



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI AGRARIA

DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA AMBIENTALE E PRODUZIONI VEGETALI

TESI DI LAUREA IN SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

**Melissa officinalis (L.): proposta di un modello
di accrescimento semplificato**

Relatore:

Prof. STEFANO BONA

Correlatori:

Dr. CARLO NICOLETTO

Dr.ssa SILVIA SANTAGATA

Laureando:

FRANCESCO LAIN

Matricola n. 571827-TG

Anno Accademico 2011-2012

*Ai miei genitori e a quanti mi
hanno insegnato il valore
dell'impegno. A Giada.*

Indice

Riassunto.....	3
1. Introduzione.....	5
1.1. Inquadramento botanico e biologico.....	5
1.2. Esigenze ecologiche.....	6
1.3. Principi attivi e utilizzazione.....	7
1.4. Gestione colturale.....	7
1.5. Avversità.....	9
1.6. Raccolta e resa.....	10
1.7. Essiccazione e conservazione.....	11
2. Scopo.....	13
3. Materiali e Metodi.....	15
3.1. Studi su <i>Melissa officinalis</i> L.	15
3.2. Prova “Modello di crescita su <i>Melissa officinalis</i> L.”.....	15
3.2.1. Descrizione della prova.....	15
3.2.2. Modalità di prelievo.....	16
3.2.3. Dati meteorologici.....	16
3.2.4. Analisi statistica.....	17
3.3. Prova “Intensificazione colturale di <i>Melissa officinalis</i> L.”.....	17
3.3.1. Descrizione della prova.....	17
3.3.2. Modalità di prelievo.....	20
3.3.3. Analisi statistica.....	20
4. Risultati.....	21
4.1. Prova “Modello di crescita su <i>Melissa officinalis</i> L.”.....	21
4.1.1. Fase di campagna.....	21
4.2. Prova “Intensificazione colturale di <i>Melissa officinalis</i> L.”.....	26
4.2.1. Fase di campagna.....	26
4.3. Adattamento del modello ai dati sperimentali.....	36
5. Conclusioni.....	55
Bibliografia.....	57

Riassunto

Una coltivazione di *Melissa officinalis* L. è stata analizzata con lo scopo di costruire un modello semplificato di crescita basato sui dati raccolti in diversi momenti della gestione colturale. Si è quindi ottenuto un modello che stima la produttività (biomassa totale e foglie) in relazione alla somma termica e alla radiazione intercettata. Il modello è stato successivamente tarato sui dati ottenuti da una coltivazione quadriennale condotta con diverse tecniche colturali. I fattori colturali presi in esame sono stati il sesto d'impianto (3 e 5 piante*m⁻²), la gestione dei tagli (normale e intensiva) e la fertilizzazione (alta e bassa). Sono stati ottenuti in questo modo diversi sotto-modelli, uno per ogni tesi. In fine sono stati confrontati gli indici di correlazione tra i valori stimati e quelli osservati per valutare la precisione del modello e si è analizzato il contributo differenziato dei diversi fattori colturali sulla produttività.

1. Introduzione

1.1. *Inquadramento botanico e biologico*

La *Melissa officinalis* L. (Fig. 1.1) è una pianta erbacea perenne della famiglia delle Lamiaceae (Labiatae) originaria dell'area mediterranea, viene coltivata soprattutto in Francia ed Israele ma anche nel resto d'Europa, ove però interessa superfici molto limitate (Catizone et al, 1986). In Italia si può trovare spontanea in ambienti con altitudine compresa tra 0 e 1000 m s.l.m. anche se si è visto che all'aumentare della quota diminuisce il rendimento in olio essenziale (Leporatti, 1997).

I dati I.S.A.F.A del 2001 riportano una superficie di circa 40 ha di suolo italiano destinato alla coltivazione della melissa ma si sono avuti ulteriori aumenti negli ultimi anni. Viene coltivata in Piemonte, Toscana, Lombardia, Marche e vi sono modeste coltivazioni anche in altre regioni.

Il nome "melissa" deriva dal greco *melissa* che si traduce come "ape" ed è stato attribuito a questa specie per la preferenza delle api a visitare i suoi fiori, da cui si ottiene un ottimo miele. La pianta emana un gradevole profumo di limone, per cui comunemente è chiamata "citronella" o "erba bergamotta". Il genere *Melissa* comprende tre specie, ma solo la *M.officinalis* è coltivata per le sue particolari caratteristiche organolettiche (Marzi e De Mastro, 2008).

La pianta ha un portamento a fusti eretti, ramificati e quadrangolari, alti da 50 a 90 cm. L'apparato radicale è provvisto di un breve ed esile rizoma debolmente ramificato. Le foglie sono opposte, di media grandezza, picciolate, ovali ma a volte cuoriformi, a margine dentato, pubescenti, ricche di peli secretori, lunghe 6-8 cm e larghe 3-4 cm. I fiori sono raccolti in verticilli compatti portati all'ascella delle foglie. Il calice è campanulato con labbro superiore a tre denti e inferiore a due. La corolla, dapprima giallastra, poi bianca o maculata di rosa, è bilabiata con il labbro superiore smarginato e l'inferiore trifido. Fiorisce dall'inizio dell'estate fino ad Agosto. Il frutto è un tetrachenio costituito da 4 cocci oblunghi e carenati nella faccia interna. Il peso di mille semi è di 0,5-0,6 g (Catizone et al, 1986).



Figura 1.1: *Melissa officinalis*.

1.2. *Esigenze ecologiche*

La melissa preferisce i terreni ricchi di elementi nutritivi e di sostanza organica, freschi, di medio impasto, permeabili, ben drenati, all'occorrenza irrigabili e soleggiati; in quest'ultimo caso l'esposizione solare non deve essere eccessiva per non pregiudicare la sintesi dei principi attivi volatili. Suoli troppo umidi e pesanti sono sfavorevoli alla sua coltivazione perchè possono causare fenomeni di clorosi. E' abbastanza resistente al freddo ed essendo una pianta termofila germina tra i 18 e i 30°C e arresta la germinazione a 5°C (Parco Informa, 2002).

1.3. Principi attivi e utilizzazione

I principi attivi sono presenti nelle foglie e nelle *sommità fiorite*, per la presenza di peli ghiandolari. Il tempo balsamico si colloca a Giugno-Agosto, in piena fioritura. Il contenuto in olio essenziale è piuttosto basso, dallo 0,02 allo 0,20%. L'essenza è incolore o leggermente gialla con un profumo che ricorda il limone. Contiene soprattutto geraniale (citrale a) e nerale (citrale b); il primo rappresenta, secondo i dati ottenuti in Francia, il 35-40% dell'essenza, l'altro il 30-35%. Altre sostanze attive sono: cariofillene (8-10%), geraniolo (2-3%), citronellolo (2-3%), linalolo (1-2%), nerolo (1-2%), geranile (2-4%). Cariofillene e geranile sono i due principi attivi che più degli altri risentono negativamente dell'epoca di raccolta ritardata. La quantità di essenza è maggiore nelle foglie basali che in quelle apicali (intermedia in quelle centrali) e nel raccolto di Luglio rispetto a quello di fine estate, anche 20-25% in più (Catizone et al, 1986).

