo fresco, sia per l’industria conserviera.

Al giorno d’oggi la coltura è particolarmente diffusa in U.S.A. (170.000 ha), India (365.000 ha), Cina (754.000 ha), Egitto(180.000 ha) ed Italia (150.000 ha). La coltivazione è diffusa inoltre in numerosi altri Paesi ed occupa superfici inferiori ai 100.000 ha; infatti, è molto diffuso in tutta l’area del bacino del mediterraneo (Marzi V., 1990, 2001).

L’Italia, collocata ai primi posti nella situazione mondiale, è il più importante produttore di pomodoro della Comunità Europea, seguita a distanza da Spagna e Grecia.

La superficie investita a pomodoro non è comunque destinata a crescere, questo perché già da alcuni anni si è raggiunto un livello di produzione che non suggerisce un aumento delle superfici

investite, al fine di evitare un surplus di prodotto che causerebbe un suo difficile collocamento nel mercato. Dati statistici indicano che la superficie di pomodoro in pieno campo si aggira intorno a 143.000 ha, con una produzione che si aggira sui 7 milioni di t ed una produzione unitaria di circa 50 t ha.

Questa coltura in Italia è diffusa in molte regioni da nord a sud, anche se le regioni maggiormente coinvolte sono quelle meridionali. Dati ISTAT relativi l'anno 2005 indicano le seguenti regioni come maggiori coltivatrici di pomodoro da industria:

Regione	Superficie
Puglia	33.900
Emilia	26.600
Sicilia	11.000
Lombardia	7.900
Campania	5.900
Calabria	4.400
Basilicata	4.400
Toscana	3.200
Lazio	2.700

Tab. 1. Superfici regionali coltivate a pomodoro; (fonte: ISTAT:2005)

La produzione viene utilizzata per circa il 50% per la trasformazione in concentrato che costituisce un semi lavorato, la parte restante viene divisa per il 35% all'ottenimento di pelati e per il 15% per altri derivati, che invece costituiscono prodotti finiti e pronti per l'utilizzo finale. I prodotti ottenuti vengono utilizzati per consumo interno ma anche asportati sia a livello europeo sia mondiale.

SCOPO DEL LAVORO

Considerando i problemi moderni dell'orticoltura, unitamente all'esigenza di mettere a punto sistemi in grado di migliorare l'efficienza di utilizzazione degli elementi nutritivi.

Utilizzando le conoscenze acquisite da simili sperimentazioni eseguite in passato riguardanti l'azoto, questo lavoro di tesi si pone l'obiettivo di evidenziare le influenze sulle caratteristiche ottiche delle foglie in caso di carenza di fosforo e di potassio.

Lo strumento ottico utilizzato è il radiometro Multispectral Radiometer Cropscan MSR-87 in grado di diagnosticare e controllare lo stato nutrizionale della coltura rilevando la riflettanza della stessa a determinate lunghezze d'onda.

Prova in pieno campo 2005

Materiali e Metodi

Il sito sperimentale dell'estensione di circa 2.5 ha è situato nella provincia di Treviso in località Ca' Tron di Roncade e gentilmente messo a disposizione dall'azienda "Tenuta Ca' Tron".

L'area di prova è stata suddivisa in due sub unità principali che sono state gestite separatamente per quanto riguarda la fertilizzazione; inoltre in ogni sub unità sono state trapiantate due differenti varietà di pomodoro da industria per valutare la risposta produttiva anche rispetto a questa variabile.

La prima Perfectpeel (PP) è una varietà nota per le sue caratteristiche produttive, la seconda una nuova varietà della De Ruiters (DR). In un primo momento è stato definito il sesto d'impianto per avere una densità di circa 33000 piante per ettaro, successivamente, in data 11 Maggio è stato effettuato il trapianto con la contemporanea sistemazione della manichetta forata per l'impianto di irrigazione a microportata attraverso il quale, con la tecnica di fertirrigazione, è stato distribuito il fertilizzante. L'impianto d'irrigazione è stato progettato in modo tale da poter gestire le due sub unità principali in modo del tutto indipendente sia per quanto riguarda la distribuzione dell'acqua che per la distribuzione degli elementi nutritivi.

In ogni sub unità sono state individuate 12 parcelle (in totale 24) di circa 7 m² comprendenti due file di piante nelle quali sono stati effettuati i rilievi con lo strumento ottico e i successivi campionamenti distruttivi per la valutazione della produzione. Per ottenere un monitoraggio completo dello stato vegetativo della coltivazione e quindi poter intervenire tempestivamente con la fertilizzazione, sono state effettuate misurazioni due volte a settimana sino alla maturazione dei frutti sia sulla sub unità gestita in modo sperimentale (OTT = con l'ausilio dello strumento ottico) che su quella gestita in modo tradizionale (ST = standard) in modo tale da poter anche valutare le differenze nutrizionali. L'apporto di azoto è stato effettuato utilizzando il concime chimico nitrato di calcio al 15.5% disciolto in un contenitore da cui veniva successivamente prelevato ed immesso nell'impianto di irrigazione tramite iniettore mazzei. Il quantitativo di fertilizzante aggiunto all'acqua di irrigazione è stato determinato analizzando i dati registrati dallo strumento ottico per la parte sperimentale e seguendo la normale tecnica di coltivazione del pomodoro da industria nel caso della parte gestita in modo tradizionale. La coltura è stata adeguatamente rifornita di acqua in modo da non sottoporla stress idrici e trattata per proteggerla dagli attacchi dei principali patogeni.

Risultati

Durante tutto il ciclo produttivo sono stati effettuati 10 (dieci) interventi fertirrigui e sono stati distribuiti 124 Kg di azoto nella parte gestita con lo strumento ottico e 162.75 Kg nella parte gestita tradizionalmente. In Fig. 1 viene riportato l'andamento delle letture dello strumento ottico attraverso il quale sono state prese le decisioni per effettuare l'intervento fertirriguo. L'analisi dei dati ha evidenziato come solo la tesi PP ST abbia avuto un andamento differente registrando valori Nir/Green inferiori rispetto alle altre tesi. In generale però l'andamento risulta crescente fino ai 450 GDD cui segue una fase di stabilità sino ai 620 GDD ed un seguente declino sino a fine ciclo. E' stato inoltre registrato una diminuzione generale dei valori NIR/Green registrati dallo strumento ottico in corrispondenza di una più abbondante precipitazione che ha inoltre limitato la possibilità di effettuare interventi fertirrigui mettendo in evidenza uno degli aspetti negativi dell'adozione di tale sistema di fertilizzazione (Fig. 2).

La valutazione produttiva è stata effettuata al termine del ciclo produttivo ed ha previsto la raccolta di sei piante per parcella di cui sono state pesate e contate le bacche commerciabili, quelle che presentavano difetti, quelle verdi e le marce. Parte delle bacche commerciabili sono state utilizzate per la misurazione in laboratorio del pH, del grado Brix e dell'elettroconducibilità della soluzione (vedi appendice). Considerando la produttività totale, piccole differenze sono state registrate sia confrontando le due varietà (Fig. 4) sia prendendo in considerazione i due sistemi di gestione OTT e ST.(Fig. 10) ma non sono risultate statisticamente significative. La produzione commerciale, naturalmente inferiore alla totale non è risultata differente in entrambi i casi (Fig. 5 e Fig. 11). La maggiore influenza sui risultati produttivi è stata data dalla frazione di prodotto di scarto (Fig. 6) che è risultata essere leggermente superiore per la varietà DR. La quantità di prodotto immaturo non è risultata invece diversa per le due varietà testate (Fig. 7). La dimensione media delle bacche commerciali non è risultata essere statisticamente differente nelle due varietà (Fig. 8) mentre la varietà DR ha registrato un peso medio delle bacche immature superiore a quello della varietà PP (Fig. 9). Considerando l'effetto del trattamento si nota come nel caso della gestione tradizionale la frazione di prodotto di scarto sia superiore a quella della gestione ottimizzata, benché non statisticamente significativa (Fig. 12); la quantità di prodotto immaturo non sembra sia stato influenzato particolarmente dal trattamento (Fig. 13). Nessuna differenza è stata registrata per quanto riguarda il peso medio delle bacche commerciali e delle bacche immature (Fig. 14 e Fig. 15). I dati di laboratorio non hanno evidenziato alcuna differenza statistica per tutti i parametri presi in considerazione come si evince dalla Fig. 16.

Conclusioni

La gestione della fertirrigazione con l'ausilio del Multispectral Radiometer Cropsan MSR-87 ha permesso di raggiungere risultati produttivi soddisfacenti, non dissimili dalla gestione normale e i parametri qualitativi non sono stati penalizzati in alcun modo. L'indice NIR/Green messo a punto per la determinazione della dotazione azotata in precedenti esperienze (Borsato, 2004) ha confermato l'ottima correlazione tra la riflettanza e lo stato nutrizionale della pianta e permette un pronto intervento, quando se ne verifica la necessita. La differente tipologia di gestione ha permesso di applicare una quantità inferiore di fertilizzante azotato, con effetto positivo sia economico sia ambientale, limitando le perdite che generalmente si hanno per una inadeguata conoscenza delle modalità di applicazione e delle dosi ottimali da distribuire per il corretto sviluppo della coltura. Spesso ci si affida, infatti, a tabelle che indicano le dosi di fertilizzanti ottimali da distribuire che però sono state stilate in ambienti che possono differire in modo notevole dal areale operativo e che possono dunque risultare inadeguate.

Prova in serra 2005

Lo studio condotto nell'anno 2005, è stato eseguito presso il Dipartimento di Agronomia ambientale e Produzioni vegetali della Facoltà di Agraria, siti a Legnaro (PD).

La prova preliminare si è proposta di valutare con lo strumento ottico lo stato nutrizionale delle piante. In particolare si è cercato di individuare se i valori rilevati potessero essere messi in relazione oltre alla quantità di Azoto presente, anche con altri macroelementi quali il Fosforo e il Potassio.

Materiali e Metodi

La sperimentazione è stata condotta in vasi di plastica di dimensioni 15x20cm (7 litri), disposti su bancali di legno per evitare il contatto con il suolo, riempiti con substrato inerte (sabbia di quarzite) in modo tale da poter gestire la concimazione senza particolari interferenze da parte del mezzo.

Sono state impostate quindi quattro tesi:

Soluzione nutritiva completa (C)

Soluzione nutritiva C- N(azoto)

Soluzione nutritiva C- P(fosforo)

Soluzione nutritiva C-K(potassio)

La preparazione delle soluzioni nutritive è descritta in appendice.

Lo schema sperimentale adottato è stato a blocchi randomizzati con 21 vasi per tesi e tre repliche.

La soluzione nutritiva è stata somministrata manualmente con l'ausilio di un tubo venturi che provvedeva a miscelare la soluzione nutritiva concentrata precedentemente formulata con l'acqua di irrigazione.

Il trapianto in vaso è stato effettuato il 21-11-05 e la prova si è conclusa il 06-03-06

Ad ogni tesi è stata distribuita otto volte la soluzione nutritiva corrispondente.

Sono state previste letture Cropsan settimanali dipendenti però dal livello di irradianza.

In totale sono state effettuate otto letture.

In questa prova è stato valutato solo l'andamento dei valori registrati dallo strumento.

Risultati

.. Le lunghezze d'onda semplici

L'analisi statistica rispetto alle singole lunghezze d'onda rilevate dallo strumento ha evidenziato differenze significative solo per i 560 e i 660 μm (Fig. 25). Considerando gli andamenti della riflettanza a 560 nm è possibile notare come la carenza di fosforo faccia registrare i valori più bassi durante tutto il ciclo e sia distinguibile dalla carenza di azoto; la carenza di potassio invece non influenza particolarmente i valori di riflettanza che si sovrappongono ai valori registrati per il trattamento C. Situazione simile, ma con andamenti opposti si ottiene con la riflettanza a 660 nm (Fig. 18): anche in questo caso ben si differenziano le tesi P e N dalla tesi C mentre la tesi K si sovrappone al controllo.

.. Gli indici semplici

Prendendo in considerazione il rapporto tra le differenti lunghezze d'onda misurate (Fig. 25) risultano significativi all'analisi statistica i rapporti NIR/Red, NIR/Green e NIR/760. Nel caso del NIR/Red (Fig. 19) si ha una netta differenziazione tra gli andamenti delle tesi N e P dalle tesi C e K ma non è possibile discriminare la carenza di potassio dalla nutrizione completa; le differenze tra N e P sono meno evidenti ed inoltre i valori di P sono più elevati di quelli di N mentre nel caso delle lunghezze d'onda semplici si era registrato l'inverso. L'indice NIR/Green (Fig. 20) segue gli stessi andamenti dell'indice precedente anche se su scala diversa; le tesi C e K si differenziano ancora dalle tesi N e P e queste ultime due si differenziano maggiormente tra loro. La tesi N fa registrare valori più elevati rispetto alla tesi P.

A differenza degli indici precedentemente riportati, l'indice NIR/760 (Fig. 21) ha evidenziato una maggiore differenziazione della tesi P dalla tesi N. A partire dal terzo rilievo si nota come i valori relativi alla tesi P siano nettamente superiori rispetto agli altri; in particolare la tesi N non si discosta particolarmente dagli andamenti della tesi C e K permettendo in questo caso di identificare in modo univoco l'effetto determinato da uno scarso apporto di fosforo alla pianta.

.. Gli indici complessi

L'analisi degli indici complessi ha dato significatività statistica per gli indici NDVI/Red e Green e per $1/\text{Refl}(560)$.

Considerando l'indice NDVI/Red (Fig. 22) si nota come ancora una volta si riesca a discriminare nettamente le tesi N e P dalla tesi C. La tesi K invece continua ad essere associata strettamente al controllo. D'altra parte però, nonostante la netta separazione delle tesi N e P dal controllo, queste due non si differenziano tra di loro e quindi non è possibile stabilire una relazione univoca tra la carenza di fosforo e il valore di riflettanza registrato.

L'indice NDVI/Green (Fig. 23) accentua leggermente le differenze presenti tra la tesi N e P facendo registrare valori di riflettanza inferiori per la tesi N rispetto alla tesi P; La tesi K continua ad essere strettamente associata alla tesi C. Si nota però come minime differenze della copertura vegetale siano rilevabili sin dai primi rilievi.

L'indice 1/Ref Norm (560) (Fig. 24) si comporta approssimativamente come l'Indice NIR/760, ma in questo caso la tesi che si differenzia dalle altre non è la P bensì la N. La tesi P, infatti, segue l'andamento della tesi C e della tesi K che non si è discostata in nessun caso dal controllo.

Conclusioni

In condizioni di carenza nutrizionale accentuate lo strumento è capace di individuare gli effetti indotti dai diversi trattamenti ma poiché si tratta solo di differenze di magnitudine non è possibile discernere in condizioni operative a quale carenza sia imputabile il valore rilevato. Si nota comunque come la carenza di potassio sia difficilmente identificabile rispetto ad una nutrizione completa, mentre la carenza di azoto induce degli effetti che lo strumento paragona a quelli indotti dalla carenza di fosforo. In questo caso il confronto tra l'indice NIR/760 e l'indice 1/Refl Norm (560) permette di associare i valori di riflettanza ad un solo trattamento. Il primo indice, infatti, registra valori di riflettanza per la tesi C piuttosto costanti durante tutto il ciclo colturale cui si associano anche i valori rilevati per le tesi N e K. Solo la carenza di fosforo determina un rapido incremento dei suddetti valori durante il ciclo rendendo inequivocabile l'attribuzione di questi al trattamento effettuato. L'indice 1/Refl Norm (560) al contrario permette di distinguere in modo assoluto la tesi N dagli altri trattamenti; in questo caso, infatti, i valori di riflettanza registrati per la tesi N sono nettamente inferiori a quelli registrati per gli altri trattamenti. In tal modo sarebbe possibile intervenire in condizioni operative con fertilizzante specifico al fine di rendere disponibile all'apparato radicale ciò di cui necessita.

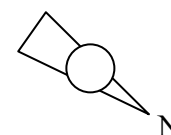
Prova in pieno campo 2006

Materiali e Metodi

Lo studio condotto nell'anno 2006, è stato eseguito, presso l'Azienda Agraria Sperimentale "L.Toniolo" dell'Università degli Studi di Padova, sita a Legnaro (PD).

La prova intendeva evidenziare le possibili influenze sulle caratteristiche ottiche di trasmittanza e riflettanza, in quattro differenti situazioni colturali. La varietà scelta è stata l'ibrido Perfectpeel (peto), che si caratterizza per avere uno sviluppo vegetativo contenuto e compatto, un apparato radicale molto sviluppato ed esteso, ed una buona resistenza a patogeni quali *Verticillium* e *Fusarium oxisporum* f. sp. *Lycopersici* (Dadomo,2004). I frutti prodotti si presentano consistenti e di pezzatura media (65-70 g), di forma ovale, resistenti alla sovraturazione e, grazie al carattere "jointless", con buona predisposizione alla raccolta meccanica. La prova è stata effettuata su terreno limoso adottando uno schema sperimentale a blocchi completamente randomizzati prevedendo otto repliche secondo lo schema di seguito riportato:

K	P	N	C
N	C	K	P
C	N	P	N
P	K	C	K
P	K	N	C
N	C	K	P
C	N	P	N
K	P	C	K



Per un totale di 32 parcelle dove:

C soluzione nutritiva completa;

N soluzione nutritiva senza azoto;

P soluzione nutritiva senza fosforo;

K soluzione nutritiva senza potassio;

La preparazione delle soluzioni nutritive è descritta in appendice

Ogni parcella aveva una superficie di circa 32,4 m² e consisteva in 3 bine; il sesto di impianto prevedeva una distanza tra le bine di 1,8 m e tra le file di 0,4 m.

La distanza sulla fila era di 0,25 m per una densità di piante pari a 4,4 p/m².

Per la distribuzione delle soluzioni nutritive e dell'acqua di irrigazione ci si è avvalsi di un impianto così composto:

una vasca esterna per l'accumulo d'acqua;

una pompa;

set di filtraggio adeguato;

Sistema di iniezione e miscelazione dei fertilizzanti con tubi venturi a gestione automatica della conducibilità elettrica (Hanna Instruments);

Condotte di adduzione;

Valvole di selezione;

Manichetta forata autocompensante (diametro 20 mm, distanza tra gocciolatori 30 cm e portata 1,2 l/h).

La soluzione nutritiva distribuita era così composta:

La soluzione nutritiva completa C: circa 20 Kg/ha di N, circa 4 Kg/ha di P e circa 19 Kg/ha di K, nel complesso era composta da: nitrato di calcio, nitrato di potassio, fosfato ammonico, fosfato monopotassico, solfato di magnesio, ferro chelato, solfato di manganese, solfato di zinco, acido borico e solfato di rame.

La soluzione nutritiva senza azoto -N: circa 4 Kg/ha di P e circa 19 Kg/ha di K, nel complesso era composta da fosfato monopotassico, cloruro di calcio, solfato di potassio, solfato di magnesio, ferro chelato, solfato di manganese, solfato di zinco, acido borico e solfato di rame.

La soluzione nutritiva senza fosforo -P: circa 20 Kg/ha di N e circa 19 Kg/ha di K, nel complesso era composta da: nitrato di calcio, nitrato di potassio, solfato di magnesio, ferro chelato, solfato di manganese, solfato di zinco, acido borico e solfato di rame.

La soluzione nutritiva senza potassio -K: circa 20 Kg/ha di N e circa 19 Kg/ha di P, nel complesso era composta da: acido fosforico, nitrato ammonico, nitrato di calcio, nitrato di magnesio, solfato di magnesio, ferro chelato, solfato di manganese, solfato di zinco, acido borico e solfato di rame.

.. Operazioni Colturali

Per permettere alla coltura uno sviluppo ottimale, sono state effettuate le normali lavorazioni di preparazione del terreno per la messa a dimora delle piantine ed è stato installato l'impianto di irrigazione per la fertirrigazione. Il trapianto è stato effettuato il 27 aprile 2006 con una trapiantatrice meccanica portata da trattore. Il giorno 10 maggio, è stata effettuata una fertirrigazione di base per favorire l'attecchimento delle piantine e per permettere il superamento dello stress da trapianto 15,5 Kg di nitrato di calcio e 2,3 Kg di fosfato ammonico pari a 20 Kg/ha di azoto e 5 Kg/ha di P, con un apporto d'acqua di 18 mm/ha. La stessa operazione è stata ripetuta anche il giorno 17 maggio. Dopo le operazioni preparatorie si è passati ai turni fertirrigui controllati per le varie parcelle della prova con la distribuzione delle soluzioni previste dallo schema sperimentale. Venivano inoltre effettuati i turni di sola irrigazione che garantiva un ottimale rifornimento idrico della coltura.

Si riporta schematicamente il diario di interventi irrigui e fertirrigui effettuati:

Data	Turno e soluzione nutritiva	Ore adacquamento	Apporto mm/ha
14/06/06	Irrigazione	7	53
16/06/06	Irrigazione	5	45
23/06/06	Irrigazione	5	45
26/06/06	Irrigazione	8	72
30/06/06	Irrigazione	4	36
04/07/06	Irrigazione e fertirrigazione -P	3	27
05/07/06	Irrigazione e fertirrigazione -K	5	45
05/07/06	Irrigazione e fertirrigazione C	5	45
05/07/06	Fertirrigazione -N	5	45
10/07/06	Fertirrigazione C	3	27
10/07/06	Fertirrigazione -N	3	27
11/07/06	Fertirrigazione -P	3	27
11/07/06	Fertirrigazione -K	3	27
14/07/06	Irrigazione	8	72
17/07/06	Irrigazione	8	72
19/07/06	Fertirrigazione C	3	27
19/07/06	Fertirrigazione -N	3	27
19/07/06	Fertirrigazione -K	3	27
19/07/06	Fertirrigazione -P	3	27
20/07/06	Irrigazione	5	45

Tab. 2. Interventi irrigui e fertirrigui

.. **Rilievi**

Nel corso del ciclo colturale, partendo dal 12 maggio 2006 e fino alla raccolta, sono stati eseguiti rilievi con il Multispectral Radiometer Cropscan MSR-87 due volte a settimana per monitorare lo stato nutrizionale delle piante. Su ogni parcella si è provveduto ad effettuare due letture; cui valori sono stati successivamente mediati in modo da ottenere un unico valore per data di rilievo.

Lo strumento era posizionato in modo da saggiare la bina centrale ed escludere la possibilità di avere effetto bordo.

I rilievi sono stati effettuati dalle ore 12 alle 13 per la maggiore irradianza giornaliera in quelle ore, il sensore ottico era posto a 1,80 m di altezza sull'asta e tenuto orizzontalmente sopra la coltura, facendo attenzione che la proiezione della propria ombra non ricadesse nell'area oggetto di rilievo, per evitare di falsare la lettura dello strumento.

Ad ogni rilievo lo strumento produce 8 valori di riflettanza che vengono utilizzati per la determinazione dello stato nutrizionale. Per poter individuare un andamento generale delle caratteristiche ottiche delle foglie e per capire se effettivamente la carenza di fosforo e potassio esisteva, sono stati considerati i valori medi precedentemente calcolati in relazione ai gradi utili giornalieri, parametro indispensabile per capire l'accrescimento di una coltura in quel determinato momento. I gradi utili sono espressi dal parametro della somma termica o gdd (growing degree days) definita come la sommatoria delle differenze tra la temperatura media giornaliera e lo zero di vegetazione della specie considerata (Giardini L., 2002) che nel caso del pomodoro da industria è di 12°C.

I rilievi sono stati effettuati nelle seguenti date:

GIORNO	MESE	SOMMA TERMICA
12	Maggio	40,0
16	Maggio	60,0
25	Maggio	120,0
31	Maggio	142,0
5	Giugno	155,8
7	Giugno	163,0
12	Giugno	190,6
14	Giugno	206,2
23	Giugno	309,2
26	Giugno	348,6
29	Giugno	388,1
3	Luglio	433,7
5	Luglio	453,5
10	Luglio	503,7
12	Luglio	531,5
17	Luglio	601,0
19	Luglio	628,8
21	Luglio	640,0
24	Luglio	681,7
27	Luglio	723,4
31	Luglio	775,5
8	Agosto	836,8
10	Agosto	854,0

Tab. 3 Somme termiche giornaliere.

La raccolta è stata effettuata il giorno 16 agosto dopo aver preventivamente valutato il grado di maturazione delle bacche.

Dal materiale raccolto sono state valutate le frazioni di bacche mature, immature, verdi, lesionate e marce, oltre alla registrazione di pesi dello strame.

Si provvedeva anche alla preparazione di un campione di bacche mature e di strame da inviare al laboratorio per la determinazione del peso secco, contenuto di azoto, fosforo e potassio, nonché contenuto di zuccheri, grado Brix, pH.

Risultati

Analizzando i dati relativi all'effetto delle variabili sperimentali sulle rese si nota come la resa totale Fig. 26 non sia stata influenzata dai trattamenti effettuati riportando produzioni che si attestano tra i 10 e i 12 Kg/m². Anche la resa commerciale (Fig. 27) non è stata influenzata particolarmente dai trattamenti, cosa che ha invece influito sulla quantità di prodotto di scarto (Fig. 28); in questo caso si nota come la tesi C abbia prodotto una maggiore quantità di prodotto di scarto rispetto alla tesi N probabilmente dovuto ad uno stadio fisiologico più avanzato al momento della raccolta dovuto ad un migliore equilibrio nutrizionale della pianta. La quantità di prodotto immaturo (Fig. 29) non è stata significativamente differente per le quattro tesi e si è attestata tra 1 e 1,3 Kg/m². Contrariamente alle attese, il peso medio delle bacche commerciali Fig. 30 è stato leggermente superiore per la tesi N anche se le differenze con la tesi P sono risultate minime. Le tesi C e K sono state quelle che hanno fatto registrare i pesi medi più bassi ma non differenti fra loro. Per quanto riguarda invece il peso medio delle bacche immature (Fig. 31) ancora una volta la Tesi N ha fatto registrare il peso maggiore (circa 42 g/bacca) che però non è risultato statisticamente diverso da quello delle altre tesi.

Le analisi di laboratorio effettuate sulle bacche mature raccolte non hanno mostrato differenze per quanto riguarda i valori di pH, °Brix e % di ss. Anche il contenuto di Carotenoidi e zuccheri (Glucosio e Fruttosio) non sono stati influenzati dai diversi trattamenti effettuati (Fig. 32).

Un'ulteriore divisione è stata fatta per quanto riguarda il contenuto di macroelementi (N, P e K) delle bacche (Fig. 33) e dello strame (Fig. 34). In entrambi i casi non sono emerse differenze significative; si nota come il contenuto di potassio sia quasi il doppio nelle bacche rispetto allo strame, mentre il contenuto di fosforo sia pressoché simile; si nota inoltre come la tesi K abbia accumulato una quantità di azoto maggiore rispetto alle altre tesi sia nelle bacche sia nello strame.

Per quanto riguarda le asportazioni totali di elementi nutritivi (Fig. 35) si evidenzia come benché con differenze minime le asportazioni di azoto da parte della tesi N (carenza di azoto) abbia determinato una minore asportazione dello stesso elemento rispetto alle altre tesi con differenze che si attestano tra i 20-30 kg/Ha. Similmente anche le asportazioni di potassio da parte della tesi K (carenza di potassio) sono risultate leggermente inferiori rispetto agli altri trattamenti. I trattamenti non hanno invece influito sulle asportazioni di fosforo che sono risultate simili per le quattro tesi, su quelle di calcio, magnesio e manganese.

Passando ad analizzare le variazioni indotte dai trattamenti sulla copertura vegetale del pomodoro da industria, considerando l'andamento della tesi C come ottimale e tenendo presente che

esperimenti precedenti concernenti l'azoto hanno messo in evidenza come la sua carenza determini valori di riflettanza inferiori rispetto all'ottimo, riterremo sintomo di carenza per gli elementi oggetto di studio qualsiasi scostamento dei valori dall'andamento della tesi C. Osservando la Fig. 36 nella quale sono rappresentati gli andamenti dei valori di riflettanza a 560 nm si riscontra un andamento pressoché simile per tutte le tesi prese in esame. Un'analisi più dettagliata evidenzia delle piccole differenze a partire da circa 500 Gdd, quando la tesi N inizia a discostarsi dalle altre. Un andamento simile si ripete anche per i valori di riflettanza a 660nm (Fig. 37); anche in questo caso dopo una brusca diminuzione dei valori di riflettanza relativi a tutte le tesi sino a circa 190 Gdd, segue una fase pressoché stabile e a partire da 620 Gdd la tesi N si differenzia dalle altre.

Passiamo ora ad analizzare gli indici semplici che prendono in considerazione la regione del Near Infra Red.

L'indice NIR/Red (Fig. 38) presenta una prima fase in cui i valori di riflettanza aumentano molto rapidamente. Nonostante non ci siano differenze significative si può comunque notare come in questa fase del ciclo i valori di riflettanza più elevati siano quelli relativi alla tesi C cui seguono quelli relativi alle tesi N e P ed in ultimo quelli della tesi K, terminata la fase crescente a circa 380 Gdd inizia una fase di diminuzione dei valori che non termina prima della conclusione del ciclo colturale. In questa fase però si nota come gli effetti del trattamento N facciano diminuire in modo discreto i valori di riflettanza, mentre gli altri trattamenti non influiscano in modo determinante e i valori seguano quelli relativi alla tesi C.

Osservando il grafico dell'indice NIR/Green (Fig. 39), si nota un andamento simile all'indice NIR/Red, con una più marcata differenziazione della tesi N nel tratto di curva da oltre 500 Gdd sino a fine ciclo dove i valori di riflettanza delle diverse tesi si equivalgono.

L'indice NIR/760 (Fig. 40), presenta valori di riflettanza tendenzialmente crescenti per tutta la durata del ciclo. Sempre a partire da circa 500 Gdd si nota una differenziazione dei valori di riflettanza relativi alla tesi N come avvenuto nelle figure precedenti; in questo però si nota anche una maggiore differenziazione delle tesi P e K dalla tesi C.

Passando alla descrizione degli indici complessi quali NDVI/Red (Fig. 41), NDVI/Green (Fig. 42) (Fig. 43) si nota che l'andamento dei valori di riflettanza per ognuno di essi è molto simile. In tutti i casi si osserva un aumento dei valori di riflettanza prima più accentuato sino a 190 Gdd poi più moderato fino a circa 400 Gdd cui segue una fase tendenzialmente decrescente fino alla fine del ciclo; è in questa fase che mentre le tesi C, P e K continuano a procedere di pari passo la tesi N inizia a differenziarsi da queste facendo registrare valori tendenzialmente inferiori. Benché simile l'

indice 1/Ref Norm(560) dopo la fase iniziale presenta da 190 Gdd fino a circa 420 Gdd un andamento più arcuato e da questo punto in poi si nota una maggiore differenziazione della tesi N rispetto alle altre tesi che continuano anche in questo caso a procedere sugli stessi valori.

Conclusioni

I dati raccolti in questa prova, hanno confermato come in pieno campo le carenze in fosforo e potassio siano difficilmente riscontrabili a causa della elevata insolubilità che caratterizza i due elementi la quale ne garantisce una buona disponibilità nel terreno su cui è stata effettuata la prova.

Dall'elaborazione dei dati raccolti si è visto che le lunghezze d'onda semplici rilevate dallo strumento ottico, non sono risultate utili alla diagnosi degli effetti di carenza indotti mentre gli indici NIR, soprattutto l'indice NIR/Red e NIR/Green tendono a discriminare maggiormente le differenze tra la tesi N rispetto a quella di riferimento fertirrigata con soluzione nutritiva completa. L'indice Nir /760 contrariamente a quanto risultato nell'esperienza precedente non ha messo in evidenza la carenza di P distinguendola dalle altre. Gli indici complessi NDVI/Red e Green non hanno mostrato la stessa sensibilità rilevata nella prova precedente mentre l'indice 1/Ref Norm(560) ha continuato a differenziare la tesi N dagli altri trattamenti evidenziando una maggiore sensibilità alle variazioni dello spettro elettromagnetico investigato.

Si è inoltre confermato che lo strumento di diagnosi ottica, Multispectral Radiometer Cropscan MSR-87, è estremamente rapido nella stima delle condizioni nutrizionali della coltura, a patto di eseguire i rilievi in modo corretto.

Prova in serra 2007

Lo studio condotto nell'anno 2007, è stato eseguito, presso i locali preposti del Dipartimento di Agronomia ambientale e Produzioni vegetali della Facoltà di Agraria, siti a Legnaro (PD).

La prova intendeva evidenziare le possibili influenze sulle caratteristiche ottiche di trasmittanza e riflettanza, in differenti situazioni controllate di stress nutrizionali.

Materiali e Metodi

La prova comprendeva tre livelli di concimazione diversi per ciascun macroelemento, confrontati con un testimone assoluto non concimato e uno concimato in modo ottimale.

La varietà scelta è stata l'ibrido Perfectpeel (Peto) coltivato in vasi contenenti un substrato in fibra di cocco adottando uno schema sperimentale completamente randomizzato prevedendo tre repliche per ogni tesi.

Dopo essere stati seminati in semenzaio i pomodori sono stati trapiantati il 22 maggio 2007.

La distribuzione delle tesi prevedeva una sistemazione spaziale come qui di seguito riportato in maniera schematica:

K150	P50	P0
N0	P150	N150
K0	NPK100	K50
N50	N0	NPK0
NPK0	P0	K0
P50	K50	K150
N150	K0	N50
K50	N150	P150
P0	K150	N0
P150	N50	P50
NPK100	NPK0	NPK100

La preparazione delle soluzioni nutritive è descritta in appendice.

Per quanto concerne invece la nutrizione si è ricorsi all'ausilio di un fertirrigatore della Hanna Instruments, in modo tale da snellire le operazioni poiché l'irrigazione avveniva congiuntamente con la fertilizzazione ed in maniera del tutto automatizzata.

Nelle quattro vasche dalle quali prelevava il fertirrigatore si è provveduto ad aggiungere potassio sottoforma di solfato di potassio su una, fosforo sottoforma di acido fosforico su un'altra, nitrato di calcio su un'altra ancora e, sull'ultima dell'acido nitrico a causa dell'esigenza di

tamponare il pH. Infatti, nelle tesi con fertilizzazione spinta come P150 e K150 vi era l'esigenza di contenere il pH entro valori congeniali alla disponibilità degli elementi, ecco perché il contenuto in azoto della soluzione era dato in parte dal nitrato di calcio ed in parte dall'acido nitrico

In Tabella 1 sono riportate le percentuali di elementi prelevati dal fertirrigatore dalle quattro vasche di soluzione precedentemente preparate, i valori di Ec della soluzione da distribuite e il valore impostato nel quadro di comando del fertirrigatore; sono inoltre riportati i momenti degli interventi ferirrigui durante il ciclo colturale.

Tabella 1

TESI	Rapporto Elementi			Ec	pH	Ec Settata	ora attivazione fino al 06/07/07	ora attivazione dal 06/07/07		
	N	P	K							
NPK100 %	(1+1) 17-17	1 33	1 33	1,95	6,1	1,9	15,15	8,15	11,15	19,15
N0 %	0	1 50	1 50	0,94	9,2	1	13	6	9	17
P0 %	(1+1) 25-25	0	1 50	1,97	6,1	2	13,15	6,15	9,15	17,15
K0 %	(1+1) 25-25	1 50	0	2,41	2,6	2,5	13,3	6,3	9,3	17,3
N50 %	(0,5+0,5) 10- 10	1 40	1 40	1,54	7	1,6	13,45	6,45	9,45	17,45
N150 %	(1,5+1,5) 22-22	1 28	1 28	2,49	3,7	2,5	14	7	10	18
P50 %	(1+1) 20+20	0,5 20	1 40	1,99	6,1	2	14,15	7,15	10,15	18,15
150P %	(1+1) 15+15	1,5 42	1 28	1,98	6	2	14,3	7,3	10,3	18,3
K50 %	(1+1) 20+20	1 40	0,5 20	1,68	5	1	14,45	7,45	10,45	18,45
K150 %	(1+1) 15+15	1 28	1,5 42	2,25	6,5	2,3	15	8	11	19

I gocciolatori utilizzati avevano una portata di quattro litri ora e l'intervento irriguo è stato compiuto somministrando per i primi due minuti solamente acqua, per i successivi cinque minuti soluzione nutritiva, seguita da altri due minuti di sola acqua.

.. Operazioni Colturali

I turni di irrigazione hanno seguito una cadenza giornaliera fino al giorno 06/06/07, mentre in seguito gli interventi sono stati effettuati tre volte al giorno, con gli orari indicati in Tabella 1. L'esigenza è stata motivata dall'accresciuto fabbisogno idrico delle piante, dovuto in parte al loro stadio fenologico, in parte all'aumento della temperatura e conseguentemente delle perdite per evapo-traspirazione.

.. Rilievi

A cadenza regolare sono state poste in corrispondenza dei gocciolatori delle provette in modo da verificare sia la quantità che la qualità della soluzione erogata (al fine di verificare il buono stato funzionale dei gocciolatori).

Su ogni parcella si è provveduto ad effettuare dei rilievi con il CropScan, tutti eseguiti nelle ore centrali della giornata al fine di avere il sole più perpendicolare possibile, evitare l'effetto ombra ed avere un irradianza più alta. Le letture, tre per ciascuna parcella, sono state fatte a cadenza regolare evitando chiaramente i giorni di pioggia o di forte nuvolosità. Una volta effettuate le letture i dati sono stati trasferiti dal terminale dello strumento ad un personal computer con un apposito programma di elaborazione dati, in modo da poterli utilizzare per il calcolo degli indici e la costruzione di tabelle e grafici.

Al termine della prova sono stati effettuati dei rilievi distruttivi, che hanno interessato due piante per parcella per un totale di ottantaquattro piante. E' stato registrato il peso fresco dell'intera parte aerea, in seguito è stato registrato anche il numero e il peso totale dei frutti di ciascuna pianta, e determinato il peso secco. In concomitanza è stata effettuata anche una lettura della riflettanza con lo strumento ottico i cui dati sono stati interpolati con i valori effettivi di elementi contenuti nelle piante.

Per quanto concerne la caratterizzazione chimica del contenuto delle piante si è provveduto alle seguenti analisi:

Determinazione dell'azoto totale (Kjeldahl)

Ceneri e analisi con ICP

Risultati

.. Analisi degli indici calcolati

Considerando l'andamento della tesi NPK100 come ottimale e tenendo presente che esperimenti precedenti concernenti l'azoto, hanno messo in evidenza come la sua carenza determini valori di riflettanza inferiori rispetto all'ottimo, riterremo sintomo di carenza per gli elementi oggetto di studio, qualsiasi scostamento dei valori dall'andamento della tesi NPK100. Osservando i valori di riflettanza alle varie lunghezze d'onda si riscontra un andamento pressoché simile per tutte le tesi prese in esame o variazioni non significative (Fig. 98).

Per chiarezza espositiva si prenderanno in considerazione prima i livelli di concimazione crescenti per singolo elemento ponendoli a confronto con le tesi controllo e successivamente si confronteranno tutti gli elementi oggetto di studio per livello di concimazione sempre in rapporto alle tesi di controllo.

Analizzando gli andamenti dei valori di riflettanza misurata per le tesi K si nota come la lunghezza d'onda semplice a 560 nm (Fig. 45) presenti un andamento piuttosto confuso, benché la tesi NPK0 si ponga generalmente al di sopra di tutte le altre cui segue la tesi NPK100; le tesi K si dispongono a livelli più bassi rispetto alle precedenti ed hanno un andamento decrescente durante il ciclo colturale, ma non è possibile distinguere i trattamenti effettuati. Nel caso di livelli crescenti di N (Fig. 53) si nota sempre un andamento piuttosto confuso, ma in questo caso a valori di concimazione crescente è associato un valore di riflettanza tendenzialmente più basso e si ha una maggiore differenziazione tra i trattamenti. La tesi N150 fa registrare, in effetti, valori inferiori cui segue la tesi N50 ed in ultimo la tesi N0. La tesi NPK100 si pone approssimativamente ad un livello intermedio tra la tesi NPK0 e la tesi N50. Analizzando i livelli crescenti di P (Fig. 62) si nota sempre che a valori di riflettanza più bassi corrisponda la tesi con il più alto livello di concimazione (P150); si ha però un andamento diverso rispetto alle situazioni precedenti: la tesi P50 si interpone alle tesi NPK0 ed NPK100 mentre la tesi P0 si interpone generalmente tra la tesi P50 e P150.

La lunghezza d'onda a 660nm (Fig. 46) invece riesce meglio a separare gli andamenti delle tesi di controllo ed ha un andamento più regolare. Anche in questo caso le tesi K proseguono tutte sugli stessi valori con andamento prima decrescente fino a 520 Gdd e al termine del ciclo leggermente crescenti; non è comunque possibile distinguere i trattamenti applicati anche se in taluni casi si notano valori di riflettanza per la tesi K0 superiori a quelli registrati per le tesi K50 e K150. Nel caso dell'azoto Fig. 54 si ripete la situazione precedente ma in questo caso si segue un certo ordine di rappresentazione: la tesi N150 ha i valori di riflettanza minori, si passa poi alla tesi N50 e quindi

alla tesi N0. La tesi NPK100 mostra una diminuzione dei valori più lenta rispetto agli altri trattamenti e si confonde con le altre tesi nella parte finale del ciclo. La tesi NPK0 si pone al di sopra di tutte e segue un andamento pressoché lineare. Anche per quanto riguarda il fosforo Fig. 63 l'andamento delle diverse tesi è simile alle precedenti, ma a differenza di quanto accade per l'azoto non vi è corrispondenza tra i valori di riflettanza e il livello di concimazione. La tesi P0 e la tesi NPK100 si interpongono tra la tesi P150 e P50

Considerando gli indici semplici che hanno dato la più interessante significatività all'analisi statistica (Fig. 98) si vede come nell'indice NIR/Red le tesi di controllo seguano il tipico andamento registrato anche in esperienze precedenti; la tesi NPK0 fa registrare valori di riflettanza bassi e costanti durante tutto il ciclo mentre la tesi NPK100 valori crescenti che si dispongono in modo tale da delineare una parabola. Le tesi K (Fig. 47) a confronto si pongono tutte al di sopra della linea tracciata dalla tesi NPK100 e ne seguono l'andamento. Nella prima del ciclo si nota però, che la tesi K50 fa registrare valori leggermente inferiori rispetto alle tesi K0 e K150 mentre a partire da circa 500 Gdd le tesi K50 e K150 mostrano un più rapido declino dei valori ponendosi anche al di sotto della tesi controllo NPK100. La tesi K0 in questa fase finale fa registrare valori più elevati rispetto alle restanti tesi. Nel caso dell'azoto (Fig. 55) questo indice permette una buona discriminazione dei trattamenti, si ha una corrispondenza diretta tra i valori riflettanza registrati e il livello di concimazione. Unica nota stonata è l'andamento della tesi di controllo NPK100 che risulta essere leggermente inferiore alla tesi N50 quando si sarebbe dovuta interporre a questa e alla tesi N150. E' comunque importante notare che la tesi N0 sia solo leggermente superiore alla tesi NPK0 mettendo in evidenza l'importante ruolo svolto dall'elemento nello sviluppo che è però stimolato anche dalla presenza del fosforo e del potassio. In Fig. 64 sono riportati gli andamenti dei valori di riflettanza relativi ai diversi trattamenti di concimazione fosfatica. L'andamento di tali valori è simile ai precedenti ma come già registrato per le lunghezze d'onda semplici c'è una interposizione dei valori di riflettanza relativi alla tesi P0 tra quelli della tesi P150 e P50. La tesi NPK0 si pone ancora una volta al livello più basso e la tesi NPK100 solo nell'ultima parte del ciclo raggiunge valori simili alla tesi P150.