La melissa trova numerosi settori d'impiego. Può essere usata come droga tal quale nell'uso estemporaneo, come estratto, tintura e olio essenziale. Nella tradizione popolare è molto nota per la sua azione sedativa, spasmolitica e carminativa. Viene pertanto utilizzata nei disturbi gastrointestinali di origine nervosa, per disturbi cardiaci psicovegetativi e per emicranie. Le foglie essiccate si utilizzano in diversi fitocomplessi per la preparazione di tisane. Viene anche utilizzata per aromatizzare il tabacco da pipa. Nell'industria liquoristica è impiegata nei prodotti aromatici del Vermouth e di diversi amari stomachici, quale la famosa "Acqua di melissa" dei Carmelitani. Nel settore cosmetico interessa diversi prodotti di profumeria e fu uno dei principali componenti dell'Acqua di Colonia. Nei bagni, nei tonici svolge una gradevole azione lenitiva e rinfrescante. A causa del basso rendimento di olio essenziale, quest'ultimo può essere mischiato con quello di *Cymbopogon* (melissa indiana), che ha in comune il citrale in percentuale più alta, ottenendo lo *Spiritus melissae compositus*. Come ulteriore surrogato, si utilizza distillare la melissa con essenza di limone (Marzi e De Mastro, 2008). La melissa è anche una buona specie mellifera

1.4. Gestione colturale

La coltura della melissa, specie poliennale, se ben condotta ha una durata di 4-5 anni, oltre tale limite la resa diminuisce, aumenta la sensibilità al freddo e le foglie prodotte hanno dimensioni ridotte e sono meno pregiate. Può considerarsi una coltura da rinnovo, nella rotazione segue una coltura sarchiata o un prato avvantaggiandosi dell'eventuale apporto di azoto da parte delle leguminose (Parco Informa, 2002).

Prima dell'impianto si consiglia un'aratura profonda (40-45 cm), preceduta dall'eventuale apporto di concime organico. In alternativa si può eseguire una ripuntatura seguita da una aratura superficiale. Il suolo al termine delle lavorazioni deve risultare ben livellato, drenato e non troppo soffice per consentire il corretto sviluppo delle piantine e per agevolare le operazioni di taglio e raccolta.

La propagazione della melissa avviene principalmente mediante seme. Esiste la possibilità di riprodurre la pianta per via agamica, impiegando rizomi o piantine ottenute per divisione del cespo di piante provenienti da una vecchia coltura da estirpare, ma essendo una pratica operativamente lunga, è consigliabile solo per appezzamenti di dimensioni ridotte. Si può effettuare la semina diretta con 4-5 kg/ha di seme ma anche questa è una pratica sconsigliata per l'elevato costo dei semi associato alla loro bassa germinabilità (35-50%). Inoltre i primi stadi di sviluppo sono piuttosto lenti e perciò le piantine sono più sensibili alla competizione di malerbe. La semina diretta si esegue in Marzo-Aprile o, eventualmente a Luglio-Agosto procedendo, in questo caso, con interventi irrigui costanti e moderati fino allo sviluppo delle piante. Può essere eseguita a macchina con seminatrici per semi minuti. Il seme cadendo ravvicinato e in abbondanza, originerà spesso una quantità eccessiva di piantine sulla fila, che dovranno essere diradate. Le piantine eliminate col diradamento potrebbero servire per fare nuove parcelle (Nimis, 2006). Largamente più diffusa e consigliabile è la semina in semenzaio e successivo trapianto. Vengono allestiti dei semenzai riscaldati, al buio, alla fine di Febbraio-metà Marzo, adottando una temperatura di 20-25 °C per le prime tre settimane e di 15°C nei giorni successivi. Se non si dispone di letti riscaldati, si semina nel periodo di Marzo-Aprile. Occorrono 2-3 g di seme per m² di semenzaio dai quali si ottengono circa 400 unità. Il trapianto si effettua in Maggio per i semenzai allestiti a fine inverno ed a fine estate per quelli predisposti in Marzo-Aprile mentre per gli ambienti più freddi, nella primavera successiva (Parco Informa, 2002).

Per la densità d'impianto in colture di melissa destinata alla produzione di foglia per uso erboristico e per la produzione del seme, le piantine sono poste a distanza di 60-75 cm fra le fila e di 20-30 cm circa lungo la fila. Per un prodotto destinato alla distillazione sono invece proposte forme di investimento maggiore, con piante distanziate fra le fila 40-50 cm (Nimis, 2006; Veneto Agricoltura, 2008; Marzi e De Mastro, 2008). Questo perchè essendo le foglie basali più ricche in olio essenziale rispetto quelle apicali (anche del 50%) con una simile densità, in un primo tempo vi sarà una riduzione dello sviluppo delle stesse, ma con l'applicazione di un maggior numero di sfalci ne sarà aumentato il numero complessivo (Nimis, 2006). Una densità elevata d'impianto può anche favorire una miglior competizione sulle malerbe, aspetto importante vista l'assenza di prodotti erbicidi registrati per le officinali e le pratiche applicabili a questa coltivazione.

Nella fase di preparazione del terreno è consigliabile effettuare una concimazione letamica (300 q/ha) ed una concimazione minerale di fondo con 100-120 kg/ha di P₂O₅ e 100-120 kg/ha di K₂O (Marzi e De Mastro, 2008). L'azoto deve essere poi distribuito annualmente in modo frazionato dopo i tagli e per stimolare la ripresa vegetativa in primavera somministrando alla coltura un totale di 100-130 kg/ha. Per il fosforo e il potassio non si dispone di informazioni circa la convenienza di ripetere la concimazione durante il ciclo della coltura; tuttavia, data la lunga durata dell'impianto,

ulteriori apporti potrebbero risultare utili (Catizone et al, 1986). Per la produzione di olio essenziale, un miglioramento è ottenibile con consistenti apporti di zolfo. E' necessario un apporto di azoto (in forma di nitrato) dopo il primo sfalcio a partire dal secondo anno di vegetazione, in dosi di 30 kg (Veneto Agricoltura, 2008).

Nel corso della coltivazione, il controllo delle infestanti è opportuno effettuarlo con sarchiature nell'interfila e scerbature sulla fila. Questi interventi dovranno essere eseguiti con maggior frequenza nei primi anni di coltivazione fino a quando le piante non avranno raggiunto uno sviluppo tale da chiudere le interfile. Normalmente sono necessari almeno 3-4 interventi l'anno con l'obiettivo ad avere il minor quantitativo d'infestanti possibile al momento degli sfalci, soprattutto se la raccolta è meccanica. È necessaria una sarchiatura dopo ogni taglio per ripulire il terreno ed interrare l'eventuale concime distribuito in precedenza. La lavorazione non deve essere troppo profonda per evitare di scalzare le piante che hanno un apparato radicale superficiale. Può anche essere effettuata una pacciamatura praticata utilizzando fogliame, cortecce, paglia o strame (Parco Informa, 2002). Secondo uno studio condotto dall'università Federale di Sergipe (Sao Cristovao, Brasile), pacciamando la coltura si possono avere risparmi per quanto riguarda gli interventi di sarchiatura e, inoltre si può diminuire la percentuale di parassiti che possono infestare la coltura, aumentandone la produttività (Mendonça et al., 2003). È conveniente inoltre procedere con una rincalzatura per proteggere le piantine dal freddo e per aiutarne il ricaccio (Agrosarda, 2002).

Dopo il trapianto in estate e dopo uno sfalcio risulta utile l'esecuzione di un'irrigazione (20-25 mm). Lo sviluppo della biomassa verde (le dimensioni delle foglie e il rapporto foglie/fusti) viene favorito dalla presenza di una falda o di acqua irrigua. L'eccessivo apporto idrico porta alla diminuzione degli olii essenziali e dei principi attivi. Inoltre la grande quantità di acqua presente nei tessuti li rende più deboli e suscettibili ad attacchi fungini; ciò comporta dei problemi sia per la raccolta che per l'essiccazione (Parco Informa, 2002). Si consigliano irrigazioni sopra chioma solamente dopo lo sfalcio e dopo il trapianto. Nei restanti stadi vegetativi è preferibile l'esecuzione di irrigazioni sottochioma, per non favorire lo sviluppo di malattie radicali e fogliari (Beldì ed Accorsi, 2008) e specialmente nel caso in cui si utilizzi acqua proveniente da canali d'irrigazione, che potrebbe inquinare la droga, aumentandone la carica microbica prima della raccolta ed essiccazione.

1.5. Avversità

Diverse sono le avversità di natura parassitaria riscontrate sulla melissa. Foglie e fusti sono danneggiate dalla ruggine (*Puccinia menthae Pers.*), che infesta la coltura a partire dalla primavera con il patogeno che sverna come micelio o come teleutospora nelle vecchie piante portando l'attacco maggiore, con distruzione delle foglie, in estate (Nimis, 2006).