Questa tipologia di andamento si registra anche per l'indice NIR/Green. Sia per quanto riguarda le tesi K (Fig. 48) , le tesi N (Fig. 56) e le tesi P (Fig. 65) non mostra particolari differenze rispetto al precedente indice se non una differente scala dei valori misurati.

L'indice NIR/760 per le tesi K (Fig. 49) le tesi N (Fig. 57) e le tesi P (Fig. 66) mostra un andamento del tutto anomalo e completamente differente rispetto alle esperienze precedenti (Fig. 21 e Fig. 40); in precedenza, infatti, questo indice aveva mostrato un andamento di valori crescente e

nella prima prova in particolare era riuscito a discriminare la carenza di fosforo (P) dagli altri trattamenti in modo spiccato. In questo caso invece i valori si attestano tutti intorno ad 1 rendendo, di fatto, una linea retta orizzontale; per le tesi K ad eccezione di alcuni picchi in corrispondenza di 190 Gdd e 400 Gdd non è possibile distinguere i trattamenti sperimentali tra loro e dai trattamenti di controllo. Gli andamenti relativi alle tesi N sembrano invece differenziarsi leggermente dalla tesi di controllo NPK0 soprattutto tra 290 e 500 Gdd, per il resto non è possibile distinguere i trattamenti e l'analisi statistica conferma la non significatività statistica. Nel caso delle tesi P la situazione resta invariata e ad eccezione di un picco che si manifesta al secondo rilievo (190 Gdd) in cui le tesi si differenziano in modo marcato, ma in modo confuso, durante il resto del ciclo i valori si riportano nell'intorno del valore 1.

Procedendo nell'analisi dei dati ottenuti si prende ora in considerazione l'ultimo gruppo di indici precedentemente indicati come complessi. L'utilizzo di questa tipologia di indice non ha portato all'identificazione di un indice specifico capace di discriminare i singoli trattamenti. Gli andamenti si possono assimilare a quelli riportati relativi al NIR/Green. L'indice NDVI/Red come si può notare dalla Fig. 50, questo non è influenzato dai diversi livelli di concimazione potassica; è comunque in grado di rilevare un sintomo di carenza nutrizionale dovuto al trattamento NPK0. Per la concimazione azotata (Fig. 59) come già avvenuto con gli indici NIR/Red e Green è stato possibile distinguere al meglio i trattamenti, poiché i valori di riflettanza hanno mostrato una proporzionalità diretta con il livello di concimazione. Ciò non avviene per la concimazione fosfatica (Fig. 68) che pur mostrando una differenziazione delle tesi fa corrispondere alla tesi P50 valori di riflettanza che si interpongono tra i valori più alti rilevati per la tesi P150 e quelli più bassi rilevati per la tesi P50.

L'indice NDVI/Green come il precedente tende a raggruppare le tesi K (Fig. 51) non riuscendo a scorgere le variazioni della copertura vegetale, si comporta, però in modo analogo al precedente nel caso della concimazione azotata (Fig. 60) i cui effetti sono stati meglio interpretati dalla maggior parte degli indici presi in considerazione. Nel caso della concimazione fosfatica (Fig. 69) si ripete l'andamento descritto per l'indice NIR/Green con il solito intersorsi della tesi P0 tra le tesi P50 e P150

L'ultimo degli indici complessi analizzato considerando l'effetto dose per ogni singolo elemento è il reciproco della riflettanza a 560nm normalizzata; nel caso del potassio (Fig. 52), l'indice rileva valori di riflettanza compresi tra 3 ed 8 con un andamento costante e rettilineo per la tesi NPK0 e uno leggermente crescente per le altre tesi: queste però non si differenziano le une dalle altre. I valori relativi alle tesi K risultano tendenzialmente superiori ad entrambe le tesi di controllo

per la durata del ciclo, solo la tesi K150 subisce una diminuzione tale da farla interporre alle tesi NPK0 ed NPK100. L'effetto dose relativo all'azoto (Fig. 61) è ancora messo in evidenza da questo indice. Le tesi si dispongono in ordine crescente seguendo l'incremento di disponibilità dell'elemento come già avvenuto per l'indice NIR/Green. Nel caso del fosforo (Fig. 70), le differenze fra le dosi di fertilizzante sono solo minimamente evidenziate inoltre come già descritto per gli altri indici la tesi P0 fa registrare fino a 350 Gdd valori superiori alla tesi P150 per poi andare ad interpersi a questa ed alla tesi P50 nella fase centrale ed in fine confondersi con le altre tesi al termine del ciclo.

Analizzando gli indici confrontando le tesi per il livello di concimazione 0, 50 e 150 tenendo sempre in considerazione le tesi di controllo si nota come i valori di riflettanza la lunghezza d'onda semplice a 560 nm siano simili per le tesi 0 (Fig. 71) che si differenziano dalla tesi controllo NPK0 e solo nella prima parte del ciclo anche dalla tesi NPK100. I valori di riflettanza delle tesi 0 sono generalmente inferiori a quelli della tesi NPK0 e sembrano seguire un andamento pressoché rettilineo. Il livello di concimazione 50 (Fig. 80) ha valori di riflettanza ancora confusi che si avvicinano di più alla tesi NPK0 ma in questo caso le tesi N50, P50 e K50 sono meglio distinte tra di loro con la tesi N50 che si pone tra la P50 in alto e la K50 in basso. Analizzando il livello di concimazione 150 si nota che i valori di riflettanza assumono un andamento decrescente con la tesi N150 che fa registrare i valori generalmente inferiori alle altre condizioni da circa 280 Gdd in poi la tesi NPK0 segue l'andamento precedentemente descritto (Fig. 89).

La lunghezza d'onda a 660nm nei tre casi (Fig. 72 Fig. 81 Fig. 90) ripercorre gli andamenti descritti per l'indice precedente. Si nota però come all'aumentare della dose si definisca un andamento più regolare che diviene accentuatamente parabolico alla dose 150. I valori decrescenti fino a 500 Gdd tendono poi a crescere fino al termine del ciclo. Le tesi N150, P150 e K150 fanno registrare valori inferiori alle tesi di controllo, ma non sono distinguibili tra loro.

Gli indici semplici presi in considerazione mettono meglio in evidenza le differenze fra le tesi a dose uguale. L'indice NIR/Red mostra come il livello di concimazione 0 (Fig. 73) causi per la tesi N0 valori di riflettanza inferiori che tendono a seguire l'andamento della tesi NPK0 mentre le tesi P0 e K0 facciano registrare valori più simili a quelli della tesi NPK100. In queste ultime, infatti, è sempre presente la dose ottimale di azoto che associata alla presenza del fosforo nella tesi K0 ha fatto raggiungere alla pianta un buon grado di sviluppo e di conseguenza più alti valori di riflettanza. Quando invece è associata alla dose ottimale di potassio nella tesi P0 si registrano valori inferiori dovuti probabilmente al ruolo cruciale che anche il fosforo assume nello sviluppo della pianta. Passando al livello di concimazione 50 (Fig. 82) si nota come la tesi N50 segua

l'andamento della tesi K50 fino a 310 Gdd, vada successivamente ad interpersi a questa e alla P50 per poi far registrare nuovamente valori più elevati dai 550 Gdd in poi anche questo indice sembra pertanto maggiormente influenzato dalla presenza o assenza dell'azoto piuttosto che degli altri elementi, infatti, per la dose 150 (Fig. 91) la tesi che ha fatto registrare i valori più elevati di riflettanza è stata la N150 mentre le tesi K150 e P150 si sono attestate su valori simili probabilmente in virtù della medesima dose di azoto contenuta.

Per l'indice NIR/Green riportato in Fig. 74, Fig. 83 e Fig. 92 rispettivamente per i livelli di concimazione 0, 50 e 150 si verificano le medesime situazioni descritte per l'indice NIR/Red, anche se gli andamenti di questo risultano più regolari.

L'indice NIR/760 invece presenta in tutti e tre i casi (Fig. 75, Fig. 84, Fig. 93) ancora l'andamento anomalo descritto precedentemente e non risulta di particolare aiuto nel discriminare i trattamenti come era invece apparso nelle esperienze precedenti (Fig. 21)

Gli indici complessi NDVI/Red (Fig. 77, Fig. 86, Fig. 95) e NDVI/Green (Fig. 78, Fig. 87, Fig. 96) rispecchiano gli andamenti descritti per gli indici NIR/Red e Green mettendo in evidenza la buona capacità di questa categoria di indici a discriminare sintomi di carenza.

L'indice che considera il reciproco della riflettanza a 560nm normalizzata alla dose 0 (Fig. 79) associa le tesi K0 e P0 che mostrano valori più elevati di riflettanza mentre la tesi N0 ha valori più simili alla tesi NPK0. Anche in questo caso l'andamento è tendenzialmente crescente fino a metà ciclo per poi diventare decrescente. Quando si passa ad analizzare la dose 50 (Fig. 88) si nota che i valori relativi alla tesi N50 sono ora più elevati di quelli della tesi P50 e simili a quelli della tesi K50 che però nella fase centrale del ciclo, tra 320 e 550 Gdd, fa registrare i valori più elevati in assoluto per poi inserirsi tra le tesi N50 e P50 nella parte terminale del ciclo. Il trattamento alla dose 150 (Fig. 97) capovolge ancora la situazione facendo registrare i valori più elevati per la tesi N150 intermedi per la tesi P150 e inferiori per la tesi P150 che, però non raggiunge il limite minimo tracciato dalla tesi NPK0.

Al termine della prova i valori degli indici calcolati sono stati interpolati con l'effettivo contenuto di fosforo e potassio presente nelle piante. Questa operazione ha permesso di confermare che per quanto riguarda il potassio (Fig. 99) gli indici utilizzati non sono influenzati dal contenuto di elemento accumulato dalle piante. Nel caso del fosforo (Fig. 100), invece, a conferma di quanto precedentemente esposto sono correlati con il contenuto di tale elemento.

.. *Analisi dati rilievi distruttivi*

Analizzando i dati raccolti alla fine della prova su piante a campione, due per ciascuna parcella, non si sono evidenziate particolari correlazioni con le carenze nutrizionali. Il peso fresco delle piante (Fig. 102) relativo alle tesi N e P sembra essere proporzionale al livello di concimazione ricevuto, anche se l'analisi statistica non ha mostrato evidenti differenze; la situazione delle tesi K è invece un po' diversa in quanto la tesi K50 ha fatto registrare un peso superiore alla tesi K150. Anche la tesi NPK100 ha fatto registrare un peso fresco medio simile a quello della tesi N0, P0 e P50 il che sta ad indicare un accrescimento non ottimale che potrebbe aver avuto effetti negativi sui valori di riflettanza misurati che come si è visto sono stati tendenzialmente inferiori a quelli delle altre tesi. C'è comunque da sottolineare che le differenze sono risultare statisticamente poco significative.

Il peso secco ripete le differenze tra le tesi già evidenziate con il peso fresco. È circa il 10-12% del peso fresco e segue anch'esso il trend crescente all'aumento della disponibilità di elementi nutritivi anche se ancora una volta le differenze sono poco significative.

Il contenuto di azoto totale, determinato con il metodo Kjeldahl, si è attestato in media attorno al 4% con solo la tesi N50 che ha fatto registrare un valore medio del 2,7%. Le tesi P e K sembrano mostrare un trend negativo all'aumentare della dotazione della soluzione nutritiva mentre le tesi N ad eccezione della tesi N50 mostrano un leggero accumulo di elemento in ordine via via crescente dalle tesi con dotazione 0 a quelle con dotazione 150.

Le determinazioni con il metodo ICP hanno messo in evidenza che il contenuto di calcio (Fig. 104) è direttamente proporzionale alla dotazione di azoto e varia da circa 80 a 100 mg/g di ss. Per le tesi P il maggior contenuto di questo elemento è stato raggiunto con la tesi P50 mentre negli altri casi si sono avuti valori simili alla tesi N0. Nel caso delle tesi K sembra che un eccesso di tale elemento influenzi negativamente l'assorbimento del calcio, si nota, infatti, che passando dalla tesi K0 alla tesi K50 si ha un incremento del contenuto di calcio che in quest'ultimo caso supera i 100 g/g di ss., mentre non si raggiungono i 75 mg/g di ss nel caso della tesi K150. Questo valore è anche inferiore a quello registrato per la tesi NPK100.

La presenza di potassio stimola positivamente l'accumulo di magnesio (Fig. 105) che varia da 18 a 24 mg/g di ss. la maggior quantità accumulata si raggiunge però con la tesi P50 e la tesi N0 che superano anche la tesi NPK100. Nel caso delle tesi N50 ed N150 si hanno valori simili che non discostano da quelli registrati per le tesi P0 e P150.

Il contenuto di fosforo (Fig. 106) è invece proporzionale alla quantità somministrata per le tesi P. Si ha, in effetti, un aumento della quantità accumulata via via che si passa dalla tesi P0 con circa 7,5 mg/g di ss. alla tesi P150 con 9,6 mg/g di ss. La presenza o meno di potassio nella soluzione nutritiva non sembra influenzare l'assorbimento e accumulo del fosforo che nel caso delle tesi K si attesta intorno ai 9 mg/g di ss. L'assenza di azoto determina un effetto simile a quello avuto con la tesi P0 dunque in assenza di fosforo mentre si raggiungono contenuti del trattamento P150 nel caso delle tesi N50 ed N150.

Un andamento crescente e proporzionale alla dose si ha anche nel caso del potassio (Fig. 107) per le tesi P e le tesi K. Le prime hanno un contenuto che varia da 147 mg/g di ss della tesi P0 ai 177 mg/g di ss della tesi P150. Le tesi K invece un contenuto che passa dai 110 mg/g di ss della tesi 0 ai 154 mg/g di ss della tesi 150. Le tesi N hanno invece un andamento diverso: le tesi 0 e 150 fanno infatti registrare dei valori simili che sono superiori a quelli relativi alla tesi 50 (Fig. 108).

Conclusioni

L'esperienza condotta ha messo in evidenza che in molti casi esiste una correlazione diretta tra la disponibilità di elementi e il loro accumulo nei tessuti vegetali naturalmente fino a quando non si raggiunge un livello di tossicità. La presenza di una maggiore quantità di elementi, soprattutto azoto, produce degli effetti che si manifestano macroscopicamente sulla vegetazione e che sono facilmente correlabili ai valori di riflettanza misurati con lo strumento ottico. Tra gli indici, il più adatto alla determinazione degli effetti dovuti a questo elemento è senz'altro il NIR/Green. Benché sia stata verificata la proporzionalità diretta tra la dose e l'accumulo nei tessuti, tutti gli indici analizzati non sono stati in grado di discriminare gli effetti dovuti all'elemento potassio, interpretando questi come simili ad una vegetazione in equilibrio nutrizionale. Nel caso del fosforo invece i migliori risultati di discriminazione si ottengono con gli indici NIR/Red e NIR/Green in condizioni di stress accentuato; considerando questo singolo elemento si potrebbe anche stabilire qualche relazione con gli stadi di carenza ma quando si confrontano i valori di riflettanza con quelli relativi all'azoto i valori di riflettanza dovuti ai due trattamenti si sovrappongono non permettendo dunque la loro distinzione. In condizioni operative dunque non è ancora possibile guidare la concimazione fosfatica e potassica al contrario di quanto già accade per la nutrizione azotata.

Conclusioni

Alla luce di tutte le esperienze effettuate durante il corso di tre anni di studio, si è confermata l'ottima capacità dello strumento ottico Cropscan Multispectral Radiometer MSR 87 nel rilevare lo stato nutrizionale e guidare l'operatore nella gestione della concimazione azotata del pomodoro da industria. I dati raccolti nelle prove effettuate per l'individuazione di parametri utili alla determinazione delle variazioni delle proprietà ottiche della vegetazione in condizioni di stress dovuti alla carenza degli altri due macroelementi presi in considerazione, fosforo e potassio, hanno portato all'identificazione di indici capaci di discriminare i differenti livelli di stress solo in situazioni controllate e quando si prende in considerazione il singolo elemento.

In condizioni di stress da eccesso di fosforo si è registrato un aumento dei valori di riflettanza simili a quelli dovuti ad un eccesso di azoto: il meccanismo è probabilmente legato al fatto che un eccessivo apporto di fosforo stimoli anche la produzione di clorofilla per la quale è già stata individuata la relazione tra contenuto e riflettanza. C'è inoltre da far presente che il fosforo assimilato resta per la maggior parte in forma inorganica all'interno della pianta stessa inoltre lo spettro di assorbimento degli antociani, la cui produzione è stimolata dalla carenza di fosforo, si sovrappone a quello della clorofilla e dei carotenoidi, rendendo particolarmente difficile l'individuazione di indici univoci.

Il potassio è il catione più presente all'interno del citoplasma e interviene nella formazione di deboli composti nei quali risulta facilmente scambiabile. Come il fosforo dunque è presente principalmente nella forma inorganica e partecipa al mantenimento del potenziale osmotico della cellula. Benché una sua carenza determini modificazioni a livello chimico all'interno della pianta, accumulo di carboidrati solubili, diminuzione del contenuto di amido, e accumulo di composti azotati, gli effetti visivi sulla vegetazione sono principalmente relativi a necrosi del lembo fogliare con relativa tendenza all'ingiallimento della pianta che riflette gli effetti dovuti alla carenza di azoto. L'individuazione anche in questo caso di indici univoci che permettano di valutare gli effetti imputabili a tale elemento risultano particolarmente complicati. Un possibile approccio dovrebbe prevedere il confronto a più steps relazionando diversi indici ed escludendo di volta in volta le interferenze per giungere alla corretta diagnosi. Vista le particolari difficoltà incontrate non è stato possibile impostare delle linee guida per la gestione della concimazione fosfatica e potassica per il pomodoro da industria in condizioni operative di pieno campo.

BIBLIOGRAFIA

- Baldoni R., Giardini L., 1989. *Coltivazioni erbacee*. Pàtron Editore, Bologna.
- Barichelo R., 1987. *Le serre le energie alternative*. Pàtron Editore, Bologna.
- Barker, D. H., Seaton, G. G. R., & Robinson, S. A. (1997). Internal and external photoprotection in developing leaves of the CAM plant *Cotyledon orbiculata*. *Plant Cell and Environment*, 20, 617–624.
- Barker, D. H., Seaton, G. G. R., & Robinson, S. A. (1997). Internal and external photoprotection in developing leaves of the CAM plant *Cotyledon orbiculata*. *Plant Cell and Environment*, 20, 617–624.
- Borsato, D (2004). *Gestione della fertilizzazione azotata nei sistemi orticoli*. Tesi di dottorato
- Burger, J., & Edwards, G. E. (1996). Photosynthetic efficiency, and photodamage by UV and visible radiation, in red versus green leaf *Coleus* varieties. *Plant and Cell Physiology*, 37, 395–399.
- Buschman, C., & Nagel, E. (1993). In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as a basis for remote sensing of vegetation. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 711 – 722.
- Cataldo D., Haroon M., Scradler L., Youngs U., 1975. *Rapid colorimetric determination of NO₃ in plant tissue by nitrification of salicylic acid*. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 6 (1); 71-80.
- Chapin, F.S. and Kendrowski, R.A., 1983. Seasonal changes in nitrogen and phosphorus fractions and autumn retranslocation in evergreen and deciduous taiga trees. *Ecology* 64, pp. 376–391
- Cropscan Inc., 2002. *Manuale d'uso*.
- D.A. Sims, J.A. Gamon, Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages, *Remote Sens. Environ.* 81 (2002) 337–354.

- Dadomo M., 2004. *Confronti varietali in Italia su pomodoro da industria*. *Informatore Agrario*, 11: 65-81.
 - Datt, B. (1998). Remote sensing of chlorophyll a, chlorophyll b, chlorophyll a + b, and total carotenoid content in Eucalyptus leaves. *Remote Sensing of Environment*, 66, 111–121.
 - Datt, B. (1999). A new reflectance index for remote sensing of chlorophyll content in higher plants: tests using Eucalyptus leaves. *Journal of Plant Physiology*, 154, 30–36.
 - Dell’Agnola G., 1978. *Chimica agraria*. Cedam, Milano.
 - Demmig-Adams, B., & Adams III, W. W. (1996). The role of xanthophyll cycle carotenoids in the protection of photosynthesis. *Trends in Plant Science*, 1, 21– 27.
 - Direttiva 91/676/CEE del Consiglio del 12 dicembre 1991, relativa alla protezione delle acque dall’inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole.
 - Dodd, I. C., Critchley, C., Woodall, G. S., & Stewart, G. R. (1998). Photoinhibition in differently coloured juvenile leaves of *Syzygium* species. *Journal of Experimental Botany*, 49, 1437– 1445.
 - Dury, S.J. Turner, B.J. 2001. Nutrient estimation of eucalypt foliage derived from hyperspectral data. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2001. IGARSS '01. IEEE 2001 International*
 - Enzo, M., Lazzarin, R., Pimpini , F. (2001). Soluzioni nutritive. In: *Principi tecnico-agronomici della fertirrigazione e del fuori suolo*. Edizioni Veneto Agricoltura 2001.
 - Gamon, J. A., & Surfus, J. S. (1999). Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. *New Phytologist*, 143, 105–117.
- Gazzetta ufficiale n. L 375 del 31/12/1991 pag. 01-08.
- Giardini L., 2002. *Agronomia generale, ambientale ad aziendale*. Pàtron Editore, Bologna.
 - Gitelson, A. A., & Merzlyak, M. N. (1994a). Spectral reflectance changes associate with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. *Journal of Plant Physiology*, 143, 286–292.
 - Gitelson, A. A., & Merzlyak, M. N. (1994b). Quantitative estimation of chlorophyll-a using reflectance spectra: experiments with autumn chestnut and maple leaves. *Journal of Photochemistry and Photobiology, B: Biology*, 22, 247– 252.

- Gitelson, A. A., & Merzlyak, M. N. (1996). Signature analysis of leaf reflectance spectra: algorithm development for remote sensing of chlorophyll. *Journal of Plant Physiology*, 148, 494– 500.
- Klaper, R., Frankel, S., & Berenbaum, M. R. (1996). Anthocyanin content and UVB sensitivity in *Brassica rapa*. *Photochemistry and Photobiology*, 63, 811– 813.
- Kuchand P.J., Crosswhite W.M., 1998. *The agricultural regulatory frame work and biomas production*. *Biomas and bioenergy*, 14/4, ISSN 0861-0534.
- Lauer, Michael J., Stephen G. Pallardy, Dale G. Blevins and Douglas D. Randall. 1989. Whole leaf carbon exchange characteristics of phosphate deficient soybeans (*Glycine max* L.). *Plant Physiol.* 91:848-854.
- Lichtenthaler, H. K., Gitelson, A. A., & Lang, M. (1996). Non-destructive determination of chlorophyll content of leaves of a green and an aurea mutant of tobacco by reflectance measurements. *Journal of Plant Physiology*, 148, 483– 493.
- Marano B. 1989. *Fertilità del suolo e nutrizione delle piante*. Edizioni Nanniperi, Livorno.
- Marzi V., 1990 *Il Pomodoro da industria*. In *Orticoltura*, Bianco V.V. e Pampini F. Pàtron Editore, Bologna.
- Marzi V., 2001. *Pomodoro*. *Coltivazioni erbacee*, Baldoni R. e Giardini L. Pàtron Editore, Bologna.
- Mendez, M., Gwynn, J. D., & Manetas, Y. (1999). Enhanced UV-B radiation under field conditions increases anthocyanin and reduces the risk of photoinhibition but does not affect growth in the carnivorous plant *Pinguicula vulgaris*. *New Phytologist*, 144, 275– 282.
- Richard M., Brian H., Hurd R., 1999. *Agriculture and global climate change*. A review of impact to U.S. agricultural resource.
- Shchurina, G.N. 1990. Determination of phosphorus in soils and plants with the XR-23 X-ray fluorescence analyzer. *Scripta Technica*. 22(6):119-121
- Thomas, J. R., & Gausman, H. W. (1977). Leaf reflectance vs leaf chlorophyll and carotenoid concentrations for eight crops. *Agronomy Journal*, 69, 799– 802.
- Yoder, B. J., & Waring, R. H. (1994). The normalized difference vegetation index of small Douglas-fir canopies with varying chlorophyll concentrations. *Remote Sensing of Environment*, 49, 81– 91.

Siti web consultati:

- www.ictinternational.com
- www.fertirrigazione.it
- www.pomodoroitaliano.it
- www.wikipedia.it

FIGURE

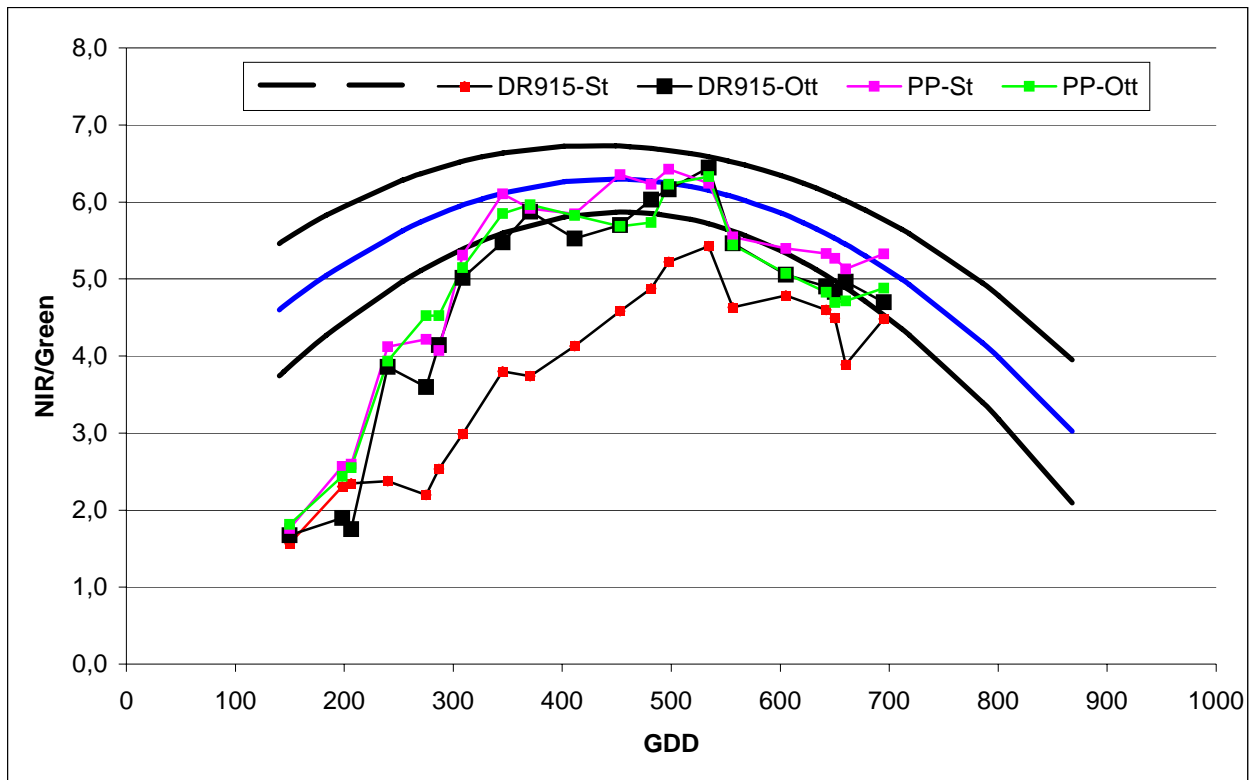


Fig. 1 Andamento dell'indice Nir/Green durante il ciclo in funzione del trattamento e della varietà