Il "mal bianco" della melissa (*Erysiphe sp.*) copre con una patina bianca e polverulenta foglie ed

infiorescenze causando deformazioni e disseccamento delle piantine (Parco Informa, 2002).

Le foglie inoltre possono essere colpite dalla vaiolatura (*Phleospora melissae* (Desm.) Parisi) che compare alla fine dell'estate arrecando danni alle sommità fiorite; i sintomi sono macchie fogliari piccole, numerose, prima gialle poi brune sulla pagina superiore. Le foglie colpite prima si decolorano poi si accartocciano e quindi si seccano cadendo a terra.

La *Septoria melissae* Desm. si manifesta con un ingiallimento delle foglie che dall'apice si estende fino alla base del lembo. Le foglie in breve tempo disseccano e cadono. Quando l'attacco è forte le piante vanno incontro ad un limitato accrescimento (Nimis, 2006).

Tra gli insetti dannosi sono da tenere presenti due coleotteri (*Cryptocephalus ocellatus* Drap., e *Cassida viridis* L.) che erodono le foglie e un coleottero (*Oecanthus pelucens* Scop.) che vive a carico delle foglie e dei fusti (Catizone et al, 1986). In situazioni di clima troppo caldo, si possono verificare attacchi di cicaline e nel caso in cui la melissa non sia costantemente irrigata, si possono manifestare forti attacchi di ragnetto giallo.

1.6. Raccolta e resa

La raccolta della melissa viene eseguita mediante falciatura poco prima della fioritura; intervenendo in ritardo, le caratteristiche organolettiche della coltura peggiorano e le foglie divengono più delicate alla manipolazione (Parco Informa, 2002). Il taglio va eseguito intorno a 8 cm da terra perchè gli organi di ricaccio sono situati nella parte di pianta appena sotto il terreno (Marzi e De Mastro, 2008). Si procede in condizioni di tempo asciutto e soleggiato per non provocare l'annerimento della droga al momento dell'essiccazione. È preferibile entrare in campo a metà mattina, in tal modo, le foglie sono già asciutte ed al tempo stesso la temperatura dell'aria è ancora sufficientemente bassa da limitare le perdite delle frazioni volatili dell'olio essenziale.

Per piccole coltivazioni il taglio può essere fatto con un falchetto. Per superfici più estese possono essere utilizzate le attrezzature per la raccolta dei foraggi. Nel primo anno di impianto, per non indebolire la pianta, si esegue un solo taglio; dal secondo anno in poi si praticano in media due sfalci (uno all'inizio e uno alla fine dell'estate), in condizioni migliori anche tre (Parco Informa, 2002). E' opportuno non effettuare tagli rasi all'avvicinarsi del periodo freddo, onde evitare fallanze per moria delle piante (Marzi e De Mastro, 2008).

La produttività media annua si aggira sui 200-250 q/ha di biomassa verde (il primo anno 100-150 q/ha), il primo taglio fornisce i 2/3 della produzione. Quella di olio essenziale può variare dallo 0,1% allo 0,3% per le foglie, mentre, valutata sull'intera biomassa, risulta pari a 0,03-0,15%, consentendo, una produzione media variabile di 3-8 kg/ha di olio essenziale (Parco Informa, 2002).

Il secondo sfalcio eseguito in Agosto dimostra di contenere una maggiore quantità di olio rispetto al primo sfalcio fatto nel mese di Giugno (Nimis, 2006).

Il rapporto tra le foglie e i fusti oscilla, secondo vari autori, fra 3:1 e 1:1 mentre il calo fresco-secco è di 4:1 (Fernanded-Pola, 2001).

Nella coltura destinata alla produzione di sementi (la mietitrebbiatura va eseguita ad Agosto) la produzione media di seme è di 5 q/ha, con punte di 6,5 q/ha nei terreni particolarmente fertili. La produzione di seme va aumentando dal 1° al 3° anno per stabilizzarsi nei successivi 2-3 anni (Nimis, 2006). A volte la mietitrebbiatura viene praticata l'ultimo anno di coltivazione prima di effettuare l'espianto e si ottengono in genere 3-5 q/ha di semente (Parco Informa, 2002).

1.7. Essiccazione e conservazione

Subito dopo la raccolta la biomassa va inviata rapidamente all'essiccatoio o in distilleria, senza ammassarla o comprimerla per evitare fenomeni di riscaldamento e fermentazione. Le foglie compresse, infatti, diventano particolarmente vulnerabili dopo il taglio, perdendo velocemente acqua e olio essenziale e acquisendo, dopo l'essiccazione, un caratteristico colore che ne determina un deprezzamento. Nel commercio erboristico la melissa è richiesta sottoforma di sommità fiorite o di *foglie monde*. L'essiccazione delle sommità fiorite si effettua in locali freschi e arieggiati, ponendo il prodotto in modo che l'aria circoli facilmente. Per ottenere invece le foglie monde, più ricche in olio essenziale e di maggior purezza, si dovrebbe praticare prima la defogliazione degli steli, e solo successivamente si pongono le foglie su telai ad essiccare. Il grande lavoro richiesto da quest'ultima metodica la rende però una pratica quasi mai seguita, preferendo defogliare successivamente all'essiccazione. Può essere utilizzato anche l'essiccatoio artificiale ($T < 35^{\circ}\text{C}$) in cui l'aria deve circolare liberamente e facilmente. Qualora le foglie presentino, alla fine del processo, una secchezza eccessiva, si può procedere ad una parziale reidratazione facendo circolare solo aria ambiente per 24-48 ore. L'umidità finale del prodotto deve essere pari al 12-14% (Parco Informa, 2002). Per la produzione di olio essenziale, l'estrazione va fatta a partire dal prodotto fresco, il quale viene distillato con il metodo della distillazione in corrente di vapore in modo da ottenere un olio contenente tutti i suoi composti, poichè non privato della frazione volatile che il processo di essiccazione non mantiene.

I prodotti secchi si fanno stagionare in locali asciutti e arieggiati, muovendoli spesso; dopo la stagionatura (che dura in media un mese) si procede all'imballaggio del materiale inumidendolo prima leggermente perché non abbia a polverizzarsi con la compressione. Le sommità si confezionano in *ballette* pressate, le foglie monde in sacchetti denominate tradizionalmente *bisacce* (Morelli *et al.*, 2005).

2. Scopo

Lo scopo della tesi è stato quello di ottenere un modello che permettesse di stimare la produttività della melissa in qualsiasi momento del suo ciclo colturale con l'utilizzo di due semplici parametri meteorologici facilmente reperibili (somma termica e radiazione intercettata). Inoltre si è voluto studiare il contributo differenziato di alcuni fattori colturali (densità di popolamento, dose di azoto e intensità degli sfalci) sulla produttività totale e in foglie, al fine di determinarne la migliore combinazione in termini di resa e qualità del prodotto (rapporto foglie/fusti).

3. Materiali e Metodi

3.1. Studi su *Melissa officinalis* L.

In questo capitolo sono riportati due approcci differenti per lo studio della medesima varietà di melissa, la *Melissa officinalis* della ditta sementiera tedesca Jelitto.

Il primo esperimento denominato “Modello di crescita su *Melissa officinalis* L.” ha avuto come scopo la costruzione di un modello di crescita basato sui dati raccolti durante la stagione colturale 2009 ed è stato tarato e testato sui dati ottenuti dalla seconda prova, denominata “Intensificazione colturale di *Melissa officinalis* L.” di durata quadriennale, la quale ha indagato l’effetto di alcuni fattori colturali sulla resa.

3.2. Prova “Modello di crescita su *Melissa officinalis* L.”

3.3.1. Descrizione della prova

L’esperimento è stato organizzato in tre parcelle con lo scopo di descrivere l’andamento della crescita di melissa in diversi momenti della gestione colturale, nello specifico:

- Parcella A - accrescimento dalla ripresa vegetativa;
- Parcella B - accrescimento dopo il primo sfalcio;
- Parcella C - accrescimento dopo il secondo sfalcio.