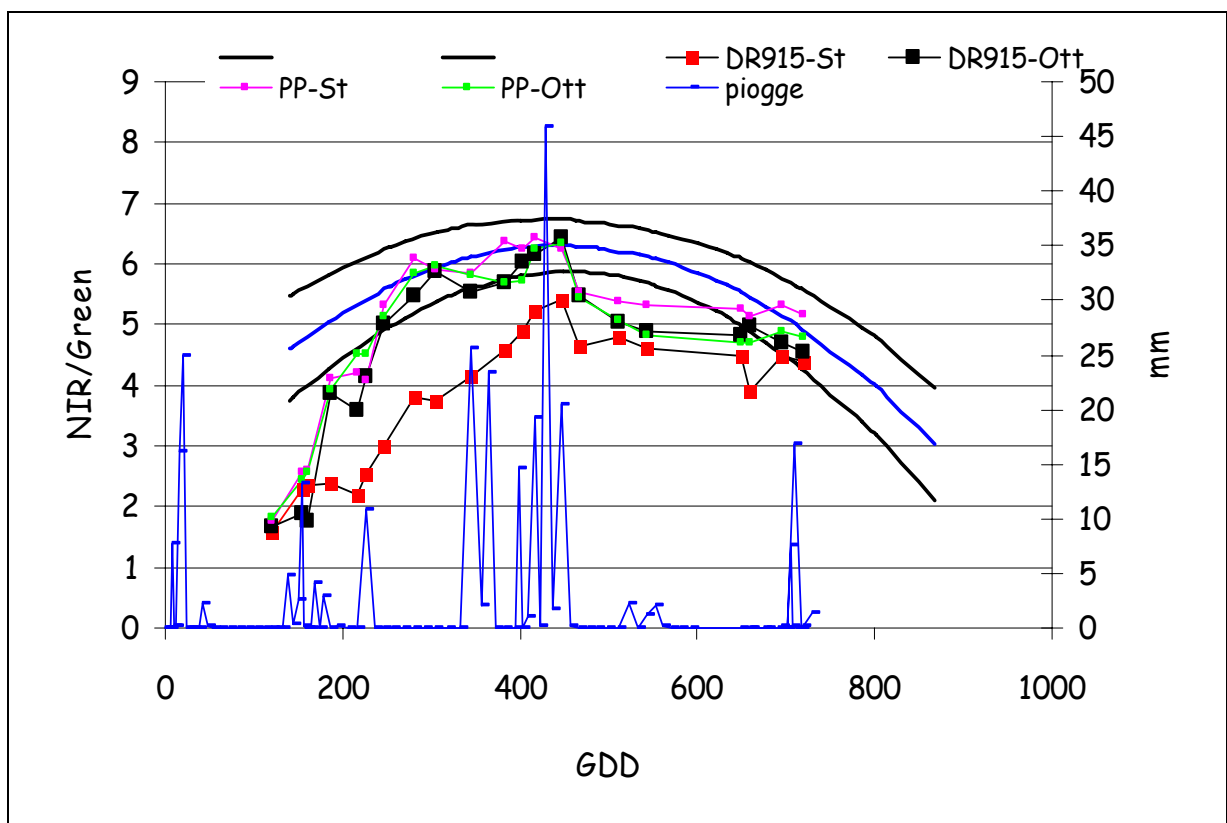


Fig. 2 Andamento dell'indice Nir/Green durante il ciclo in funzione delle piogge

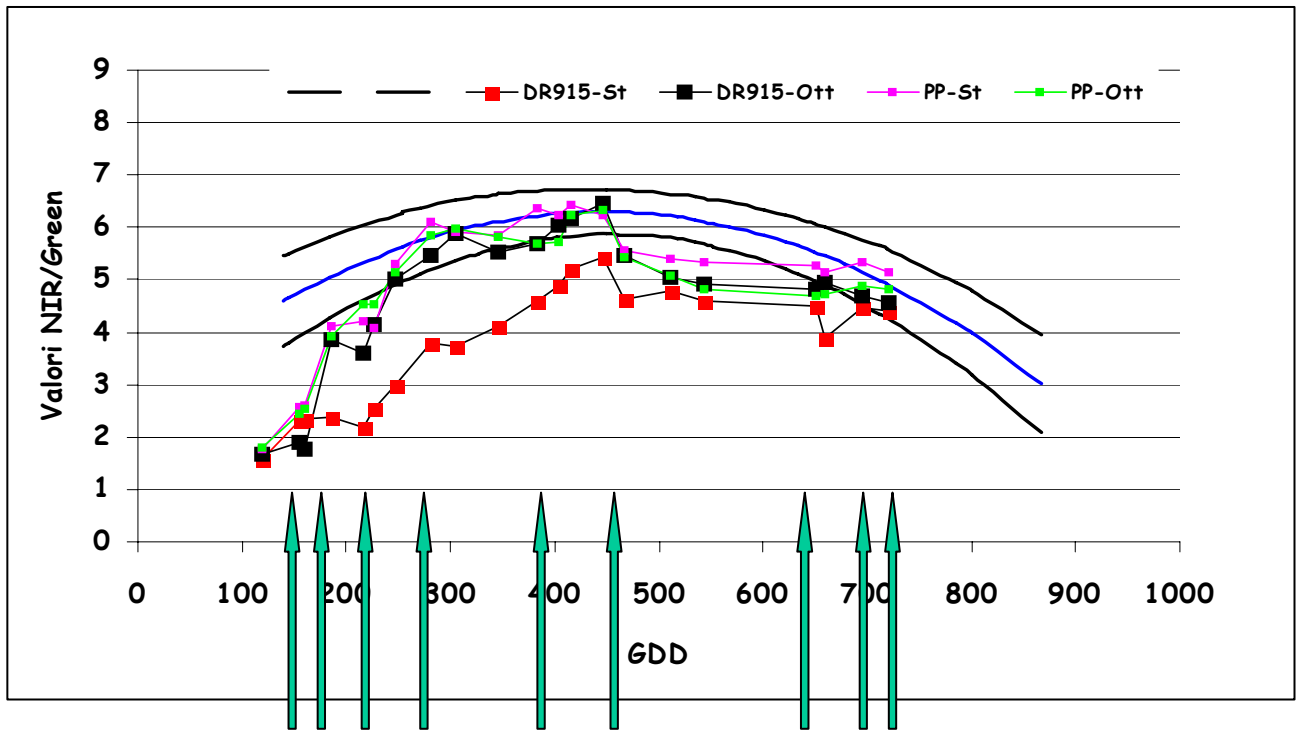


Fig. 3 Momento degli interventi fertirrigui

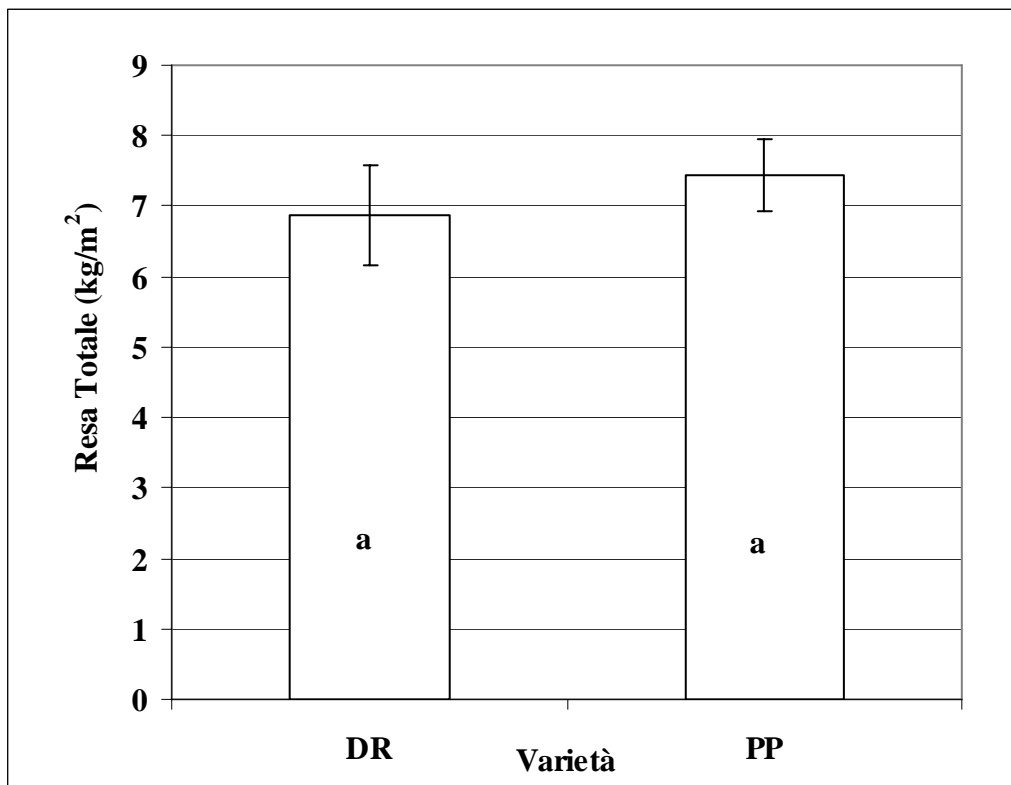


Fig. 4 Effetto della varietà sulla resa totale

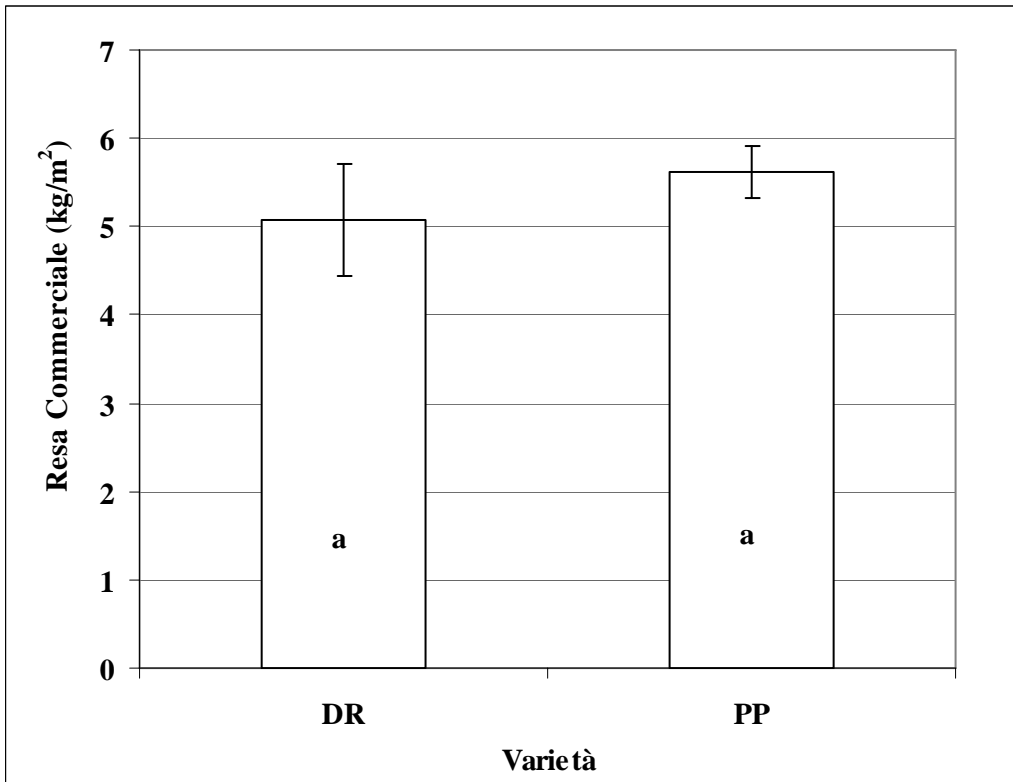


Fig. 5 Effetto della varietà sulla resa commerciale

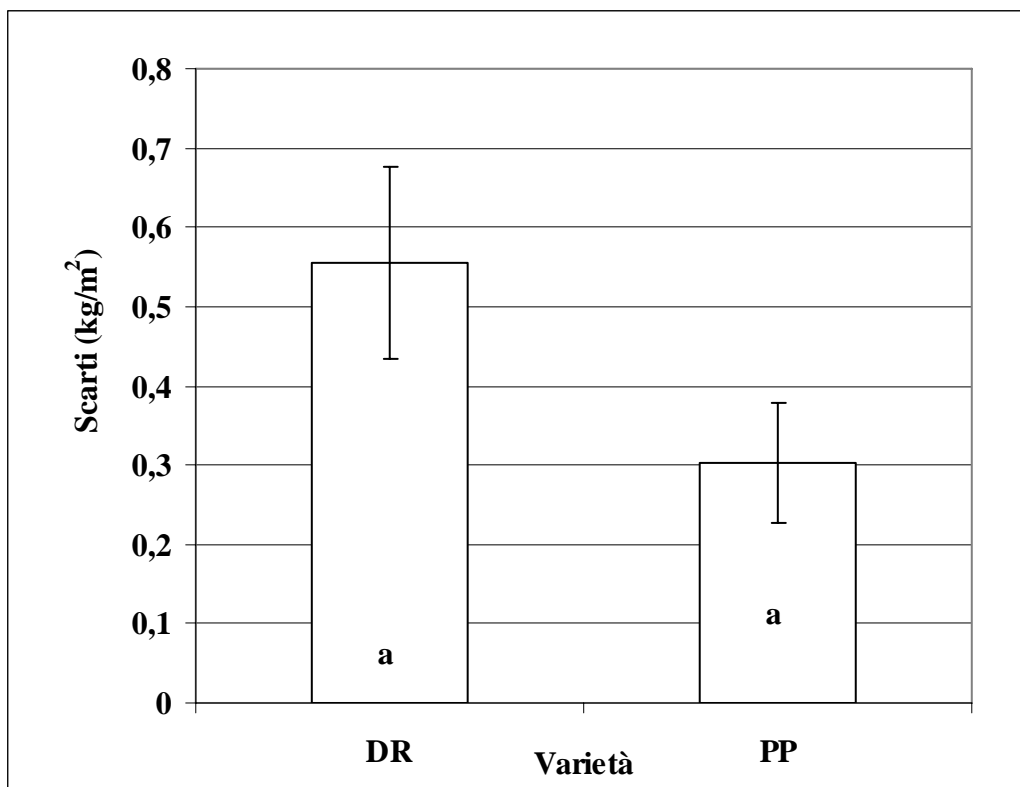


Fig. 6 Effetto della varietà sulla quantità di prodotto di scarto

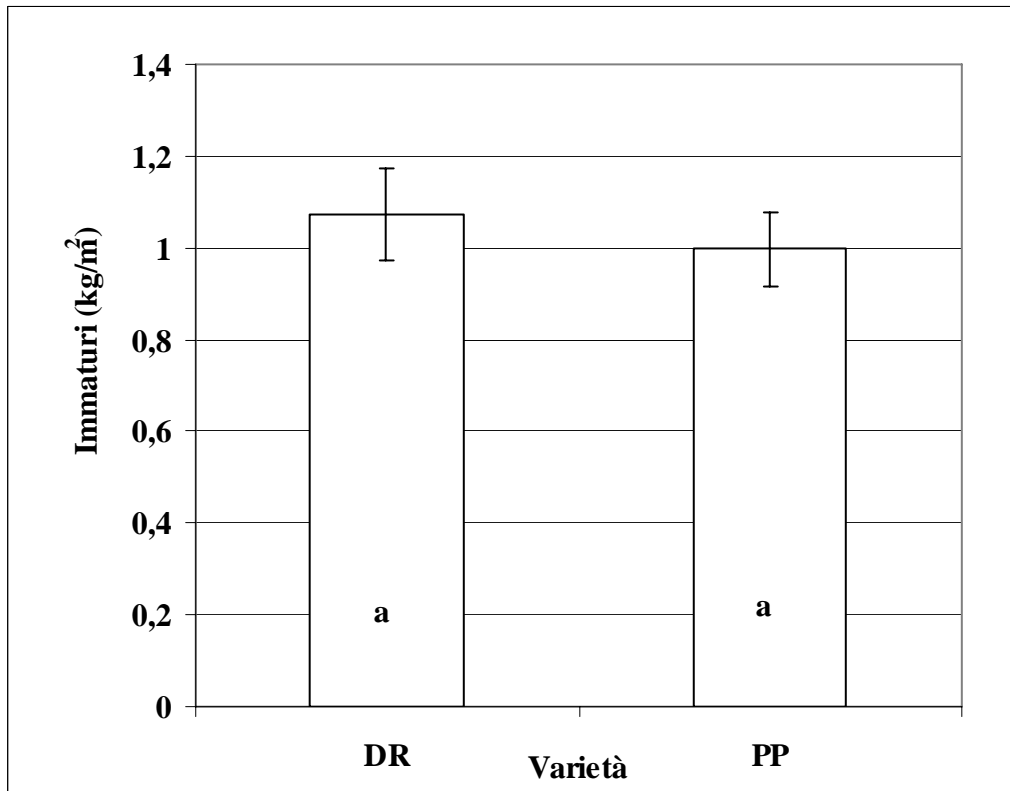


Fig. 7 Effetto della varietà sulla quantità di prodotto immaturo

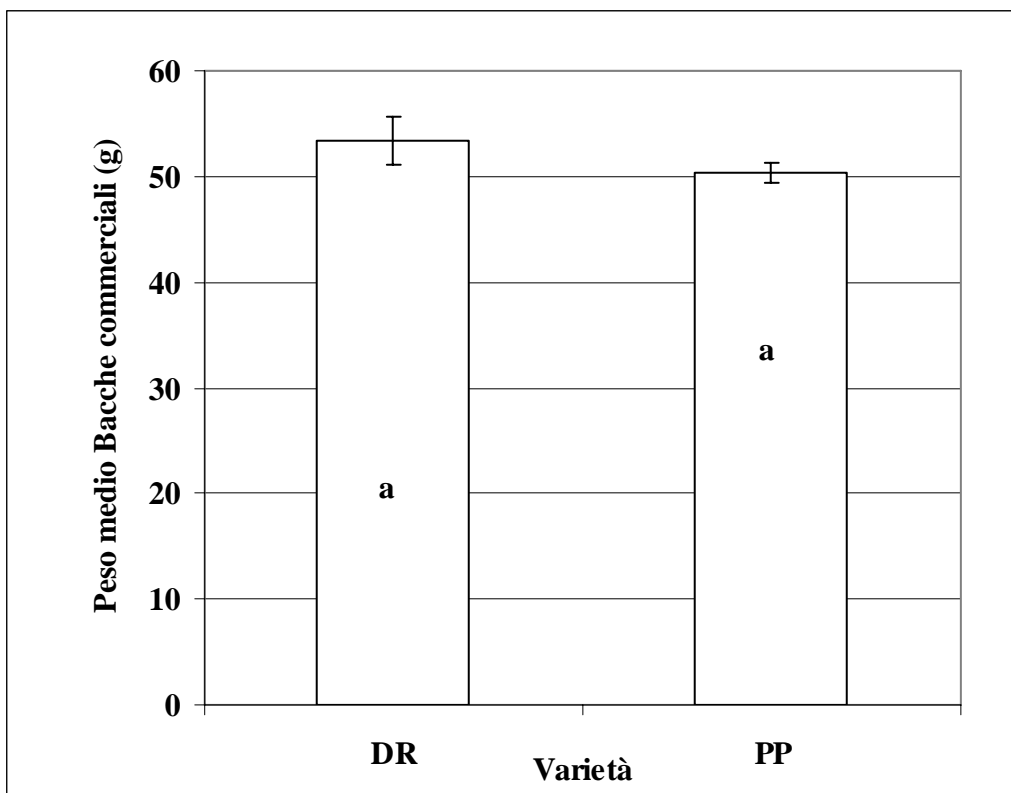


Fig. 8 Effetto della varietà sul peso medio del prodotto commerciale

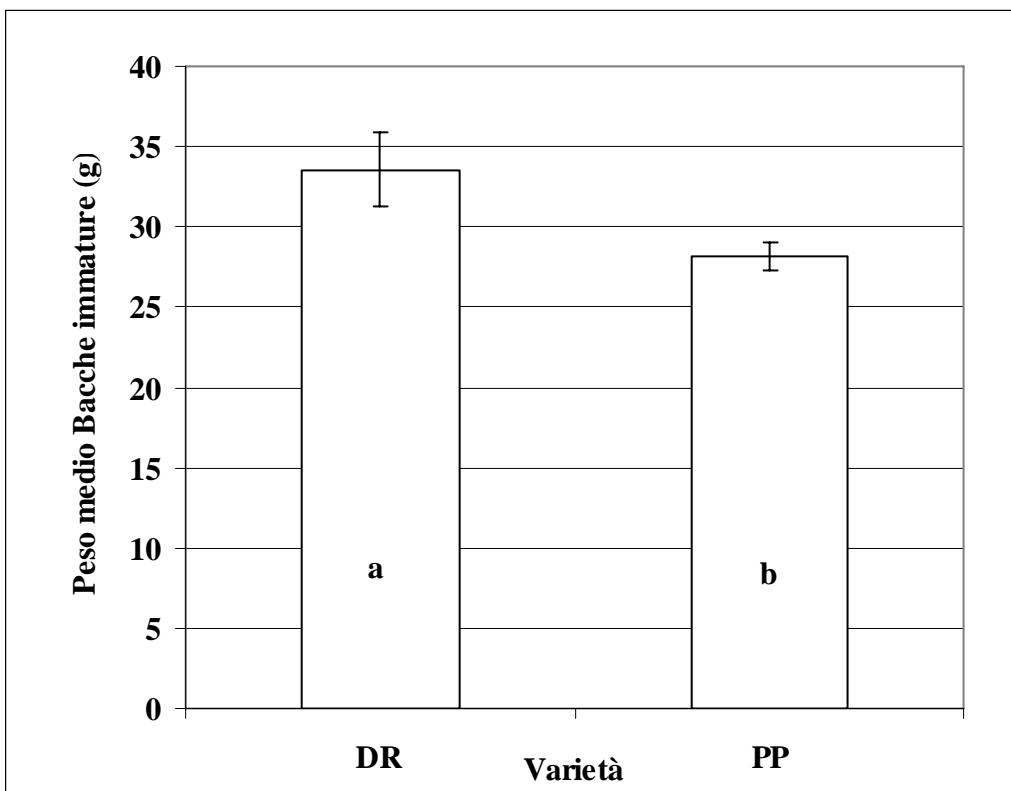


Fig. 9 Effetto della varietà sul peso delle bacche immature

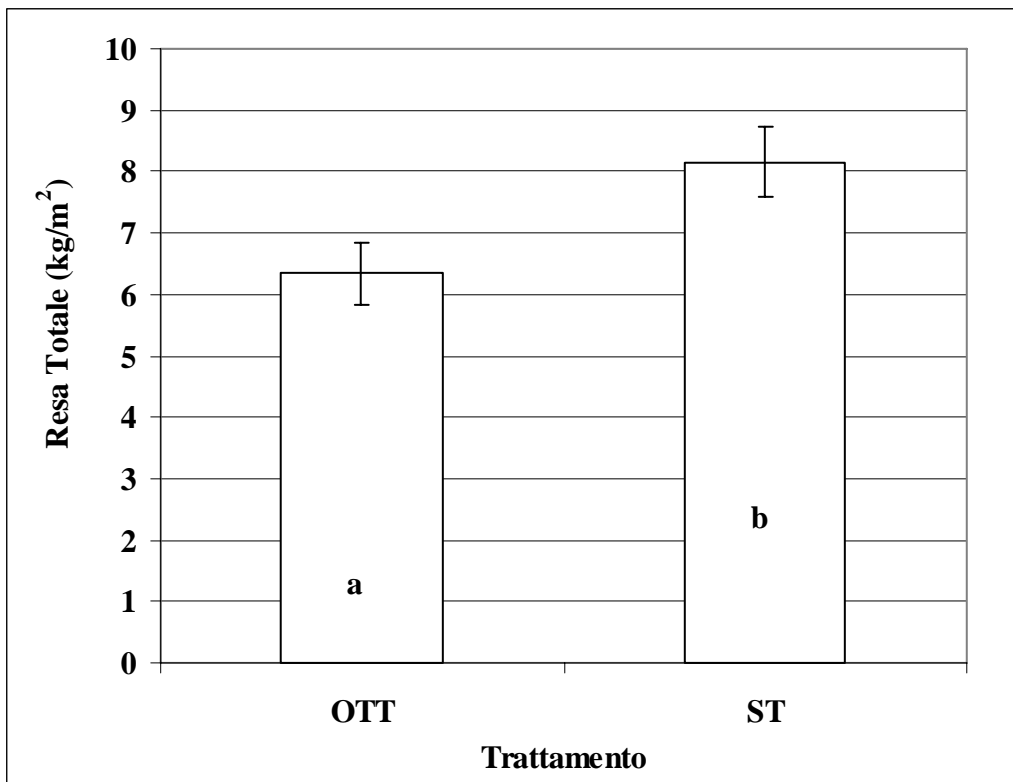


Fig. 10 Effetto del trattamento sulla resa totale

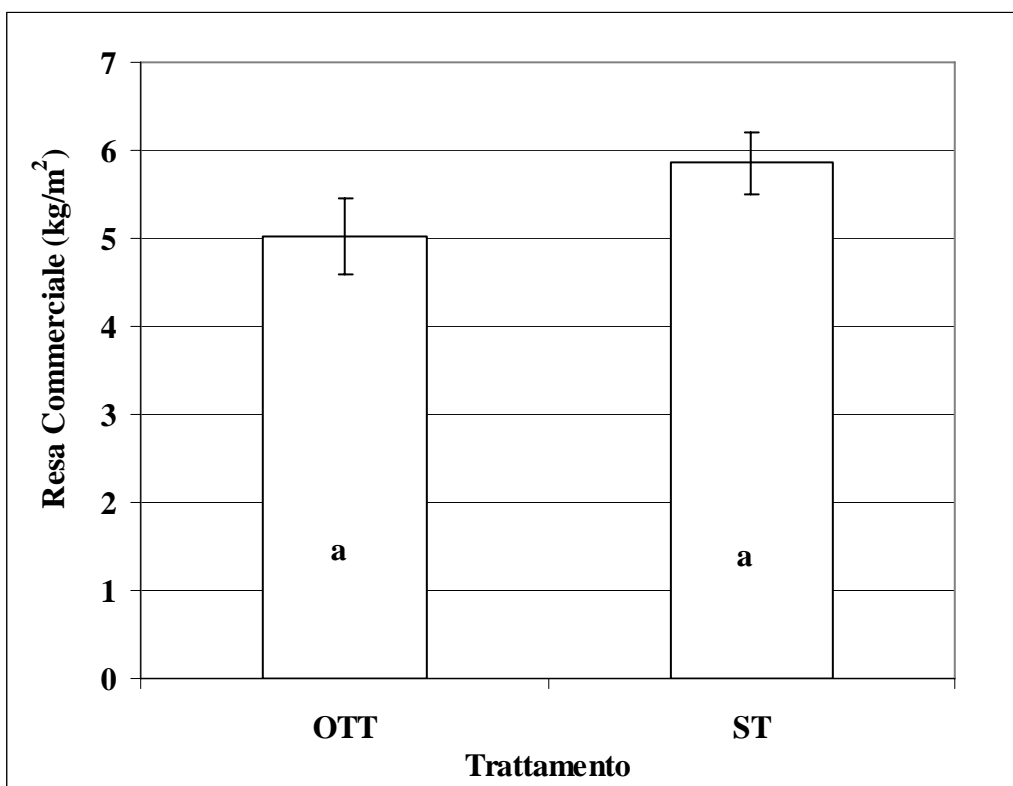


Fig. 11 Effetto del trattamento sulla resa commerciale

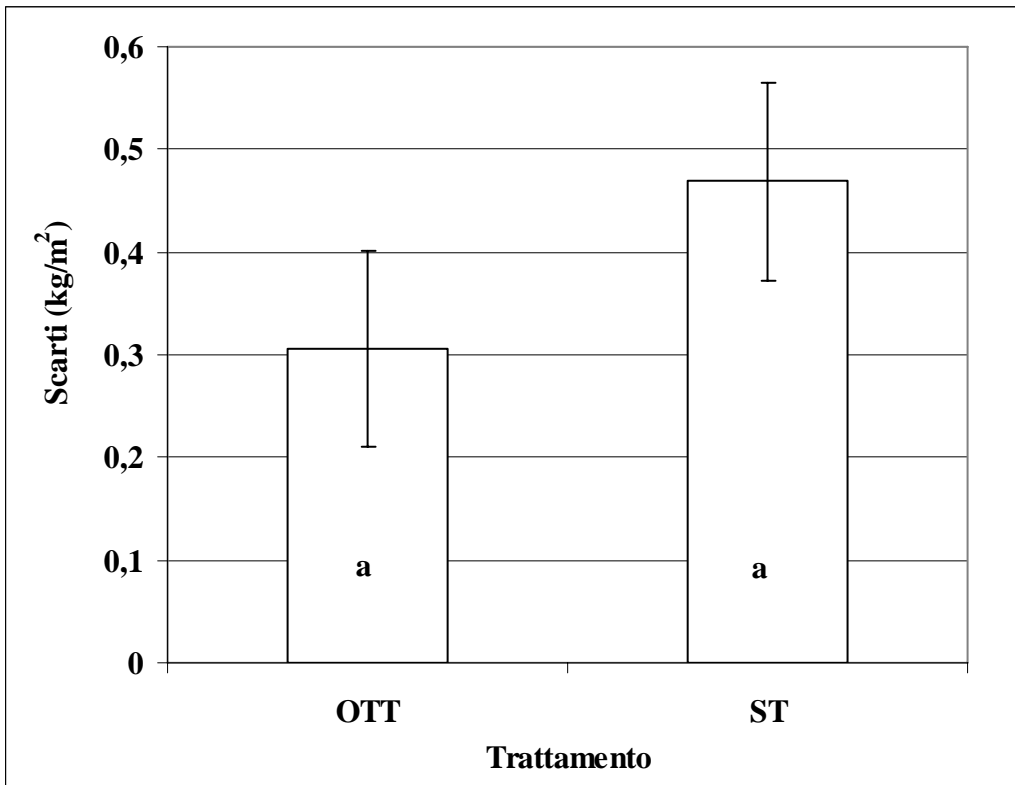


Fig. 12 Effetto del trattamento sulla quantità di prodotto di scarto

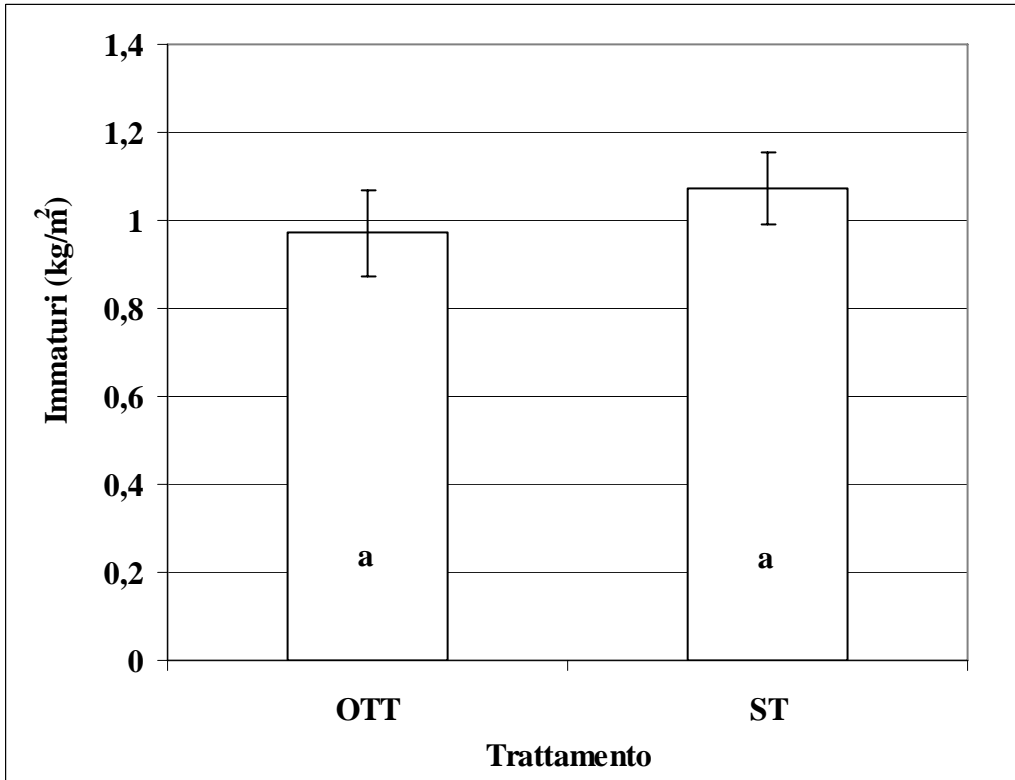


Fig. 13 Effetto del trattamento sulla quantità di prodotto immaturo

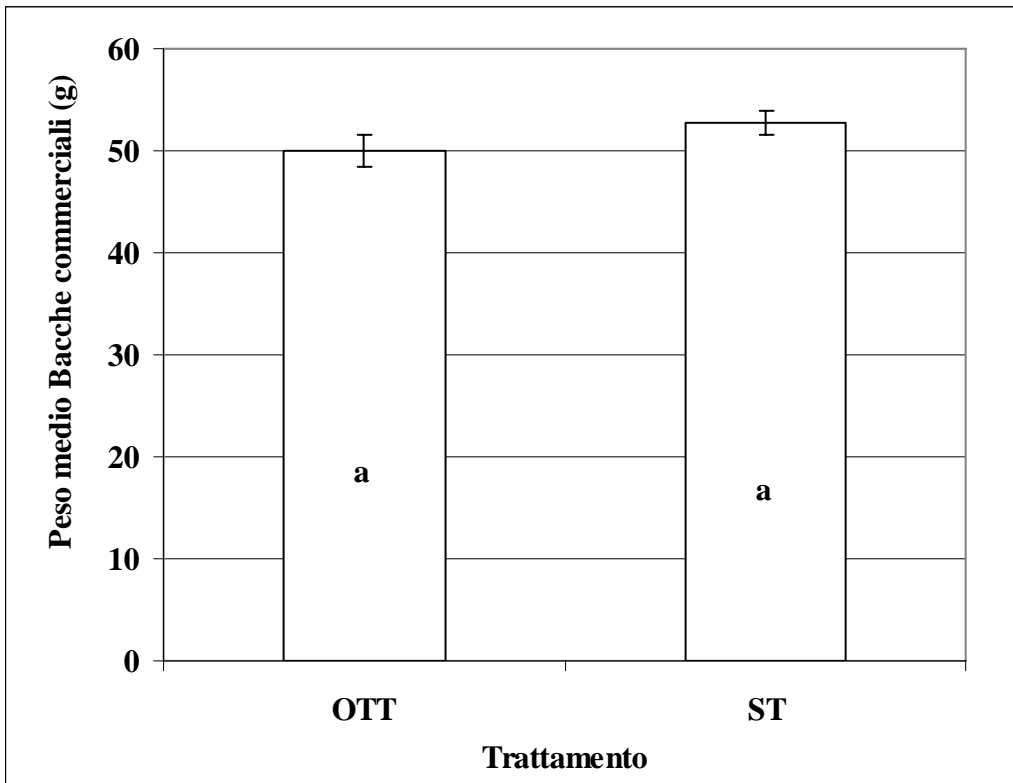


Fig. 14 Effetto del trattamento sul peso medio del prodotto commerciale

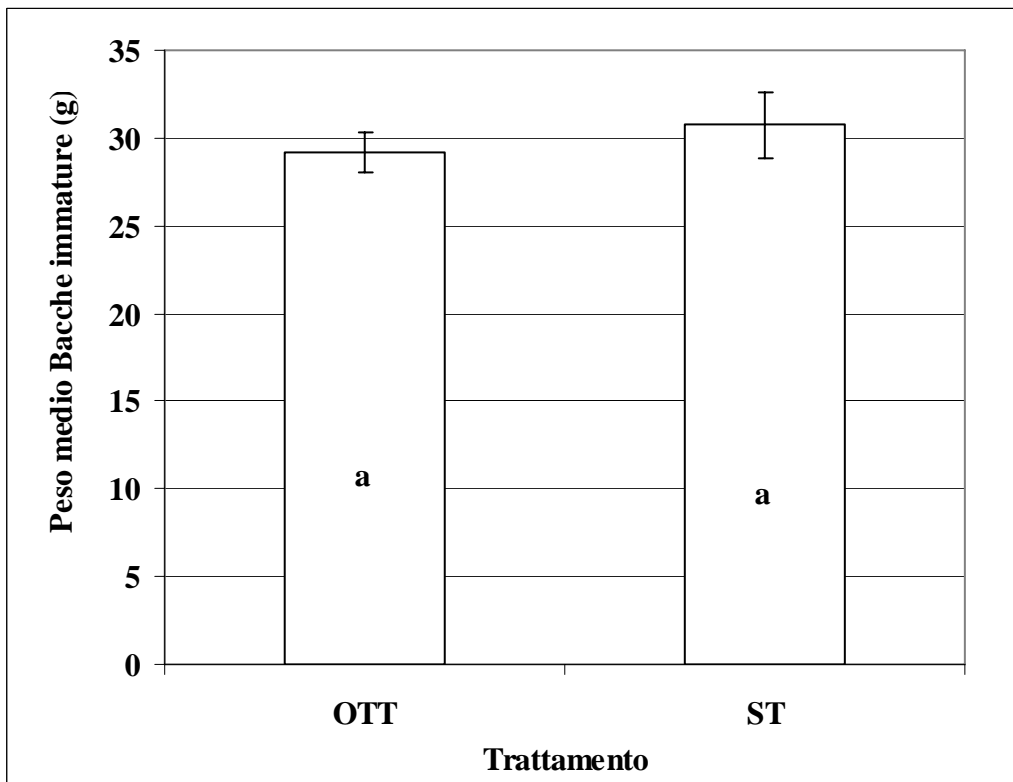


Fig. 15 Effetto del trattamento sul peso medio del prodotto immaturo

	°Brix		pH		Ec		% ss	
DR	4,5	a	4,4	a	3,5	a	6,1	a
PP	4,3	b	4,4	a	3,4	a	6,1	a
OTT	4,5	a	4,4	a	3,5	a	6,4	a
ST	4,3	a	4,4	a	3,4	a	5,9	b
Var	*		ns		ns		ns	
Tratt	ns		ns		ns		*	

	Carotenoidi		Glucosio		Fruttosio		Zucch.Rid.	
	mg/kg		g/100g		g/100g		Totali	
							g/100g	
DR	377,9	a	1,50	a	2,01	a	3,50	a
PP	418,0	b	1,03	b	1,38	b	2,40	b
OTT	356,9	a	1,40	a	1,88	a	3,27	a
ST	382,6	a	1,06	b	1,42	b	2,47	b
Var	**		***		***		***	
Tratt	ns		**		**		**	

Fig. 16 Effetto delle variabili sperimentali su alcuni aspetti qualitativi della produzione

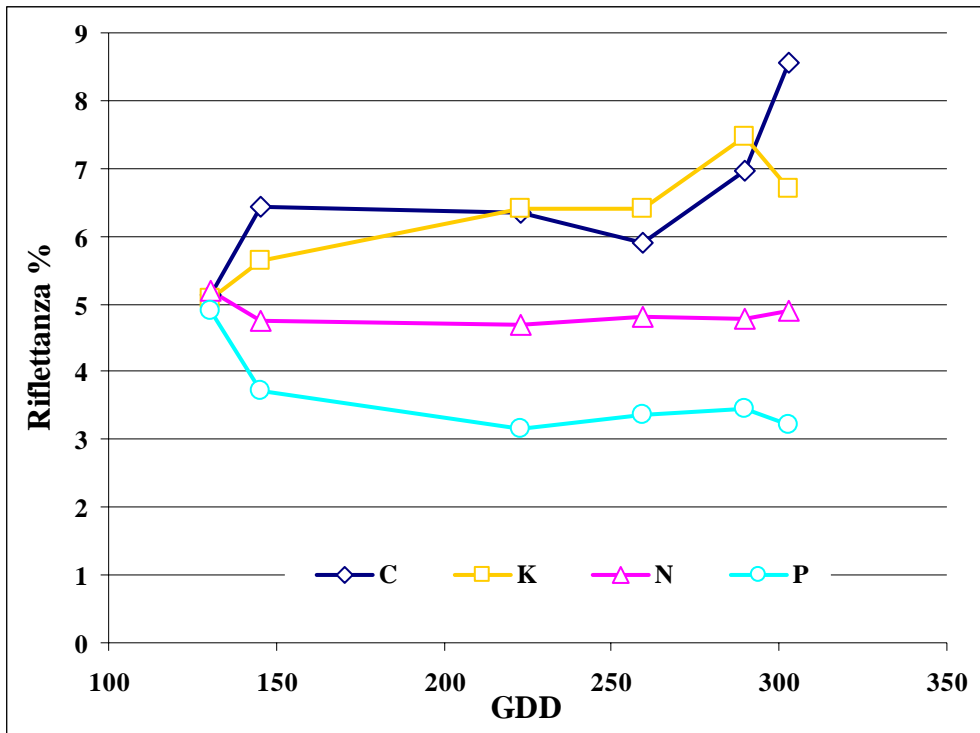


Fig. 17 Effetto del trattamento sulla riflettanza a 560 nm durante il ciclo produttivo

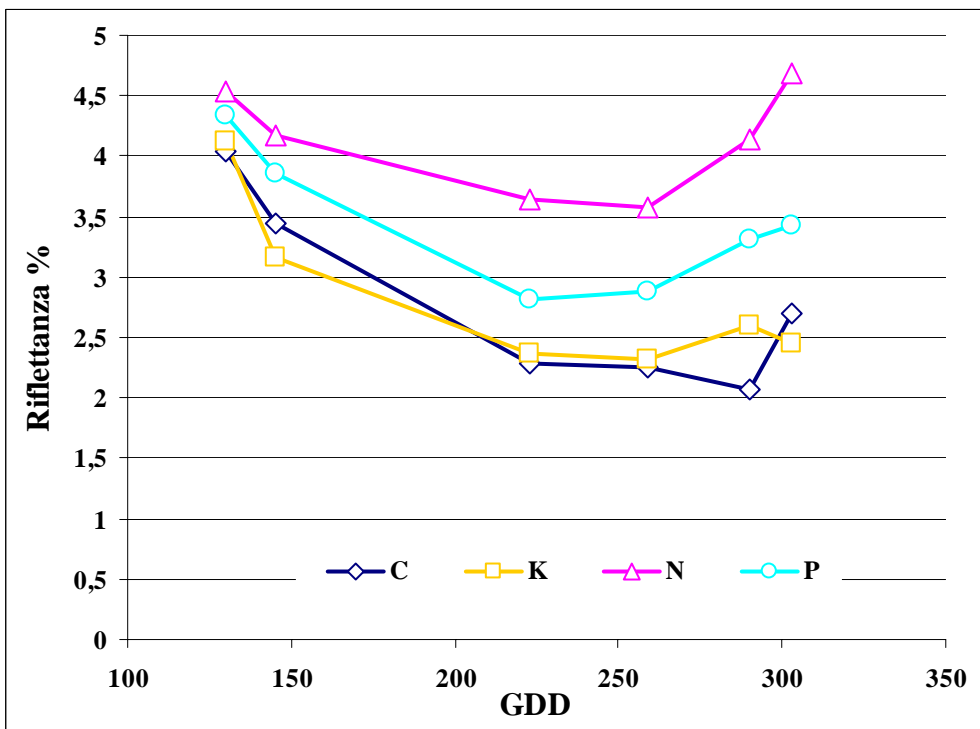


Fig. 18 Effetto del trattamento sulla riflettanza a 660 nm durante il ciclo produttivo

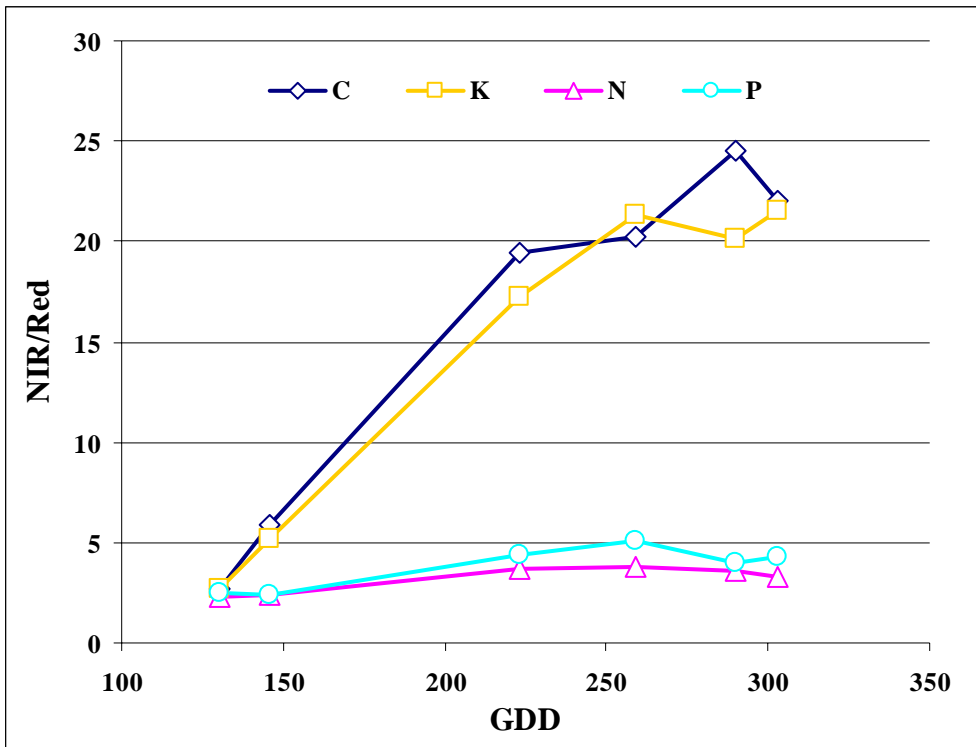


Fig. 19 Effetto del trattamento sull'indice Nir/Red durante il ciclo produttivo

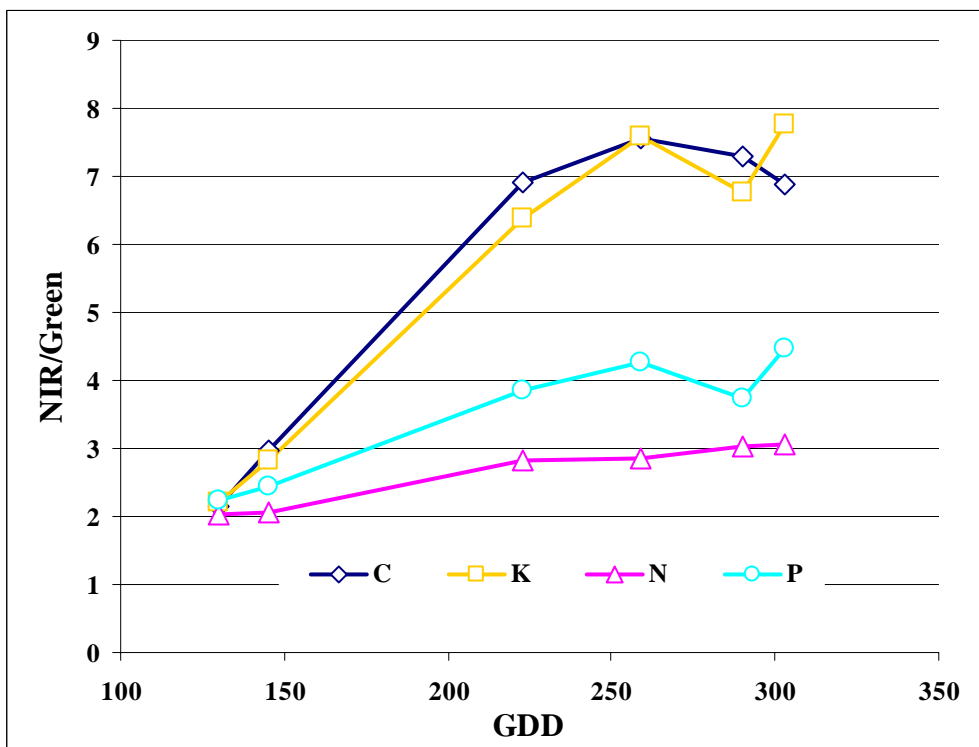


Fig. 20 Effetto del trattamento sull'indice Nir/Green durante il ciclo produttivo

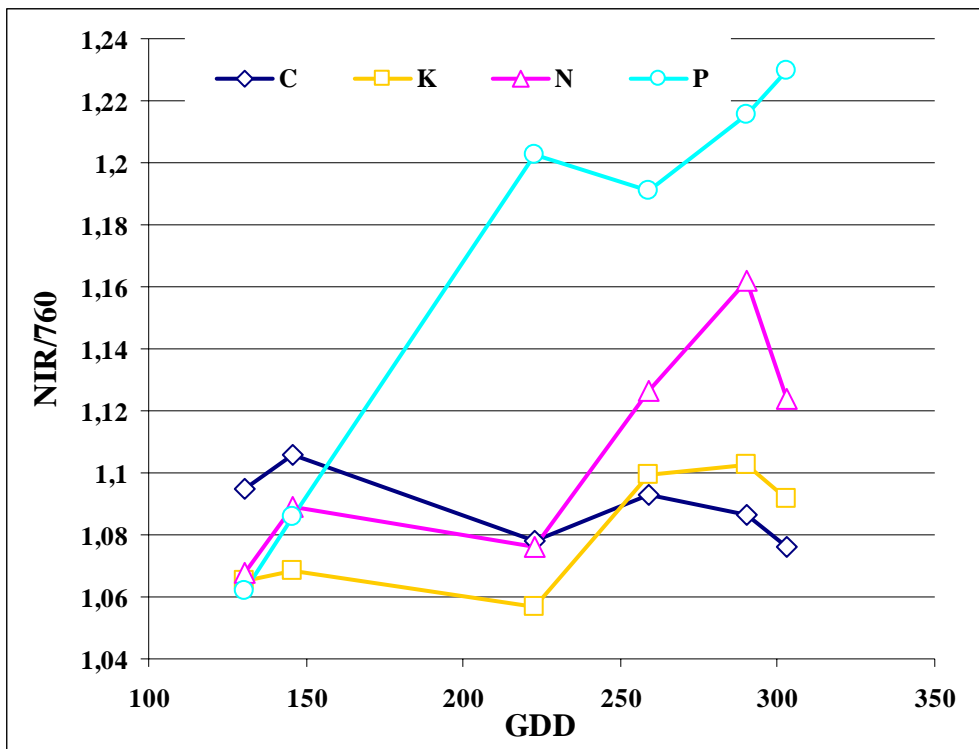


Fig. 21 Effetto del trattamento sull'indice Nir/760 durante il ciclo produttivo

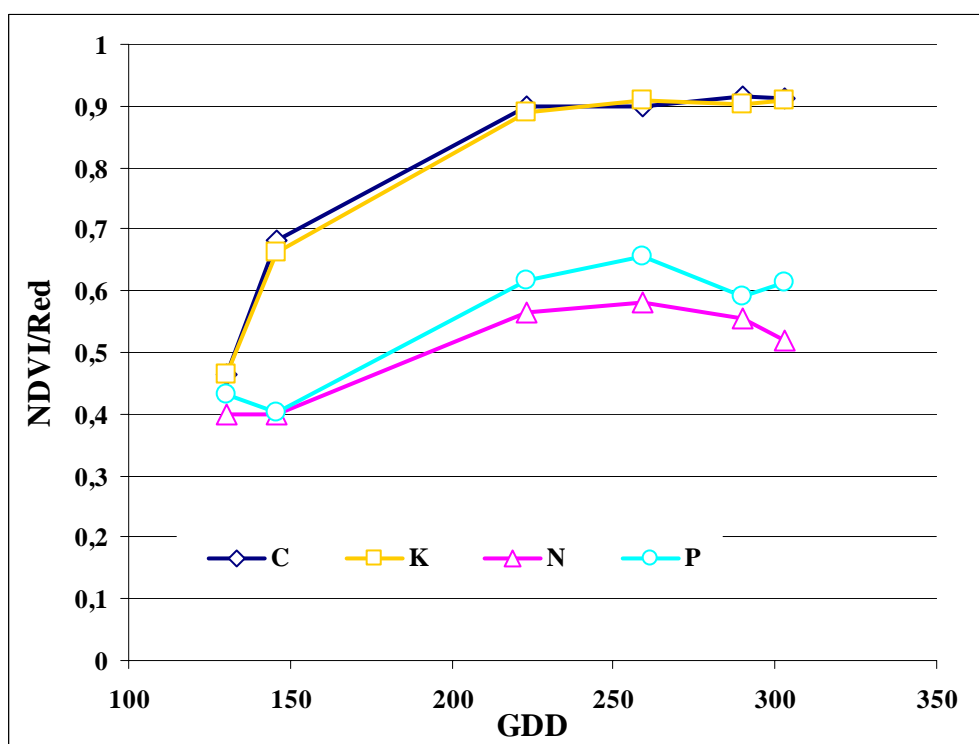


Fig. 22 Effetto del trattamento sull'indice NDVI/Red durante il ciclo produttivo

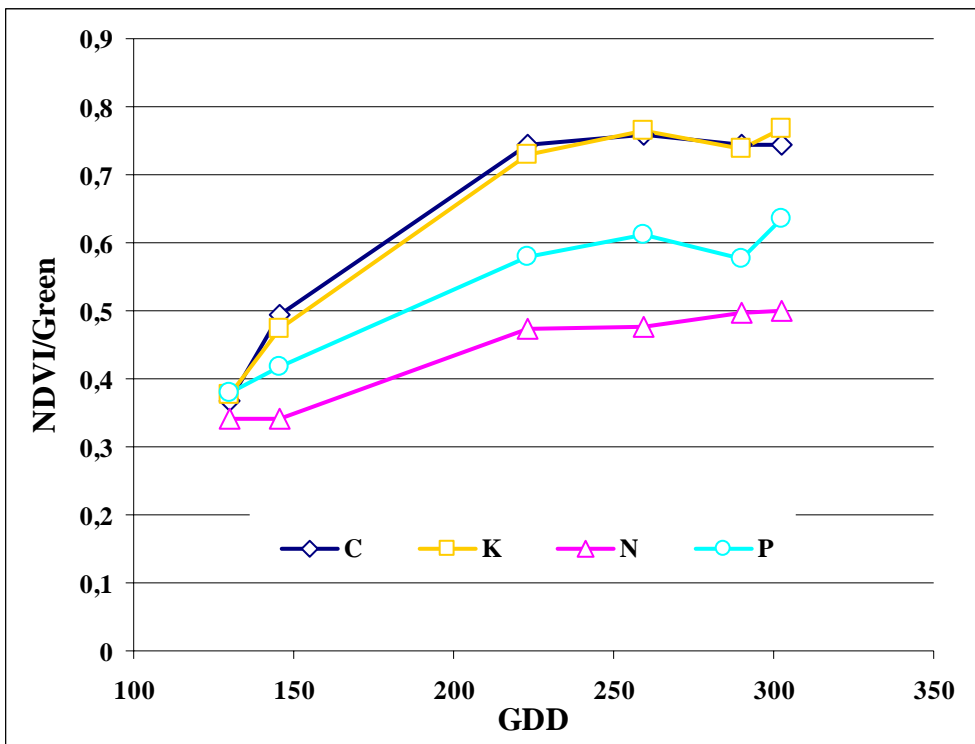


Fig. 23 Effetto del trattamento sull'indice NDVI/Green durante il ciclo produttivo

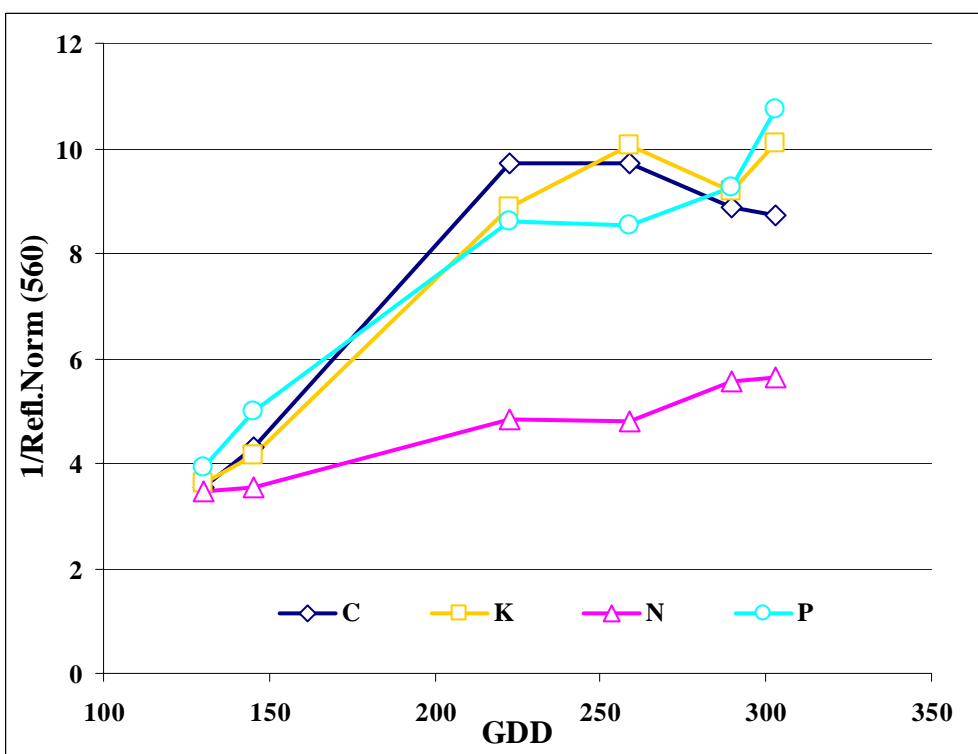


Fig. 24 Effetto del trattamento sull'indice 1/ Refl.Norm(560) durante il ciclo produttivo

Lunghezza d'onda (nm)	GDD 145					GDD 222					GDD 259					GDD 289					GDD 302				
	C	K	P	N	Sign	C	K	P	N	Sign	C	K	P	N	Sign	C	K	P	N	Sign	C	K	P	N	Sign
560	a	ab	c	b	***	a	a	c	b	***	ab	a	c	b	***	a	a	b	b	***	a	b	d	c	***
660	bc	c	ab	a	**	b	b	b	a	***	b	b	b	a	***	c	bc	ab	a	**	bc	c	b	a	***
Nir/Red	a	a	b	b	***	a	b	c	c	***	a	a	b	b	***	a	a	b	b	***	a	a	b	b	***
Nir/Green	a	a	b	c	***	a	a	b	c	***	a	a	b	c	***	a	a	b	b	***	a	a	b	c	***
Nir/760	a	a	a	a	ns	b	b	a	b	**	b	b	a	ab	ns	b	b	a	ab	*	b	b	a	b	***
NDVI/Red	a	a	b	b	***	a	a	b	b	***	a	a	b	c	***	a	a	b	b	***	a	a	b	c	***
NDVI/Green	a	a	b	c	***	a	a	b	c	***	a	a	b	c	***	a	a	b	c	***	a	a	b	c	***
Norm Refl(560)	bc	b	c	a	***	b	b	b	a	***	b	b	b	a	***	b	b	b	a	***	b	b	b	a	***

Fig. 25 Effetto delle variabili sperimentali sui valori di riflettanza degli indici più significativi

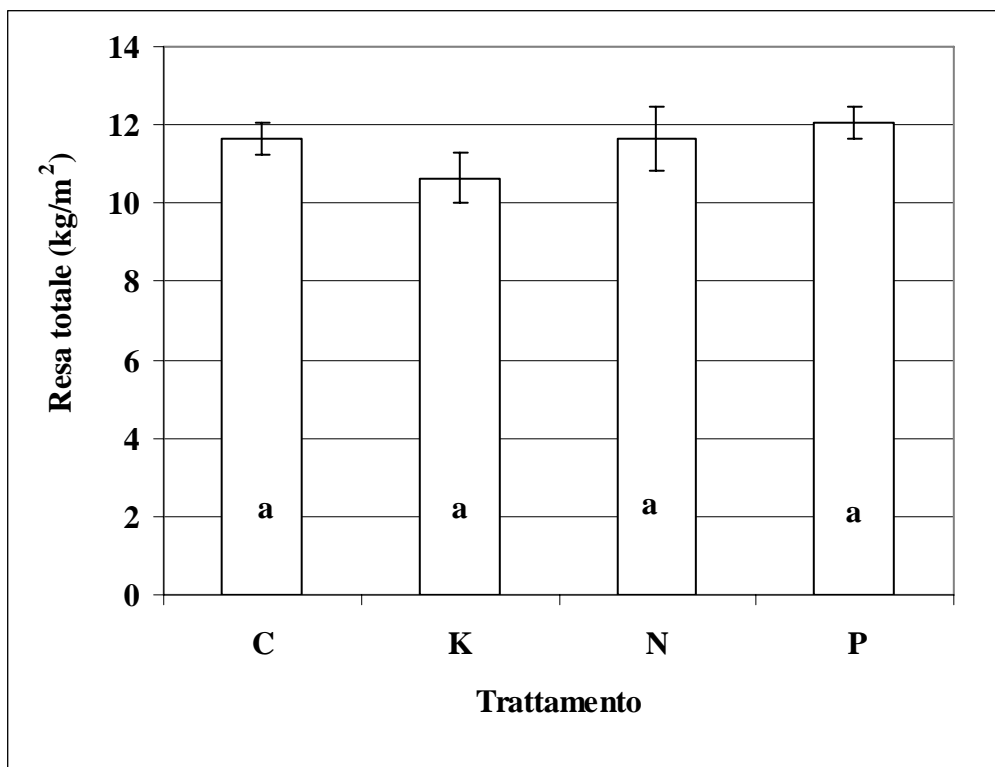


Fig. 26 Effetto del trattamento sulla produzione totale

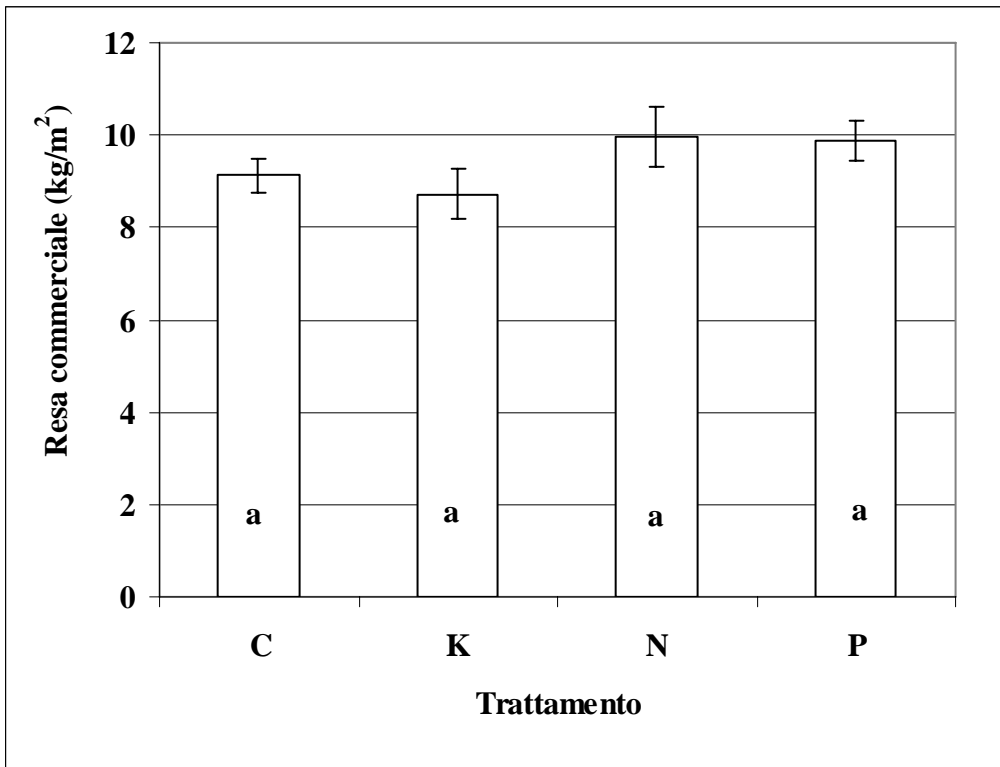


Fig. 27 Effetto del trattamento sulla produzione commerciale

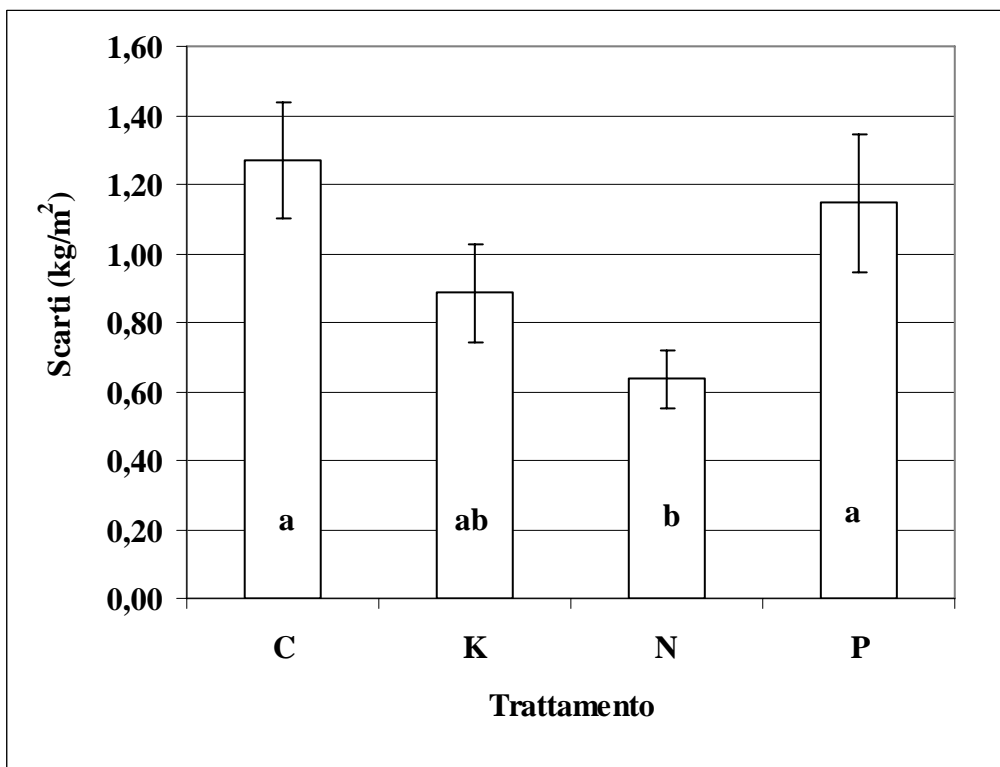


Fig. 28 Effetto del trattamento sulla quantità di prodotto di scarto

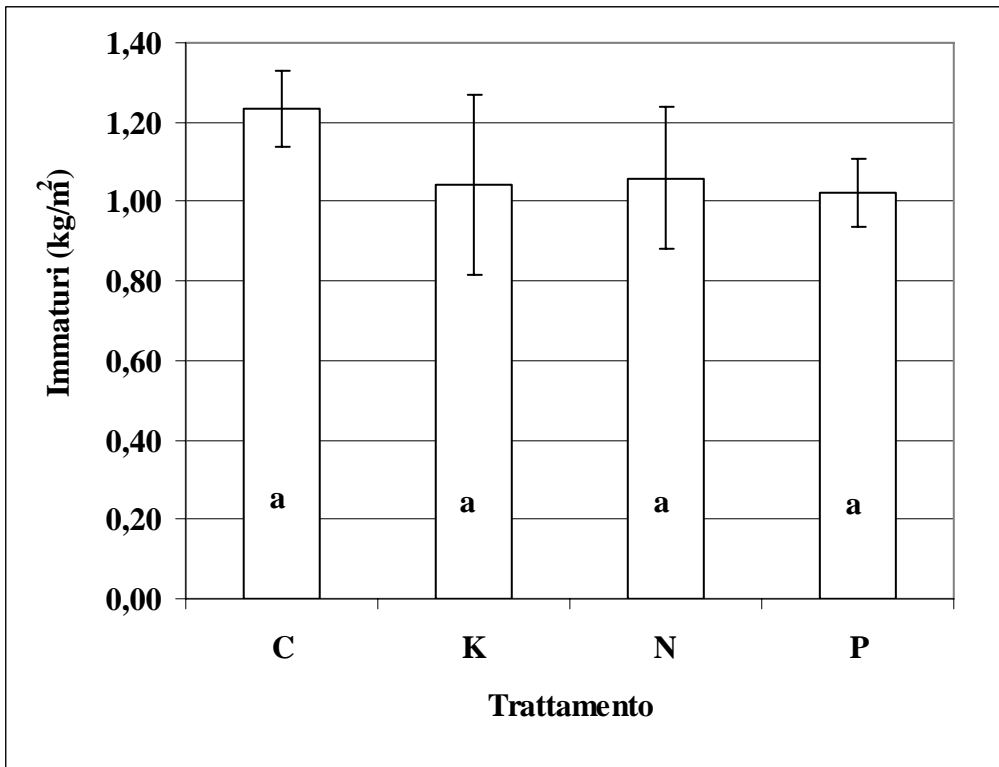


Fig. 29 Effetto del trattamento sulla quantità di prodotto immaturo

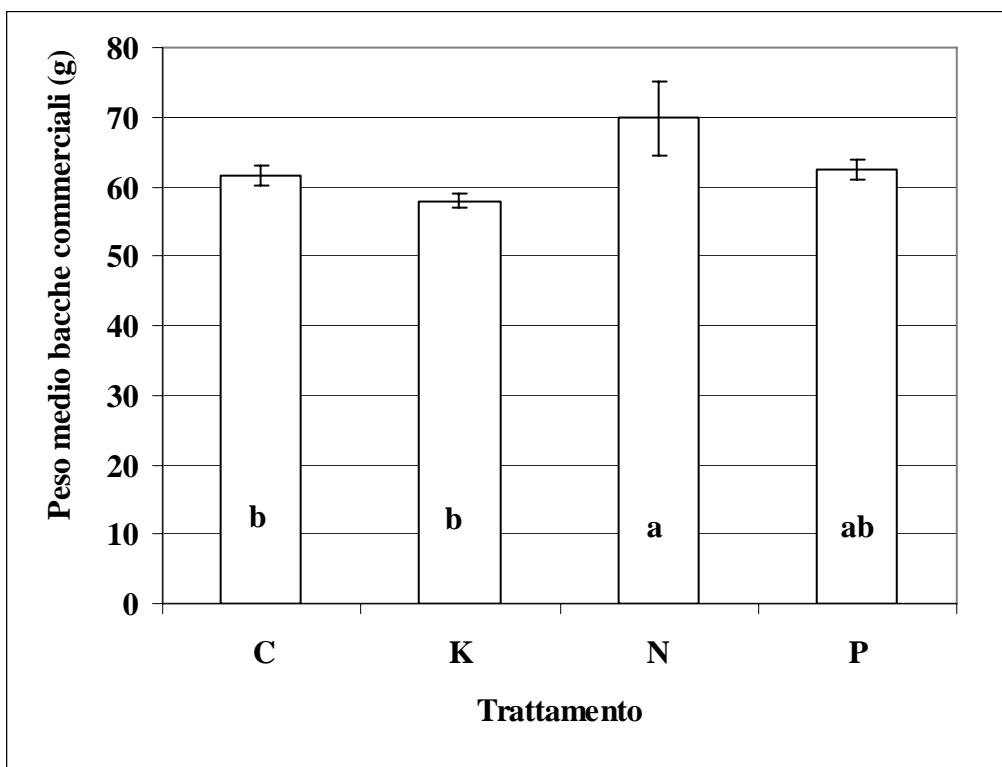


Fig. 30 Effetto del trattamento sul peso medio delle bacche commerciali

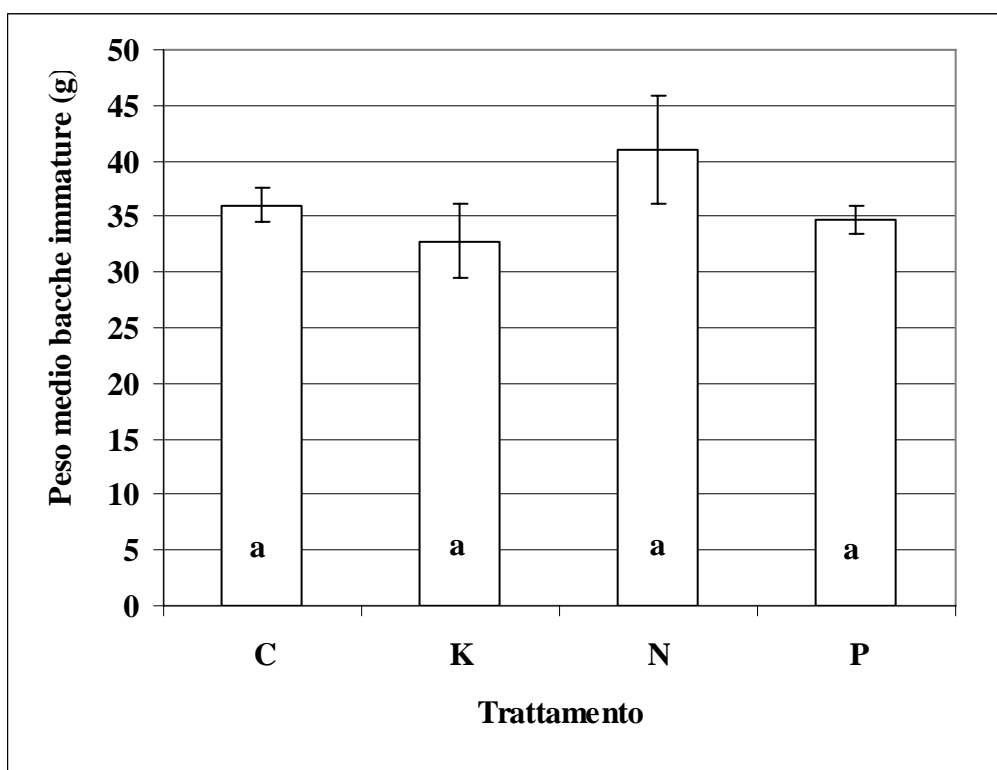


Fig. 31 Effetto del trattamento sul peso medio delle bacche immature

Tesi	pH	Brix	% ss
C	4,5±0,04	4,4±0,04	3,98±0,24
K	4,5±0,04	4,3±0,04	3,88±0,19
N	4,5±0,05	3,9±0,60	4,04±0,26
P	4,5±0,03	4,4±0,06	4,09±0,18
Tesi	ns		

Tesi	Glucosio (mg/g)	Fruttosio (mg/g)	Zucch. Rid. (mg/g)	Carotenoidi (mg/kg)
C	0,72±0,03	0,96±0,04	1,67±0,08	270,5±120,5
K	0,79±0,07	1,06±0,10	1,84±0,17	226,6±27,8
N	0,89±0,08	1,18±0,11	2,06±0,19	265,0±88,1
P	0,75±0,07	1,01±0,09	1,76±0,16	299,9±123,2
Tesi	ns			

Fig. 32 Effetto delle variabili sperimentali su alcuni aspetti qualitativi della produzione

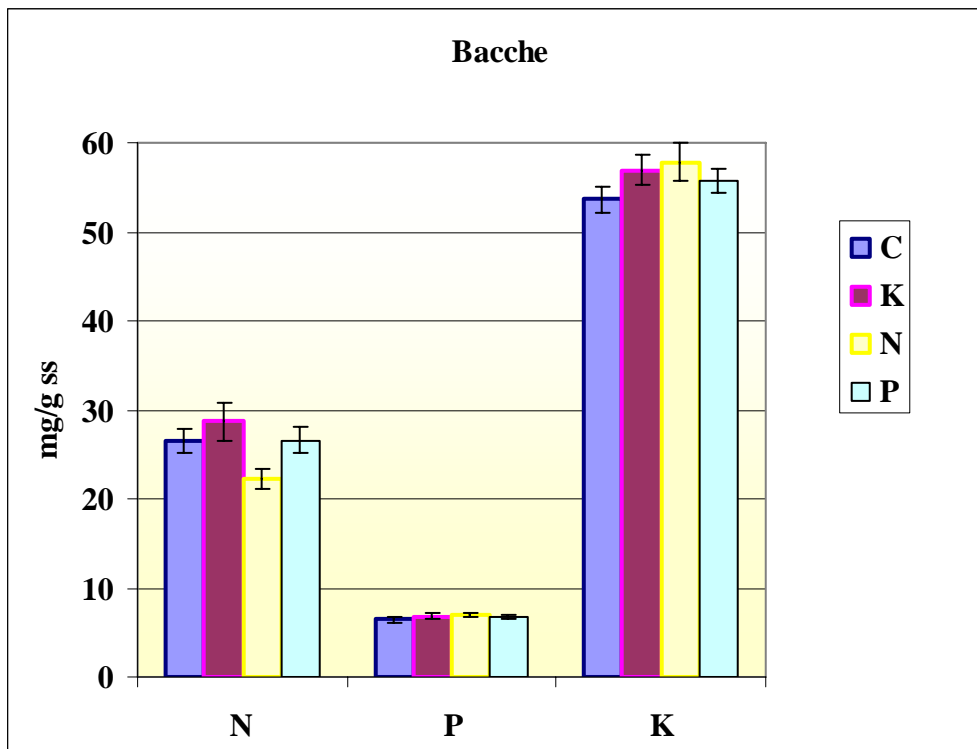


Fig. 33 Effetto del trattamento sul contenuto di macroelementi delle bacche (diff. ns)

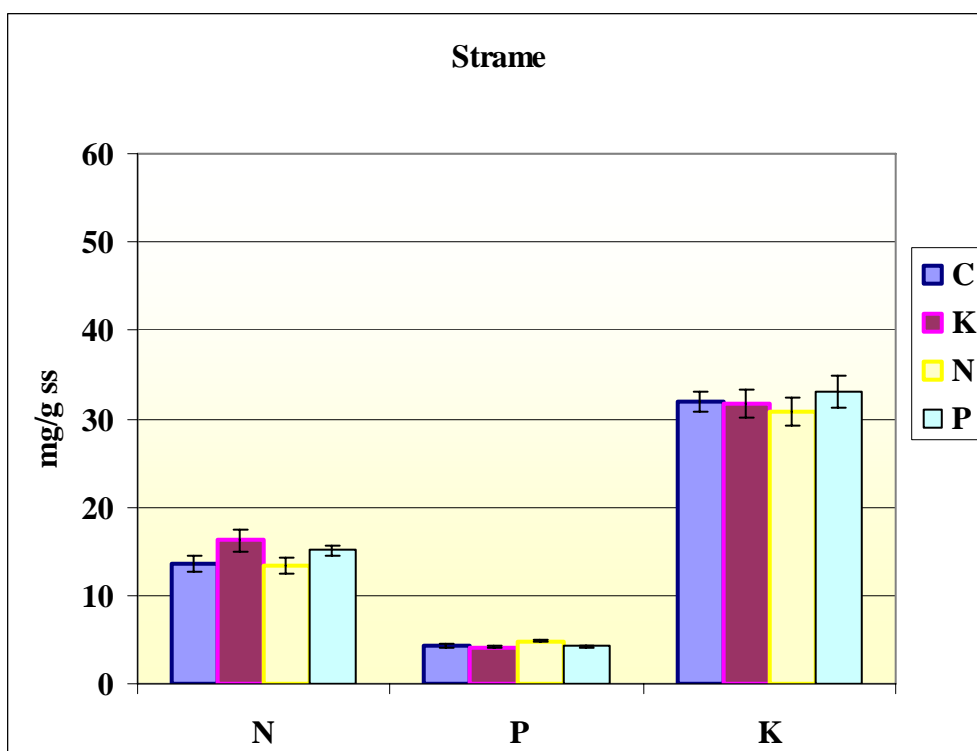


Fig. 34 Effetto del trattamento sul contenuto di macroelementi dello streme (diff. ns)

tesi	N (kg/Ha)	Err. St	P (Kg/Ha)	Err. St	K (kg/Ha)	Err. St
C	123,6	8,5	42,0	2,6	339,1	21,0
K	119,5	6,9	37,8	1,9	311,2	17,3
N	100,7	8,9	45,1	3,5	351,3	28,0
P	134,7	14,6	46,0	1,8	373,4	21,1

tesi	Ca (kg/Ha)	Err. St	Mg (Kg/Ha)	Err. St	Mn (kg/Ha)	Err. St
C	198,8	17,0	36,7	3,0	0,16	0,019
K	165,5	14,4	31,2	2,5	0,13	0,023
N	175,2	17,8	33,5	2,8	0,13	0,013
P	198,8	24,5	39,1	3,6	0,16	0,022

Fig. 35 Effetto delle variabili sperimentali sulle asportazioni totali degli elementi nutritivi

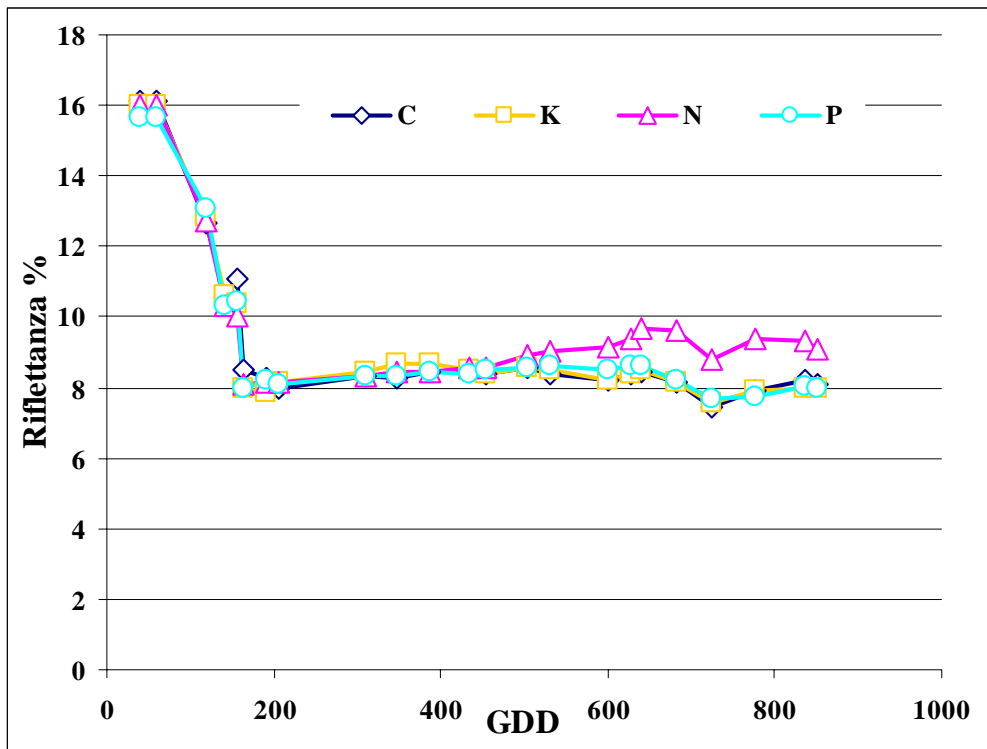


Fig. 36. Effetto del trattamento sui valori di riflettanza a 560 nm durante il ciclo produttivo

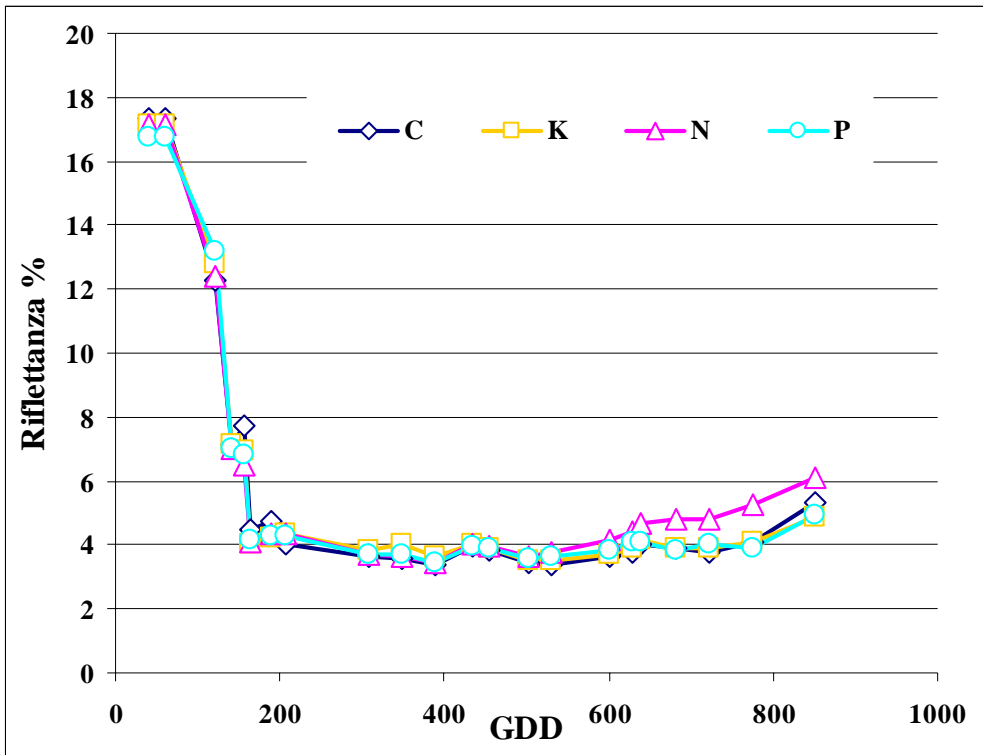


Fig. 37. Effetto del trattamento sui valori di riflettanza a 660 nm

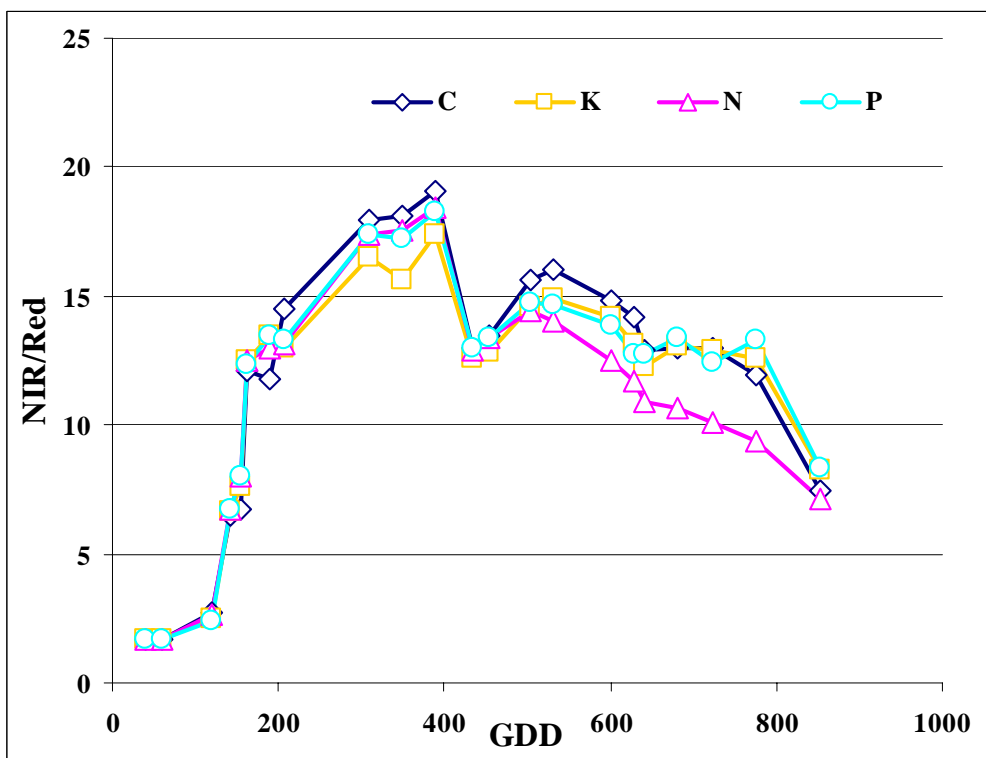


Fig. 38 Effetto del trattamento sull'indice NIR/Red durante il ciclo produttivo

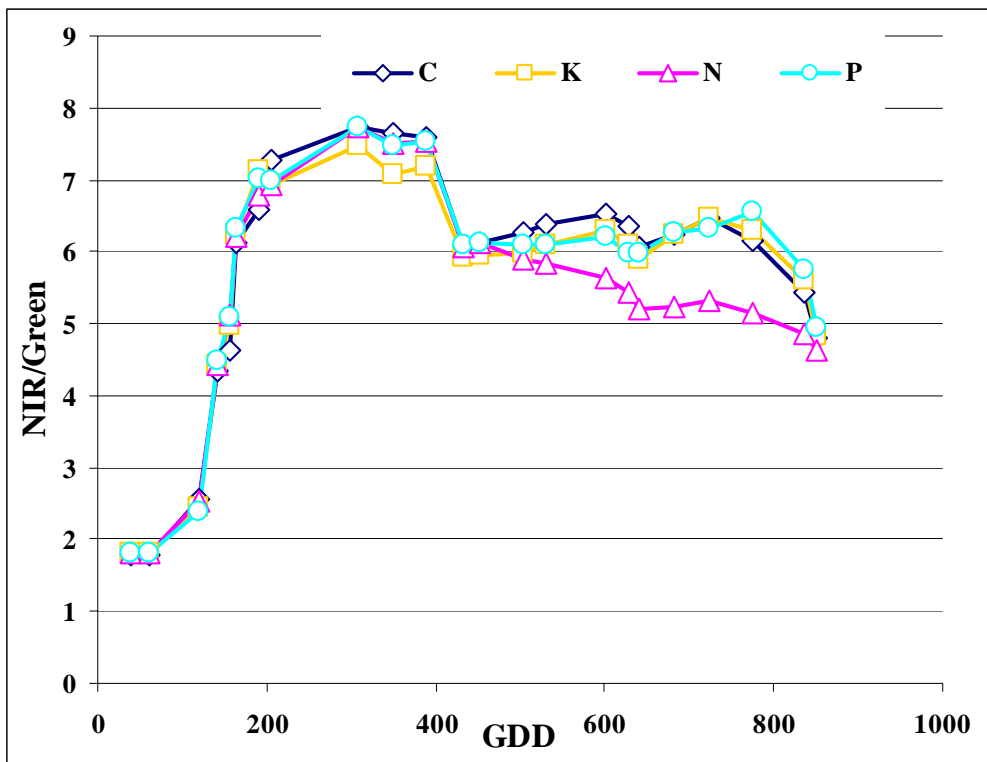


Fig. 39 Effetto del trattamento sull'indice NIR/Green durante il ciclo produttivo

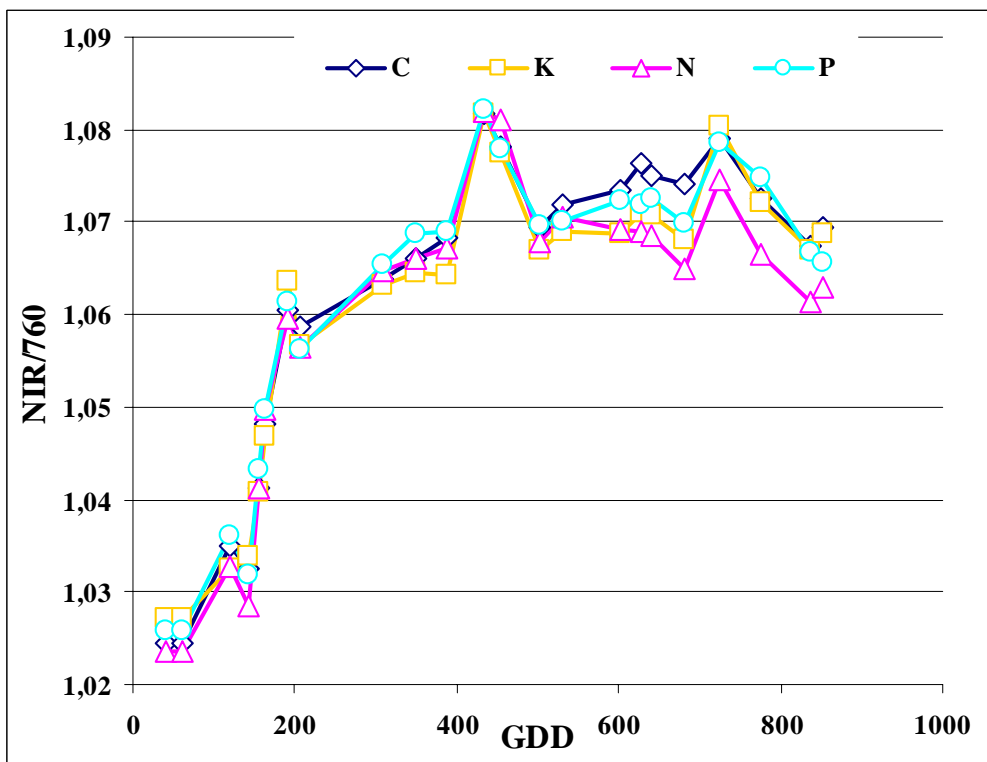


Fig. 40 Effetto del trattamento sull'indice NIR/760 durante il ciclo produttivo

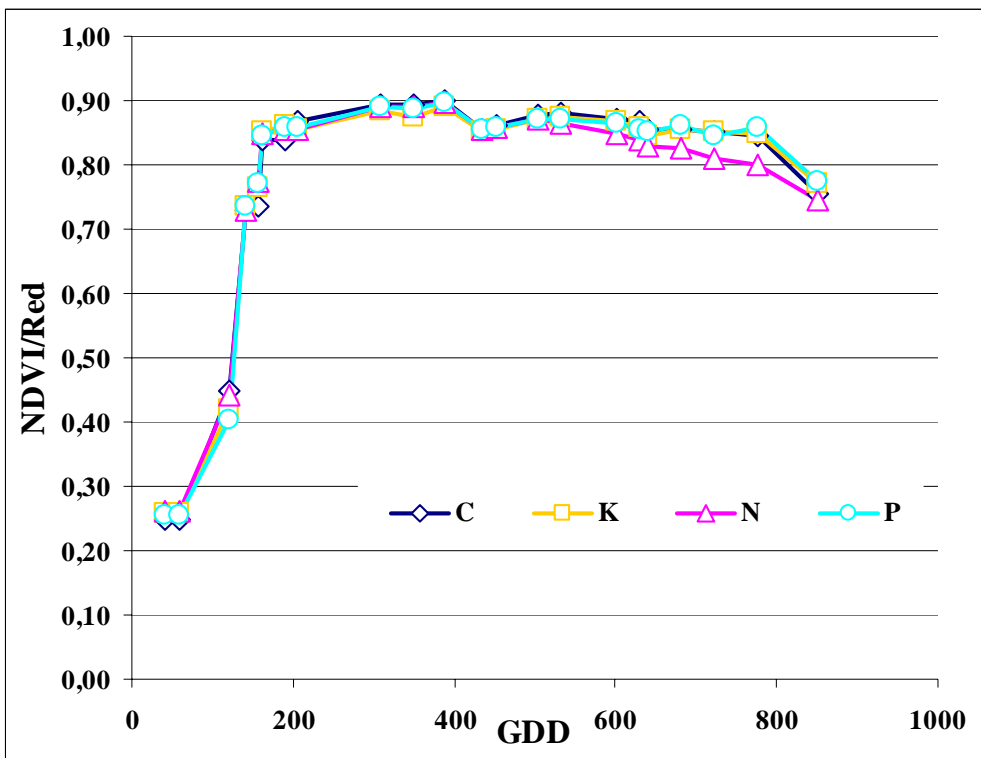


Fig. 41. Effetto del trattamento sull'indice NDVI/Red durante il ciclo produttivo

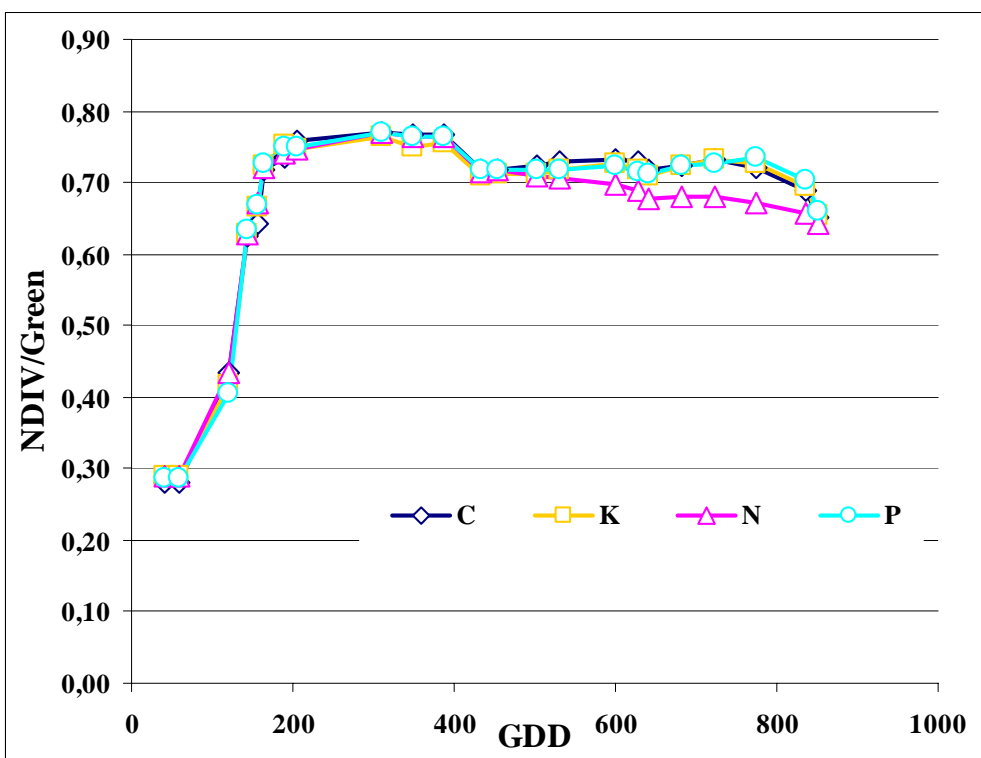


Fig. 42. Effetto del trattamento sull'indice NIR/Green durante il ciclo produttivo