La parcella A è stata suddivisa in 15 parcelline (dimensioni pari a 0,75 m x 1 m) ciascuna delle quali è stata campionata ogni sette giorni a partire dal 14 Maggio con lo scopo di studiare l’accrescimento della coltura dalla ripresa vegetativa alla fase di senescenza (Fig. 3.1).

Le parcelle B e C sono state suddivise a loro volta in due sottoparcelle di uguali dimensioni (BX e BY; CX e CY) per studiare l’andamento della coltura dopo il taglio. Ogni sottoparcella è stata suddivisa ulteriormente in sei parcelline (dimensioni pari a 0,75 m x 1 m).

Le sottoparcelle BX e CX sono state campionate settimanalmente per studiare l’accrescimento dopo il primo taglio precoce; la sottoparcella BY e CY sono state campionate rispettivamente dopo il primo ed il secondo taglio tardivo (Fig. 3.1).

$$GDD = \sum \text{giorni}(T_{\text{media}} - T_0)$$

dove:

GDD (Growing degree days) = somma termica

$T_{\text{media}} = (T_{\text{max}} - T_{\text{min}}) / 2$

T_0 = zero di vegetazione

Questo parametro permette di relazionare il comportamento della coltura all'andamento termico e di fare delle previsioni sulla crescita delle piante. In maniera approssimativa è possibile risalire alla durata del ciclo biologico, conoscendo la quantità di gradi utili di temperatura per giorno e il fabbisogno totale richiesto dalla pianta.

3.2.4. Analisi statistica

I dati sono stati analizzati statisticamente. Le medie sono state confrontate tramite il test dell'analisi della varianza con l'ausilio del software Stagrafics XV.II. e le medie sono state separate con il test di Tukey.

3.3. Prova “Intensificazione colturale di *Melissa officinalis* L.”

Generalmente una coltivazione di melissa ha una durata di sette-otto anni nonostante la produttività e la qualità inizino a decrescere tra il terzo e il quarto anno di impianto. Solitamente vengono apportati tra i 50-80 kg/ha di azoto per anno. La resa media in peso secco è di 2.5-4 t/ha durante il secondo anno di impianto. Il rapporto tra le foglie e i fusti è di circa 1:1 (Fernandez-Pola, 2001; Marzi e De Mastro, 2008).

3.3.1 Descrizione della prova

La prova di coltivazione ha valutato l'influenza delle tecniche colturali (densità d'impianto, gestione dei tagli e fertilizzazione) sulla produzione di biomassa (in peso fresco e in peso secco totale, di foglie e di fusti) e sulla durata della coltura (Fig. 3.3).

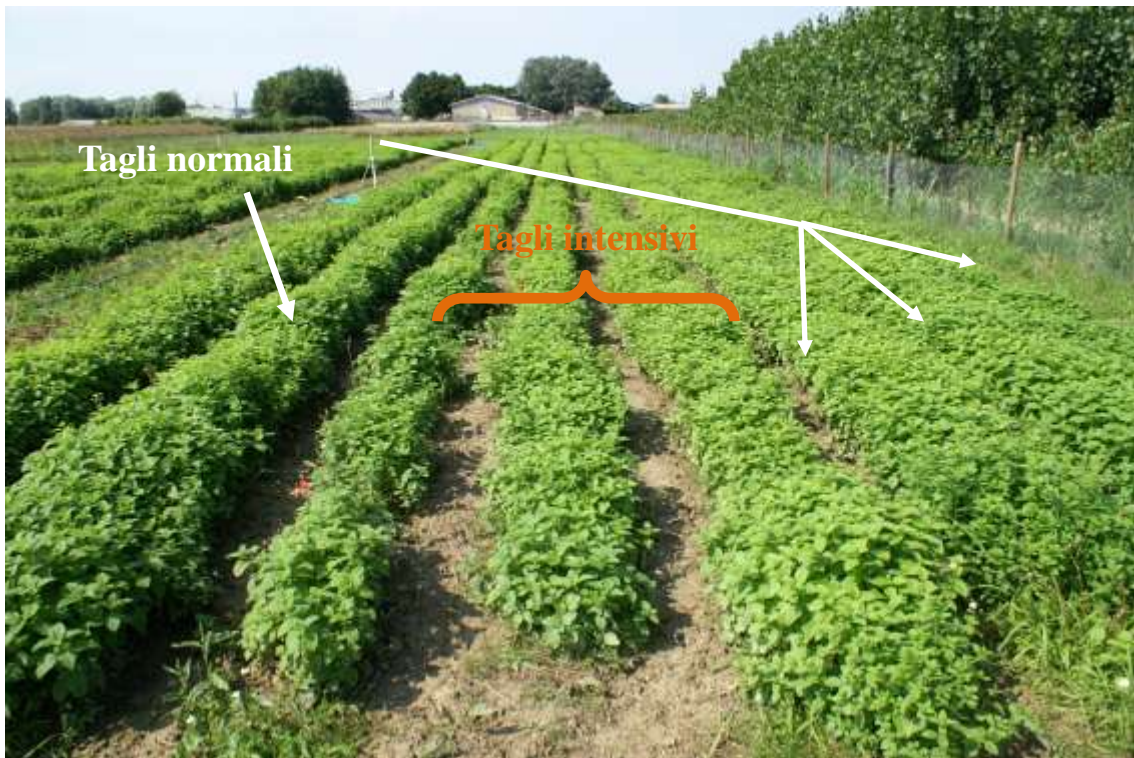


Figura 3.3: *Melissa officinalis*; densità d'impianto di 3 piante/m², Legnaro, 20 giugno 2008. Le tre file centrali sono state sottoposte al trattamento "tagli intensivi", mentre le due file a destra ed a sinistra a "tagli normali".

La prova è stata avviata il 21 giugno 2006 utilizzando piante da seme prodotte nell'Azienda Agraria Sperimentale "L.Toniolo", a Legnaro, costituita da quattro parcelle più i rispettivi blocchi, come evidenziato in figura 3.4:

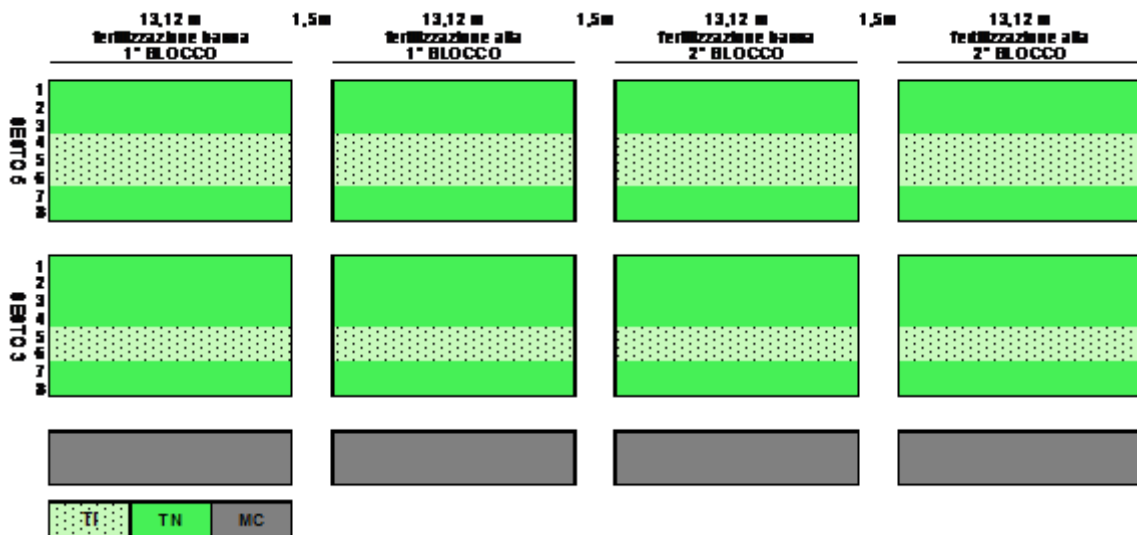


Figura 3.4: Schema di campo della prova di coltivazione di *Melissa officinalis* (TI= gestione dei tagli intensiva; TN=gestione dei tagli normale; MC= parcelle destinate ai prelievi per il modello di crescita).

I fattori allo studio sono stati (Fig. 3.4):

- il sesto d'impianto:
 $3 \text{ (piante} \cdot \text{m}^{-2}) = 75 \text{ cm di interfila} \times 27 \text{ cm sulla fila pari a } 28985 \text{ piante} \cdot \text{ha}^{-1}$;
 $5 \text{ (piante} \cdot \text{m}^{-2}) = 75 \text{ cm} \times 46 \text{ cm pari a } 49382 \text{ piante} \cdot \text{ha}^{-1}$;
- la gestione dei tagli (Tab. 3.1):
 TI= Sfalci Intensivi;
 TN= Sfalci Normali;
- la fertilizzazione (Tab. 3.2):
 Bassa;
 Alta

Tabella 3.1: Numero dei tagli per anno

N° tagli per anno		
	Tagli intensivi	Tagli normali
2006	2	2
2007	4	2
2008	3	3
2009	3	3
Totale	12	10

Tabella 3.2: Unità di N/ha distribuite per anno.

Unità di azoto per anno		
	Fert. bassa	Fert. alta
2006	100	100
2007	53	103
2008	105	128
2009	78	130
Totale	336	460
Media	84	115

		3				5			
		fertilizzazione bassa		fertilizzazione alta		fertilizzazione bassa		fertilizzazione alta	
		tagli int	tagli norm	tagli int	tagli norm	tagli int	tagli norm	tagli int	tagli norm
2006	06/09/2006								
	08/11/2006								
2007	20/04/2007		52 unità di N/ha				52 unità di N/ha		
	27/06/2007								
	30/07/2007				30 unità di N/ha				30 unità di N/ha
	06/08/2007								
	21/09/2007								
2008	21/04/2008		105 unità di N/ha				105 unità di N/ha		
	08/05/2008								
	02/07/2008								
	22/07/2008								
	23/07/2008				23 unità di N/ha				23 unità di N/ha
	15/10/2008								
	23/03/2009	24 unità di N/ha		48 unità di N/ha		24 unità di N/ha		48 unità di N/ha	
2009	14/05/2009								
	29/05/2009								
	23/06/2009		54 unità di N/ha				54 unità di N/ha		
	27/08/2009								
	02/09/2007				28 unità di N/ha				28 unità di N/ha
	03/09/2009								
	16/10/2009								

Figura 3.4: Schema di gestione della prova di coltivazione di *Melissa officinalis* durante gli anni di sperimentazione. Nella prima colonna è stato riportato l'anno di gestione, nella seconda la data del taglio; nella prima riga l'intensità di impianto. Le celle colorate rappresentano i momenti in cui è stato effettuato il taglio.

3.3.2 Modalità di prelievo

I prelievi sono stati effettuati ad inizio fioritura. Per ogni parcella sono state campionate 10 piante di cui è stato registrato il peso fresco e, dopo l'essiccazione a 30 °C, il peso secco totale, in foglie e fusti. In seguito al prelievo le parcelle sono state interamente tagliate con la falciatrice, la biomassa è stata pesata con il dinamometro e una porzione (di volume pari a 0,3 m x 0,2 m x 0,1 m) di questa messa in stufa a 105 °C per la determinazione del peso secco.

3.3.3 Analisi statistica

I dati sono stati analizzati statisticamente. Le medie sono state confrontate tramite il test dell'analisi della varianza con l'ausilio del software Stagrafics XV.II., le medie sono state separate con il test di Tukey.

4. Risultati

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti; nei grafici le lettere diverse indicano differenze statistiche tra i trattamenti, le medie sono state separate utilizzando il test di Tukey: a la lettera maiuscola corrisponde $p=0,01$, a lettera minuscola $p=0,05$; n.s. corrisponde alla non significatività del test.

4.1. Prova “Modello di crescita su *Melissa officinalis* L.”

4.1.1. Fase di campagna

4.1.1.1. Analisi dell'accrescimento di piante in produzione

L'accrescimento delle piante in produzione è stato studiato attraverso prelievi della biomassa aerea effettuati a cadenza settimanale. Con i dati raccolti è stato possibile ottenere le curve, riportate di seguito, che descrivono il comportamento della coltura osservato durante la fase vegetativa (dalla ripresa vegetativa alla senescenza). I valori di biomassa si riferiscono alla sostanza secca.

In figura 4.1 è riportata la curva della biomassa (in $t \cdot ha^{-1}$) in funzione della somma termica ($^{\circ}C$) ottenuta introducendo i dati reali biomassa finale ($t \cdot ha^{-1}$ s.s.) della parcella campionata (ogni sette giorni) dai primi giorni di Maggio fino alla fine di Agosto (2009). La curva esprime l'andamento della biomassa durante un ciclo vegetativo. La coltura ha avuto uno sviluppo che può essere rappresentato con una curva ad andamento crescente fino a circa $1000^{\circ}C$, valore di somma termica corrispondente alla massima produzione di biomassa ($t \cdot ha^{-1}$ s.s.) (Fig. 4.1).

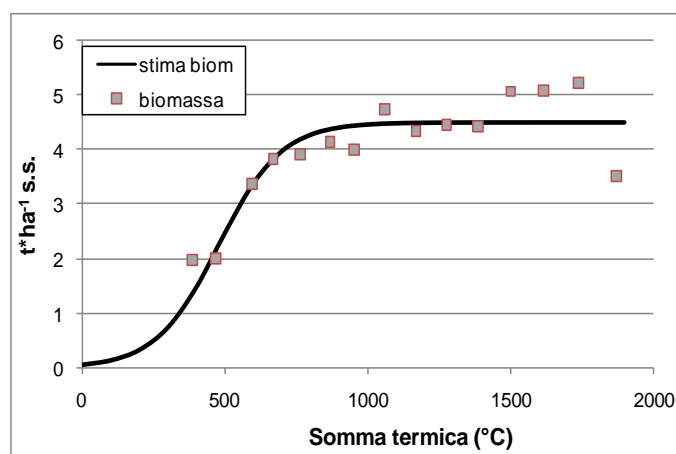


Figura 4.1: Curva di stima della biomassa (in nero) risultante dall'interpolazione dei valori osservati di biomassa (quadrati grigi) in funzione della somma termica.

Di seguito è riportata l'equazione (1) con cui è stata costruita la curva interpolante i valori di biomassa ($t \cdot ha^{-1}$) (Fig. 4.1).

$$Biom_i = \frac{BiomFinale}{1 + b \cdot e^{-c \cdot \sum_i termica}}$$

(1)

La figura 4.2 mostra il grafico precedente (Fig. 4.1) nel quale sono stati inseriti i valori osservati di resa in foglie ($t \cdot ha^{-1}$ s.s.) espressi in funzione della somma termica ($^{\circ}C$).

È stato osservato come la produzione in foglie ($t \cdot ha^{-1}$ s.s.) abbia avuto un andamento decrescente rispetto all'andamento della biomassa ($t \cdot ha^{-1}$ s.s.) (Fig. 4.2).

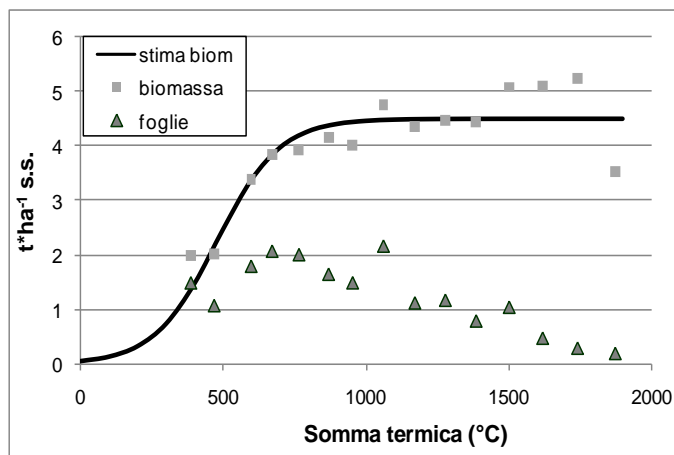


Figura 4.2: Curva di stima della biomassa (in nero), valori osservati di biomassa (quadratini grigi) e valori osservati di resa in foglie (triangolini grigi) – i valori sono espressi in $t \cdot ha^{-1}$.