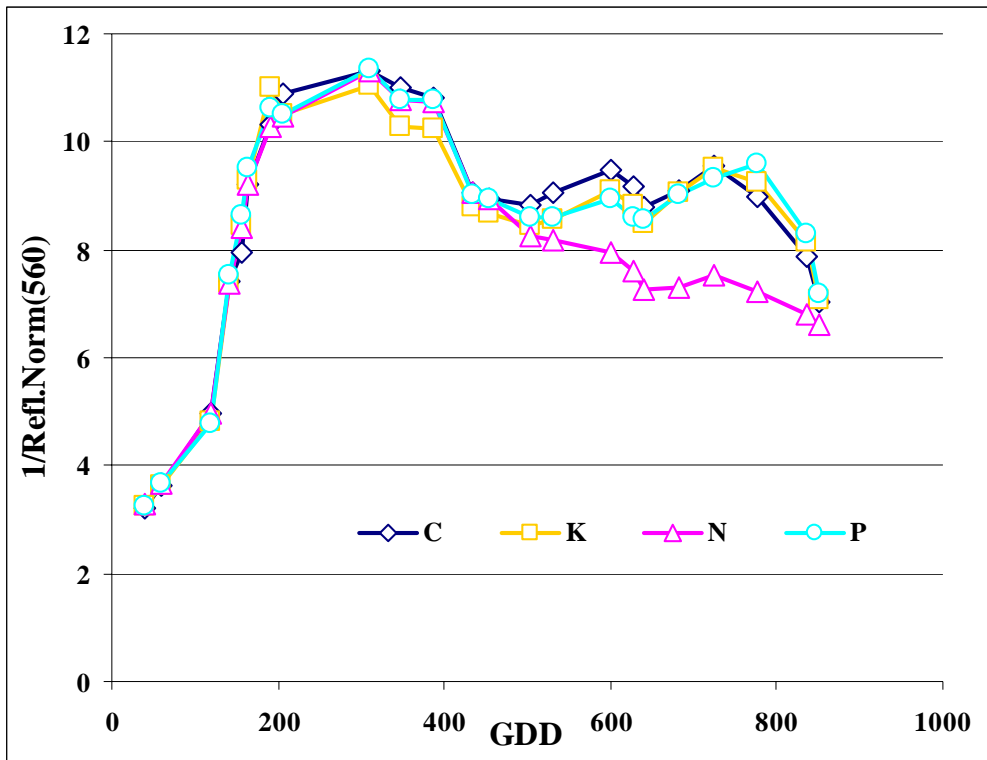


Fig. 43. Effetto del trattamento sull'indice 1/(Refl. Norm (560)) durante il ciclo produttivo

Lunghezza d'onda (nm)		560	660	Nir/Red	Nir/Green	Nir/760	NDVI/Red	NDVI/Green	1/(Ref Norm(560))
GDD 40	C	a	a	a	a	a	a	a	a
	K	a	a	a	a	a	a	a	a
	P	a	a	a	a	a	a	a	a
	N	a	a	a	a	a	a	a	a
	Sign	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
GDD 60	C	a	a	a	a	ab	a	a	a
	K	a	a	a	a	a	a	a	a
	P	a	a	a	a	ab	a	a	a
	N	a	a	a	a	b	a	a	a
	Sign	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
GDD 120,1	C	a	a	a	a	a	a	a	a
	K	a	a	a	a	a	a	a	a
	P	a	a	a	a	a	a	a	a
	N	a	a	a	a	a	a	a	a
	Sign	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
GDD 142,4	C	a	a	a	a	ab	a	a	a
	K	a	a	a	a	a	a	a	a
	P	a	a	a	a	ab	a	a	a
	N	a	a	a	a	b	a	a	a
	Sign	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
GDD 155,8	C	a	a	a	a	a	a	a	a
	K	a	a	a	a	a	a	a	a
	P	a	a	a	a	a	a	a	a
	N	a	a	a	a	a	a	a	a
	Sign	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
GDD 163	C	a	a	a	a	a	a	a	a
	K	a	a	a	a	a	a	a	a
	P	a	a	a	a	a	a	a	a
	N	a	a	a	a	a	a	a	a
	Sign	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
GDD 190,3	C	a	a	a	a	a	a	a	a
	K	a	a	a	a	a	a	a	a
	P	a	a	a	a	a	a	a	a
	N	a	a	a	a	a	a	a	a
	Sign	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
GDD 206,2	C	a	a	a	a	a	a	a	a
	K	a	a	a	a	a	a	a	a
	P	a	a	a	a	a	a	a	a
	N	a	a	a	a	a	a	a	a
	Sign	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
GDD 309,2	C	a	a	a	a	a	a	a	a
	K	a	a	a	a	a	a	a	a
	P	a	a	a	a	a	a	a	a
	N	a	a	a	a	a	a	a	a
	Sign	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
GDD 348,6	C	b	b	a	a	a	a	a	a
	K	a	a	b	b	a	b	b	a
	P	b	b	ab	ab	a	ab	ab	a
	N	ab	b	a	ab	a	ab	ab	ab
	Sign	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns
GDD 388,1	C	a	b	a	a	ab	a	a	b
	K	a	a	b	b	b	b	b	a
	P	a	ab	ab	a	a	ab	ab	b
	N	a	ab	ab	a	ab	a	ab	b
	Sign	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
GDD 433,7	C	a	a	a	a	a	a	a	a
	K	a	a	a	a	a	a	a	a
	P	a	a	a	a	a	a	a	a
	N	a	a	a	a	a	a	a	a
	Sign	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Lunghezza d'onda (nm)		560	660	Nir/Red	Nir/Green	Nir/760	NDVI/Red	NDVI/Green	1/(Ref Norm(560))
GDD 453,5	C	a	a	a	a	a	a	a	a
	K	a	a	a	a	a	a	a	a
	P	a	a	a	a	a	a	a	a
	N	a	a	a	a	a	a	a	a
	Sign	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
GDD 503,7	C	a	a	a	a	a	a	a	c
	K	a	a	a	b	a	a	ab	ab
	P	a	a	a	ab	a	a	ab	bc
	N	a	a	a	b	a	a	b	a
	Sign	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	**
GDD 531,5	C	b	c	a	a	a	a	a	c
	K	b	bc	ab	bc	a	ab	b	b
	P	b	ab	b	b	a	ab	b	b
	N	a	a	b	c	a	b	c	a
	Sign	**	**	*	***	ns	*	***	***
GDD 601	C	b	b	a	a	a	a	a	c
	K	b	b	a	ab	a	a	ab	b
	P	b	b	a	b	a	a	b	b
	N	a	a	b	c	a	b	c	a
	Sign	***	**	**	***	ns	**	***	***
GDD 628,8	C	b	c	a	a	a	a	a	c
	K	b	bc	ab	b	b	a	b	bc
	P	b	b	bc	b	b	a	b	b
	N	a	c	c	c	b	b	c	a
	Sign	***	***	***	***	**	**	***	***
GDD 640	C	b	b	a	a	a	a	a	c
	K	b	b	a	ab	a	a	ab	b
	P	b	b	a	bc	a	a	b	b
	N	a	a	b	c	a	b	c	a
	Sign	***	**	**	***	ns	**	***	***
GDD 681,7	C	b	b	a	a	a	a	a	b
	K	b	b	a	a	ab	a	a	b
	P	b	b	a	a	ab	a	a	b
	N	a	a	b	b	b	b	b	a
	Sign	***	***	***	***	ns	***	***	***
GDD 723,4	C	b	b	a	a	a	a	a	b
	K	b	b	a	a	a	a	a	b
	P	b	b	a	a	a	a	a	b
	N	a	a	b	b	a	b	b	a
	Sign	***	***	**	***	ns	**	***	***
GDD 775,5	C	b	b	b	b	a	a	a	b
	K	b	b	ab	ab	a	a	a	bc
	P	b	b	a	a	a	a	a	c
	N	a	a	c	c	b	b	b	a
	Sign	***	***	***	***	***	***	***	***
GDD 836,8	C	b	a	a	a	a	a	a	b
	K	b	a	a	a	a	a	a	b
	P	b	a	a	a	a	a	a	b
	N	a	a	a	b	a	a	b	a
	Sign	***	ns	ns	***	ns	ns	***	***
GDD 852	C	b	b	a	a	a	a	a	ab
	K	b	b	a	a	a	a	a	ab
	P	b	b	a	a	a	a	a	b
	N	a	a	a	a	a	a	a	a
	Sign	***	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Fig. 44 Effetto delle variabili sperimentali sui diversi indici analizzati

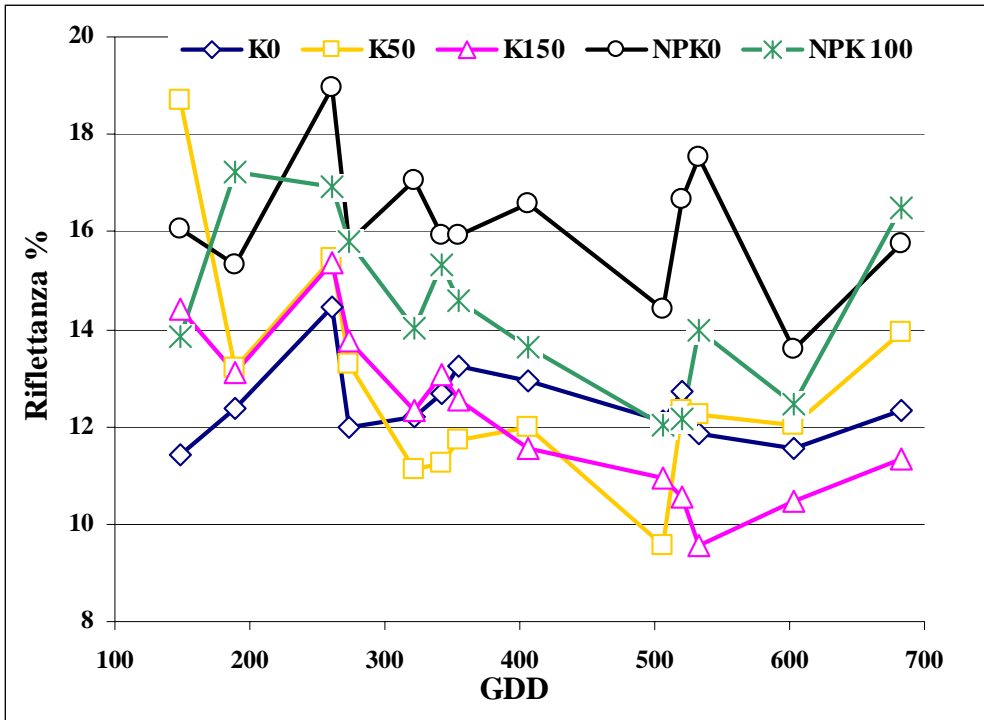


Fig. 45 Effetto del trattamento sui valori di riflettanza a 560nm

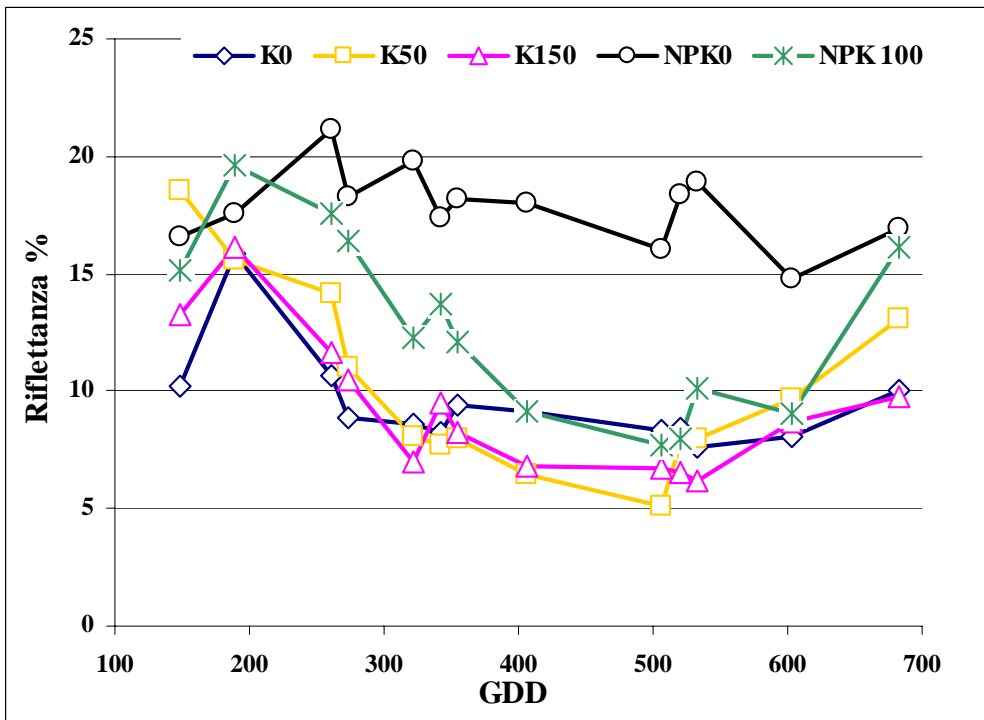


Fig. 46 Effetto del trattamento sui valori di riflettanza a 660nm

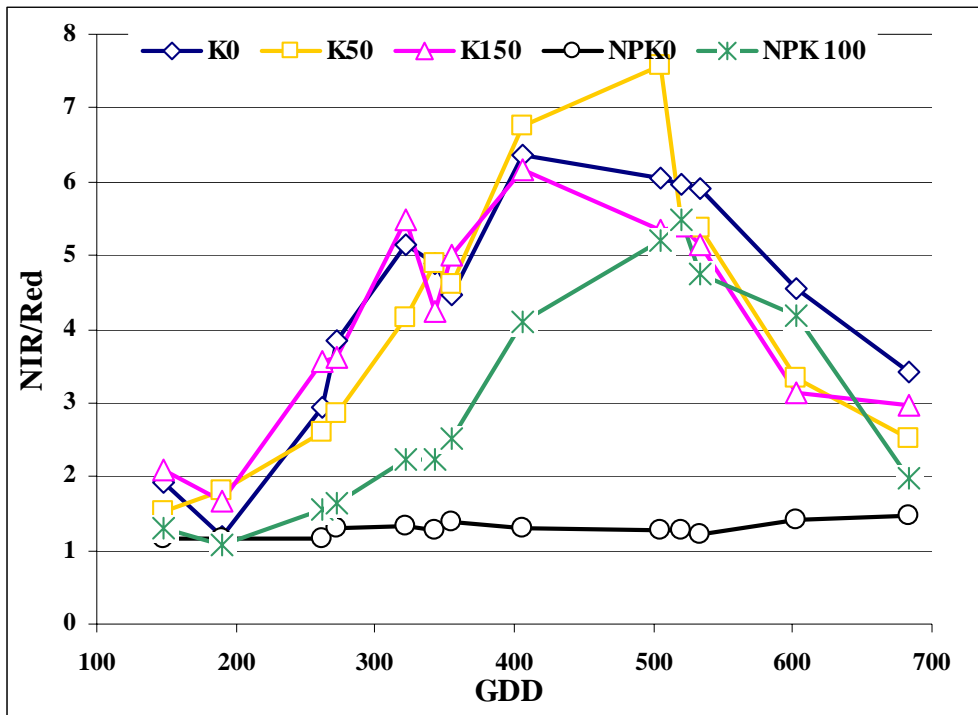


Fig. 47 Effetto del trattamento sull'indice NIR/Red durante il ciclo produttivo

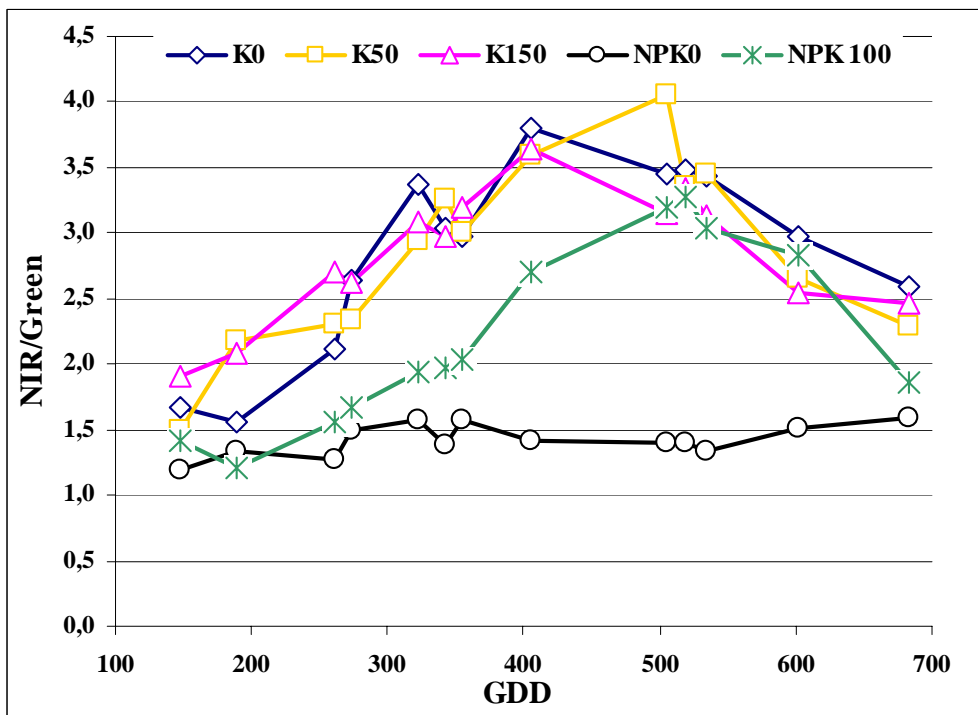


Fig. 48 Effetto del trattamento sull'indice NIR/Green durante il ciclo produttivo

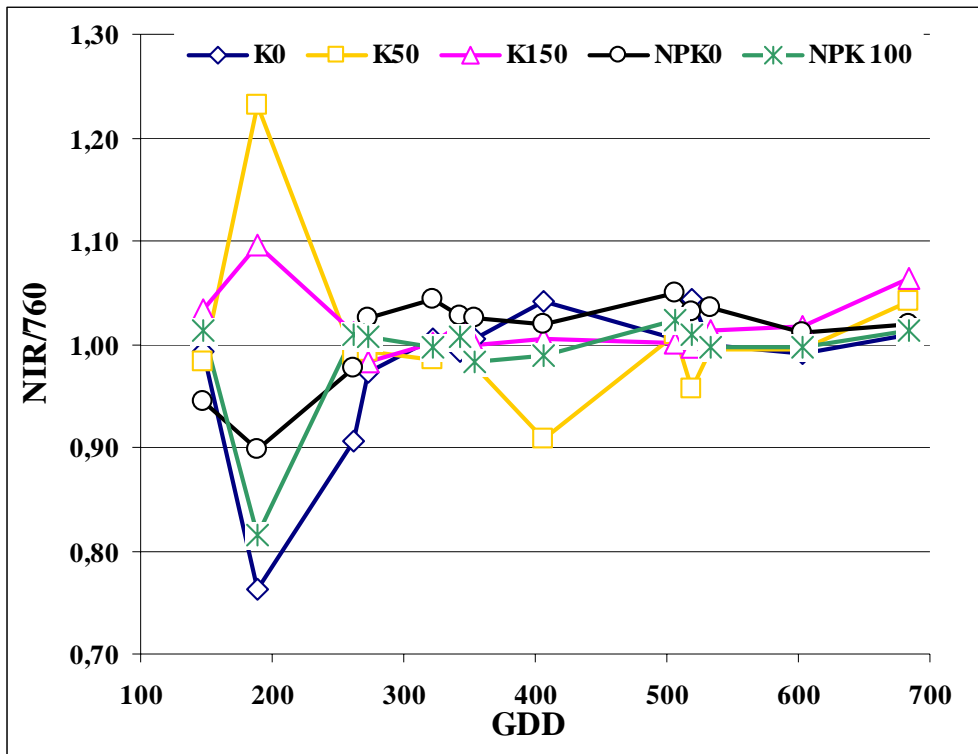


Fig. 49 Effetto del trattamento sull'indice NIR/760 durante il ciclo produttivo

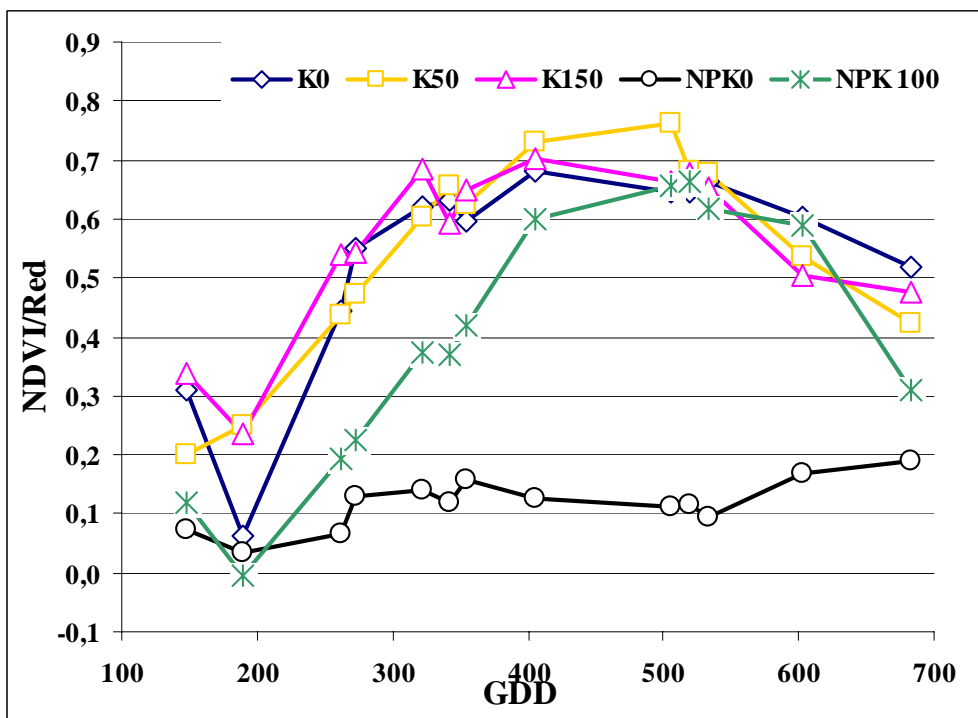


Fig. 50 Effetto del trattamento sull'indice NDVI/Red durante il ciclo produttivo

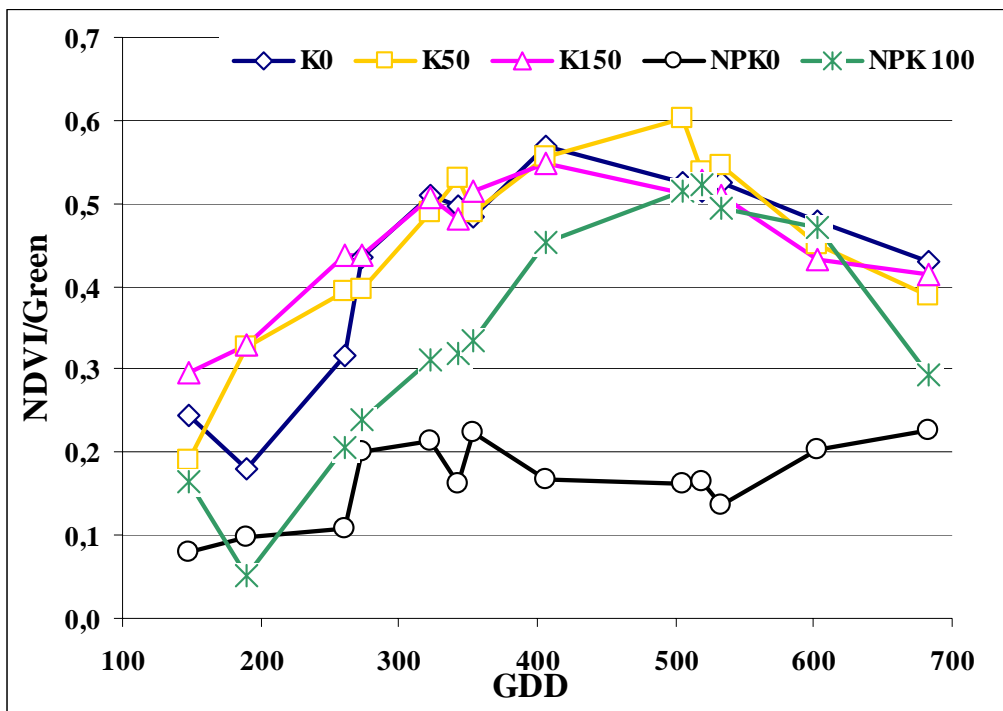


Fig. 51 Effetto del trattamento sull'indice NDVI/Green durante il ciclo produttivo

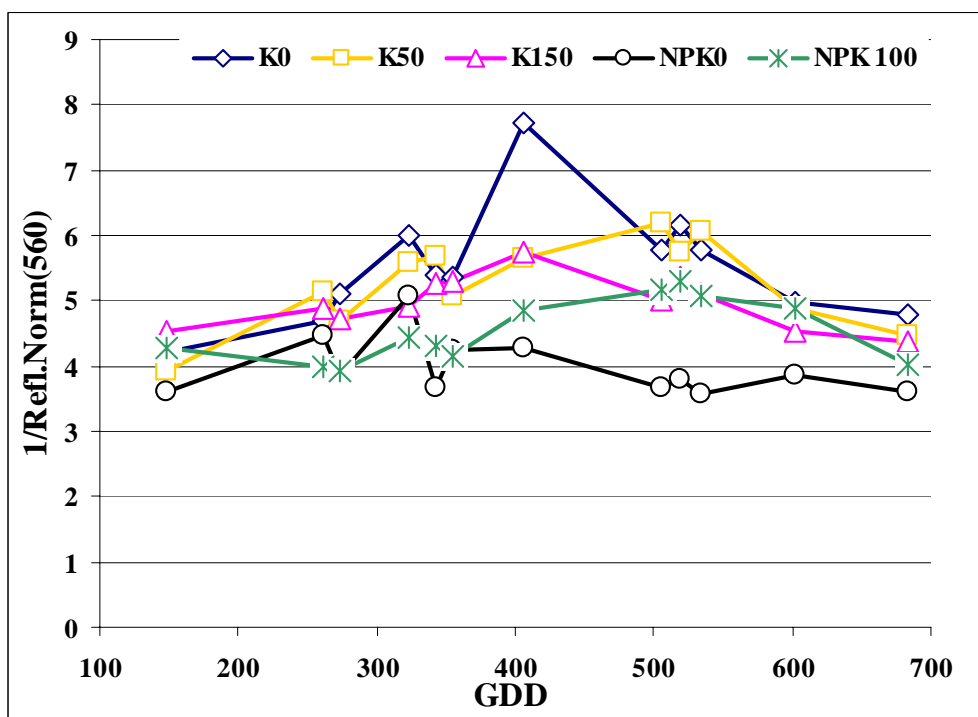


Fig. 52 Effetto del trattamento sull'indice 1/(Refl. Norm (560)) durante il ciclo produttivo

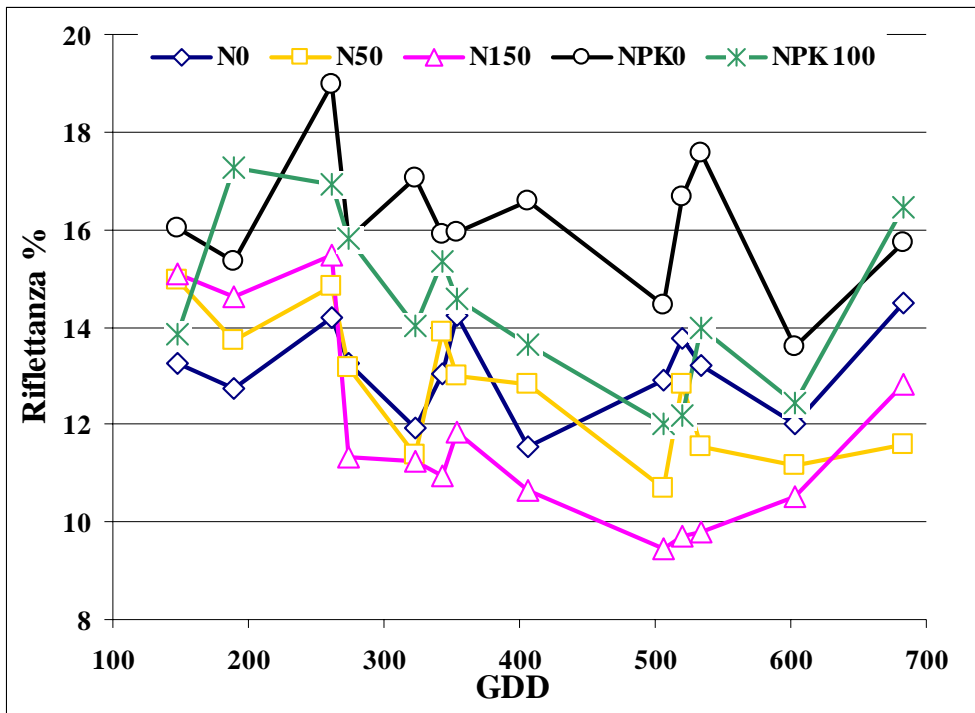


Fig. 53 Effetto del trattamento sui valori di riflettanza a 560nm

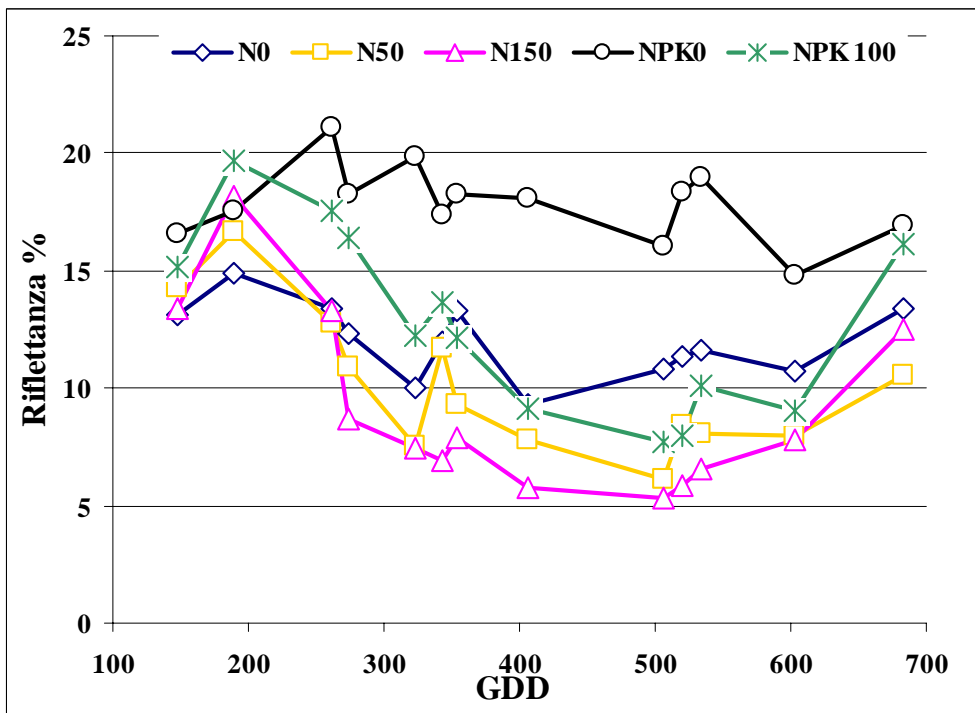


Fig. 54 Effetto del trattamento sui valori di riflettanza a 660nm

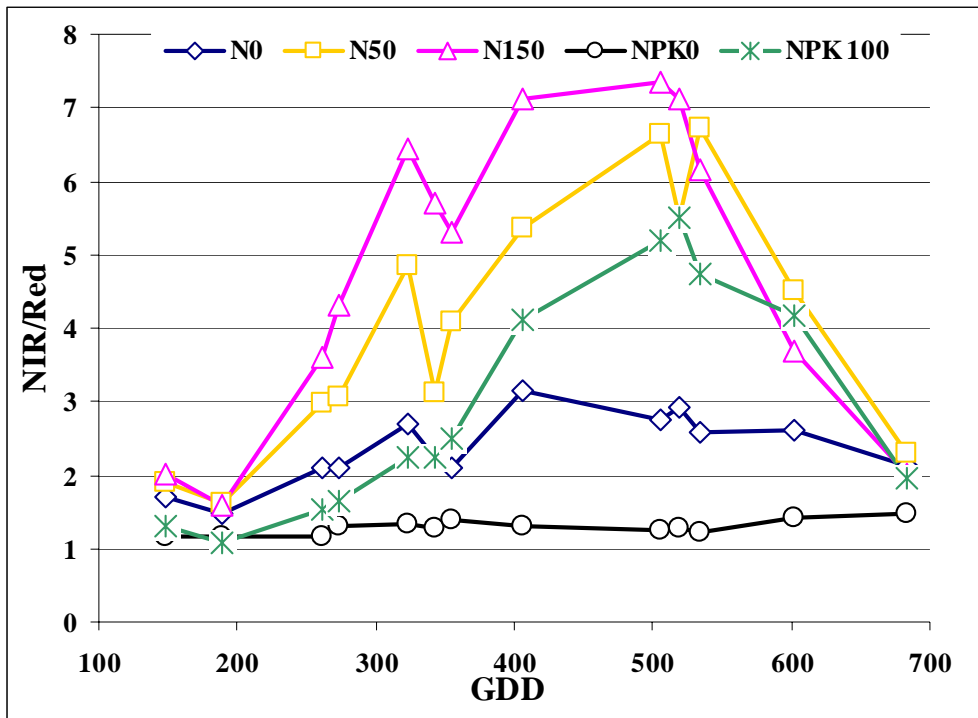


Fig. 55 Effetto del trattamento sull'indice NIR/Red durante il ciclo produttivo

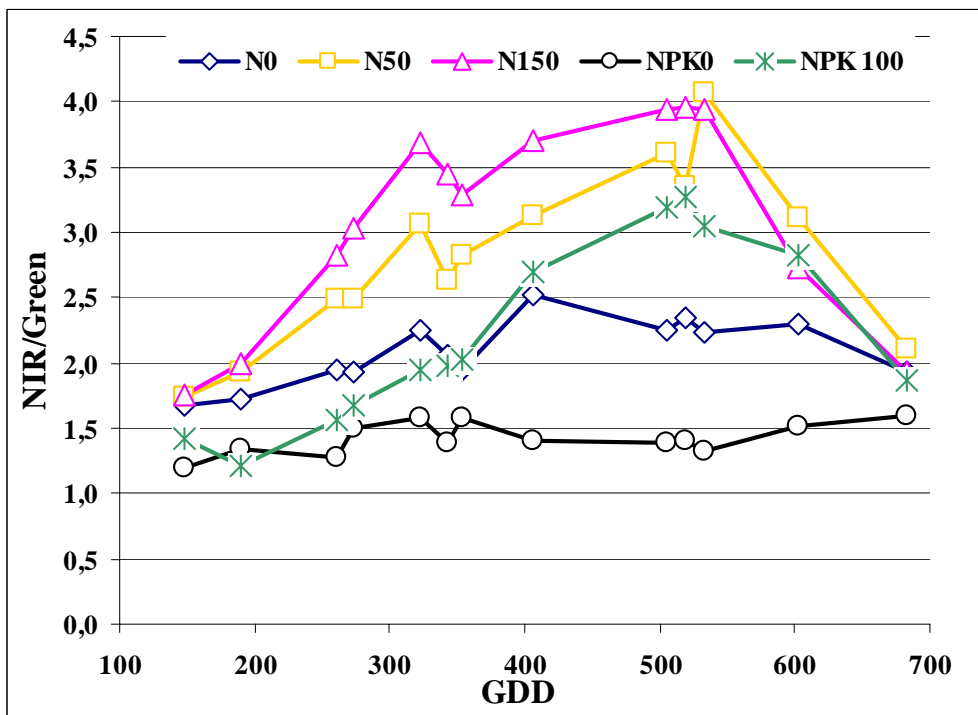


Fig. 56 Effetto del trattamento sull'indice NIR/Green durante il ciclo produttivo

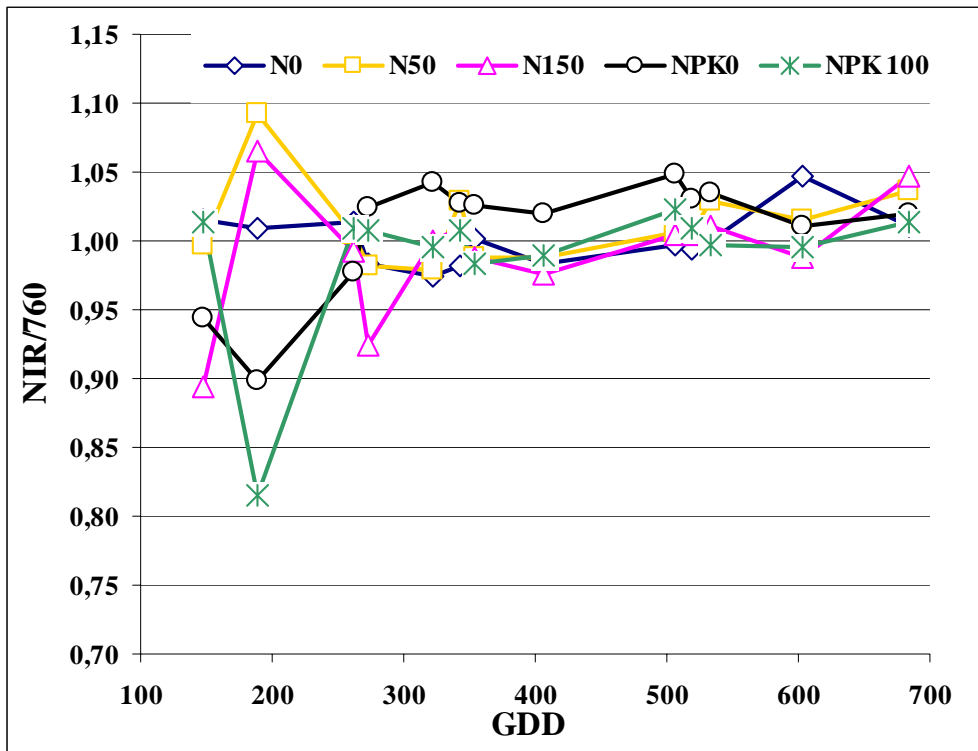


Fig. 57 58 Effetto del trattamento sull'indice NIR/760 durante il ciclo produttivo

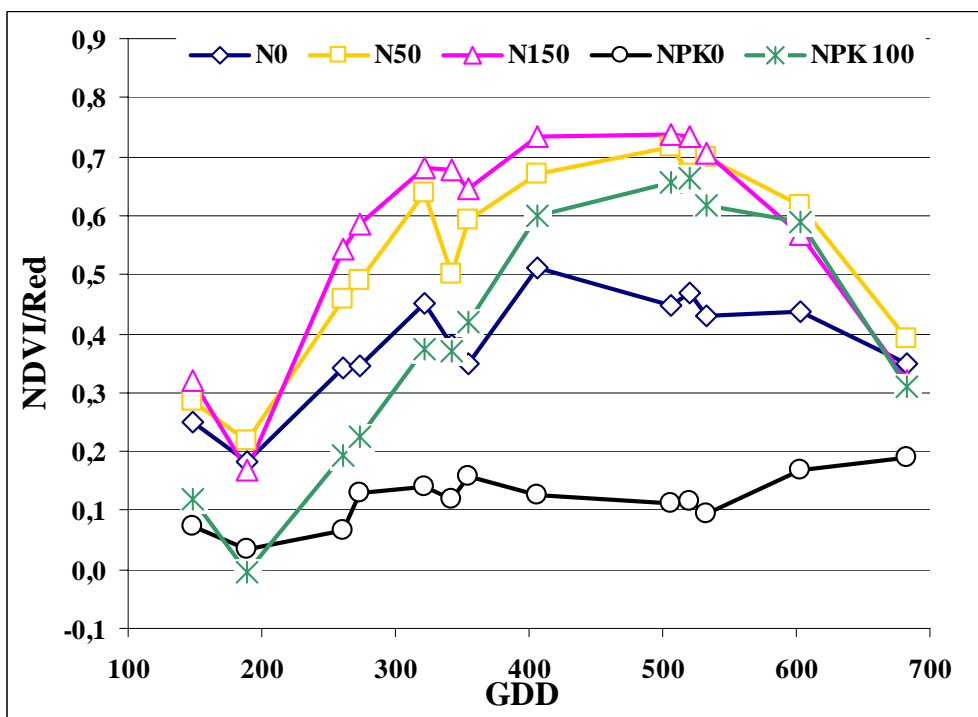


Fig. 59 Effetto del trattamento sull'indice NDVI/Red durante il ciclo produttivo

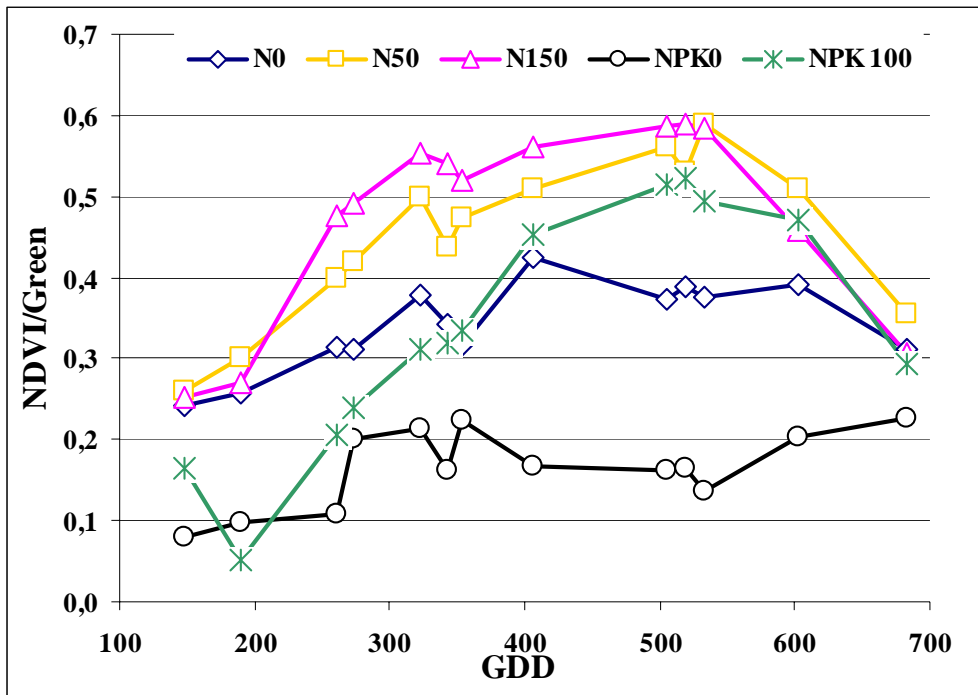


Fig. 60 Effetto del trattamento sull'indice NDVI/Green durante il ciclo produttivo