Il grafico in figura 4.3 mostra i soli valori osservati di produzione percentuale in foglie e conferma l'andamento decrescente osservato in figura 4.2. Le piante hanno azzerato la produzione percentuale in foglie (% sul totale della biomassa s.s.) attorno ai 2000 $^{\circ}C$ di somma termica (Fig. 4.3).

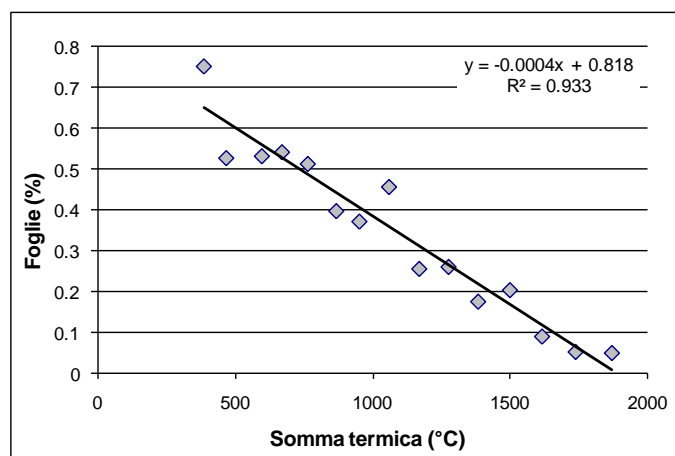


Figura 4.3: Produzione percentuale in foglie in funzione della somma termica (°C). Il grafico riporta i valori osservati e la retta di regressione.

Dalle curve rappresentate nei grafici in figura 4.2 e 4.3 è stato osservato che da 0 a 1000°C di somma termica la coltura ha un andamento crescente in termini di produzione di biomassa ($t \cdot ha^{-1}$ s.s.), mentre la produzione in foglie è stata decrescente. Ne consegue che la pianta, man mano che accumula somma termica (°C), investe energia nella produzione in fusti a svantaggio delle foglie. L'equazione della curva riportata in figura 4.3 è la seguente (2):

$$\% Foglie_i = m_1 \cdot \sum_i termica + q_1 \quad (2)$$

In figura 4.4 sono riportati i valori di biomassa ($t \cdot ha^{-1}$ s.s.) (quadrantini) e di resa in foglie ($t \cdot ha^{-1}$ s.s.) (triangoli) e le rispettive curve, ottenute dall'interpolazione dei dati osservati, che ne stimano l'andamento in funzione della somma termica (°C).

La curva che stima la produzione in foglie ($t \cdot ha^{-1}$ s.s.) (Fig. 4.4) è stata ottenuta moltiplicando i valori di resa in biomassa (calcolati con l'equazione 1) per la percentuale in foglie (calcolati con l'equazione 2).

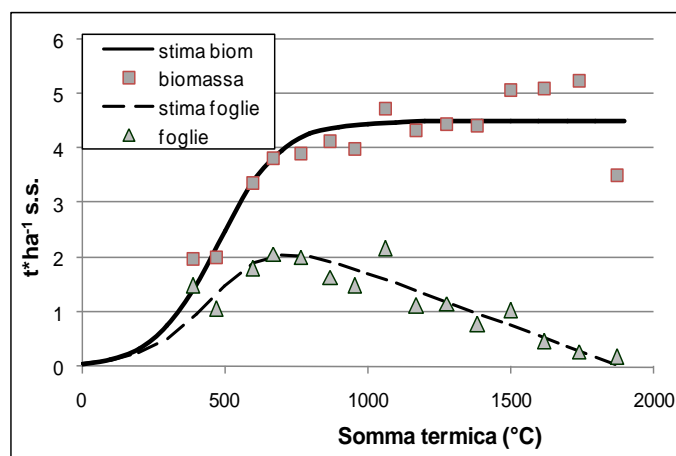


Figura 4.4: Curve di stima della biomassa totale (linea continua) e della biomassa in foglie (linea tratteggiata) ottenute interpolando rispettivamente i dati osservati di biomassa ($t \cdot ha^{-1}$) (quadrantini) e di foglie ($t \cdot ha^{-1}$) (triangolini).

La seguente formula descrive la curva della produzione in foglie presente nel grafico in figura 4.4.

$$Foglie_i = \frac{BiomFinale (m_1 \cdot \sum termica + q_1)}{1 + b \cdot e^{-c \sum_i termica}}$$

(3)

L'accrescimento di una coltura è in funzione della radiazione intercettata dalla coltura stessa. Questa ultima rappresenta la fonte energetica necessaria allo sviluppo della pianta quindi, le variabili *biomassa accumulata* e *radiazione intercettata* sono fra loro correlate. È stata osservata una relazione di tipo lineare a proporzionalità diretta tra la radiazione cumulata ($kWh \cdot m^{-2}$) dall'inizio dell'anno e la biomassa prodotta ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) (Fig. 4.5): in particolare la produzione in biomassa ha avuto un andamento crescente direttamente proporzionale all'andamento dei valori di radiazione cumulata dall'inizio ($kWh \cdot m^{-2}$).

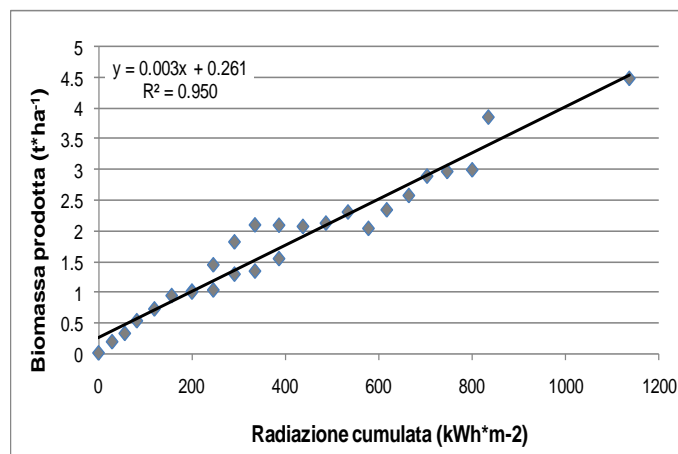


Figura 4.5: Produzione in biomassa in funzione della radiazione radiazione cumulata.

È stato possibile esprimere la relazione con la seguente equazione (4):

$$BiomFinale_i = m_2 \cdot \sum_i radiazione + q_2$$

(4)

Quindi, sostituendo all'equazione (3) l'equazione (4), che stima la biomassa in funzione della radiazione solare, è possibile ricavare la produzione in foglie in funzione della radiazione cumulata e della somma termica (5).

$$Foglie_i = \frac{(m_2 \cdot \sum_i radiazione + q_2) \cdot (m_1 \cdot \sum_i termica + q_1)}{1 + b \cdot e^{-c \cdot \sum_i termica}}$$

(5)

Ne consegue che le equazioni (4) e (5), permettono di stimare la produzione in termini di biomassa totale e prodotto utile (nel nostro caso le foglie), utilizzando dei dati meteo facilmente reperibili, senza dover effettuare alcun rilievo di campo.

$$Biomassa_i = \frac{(m_2 \cdot \sum_i radiazione + q_2)}{1 + b \cdot e^{-c \cdot \sum_i termica}}$$

(6)

Eliminando dall'equazione la componente relativa alla produzione in foglie (equazione 2) si ottiene l'equazione (6) che permette di stimare la biomassa prodotta dalla pianta in funzione della somma termica e della radiazione incidente.

Le equazioni ottenute (1-6) si basano sui dati raccolti durante il 2009.