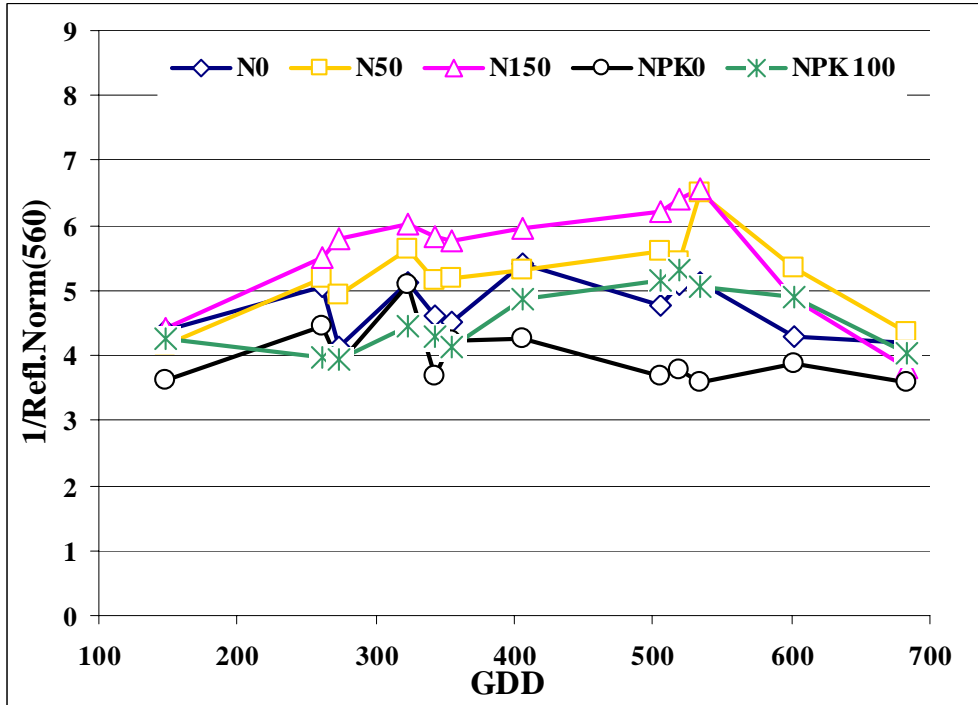


Fig. 61 Effetto del trattamento sull'indice 1/(RefL. Norm (560)) durante il ciclo produttivo

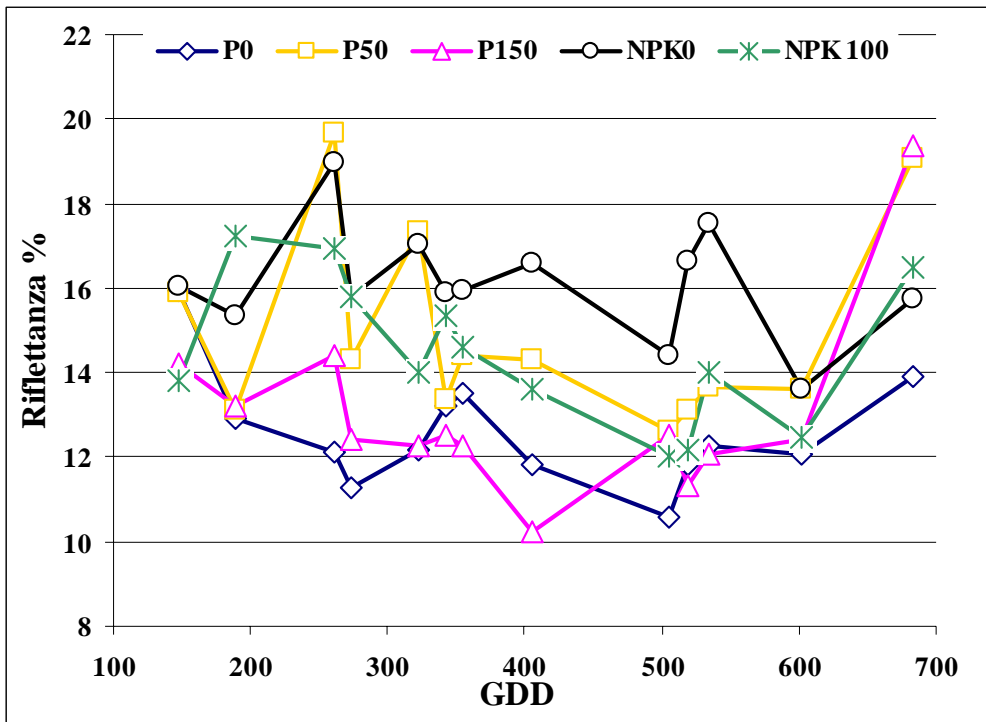


Fig. 62 Effetto del trattamento sui valori di riflettanza a 560nm

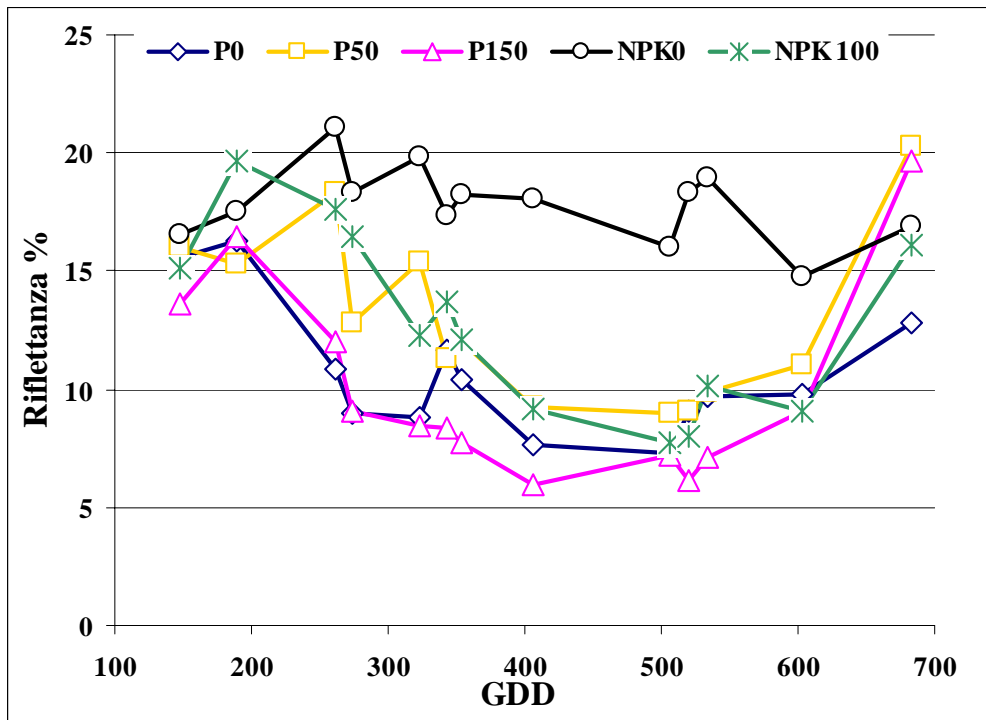


Fig. 63 Effetto del trattamento sui valori di riflettanza a 660nm

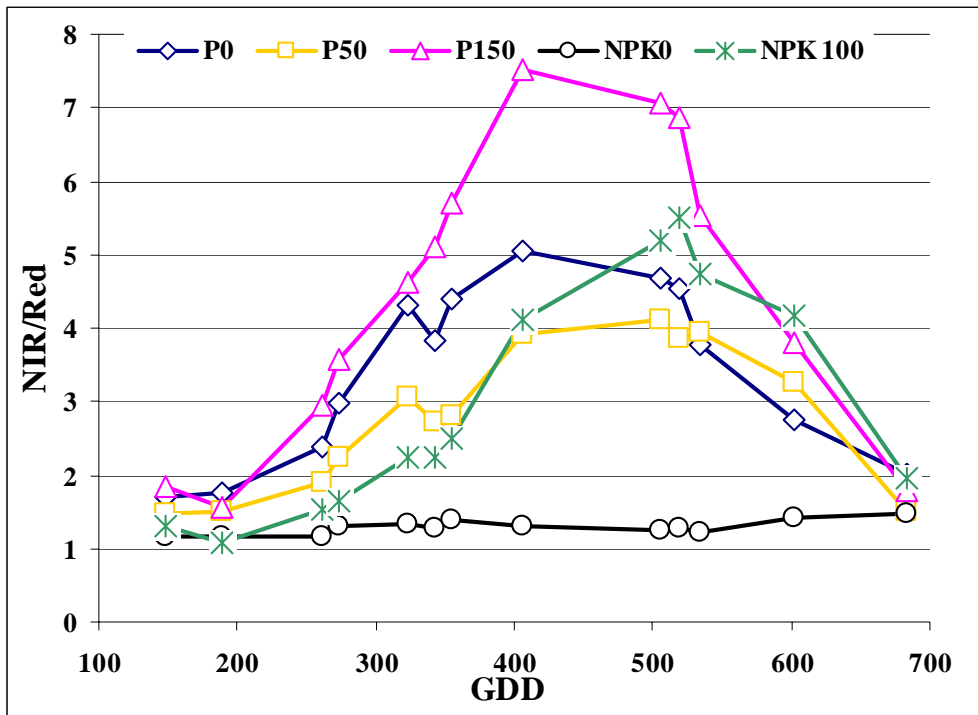


Fig. 64 Effetto del trattamento sull'indice NIR/Red durante il ciclo produttivo

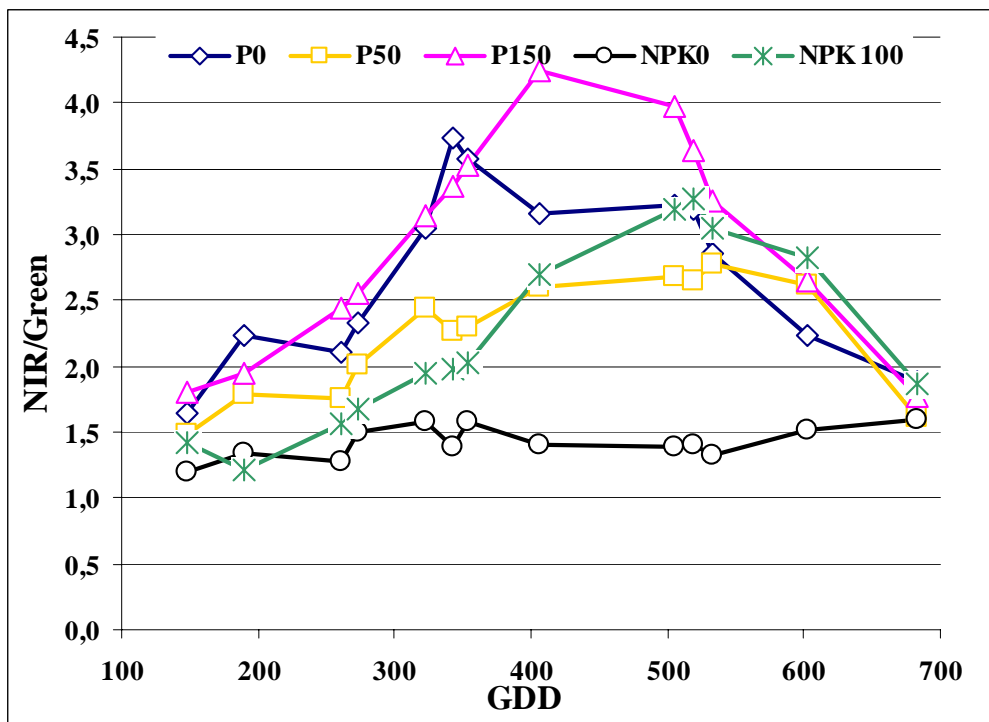


Fig. 65 Effetto del trattamento sull'indice NIR/Green durante il ciclo produttivo

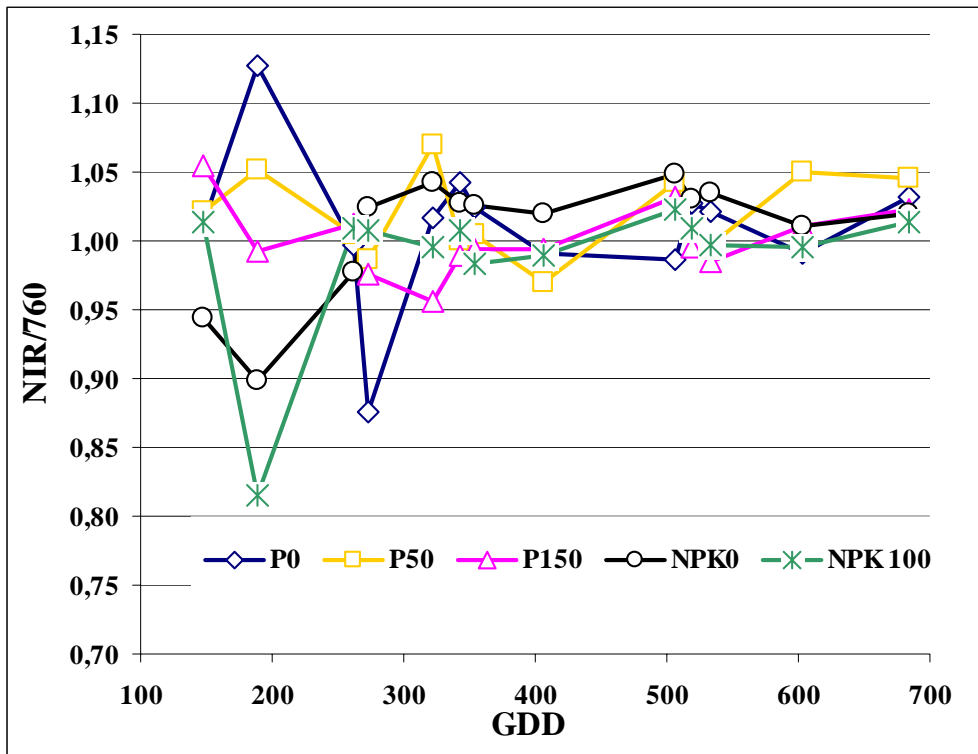


Fig. 66 67 Effetto del trattamento sull'indice NIR/760 durante il ciclo produttivo

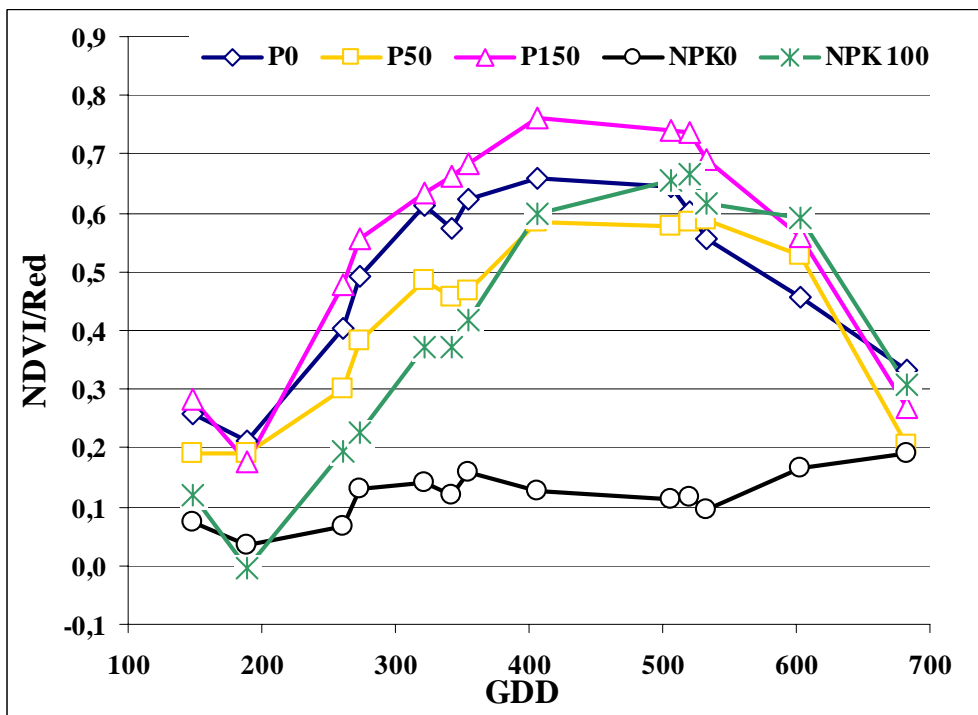


Fig. 68 Effetto del trattamento sull'indice NDVI/Red durante il ciclo produttivo

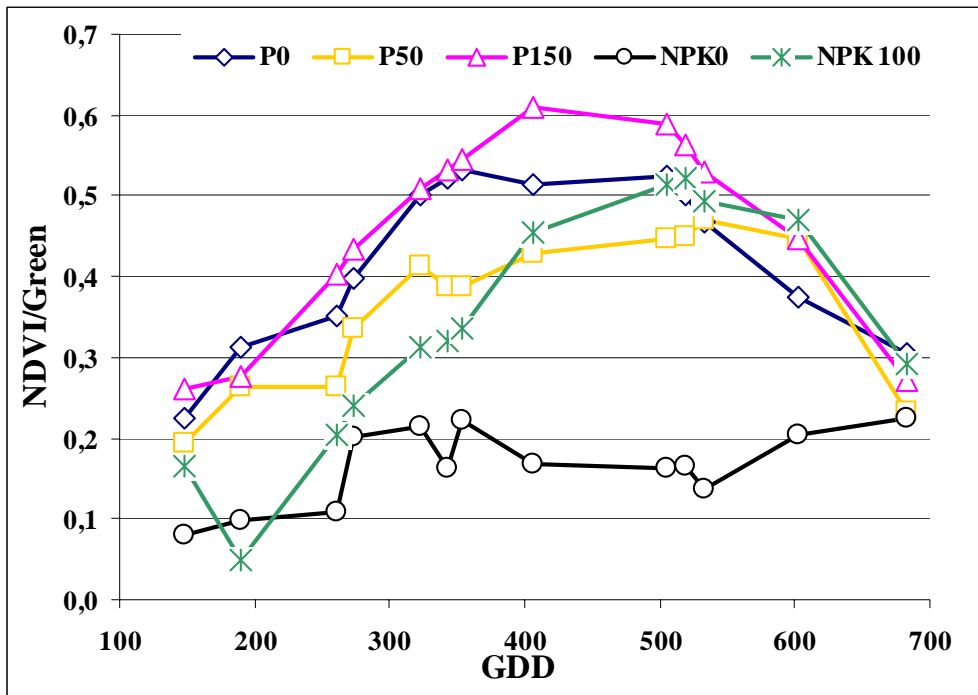


Fig. 69 Effetto del trattamento sull'indice NDVI/Green durante il ciclo produttivo

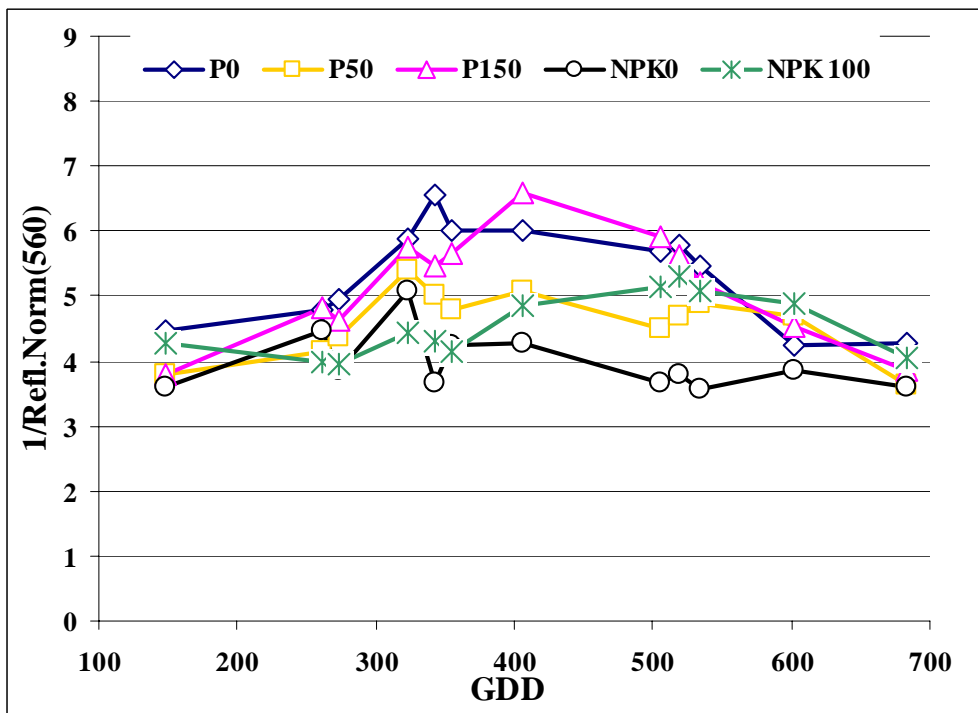


Fig. 70 Effetto del trattamento sull'indice 1/(Refl. Norm (560)) durante il ciclo produttivo

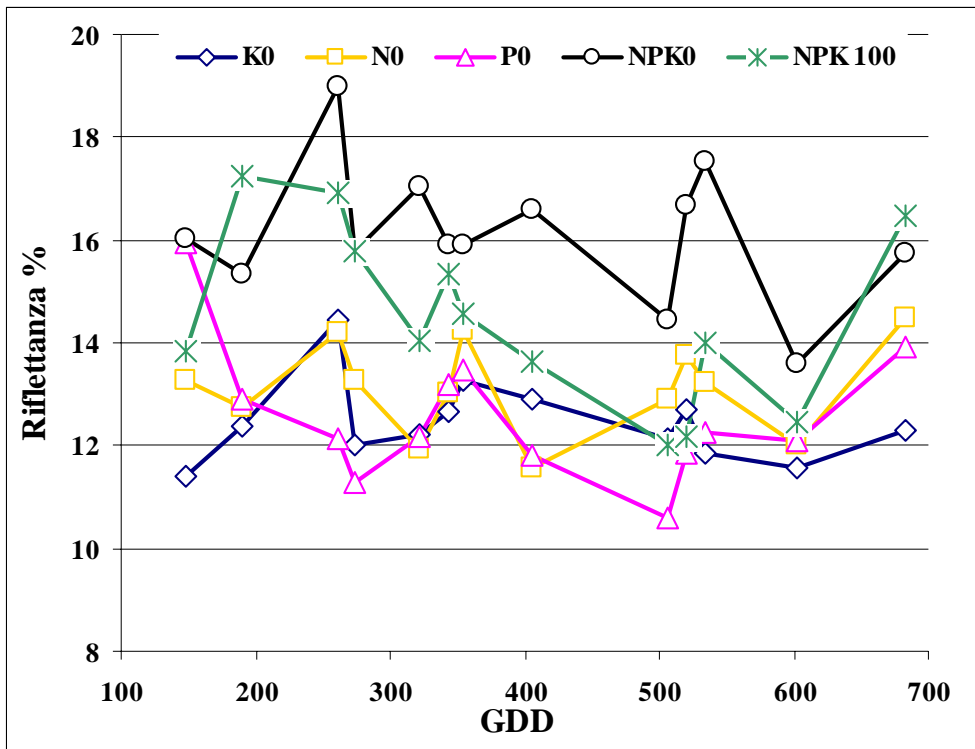


Fig. 71 Effetto del trattamento sui valori di riflettanza a 560nm

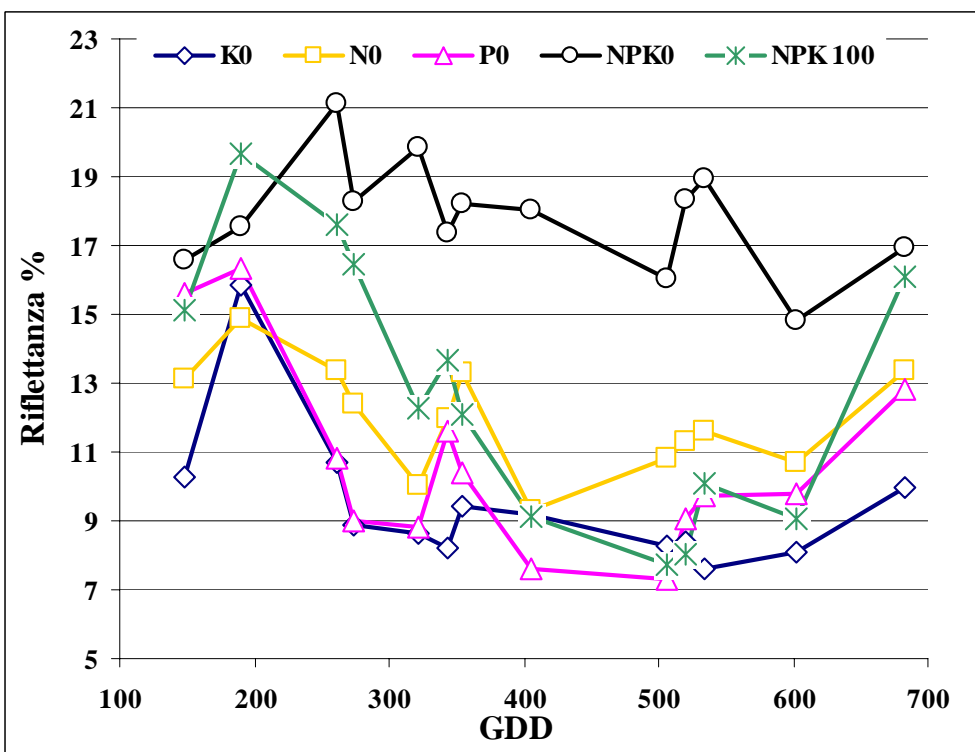


Fig. 72 Effetto del trattamento sui valori di riflettanza a 660nm

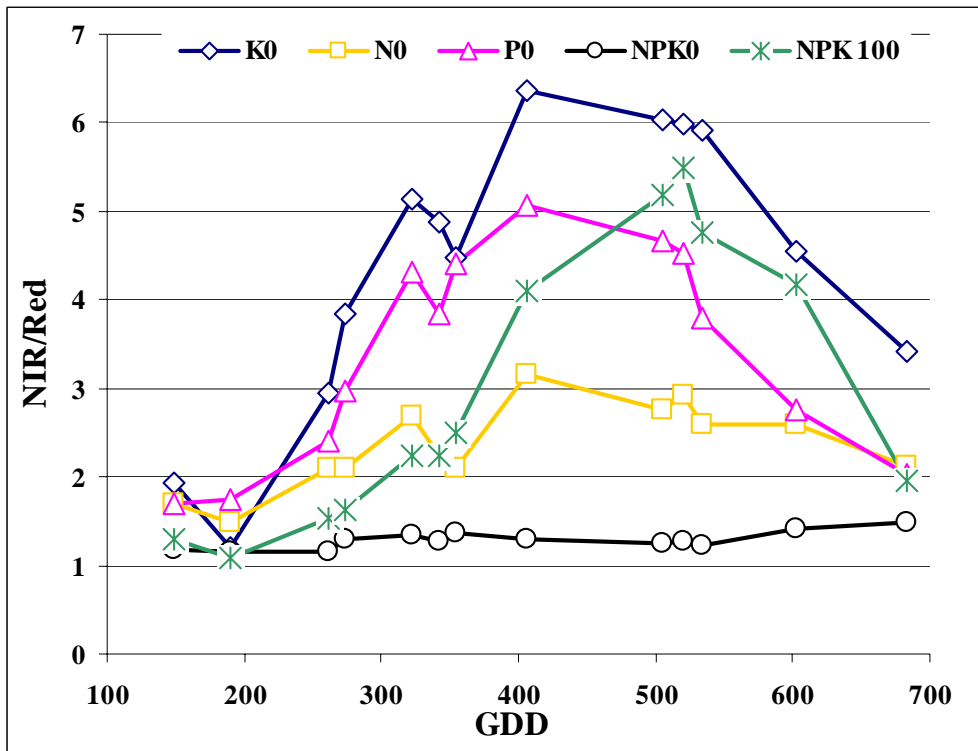


Fig. 73 Effetto del trattamento sull'indice NIR/Red durante il ciclo produttivo

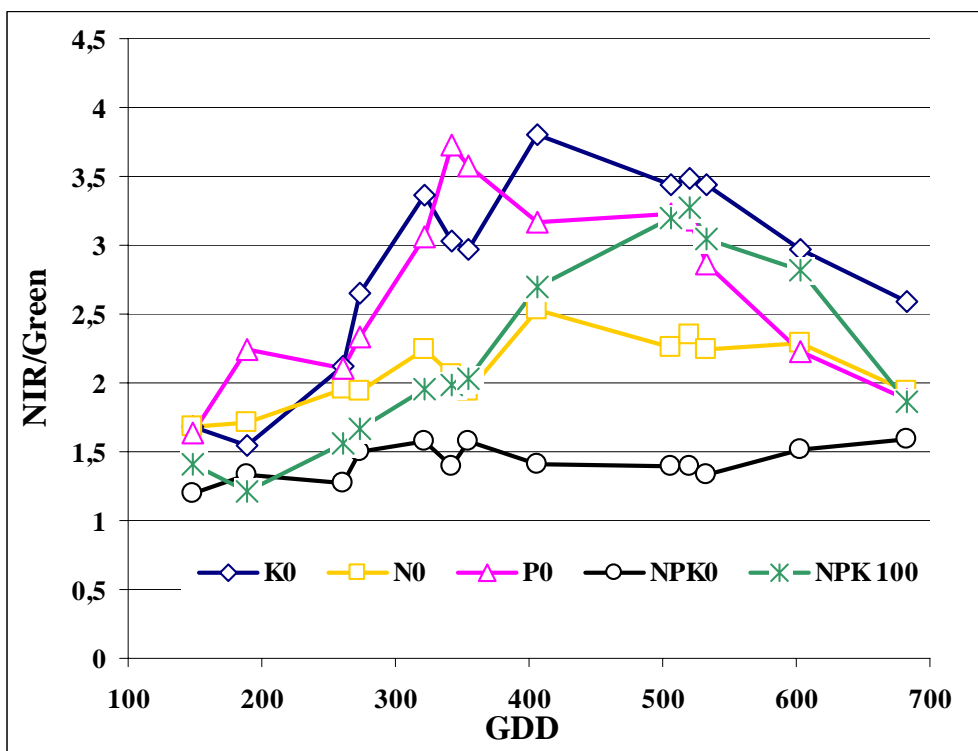


Fig. 74 Effetto del trattamento sull'indice NIR/Green durante il ciclo produttivo

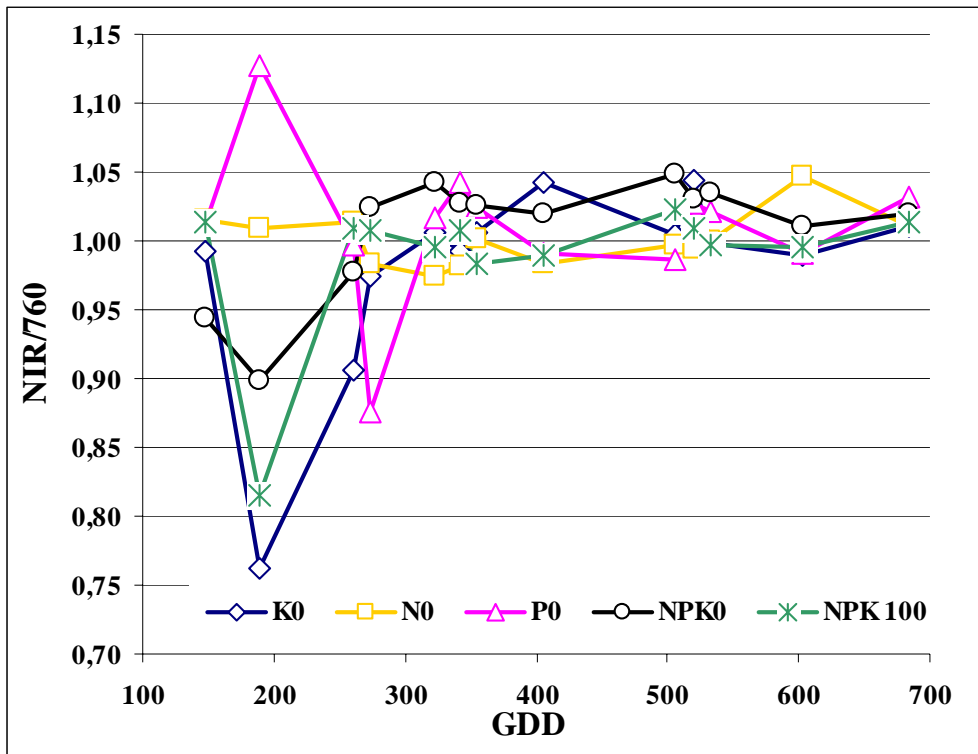


Fig. 75 76 Effetto del trattamento sull'indice NIR/760 durante il ciclo produttivo

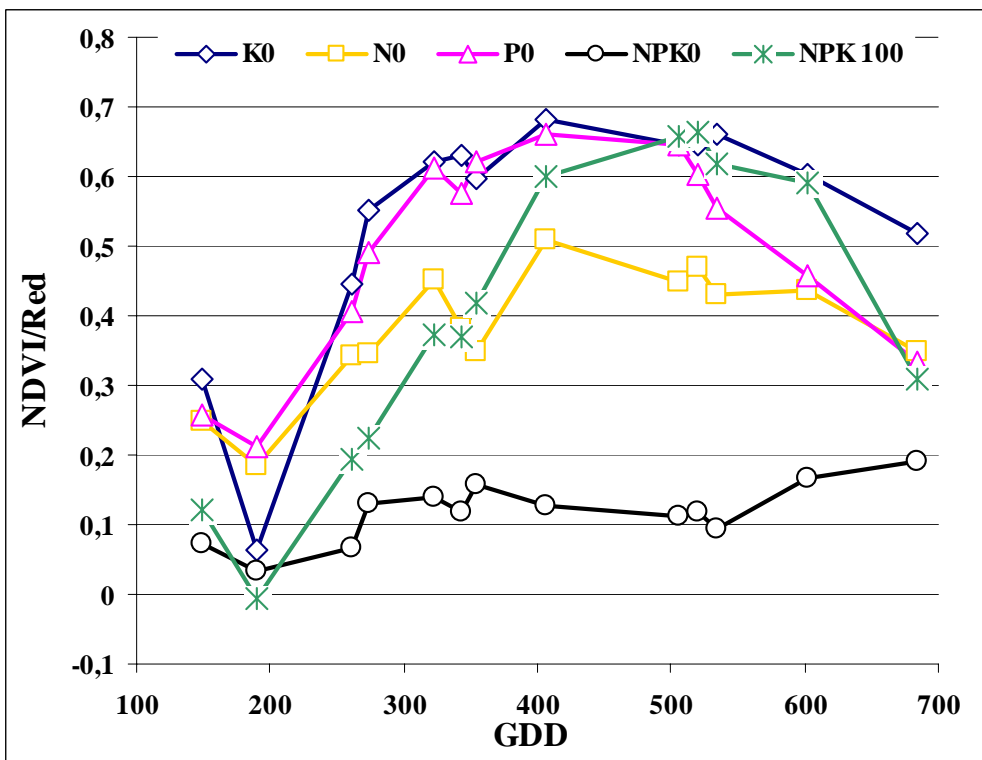


Fig. 77 Effetto del trattamento sull'indice NDVI/Red durante il ciclo produttivo

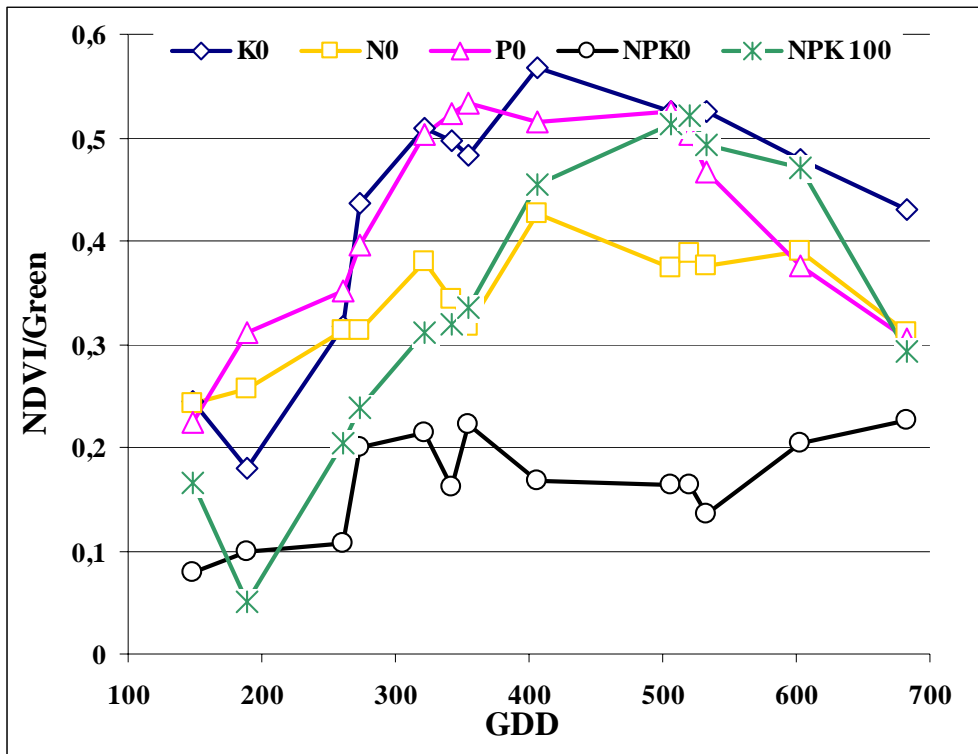


Fig. 78 Effetto del trattamento sull'indice NDVI/Green durante il ciclo produttivo

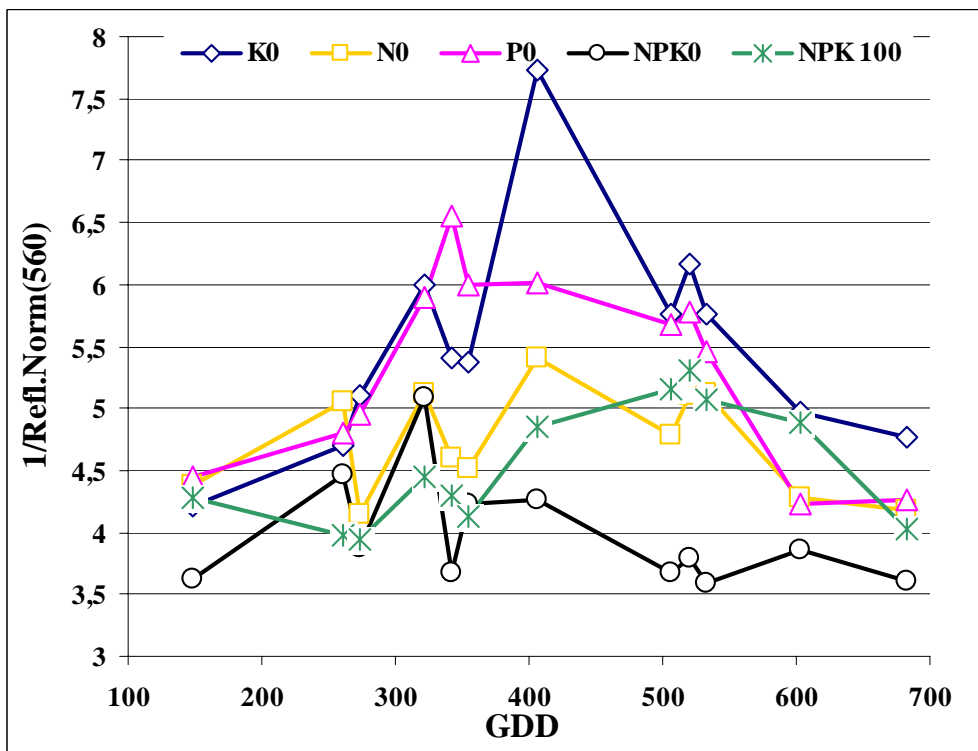


Fig. 79 Effetto del trattamento sull'indice 1/(Refl. Norm (560)) durante il ciclo produttivo

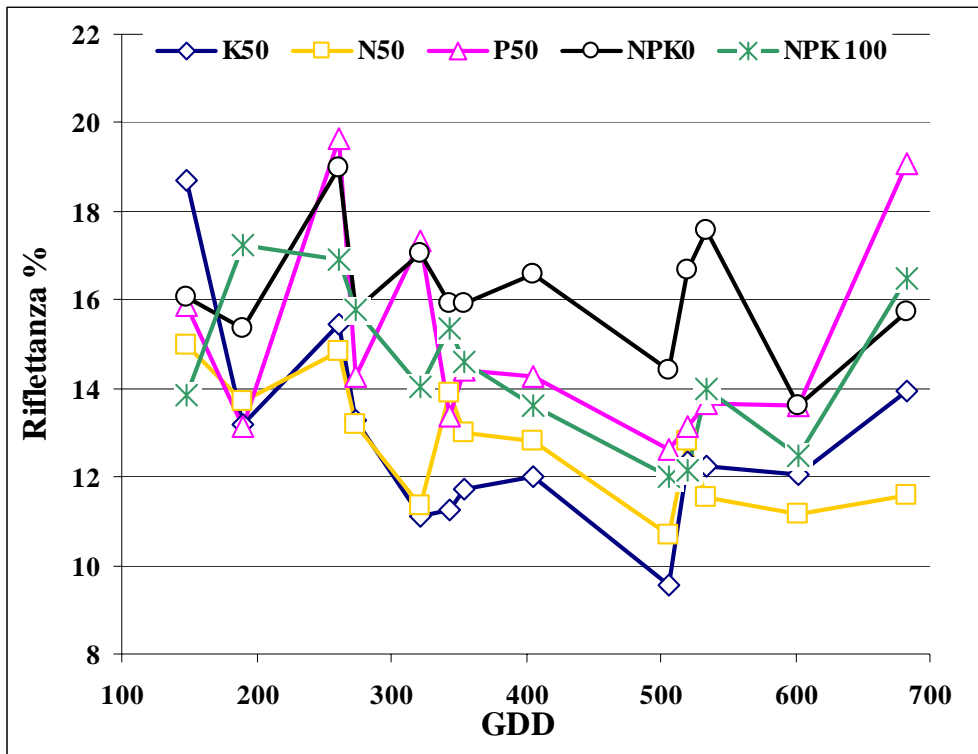


Fig. 80 Effetto del trattamento sui valori di riflettanza a 560nm

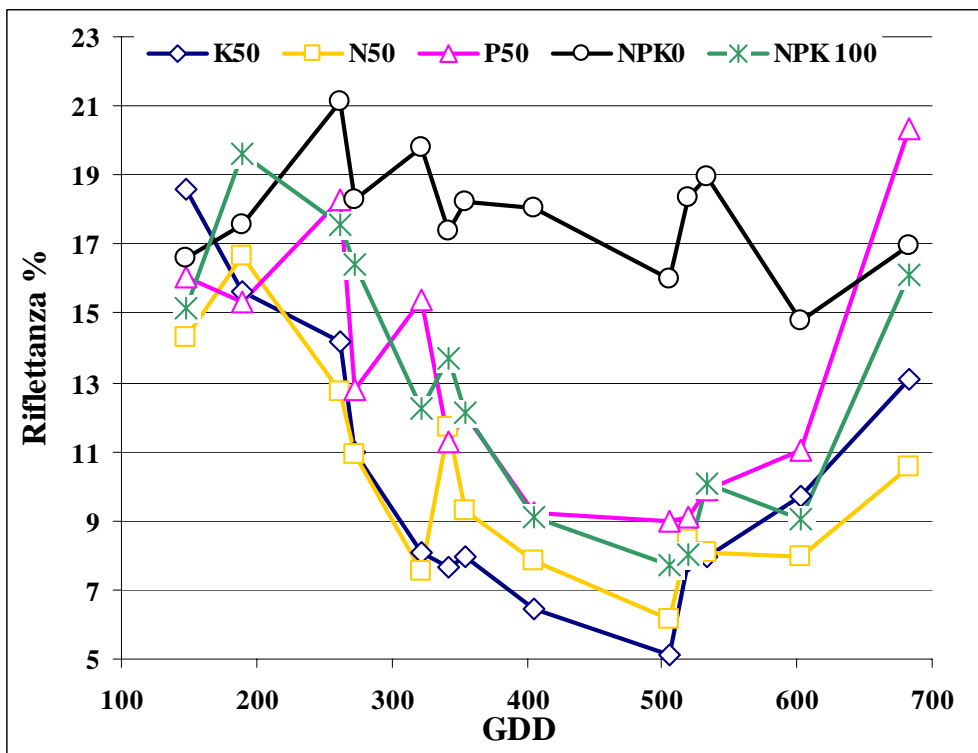


Fig. 81 Effetto del trattamento sui valori di riflettanza a 660nm

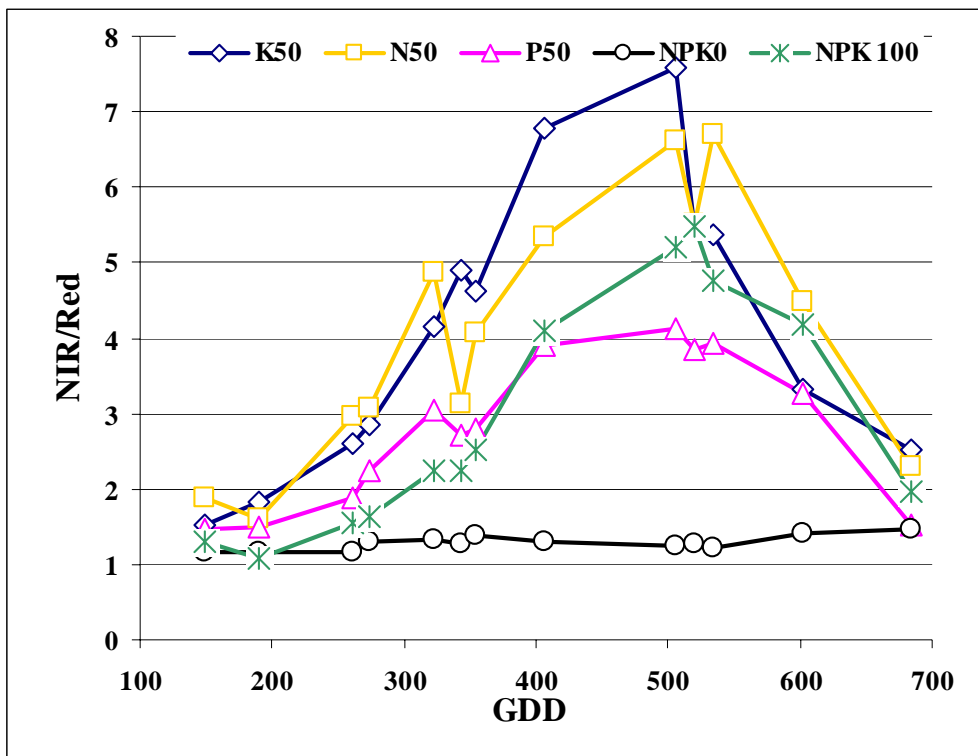


Fig. 82 Effetto del trattamento sull'indice NIR/Red durante il ciclo produttivo

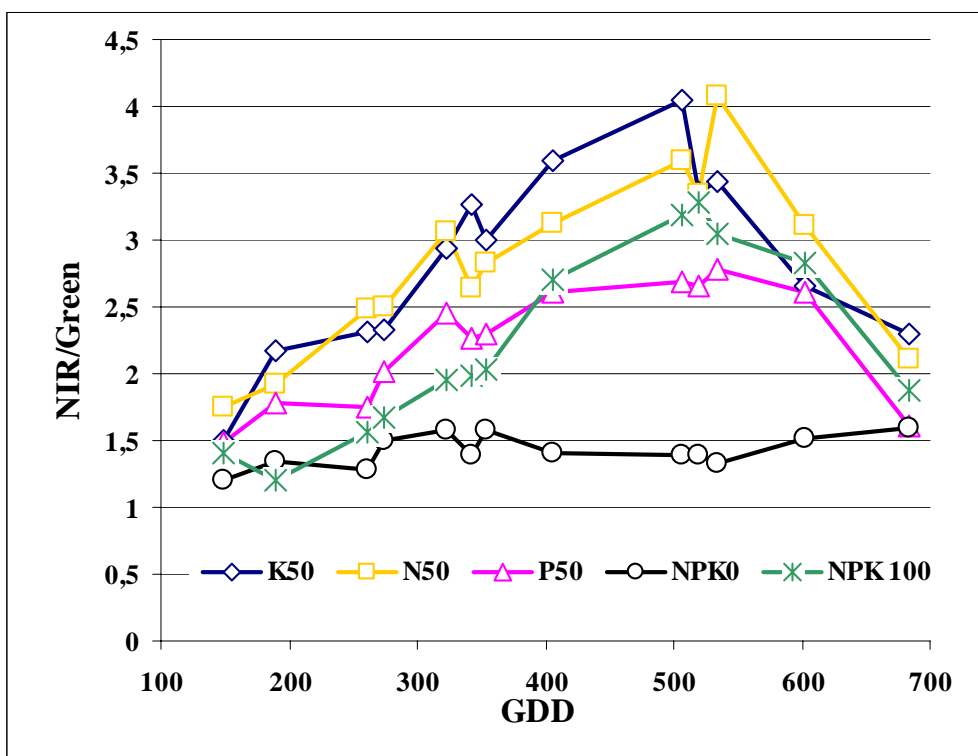


Fig. 83 Effetto del trattamento sull'indice NIR/Green durante il ciclo produttivo

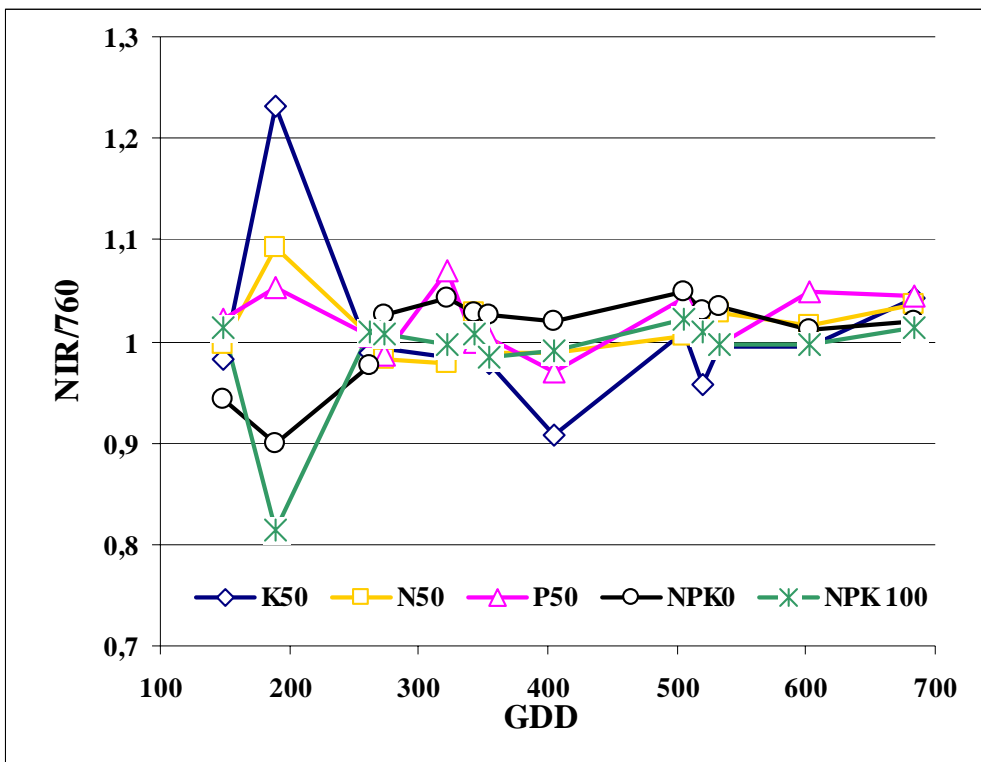


Fig. 84 85 Effetto del trattamento sull'indice NIR/760 durante il ciclo produttivo

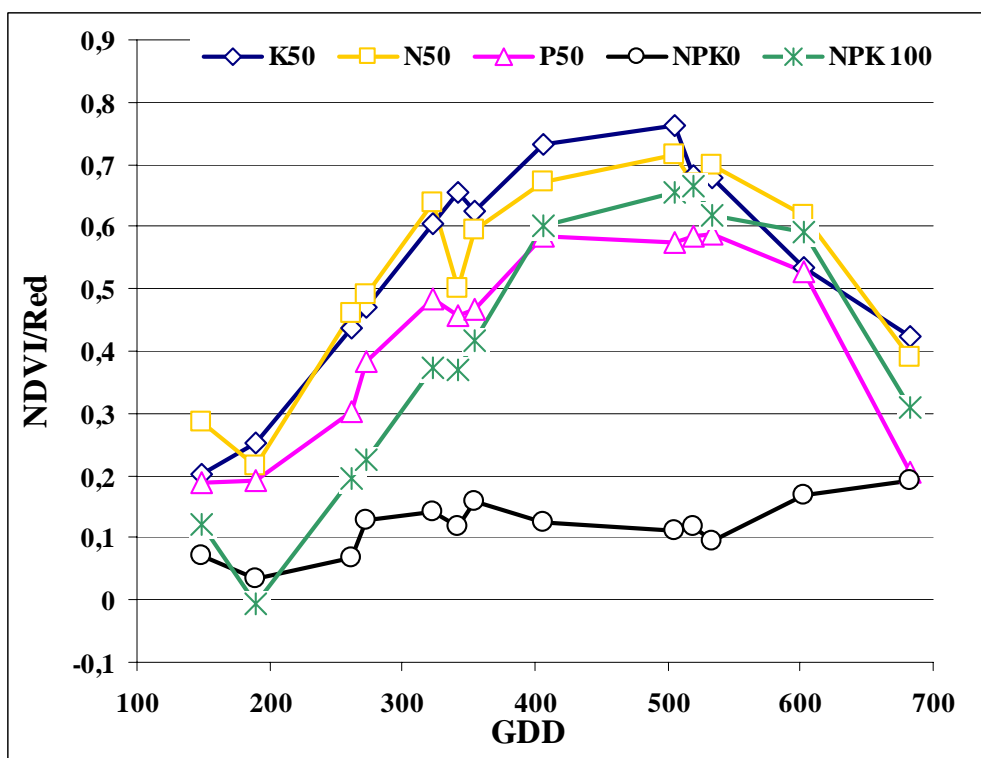


Fig. 86 Effetto del trattamento sull'indice NDVI/Red durante il ciclo produttivo

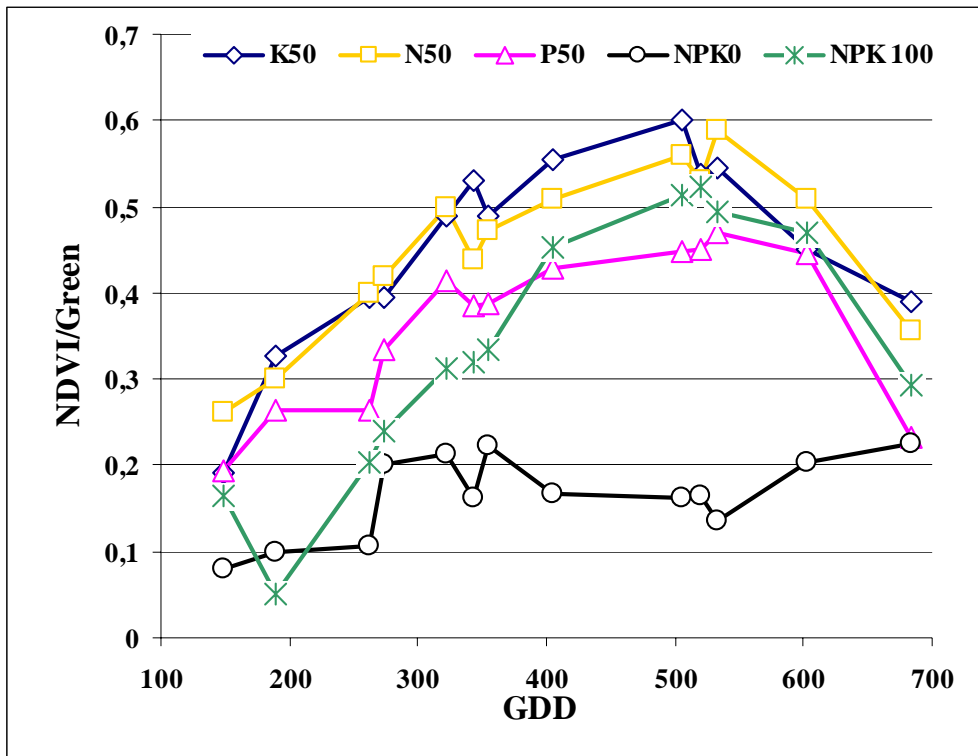


Fig. 87 Effetto del trattamento sull'indice NDVI/Green durante il ciclo produttivo

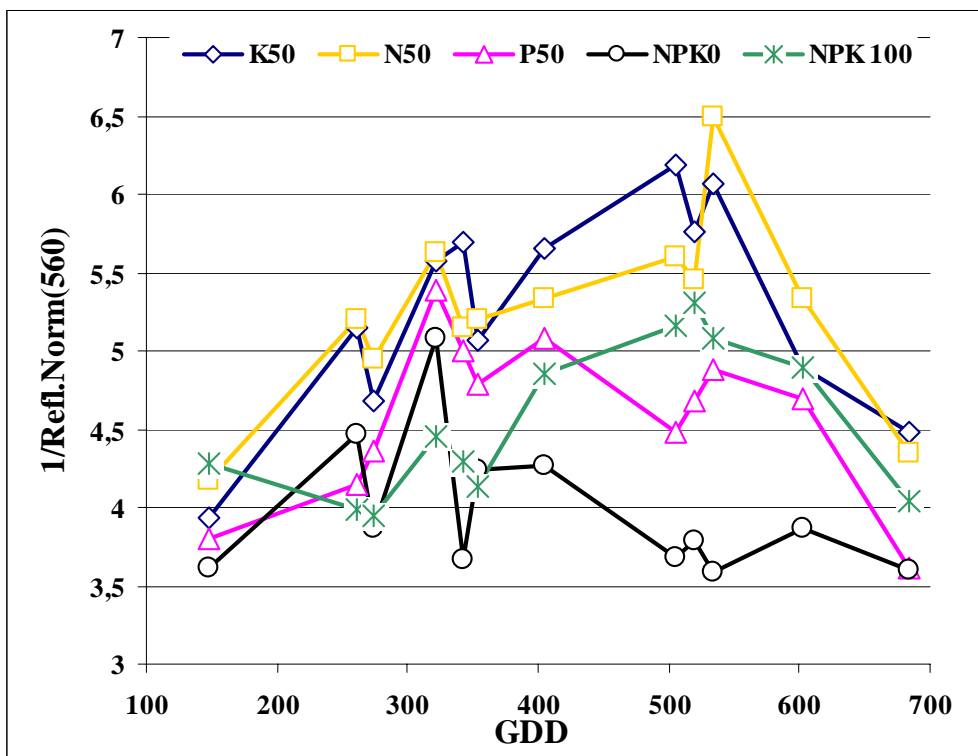


Fig. 88 Effetto del trattamento sull'indice 1/(Refl. Norm (560)) durante il ciclo produttivo

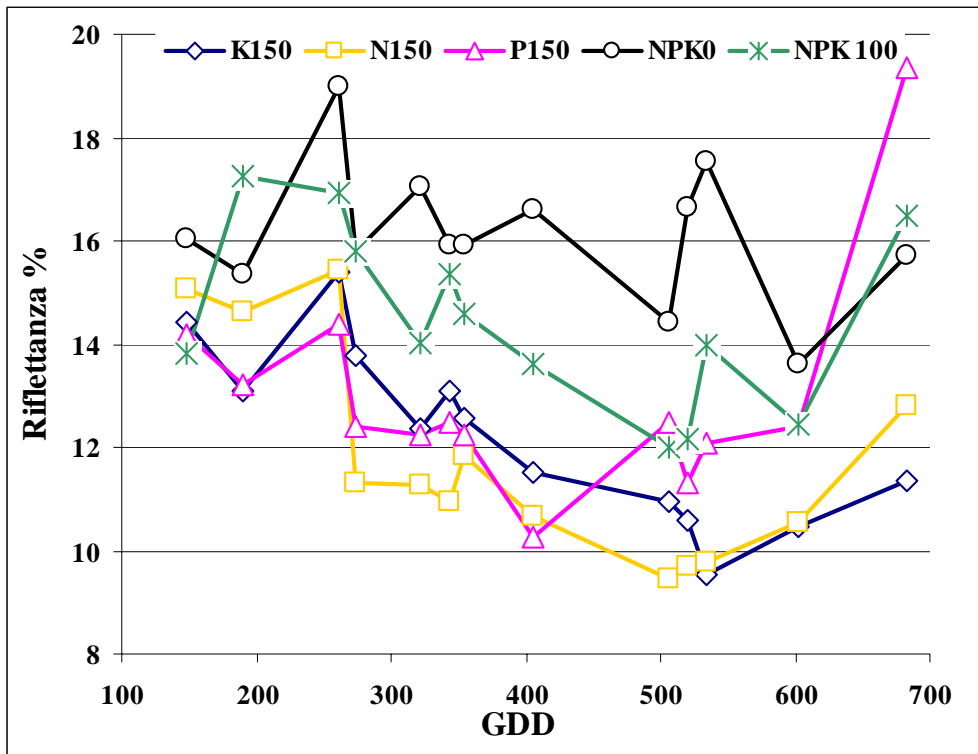


Fig. 89 Effetto del trattamento sui valori di riflettanza a 560nm

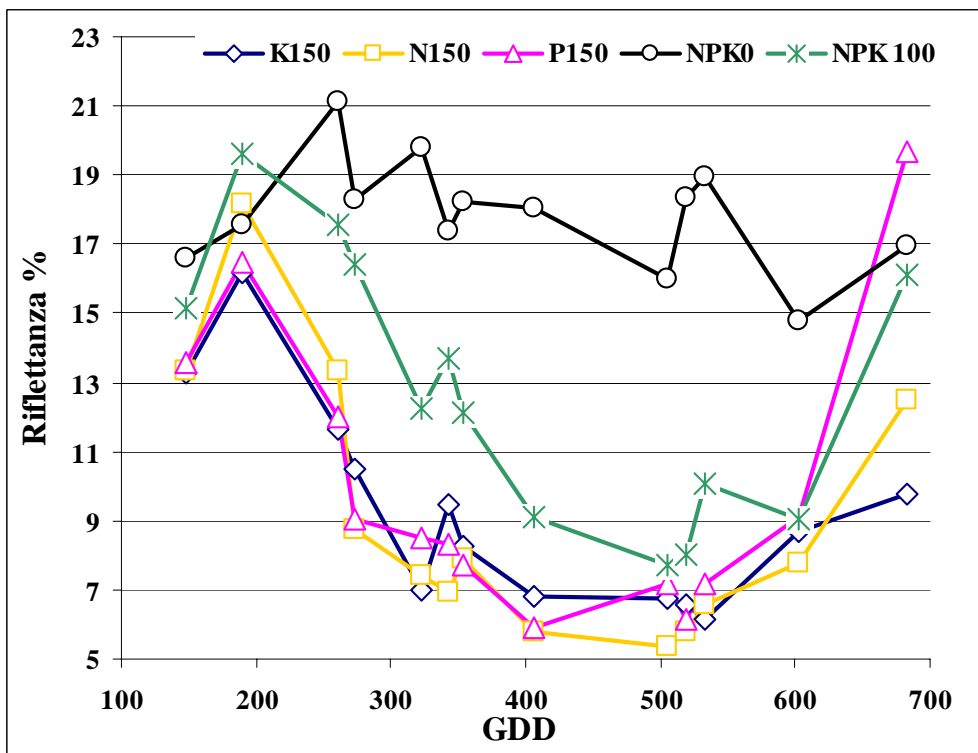


Fig. 90 Effetto del trattamento sui valori di riflettanza a 660nm

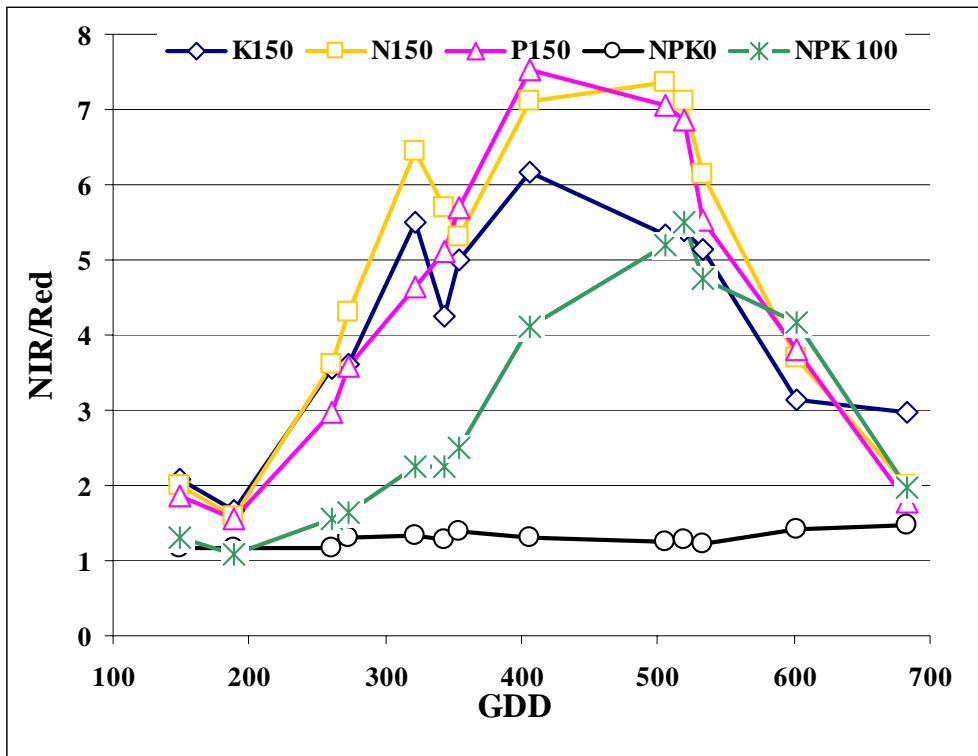


Fig. 91 Effetto del trattamento sull'indice NIR/Red durante il ciclo produttivo

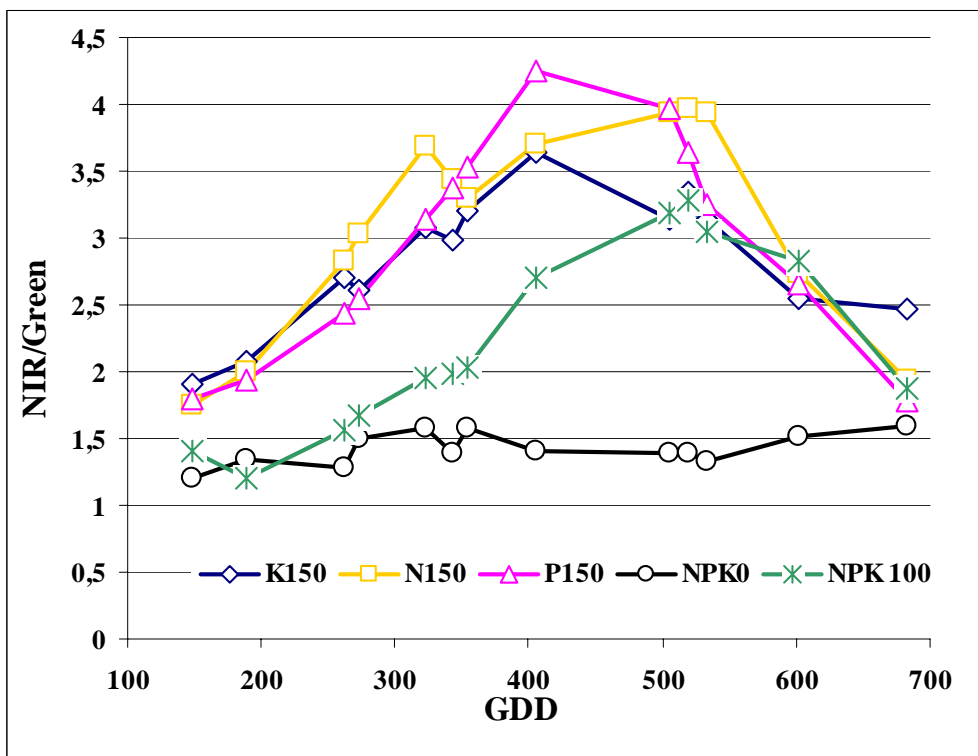


Fig. 92 Effetto del trattamento sull'indice NIR/Green durante il ciclo produttivo

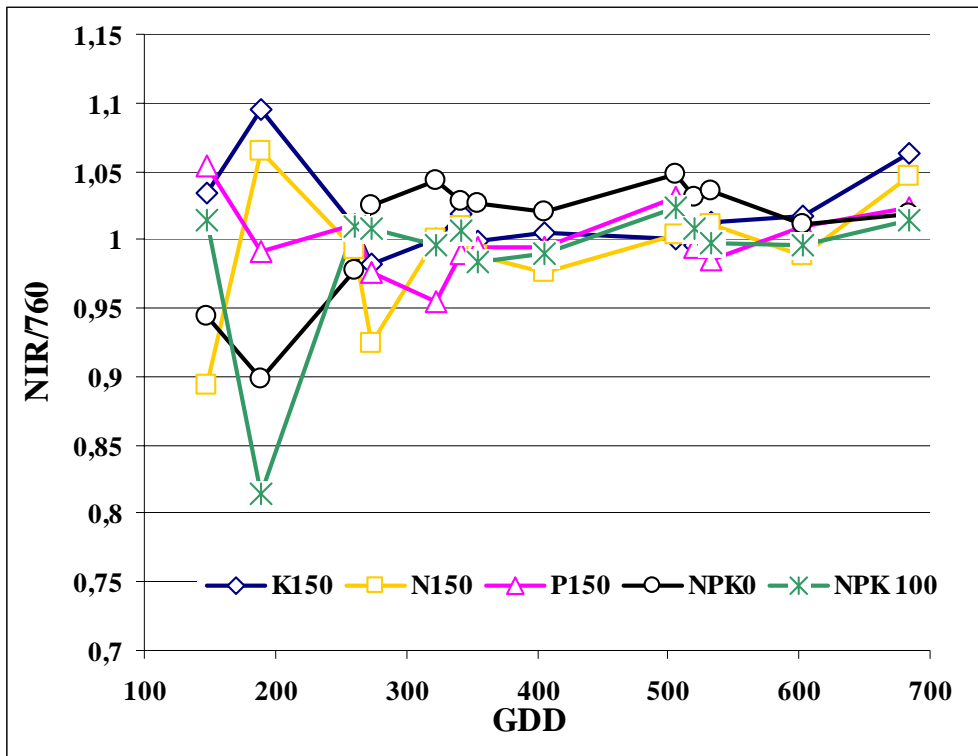


Fig. 93 94 Effetto del trattamento sull'indice NIR/760 durante il ciclo produttivo

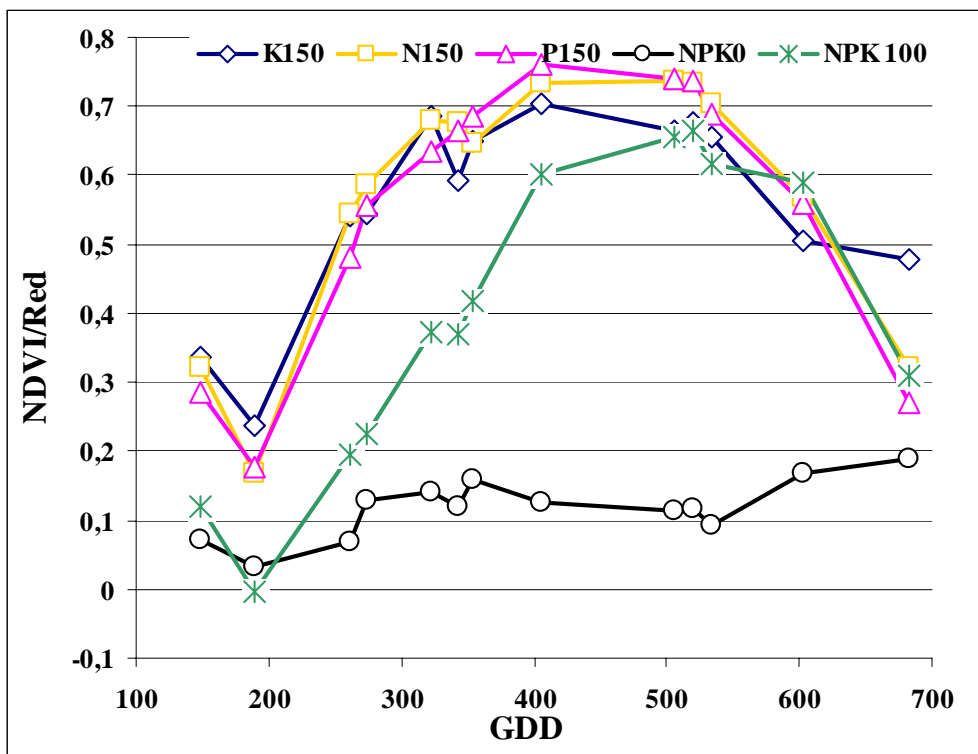


Fig. 95 Effetto del trattamento sull'indice NDVI/Red durante il ciclo produttivo

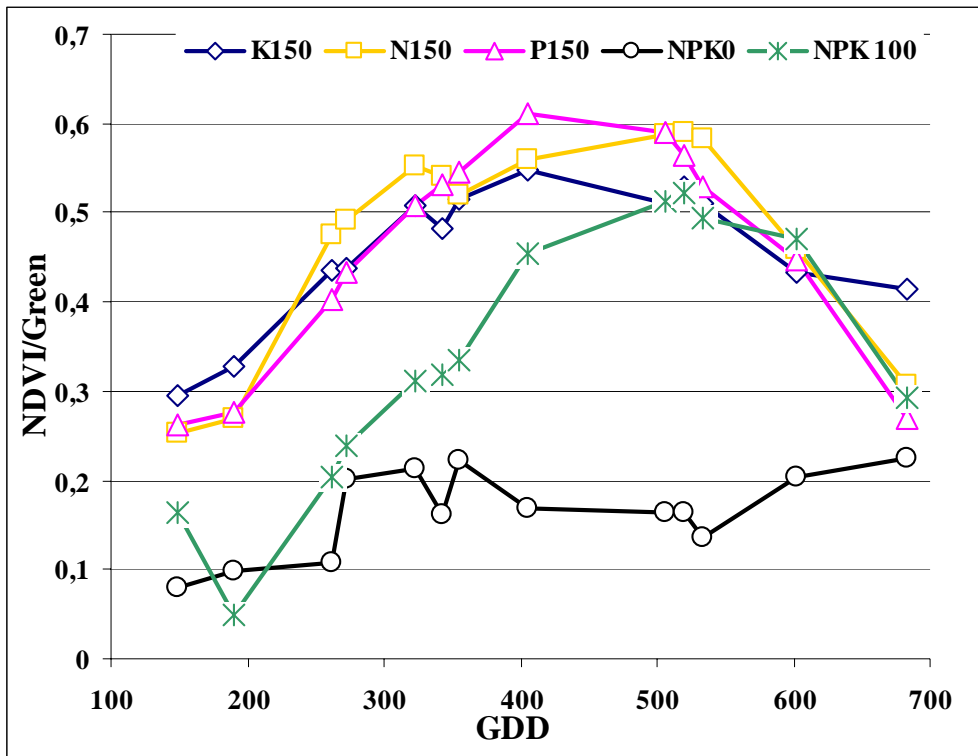


Fig. 96 Effetto del trattamento sull'indice NDVI/Green durante il ciclo produttivo

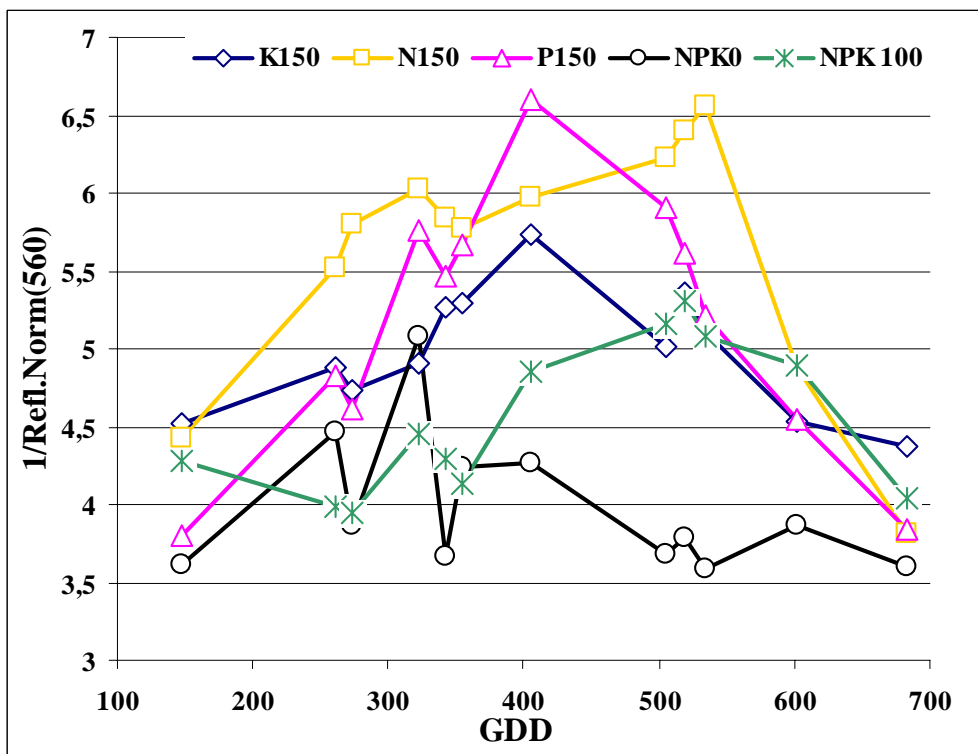


Fig. 97 Effetto del trattamento sull'indice 1/(Refl. Norm (560)) durante il ciclo produttivo

Lunghezza d'onda (nm)		560	660	Nir/Red	Nir/Green	Nir/760	NDVI/Red	NDVI/Green	1/(Ref Norm(560))
GDD 148	K0	c	c	ab	ab	abc	ab	ab	a
	K50	a	a	c	bc	abc	c	bc	a
	K150	bc	bc	a	a	a	a	a	a
	N0	bc	bc	bc	ab	ab	bc	ab	a
	N50	bc	bc	ab	ab	abc	ab	ab	a
	N150	ab	ab	ab	ab	c	ab	ab	a
	P0	ab	ab	bc	ab	ab	bc	abc	a
	P50	ab	ab	cd	bc	ab	c	bc	a
	P150	bc	bc	ab	a	a	ab	ab	a
	NPK 100	bc	ab	de	cd	ab	d	c	a
	NPK0	ab	ab	e	d	bc	d	d	a
Sign	*	*	***	***	ns	***	***	ns	
GDD 189	K0	b	c	bcd	bcd	c	bcd	abc	bc
	K50	b	bc	a	a	a	a	a	c
	K150	b	c	a	ab	ab	a	a	bc
	N0	b	c	abc	abc	abc	abc	ab	bc
	N50	b	bc	abc	ab	ab	ab	a	bc
	N150	ab	bc	ab	ab	ab	abc	a	ab
	P0	b	c	a	a	ab	ab	a	abc
	P50	b	bc	abc	abc	abc	abc	ab	bc
	P150	b	bc	abc	ab	abc	abc	a	bc
	NPK 100	a	a	d	d	c	d	c	a
	NPK0	bc	ab	cd	cd	bc	cd	bc	a
Sign	**	***	***	***	*	***	***	***	
GDD 261	K0	cd	c	ab	bcd	b	bc	cde	abc
	K50	abcd	bc	bc	abc	a	c	abcd	bc
	K150	abcd	c	a	a	a	a	ab	bc
	N0	cd	bc	cd	cd	a	de	de	bc
	N50	bcd	c	ab	ab	a	abc	abcd	bc
	N150	abcd	bc	a	a	a	ab	a	c
	P0	d	c	bcd	bcd	a	cd	bcde	bc
	P50	a	ab	de	de	a	e	ef	ab
	P150	cd	c	ab	ab	a	abc	abc	bc
	NPK 100	abc	ab	ef	ef	a	f	f	a
	NPK0	ab	a	f	f	a	g	g	abc
Sign	*	***	***	***	*	***	***	*	
GDD 273	K0	cd	c	a	ab	bc	a	ab	ef
	K50	cd	bc	cd	b	ab	b	bc	cde
	K150	bc	bc	ab	ab	abc	ab	ab	cde
	N0	cd	b	ef	d	ab	c	d	ab
	N50	cd	bc	bc	b	abc	ab	ab	def
	N150	cd	bc	a	a	c	a	a	f
	P0	d	c	bc	bc	d	ab	b	def
	P50	abc	b	de	cd	ab	c	cd	bc
	P150	cd	c	ab	ab	bc	a	ab	cd
	NPK 100	a	a	fg	e	ab	d	e	a
	NPK0	ab	a	g	e	a	e	e	a
Sign	***	***	***	***	***	***	***	***	
GDD 322	K0	bc	d	abc	ab	bcd	ab	a	f
	K50	c	d	c	cd	cd	b	b	cdef
	K150	bc	d	ab	bc	bcd	a	a	b
	N0	bc	cd	de	de	cd	c	b	bcd
	N50	c	d	bc	bc	cd	ab	a	def
	N150	c	d	a	a	bcd	ab	a	ef
	P0	bc	d	c	bc	abc	b	a	ef
	P50	a	b	d	d	a	c	a	bcde
	P150	bc	d	bc	abc	d	ab	a	ef
	NPK 100	b	c	e	e	bcd	d	c	a
	NPK0	a	a	f	f	ab	e	d	bc
Sign	***	***	***	***	**	***	***	***	