Per tarare il modello sulla base dei dati provenienti dalle singole tesi a confronto il modello base ottenuto è stato adattato secondo l'equazione (7) seguito proposta:

$$\boxed{Biomassa_{TESI_{j,i}} = m_{3,j} \cdot Biomassa_i + q_{3,j}}$$

(7)

Ottenendo così otto sotto-modelli ($TESI_j$), uno per ogni tesi a confronto.

Gli stessi parametri $m_{3,j}$ e $q_{3,j}$ sono stati utilizzati per la stima delle foglie prodotte (equazione 8)

$$\boxed{Foglie_{TESI_{j,i}} = m_{3,j} \cdot Foglie_i + q_{3,j}}$$

(8)

4.2. Prova “Intensificazione colturale di *Melissa officinalis* L.”

4.2.1. Fase di campagna

L'andamento produttivo della coltura non è stato costante durante il quadriennio di sperimentazione (Fig. 4.6).

La produzione in sostanza secca totale ha raggiunto un massimo, con produzioni superiori alle 15 t*ha⁻¹ (s.s.), durante il secondo anno, dopo il quale la resa ha iniziato a decrescere (Fig. 4.6); lo stesso andamento è stato osservato per la resa in foglie (Fig 4.7).

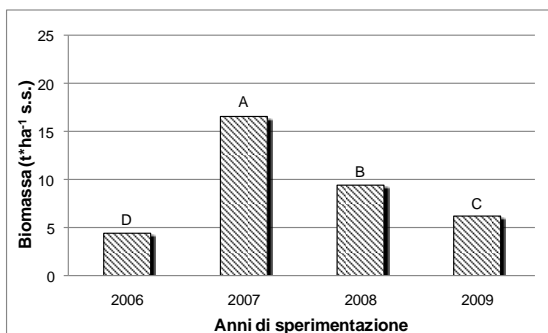


Figura 4.6: Produzione in biomassa totale (t/ha s.s.) di melissa durante gli anni di sperimentazione (2006-09).

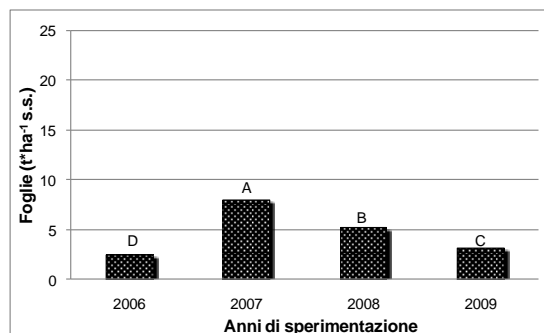


Figura 4.7: Produzione in foglie (t/ha s.s.) di melissa durante gli anni di sperimentazione (2006-09).

Analizzando il fattore allo studio “sesto d’impianto” è stato osservato come la parcella più densa (5 piante*ha⁻¹) abbia prodotto maggiormente (Fig. 4.8-4.11) in tutti gli anni di sperimentazione rispetto un sesto pari a 3 piante*ha⁻¹. Nello specifico, il primo anno la differenza in produzione di biomassa (t*ha⁻¹) è risultata più marcata (Fig. 4.8), dal secondo (Fig. 4.9) in poi (Fig. 4.10 e 4.11) il divario produttivo tra i due sestì è diminuito.

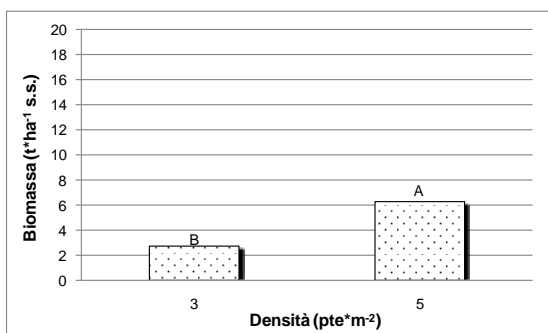


Figura 4.8: Produzione in biomassa totale (t/ha s.s.) di melissa in funzione della densità d’impianto nell’anno 2006 (pte=piante).

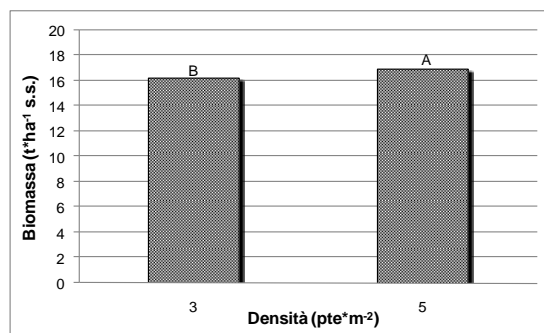


Figura 4.9: Produzione in biomassa totale (t/ha s.s.) di melissa in funzione della densità d’impianto nell’anno 2007 (pte=piante).

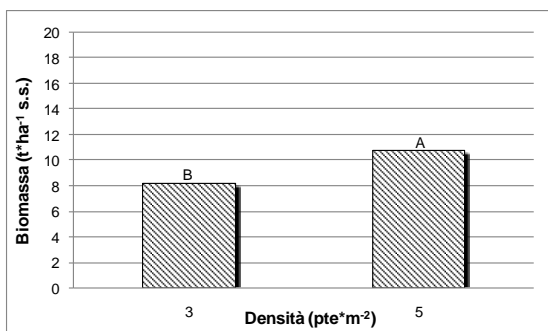


Figura 4.10: Produzione in biomassa totale (t*ha⁻¹ s.s.) di melissa in funzione della densità d’impianto nell’anno 2008 (pte=piante).

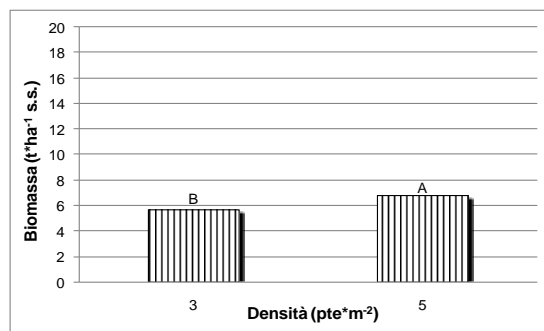


Figura 4.11: Produzione in biomassa totale (t*ha⁻¹ s.s.) di melissa in funzione della densità d’impianto nell’anno 2009 (pte=piante).

La produzione in foglie ha avuto lo stesso comportamento (Fig. 4.12-4.15) con una resa assoluta in foglie maggiore nel sesto di impianto più denso.

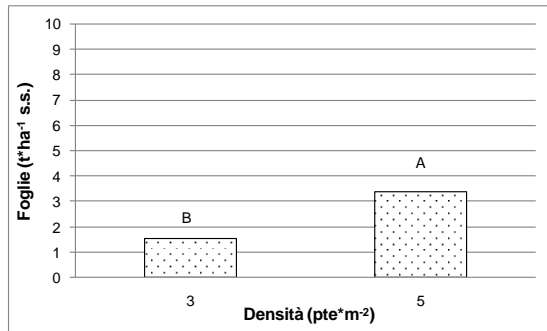


Figura 4.12: Produzione in foglie (t*ha⁻¹ s.s.) di melissa in funzione della densità d'impianto nell'anno 2006 (pte=piante).

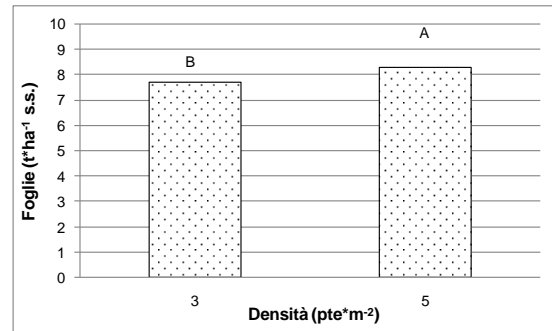


Figura 4.13: Produzione in foglie (t*ha⁻¹ s.s.) di melissa in funzione della densità d'impianto nell'anno 2007 (pte=piante).