Lunghezza d'onda (nm)		560	660	Nir/Red	Nir/Green	Nir/760	NDVI/Red	NDVI/Green	1/(Ref Norm(560))
GDD 342	K0	bcd	ef	ab	bc	bcd	abc	a	de
	K50	cd	ef	ab	abc	abcd	ab	a	def
	K150	bcd	de	bc	bc	abc	bc	ab	de
	N0	bcd	c	f	de	d	e	de	bc
	N50	ab	c	de	cd	ab	d	bc	cde
	N150	d	f	a	ab	abcd	a	a	ef
	P0	bcd	c	cd	a	a	c	a	f
	P50	bc	cd	ef	de	bcd	d	cd	cd
	P150	bcd	ef	a	ab	cd	a	a	de
	NPK 100	a	b	f	e	abcd	e	e	b
	NPK0	a	a	g	f	abc	f	f	a
Sign	***	***	***	***	*	***	***	***	
GDD 354	K0	bcdef	de	b	c	ab	b	ab	def
	K50	f	e	b	bc	c	ab	ab	cde
	K150	def	e	ab	abc	abc	ab	ab	def
	N0	abcd	b	cd	ef	abc	d	d	bc
	N50	cdef	de	b	cd	bc	b	b	de
	N150	ef	de	ab	abc	bc	ab	ab	ef
	P0	bcde	cd	b	a	a	ab	ab	f
	P50	abc	bc	c	de	abc	c	c	cd
	P150	ef	e	a	ab	bc	a	a	ef
	NPK 100	ab	b	c	e	c	c	d	a
	NPK0	a	a	d	f	a	e	e	ab
Sign	***	***	***	***	**	***	***	***	
GDD 405	K0	bc	b	abc	ab	a	bc	ab	f
	K50	bc	c	ab	bcd	c	ab	bc	cd
	K150	bc	bc	bcd	bc	ab	abc	bc	cde
	N0	bc	b	f	e	abc	e	d	cd
	N50	bc	bc	cd	d	ab	c	c	bcd
	N150	bc	c	ab	bcd	bc	abc	bc	de
	P0	bc	bc	de	cd	ab	c	bc	de
	P50	ab	b	ef	e	abc	d	d	bc
	P150	c	c	a	a	ab	a	a	ef
	NPK 100	b	b	e	e	ab	d	d	b
	NPK0	a	a	g	f	ab	f	e	a
Sign	*	***	***	***	ns	***	***	***	
GDD 505.7	K0	bcde	cd	bcd	bc	abc	bcd	b	e
	K50	f	f	a	a	abc	a	a	e
	K150	cdef	def	cde	cd	abc	bc	b	c
	N0	ab	b	f	e	bc	e	d	bc
	N50	def	ef	abc	abc	abc	ab	ab	de
	N150	f	ef	abc	ab	abc	abc	ab	e
	P0	ef	cde	de	bc	c	cd	b	e
	P50	abc	bc	ef	de	ab	d	c	b
	P150	bcd	cde	ab	a	abc	a	a	e
	NPK 100	bcde	cd	de	c	abc	bc	b	cd
	NPK0	a	a	g	f	a	f	e	a
Sign	***	***	***	***	ns	***	***	***	
GDD 519	K0	bcd	cde	ab	ab	a	bcd	ab	e
	K50	bcd	cde	bc	ab	b	ab	ab	de
	K150	d	de	bc	ab	ab	ab	ab	cd
	N0	b	b	e	c	ab	e	d	bc
	N50	bcd	cd	bc	ab	ab	abc	ab	cd
	N150	d	cde	ab	a	ab	ab	a	e
	P0	bcd	bc	cd	b	a	cd	bc	de
	P50	bc	bc	de	c	ab	d	c	b
	P150	cd	e	a	ab	ab	a	a	cde
	NPK 100	bcd	cde	bc	b	ab	bc	ab	cd
	NPK0	a	a	f	d	a	f	e	a
Sign	***	***	***	***	ns	***	***	***	

Lunghezza d'onda (nm)		560	660	Nir/Red	Nir/Green	Nir/760	NDVI/Red	NDVI/Green	1/(Ref Norm(560))
GDD 533	K0	bcd	de	ab	bc	a	abc	bc	cde
	K50	bcd	cde	abc	bc	a	ab	ab	de
	K150	d	e	bcd	bcd	a	abc	bcd	b
	N0	bc	b	e	e	a	e	e	bc
	N50	cd	cde	a	a	a	a	a	e
	N150	cd	cde	abc	ab	a	abc	ab	de
	P0	bcd	bcd	de	d	a	d	d	bcd
	P50	bc	bcd	de	d	a	cd	d	b
	P150	bcd	de	abc	bcd	a	a	bc	bc
	NPK 100	b	bc	cd	cd	a	bc	cd	b
	NPK0	a	a	f	f	a	f	f	a
Sign	***	***	***	***	ns	***	***	***	
GDD 602	K0	bcd	c	a	ab	b	ab	ab	de
	K50	abcd	bc	bcd	bcd	b	bcd	b	de
	K150	d	c	bcd	cde	ab	cde	bc	bcd
	N0	abcd	b	d	de	a	e	cd	bc
	N50	cd	c	a	a	ab	a	a	e
	N150	d	c	abc	bc	b	abc	ab	de
	P0	abcd	bc	cd	e	b	de	d	b
	P50	a	b	bcd	bcd	a	bcd	b	cd
	P150	abc	bc	ab	bcd	ab	abc	b	bcd
	NPK 100	ab	c	a	bc	b	ab	ab	de
	NPK0	a	a	e	f	ab	f	e	a
Sign	***	***	***	***	*	***	***	***	
GDD 683	K0	cde	d	a	a	a	a	a	e
	K50	bcde	cd	bc	ab	a	bc	ab	de
	K150	e	d	ab	a	a	ab	ab	cde
	N0	bcde	cd	cde	cd	a	cde	cd	bcd
	N50	de	d	cd	bc	a	cd	bc	cde
	N150	abc	abc	def	cd	a	de	cd	abc
	P0	bcde	cd	de	cde	a	de	cd	bcde
	P50	a	a	fg	e	a	f	e	a
	P150	a	ab	efg	de	a	ef	de	ab
	NPK 100	ab	bc	de	de	a	e	d	bc
	NPK0	abcd	abc	g	e	a	f	e	a
Sign	***	***	***	***	ns	***	***	***	

Fig. 98 Effetti delle variabili sperimentali sui diversi indici analizzati

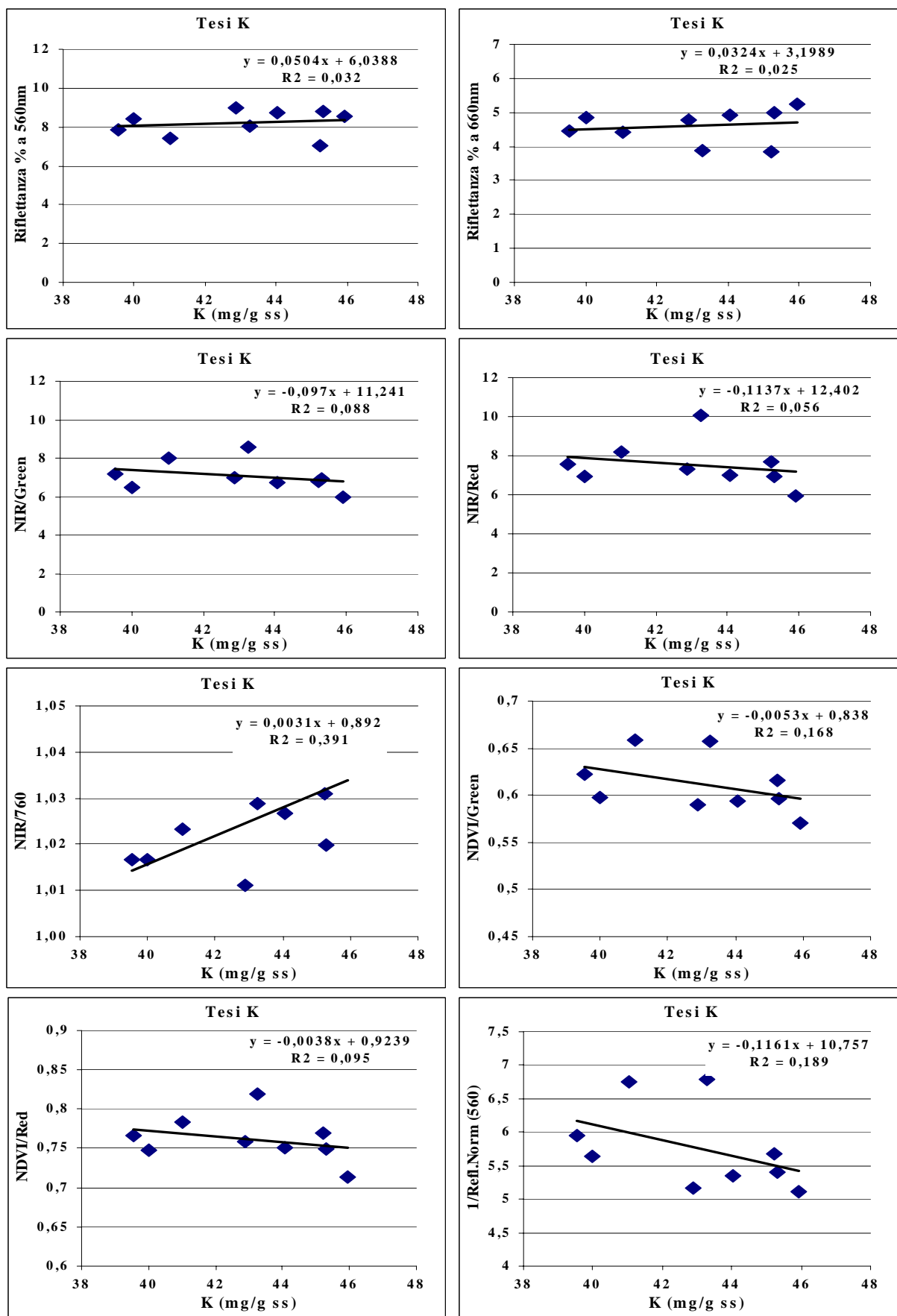


Fig. 99 Andamento degli indici delle tesi K in funzione del contenuto di K

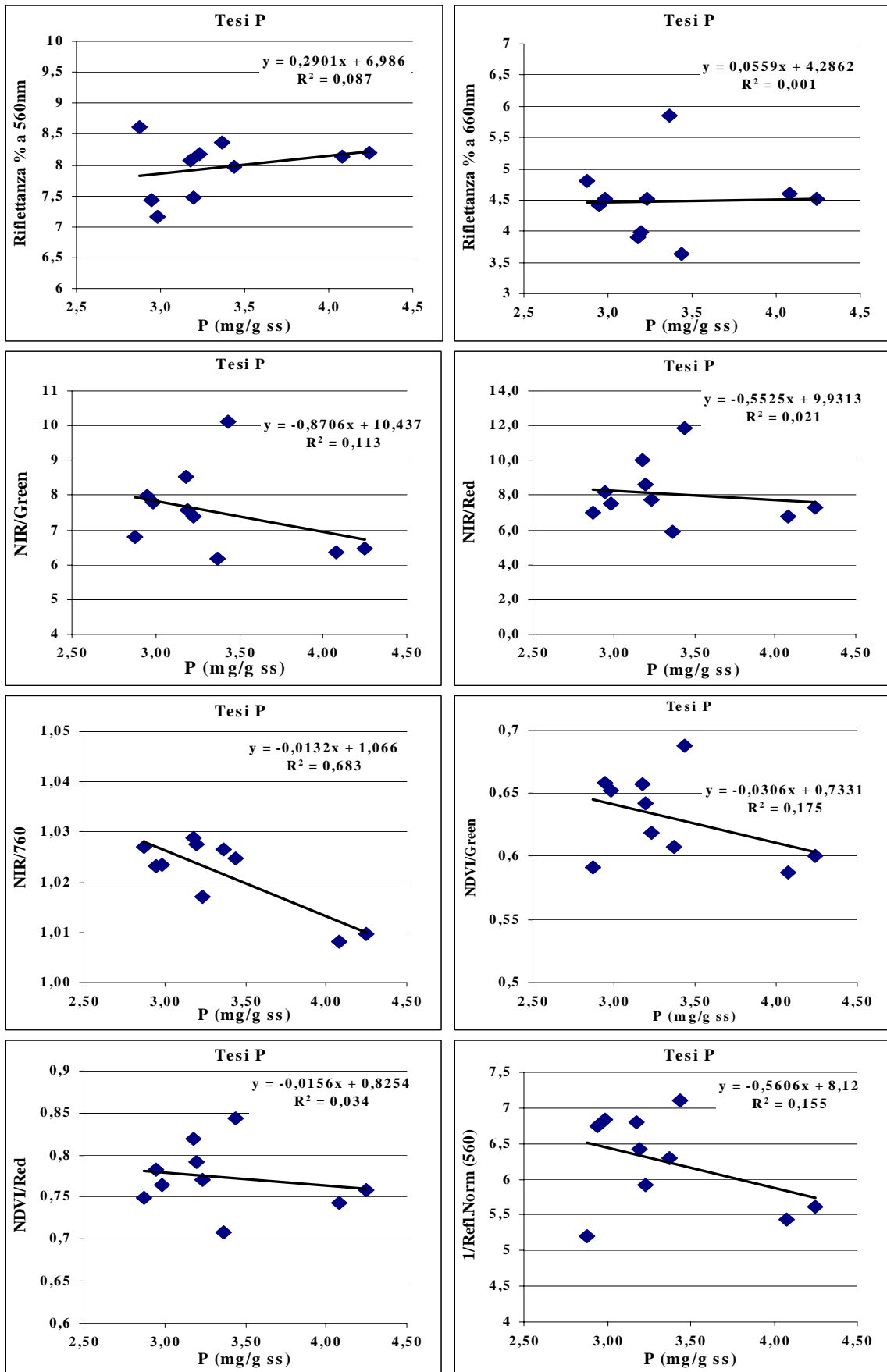


Fig. 100 Andamento degli indici relativi alle tesi P in funzione del contenuto di fosforo

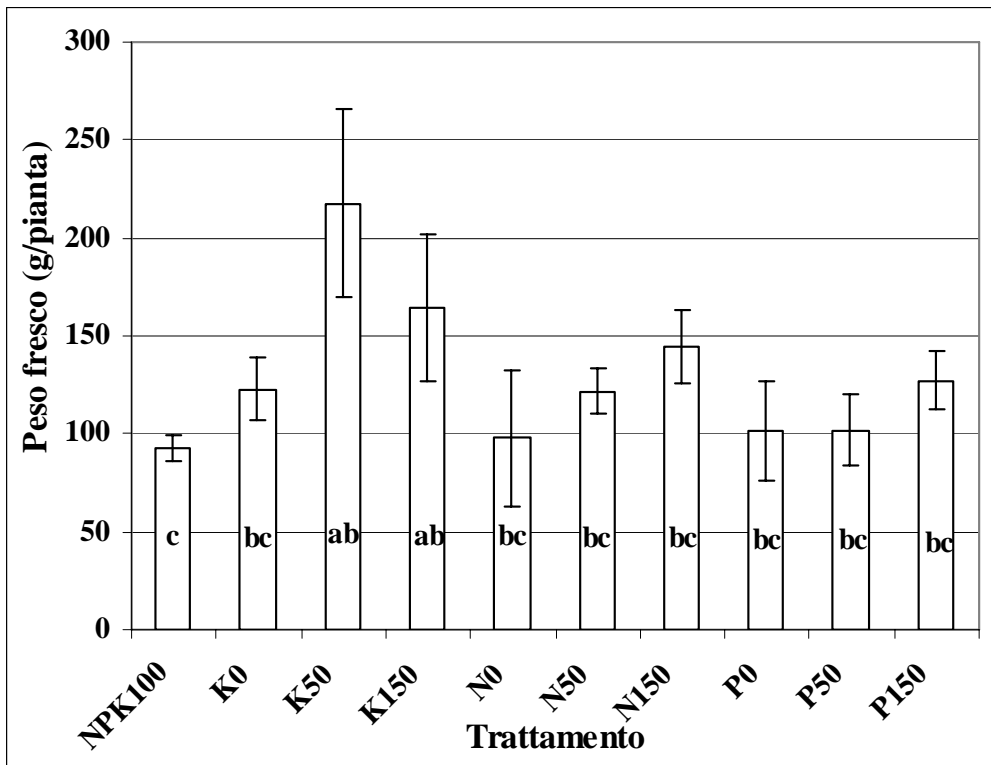


Fig. 101 Effetto del trattamento sul peso fresco

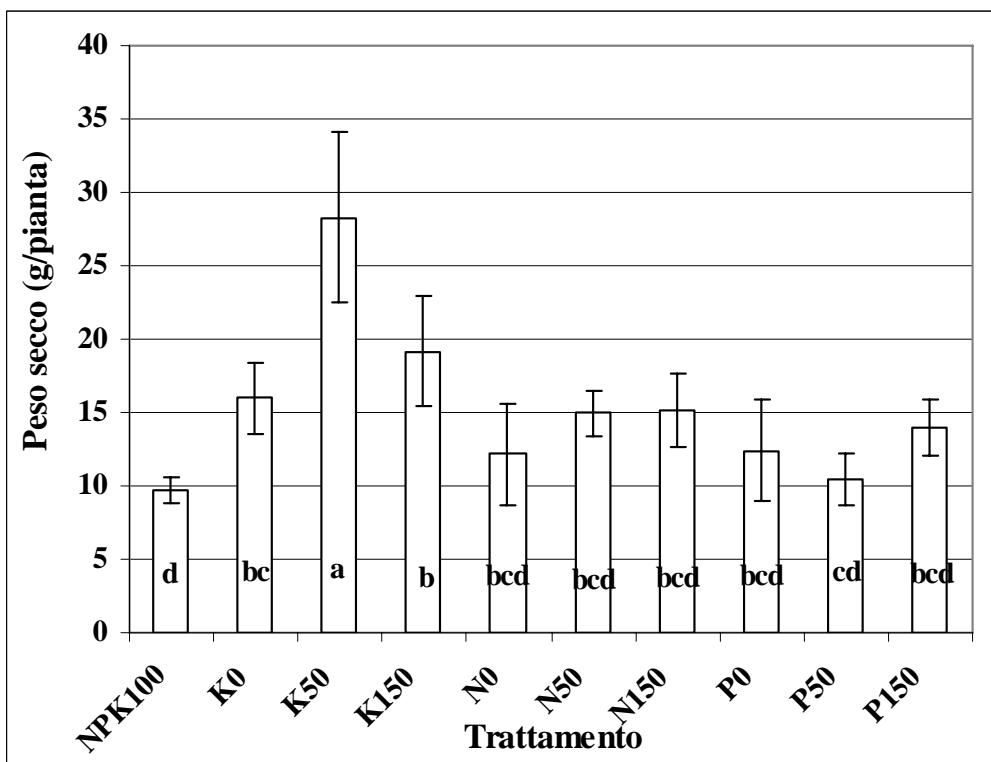


Fig. 102 Effetto del trattamento sul peso secco

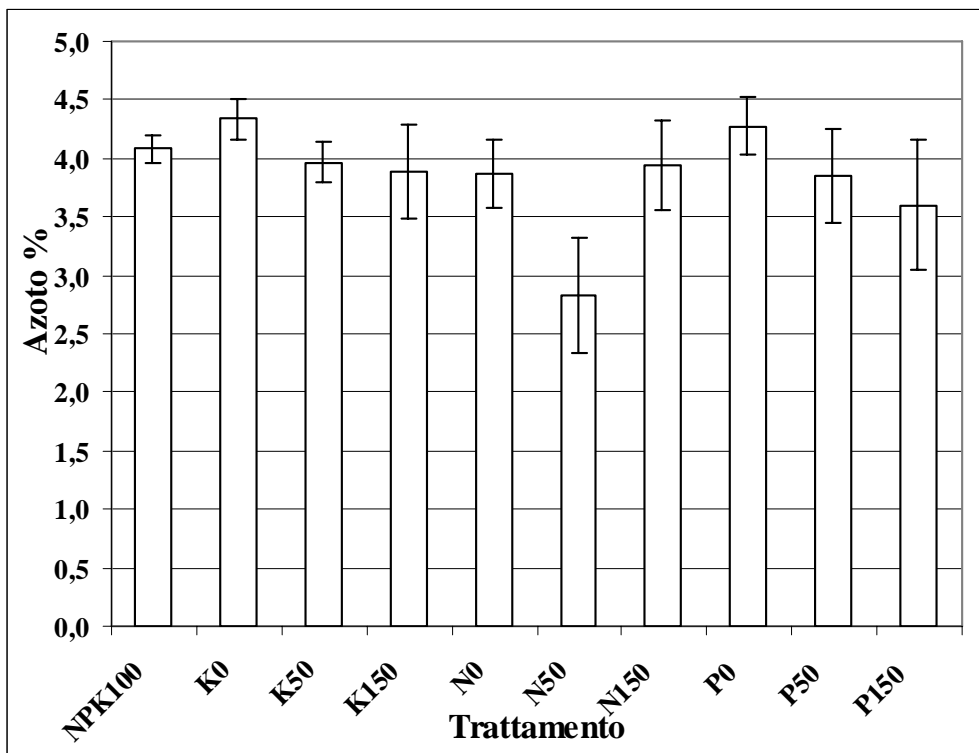


Fig. 103 Effetto del trattamento sul contenuto di Azoto (diff. Stat. ns.)

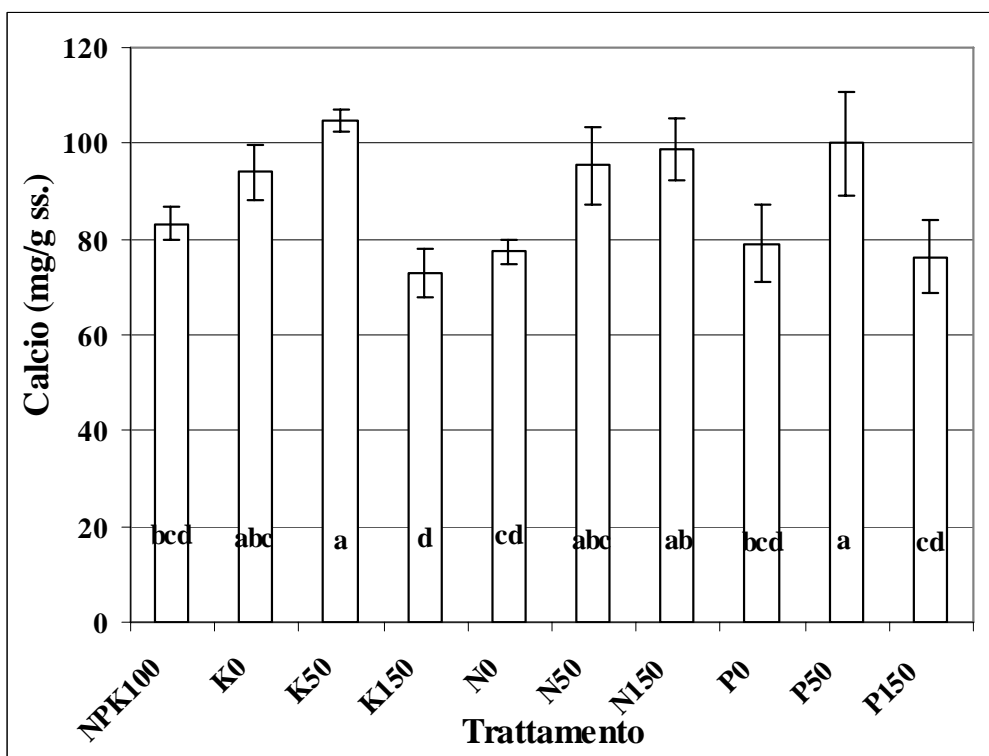


Fig. 104 Effetto del trattamento sul contenuto di calcio (*)

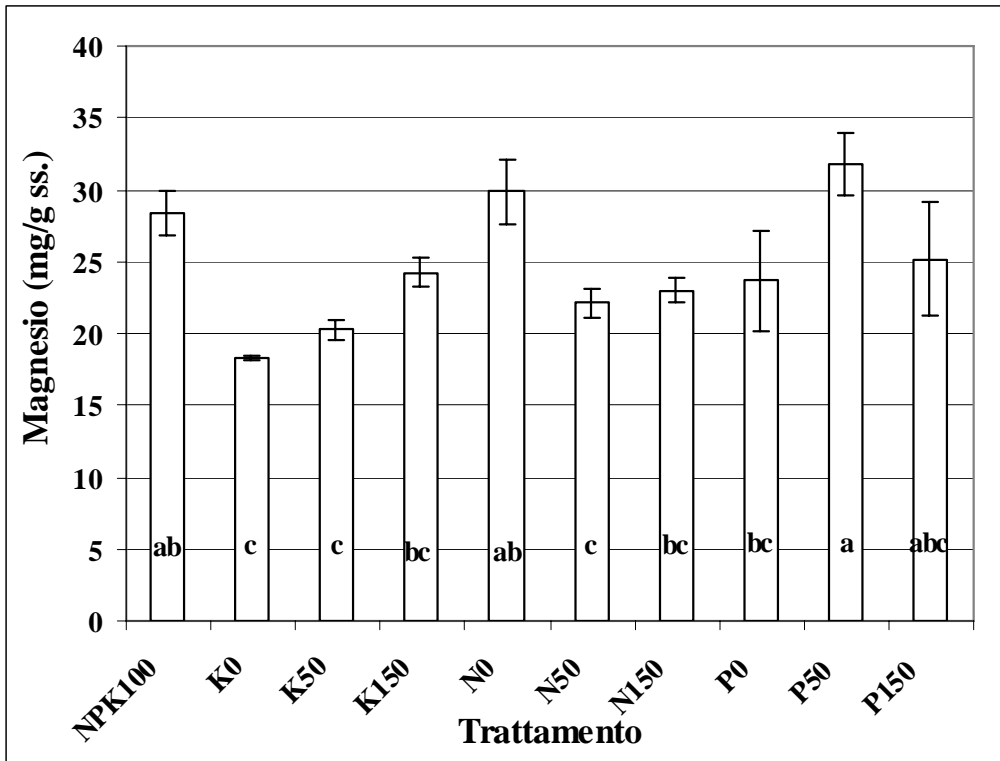


Fig. 105 Effetto del trattamento sul contenuto di magnesio (**)

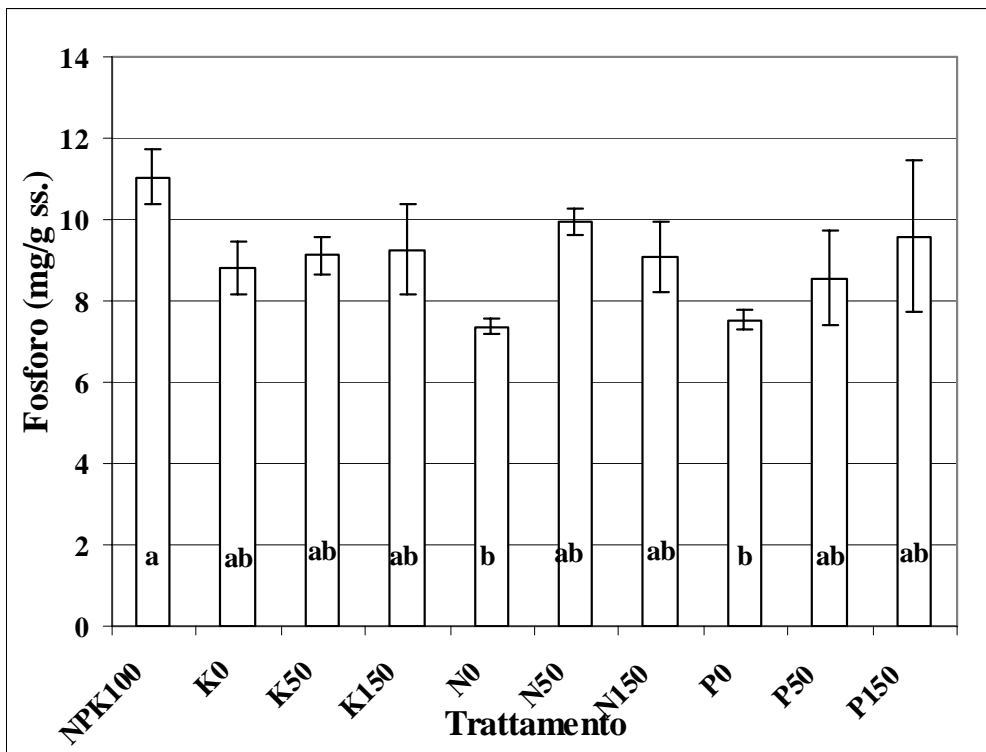


Fig. 106 Effetto del trattamento sul contenuto di fosforo (ns)

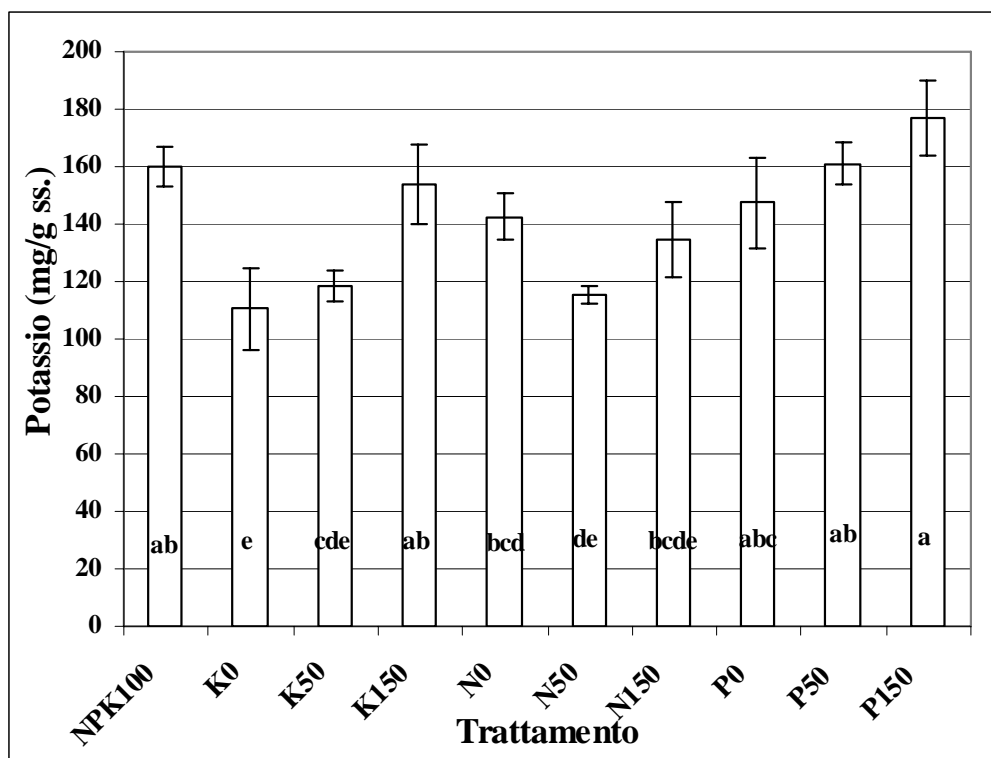


Fig. 107 Effetto del trattamento sul contenuto di potassio (***)

Tesi	Calcio mg/g ss	Err.st	Magnesio mg/g ss	Err.st	Fosforo mg/g ss	Err.st	Potassio mg/g ss	Err.st
NPK100	83,3	3,4	28,4	1,5	11,0	0,7	160,2	7,0
K0	93,9	5,9	18,3	0,2	8,8	0,6	110,4	14,2
K50	104,7	2,2	20,3	0,7	9,1	0,5	118,4	5,7
K150	73,0	5,1	24,2	1,0	9,3	1,1	154,0	13,9
N0	77,4	2,5	29,9	2,2	7,4	0,2	142,7	7,8
N50	95,3	8,1	22,1	1,0	10,0	0,3	115,4	3,2
N150	98,8	6,3	23,0	0,9	9,1	0,9	134,8	13,2
P0	79,1	8,1	23,7	3,4	7,5	0,2	147,6	15,7
P50	99,9	10,8	31,8	2,2	8,6	1,2	161,0	7,3
P150	76,4	7,6	25,2	3,9	9,6	1,9	177,1	13,1

Fig. 108 Effetto del trattamento sul contenuto di elementi

APPENDICE

.. DETERMINAZIONE DEL PESO MEDIO

La determinazione del peso medio è stata ricavata dal peso di 30 frutti raccolti da ogni singola tesi.

.. DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO IN SOSTANZA SECCA

La sostanza secca è stata ricavata ponendo in stufa a 75° per 10 giorni, 1000 g di bacche oppure di biomassa vegetale, e determinando alla fine di ogni intervento, il peso secco.

.. DETERMINAZIONE DEL GRADO BRUX

Per determinare il °Brix sono stati spremuti cinque frutti commerciali per ogni campione di bacche e dal loro succo sono state prelevate alcune gocce che, poste su un rifrattometro, hanno evidenziato i valori medi di ogni tesi.

.. DETERMINAZIONE DEL PH E DELLA CONDUCIBILITA' ELETTRICA

La determinazione del pH e della conducibilità delle bacche è stata eseguita prelevando 10 cc di succo da 10 bacche commerciali. Su questa porzione liquida sono stati eseguite le determinazioni di pH e di conducibilità elettrica, utilizzando un misuratore portatile multiparametro "Hanna Instruments - HI 9811".

Il misuratore è uno strumento versatile e completo che consente di eseguire la misura di pH, CE e TDS (solidi totali disciolti). La scala di misura varia, per il pH da 0.0 a 14.0, per la CE da 0 a 6.00 mS e per i TDS da 0 a 3.00 g l⁻¹. La risoluzione è di 0.1 per il pH, 0.01 per la Ce e 0.01 per i TDS.

.. ANALISI DEI NITRATI SU TESSUTI VEGETALI

I nitrati sono stati determinati prelevando alcuni campioni per ogni singola, tesi durante oppure dopo la coltivazione. La procedura di determinazione dei nitrati (*Cataldo et al. 1975*), prevede:

1. preparazione dei campioni da analizzare;

2. preparazione delle soluzioni;
3. preparazione della curva di taratura;
4. lettura allo spettrofotometro.

La preparazione dei campioni prevede:

- l'essiccazione in stufa a 75°C per 10 giorni, e la macinatura fine del materiale in esame per ottenere una miscela omogenea;
- pesatura di 0,2 g di campione e aggiunta di 50 ml d'acqua distillata in beute da 250 ml;
- bollitura del campione per 30 minuti con l'aggiunta d'acqua distillata, all'occorrenza, in modo da non far seccare il campione;
- filtraggio dei campioni in cilindri graduati da 50 ml, con carta da filtro "Schleicher" (diam. 125), recuperando il campione con alcuni lavaggi d'acqua distillata, riportando il filtrato ai 50 ml originari;
- prelevamento di 20-30 ml di campione filtrato e conservazione in frigo in modo da proseguire con la successiva fase.

La seconda fase prevede, per tutti i campioni, la preparazione delle soluzioni "campione" e "bianco", seguendo la procedura seguente:

- prelevamento di 0,2 ml di campione estratto e riporlo in una provetta "campione" e altri 0,2 ml da destinare alla provetta "bianco";
- aggiunta di 0,8 ml d'acido salicilico, al 5% d'acido solforico, nella provetta "campione" e 0,8 ml d'acido solforico concentrato nella provetta "bianco";
- utilizzo del Vortex, per agitare e quindi permettere la reazione tra gli acidi e l'estratto di campione. In questa fase la soluzione assume una colorazione più o meno intensa in funzione al contenuto in nitrati;

- aggiunta di 19 ml di soda (NaOH 2N) in tutte le provette, arrivando a un volume complessivo di 20 ml;
- utilizzo del Vortex per agitare;
- posizionamento in frigo per almeno 2 ore.

Il colore sviluppatosi, essendo stabile per 48 ore, permette di eseguire la lettura allo spettrofotometro entro tale periodo.

La terza fase prevede la costituzione di una retta di taratura, sempre in doppio, con soluzioni a concentrazione nota (0-2,5-5-7,5-10-15-20-50-100 ppm di N-NO₃), per relazionare i valori ottenuti dalla lettura delle concentrazioni note con quelle dei nostri campioni da analizzare:

- preparazione della provetta “0” con acqua distillata sia per la provetta “campione” che “bianco”;
- prelevamento di 0,2 ml di soluzione a concentrazione nota costituendo “campioni” e altri 0,2 ml per il “bianco”;
- aggiunta 0,8 ml d’acido salicilico al 5% d’acido solforico alla provetta “campione” e 0,8 ml d’acido solforico concentrato alla provetta “bianco”;
- miscelazione con Vortex e attesa per 20 minuti per permettere la reazione;
- aggiunta di 19 ml di soda (NaOH al 2N) a tutte le provette, arrivando ad un volume totale di 20 ml;
- miscelazione con Vortex e riposo per almeno 2 ore.

L’ultima fase prevede la lettura con lo spettrofotometro utilizzando a lunghezza d’onda di 410 nm, precedendo la lettura della provetta “campione” da quella del “bianco”.

Per la determinazione della concentrazione di nitrati si è applicata la formula:

$$[\text{NO}_3^-] = ([\text{N-NO}_3^-] \times 50 / 0,20) \times 4,428$$

dove:

50 = cc di soluzione estratta;

0,20 = peso in grammi del campione secco analizzato;

4,428 = coefficiente stechiometrico.

.. ANALISI DELL'AZOTO ORGANICO SU TESSUTI VEGETALI

Per questo tipo d'analisi è stato seguito il metodo ufficiale "Kjeldhal-Ulsh", utilizzando strumento "Kjeltec" della Tecator PBI.

Dal campione preventivamente essiccato, sono stati prelevati, previa pesatura con bilancia di precisione, 0,5 g, ai quali sono stati aggiunti 15 ml di acido solforico e 2,5 g di catalizzatore (solfato di potassio e di selenio).

Il tutto è stato posto a digerire a 450 °C per 60 minuti, e, dopo essere stato diluito e lasciato raffreddare, si è determinato il contenuto in azoto organico con il Kjeltec.

Per esprimere il risultato in percentuale di azoto organico sulla sostanza secca è stata applicata la seguente formula:

$$\% N = (\text{letture} / \text{peso}) (100\% \text{ s.s.})$$

.. PREPARAZIONE DEI CAMPIONI E CALCOLO DEL CONTENUTO IN CENERI, SOSTANZA ORGANICA E ANALISI ICP

Per effettuare le analisi con ICP al plasma si parte prelevando un campione essiccato di materiale da analizzare.

Per arrivare ad avere le ceneri si impiega una procedura che coinvolge la rimozione della frazione organica tramite combustione del campione a temperature tra i 375°C e i 600°C. In realtà, per

evitare l'inconveniente di generare l'accendersi di fiamme all'interno della muffola, il campione viene preventivamente bruciato su un fornello che porta la temperatura a 400°C. Solo successivamente viene posto a terminare la combustione in muffola dove trascorre 5 ore a 550°C. Il contenuto di Sostanza Organica viene calcolato come complemento a 100 del contenuto di ceneri presenti nel materiale analizzato, stimato per perdita a fuoco in muffola.

Le ceneri ottenute con il trattamento di combustione sono state utilizzate per effettuare successivamente le analisi con ICP (spettrometro di massa al plasma) e rilevare presenza e quantità di alcuni elementi: Ca, K, P, Si, Mg, Mn, Fe e Cu.

Le ceneri all'interno del crogiolo sono state sciolte in 5 ml di HCl ultra puro e lasciate digerire per un'ora e mezza. Successivamente sono stati aggiunti 20 ml di acqua distillata due volte e il tutto posto a decantare in una provetta per eliminare residui in sospensione. Dopo 48 ore, è stato prelevato il surnatante e versato in una nuova provetta sul cui contenuto sarà effettuata l'analisi con ICP.

Per la determinazione del contenuto di elementi minerali è stato utilizzato lo spettrofotometro ad emissione "ICP" SPECTRO CIROS^{CCD} (SPECTRO Italia S.r.l., Lainate, Milano), gestito dal Dip. di Biotecnologie Agrarie e collocato presso il Dip. di Agronomia Ambientale e Produzioni Vegetali.

.. ANALISI STATISTICA DEI DATI

Tutti i dati raccolti sono stati elaborati utilizzando il programma statistico "Cohort" compiendo analisi delle medie (ANOVA), delle correlazione e delle regressioni lineari e polinomiali.

.. DETERMINAZIONE DEGLI INDICI UTILIZZATI

Gli indici sono stati calcolati secondo le formule riportate:

$$\text{NIR}/460 = R_{810}/R_{460}$$

$$\text{NIR}/510 = R_{810}/R_{510}$$

$$\text{NIR}/560 = R_{810}/R_{560} \text{ (NIR/Green)}$$

$$\text{NIR}/610 = R_{810}/R_{610}$$

$$\text{NIR}/660 = R_{810}/R_{660} \text{ (NIR/Red)}$$

$$\text{NIR}/710 = R_{810}/R_{710}$$

$$\text{NIR}/760 = R_{810}/R_{760}$$

$$\text{NDVI-R} = (R_{810} - R_{660}) / (R_{810} + R_{660})$$

$$\text{NDVI-G} = (R_{810} - R_{560}) / (R_{810} + R_{560})$$

$$\text{MCARI} = [(R_{710} - R_{660}) - 0,2 (R_{710} - R_{560}) * (R_{710} / R_{660})].$$

$$1/\text{Ref. Norm} = 1/(R((\lambda) - R(\text{UV}))/R(\text{NIR})) \text{ Lai e Tompetrini (2005) modificato}$$

Dove:

λ = lunghezza d'onda considerata

R(UV) = Riflettanza a 460nm

R(NIR) = Riflettanza a 810nm

.. Preparazione delle soluzioni nutritive

La preparazione della soluzione nutritiva completa è stata effettuata seguendo le indicazioni riportate da Enzo et al (2001)

Nelle soluzioni nutritive carenti di uno dei macroelementi non sono state apportate le corrispondenti quantità e sono stati utilizzati altri tipi di fertilizzanti per poter comunque bilanciare gli altri elementi secondo lo schema riportato

	N totale mM/L	P totale mML	K totale mM/L
Completa	18,1	1,5	5,9
Senza N	0,0	1,5	6,0
Senza P	17,8	0,0	5,8
Senza K	18,0	1,5	0,0
N 50	5,6	1,5	5,9
N150	27,0	1,5	5,9
P50	18,1	0,8	5,9
P150	18,1	3,0	5,9
K50	18,1	1,5	3,0
K150	18,1	1,5	9,0

Ringraziamenti

Desidero ringraziare in modo particolare i miei genitori che mi hanno sostenuto nelle scelte e durante questi anni di studio, accettando la lontananza, ma gioendo con me per ogni traguardo raggiunto.

I Nonni che mi hanno tenuto compagnia con le loro continue telefonate.

Il Prof. Paolo Sambo per la disponibilità, ed il supporto didattico che mi ha permesso di crescere culturalmente e professionalmente, per essere stato sì un supervisore ma soprattutto un ottimo amico.

Il Dott Zanin (Paolino) per l'aiuto durante i periodi più caldi della ricerca e per avermi insegnato le tecniche di laboratorio; Franco per aver condiviso con me giorni di duro lavoro prendendo sempre tutto con molta allegria e per avermi insegnato che non si può pretendere imparare lo spagnolo da un cileno. Anna che rallegra con i suoi sorrisi le mie giornate.....

Il gruppo di Orticoltura tutto, per avermi fatto sentire a casa.....