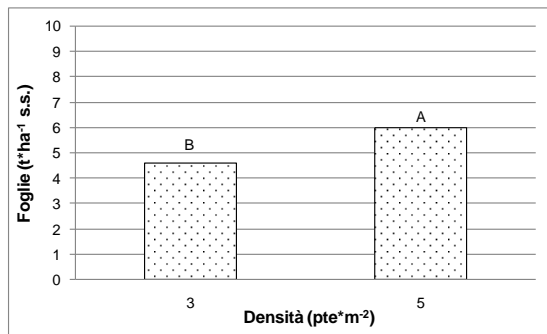


Figura 4.14: Produzione in foglie (t*ha⁻¹ s.s.) di melissa in funzione della densità d'impianto nell'anno 2008 (pte=piante).

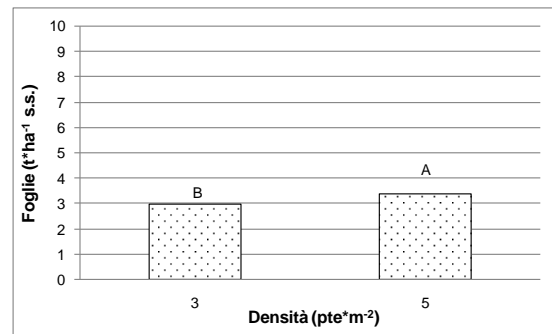


Figura 4.15: Produzione in foglie (t*ha⁻¹ s.s.) di melissa in funzione della densità d'impianto nell'anno 2009 (pte=piante).

Se si osserva però la resa relativa in foglie (rispetto l'intera biomassa), è possibile notare come la minor densità d'impianto in realtà produca percentualmente più foglie ad eccezione del 2007 (Fig. 4.16-4.19).

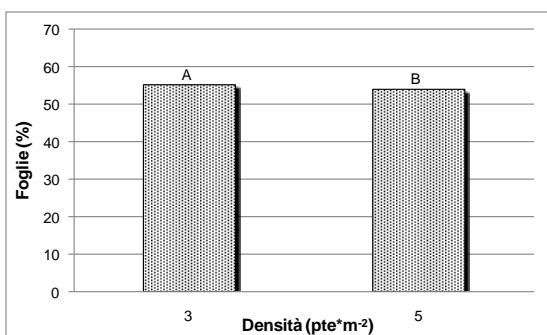


Figura 4.16: Produzione in foglie (%) di melissa in funzione della densità d'impianto nell'anno 2006 (pte=piante).

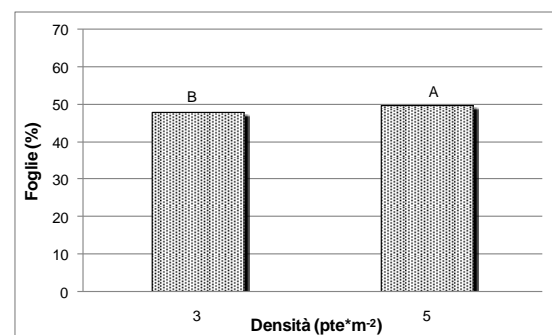


Figura 4.17: Produzione in foglie (%) di melissa in funzione della densità d'impianto nell'anno 2007 (pte=piante).

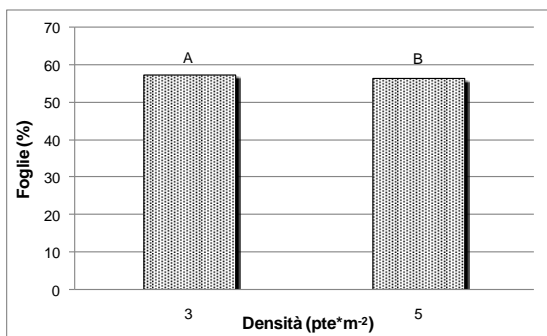


Figura 4.18: Produzione in foglie (%) di melissa in funzione della densità d'impianto nell'anno 2008 (pte=piante).

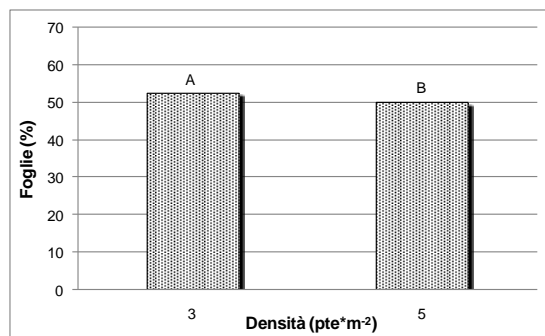


Figura 4.19: Produzione in foglie (%) di melissa in funzione della densità d'impianto nell'anno 2009 (pte=piante).

Quindi, nel quadriennio di sperimentazione (media dei quattro anni) sono stati osservati i seguenti andamenti: per la biomassa totale (Fig. 4.20) la differenza tra le due densità è stata di circa 2 t*ha^{-1} , mentre nel caso delle foglie (Fig. 4.21) la differenza si è ridotta ad una tonnellata.

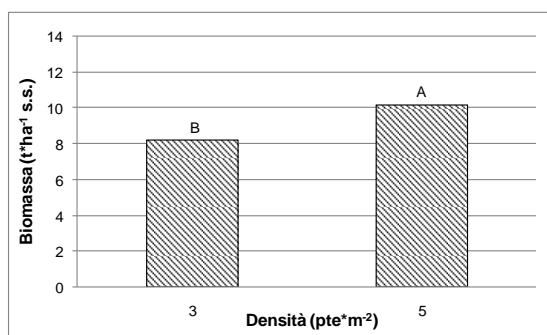


Figura 4.20: Produzione in biomassa totale (t/ha) di melissa in funzione della densità d'impianto nel quadriennio di sperimentazione.

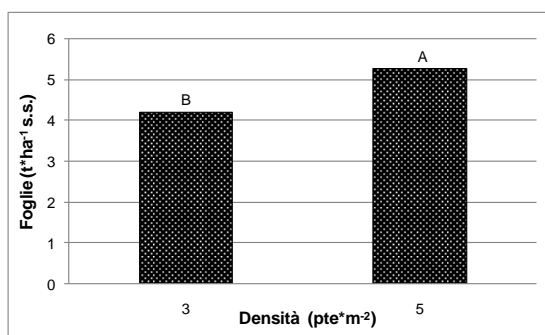


Figura 4.21: Produzione in foglie (t/ha) di melissa in funzione della densità d'impianto nel quadriennio di sperimentazione.

Altro fattore allo studio è stato la “gestione dei tagli”, indagato a partire dalla stagione colturale 2007 (Fig. 4.22-4.23)

Nel grafico in figura 4.22 è stata riportata la produzione in biomassa totale (t*ha^{-1} s.s.) nell'anno 2006, in modo da mostrare come non vi fossero differenze dovute ad altri fattori antecedenti, tra le parcelle soggette a taglio normale e quello soggette a taglio intensivo. È stato osservato come una gestione dei tagli normale favorisca la produzione in biomassa sia nei singoli anni (Fig. 4.22-4.25) che nel quadriennio di sperimentazione con un aumento di circa il 30% (Fig. 4.26).

Il 2007 (Fig. 4.23) è stato l'anno in cui i tagli sono stati maggiormente intensificati, con ripercussioni sulla produttività nel 2008. Sfalci troppo ravvicinati, infatti, col tempo, stressano la coltura, effetto evidente nel 2008 (Fig. 4.24) anno in cui le differenze tra i due trattamenti sono state maggiori. Nel 2009 (Fig. 4.25) il divario, in termini di resa, è diminuito.

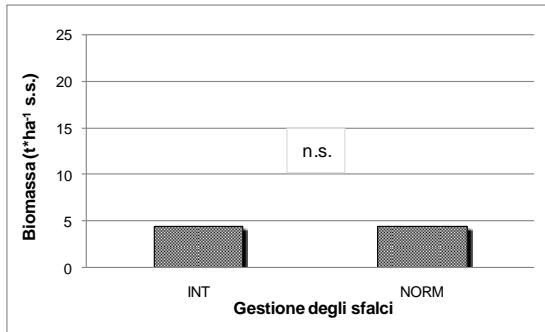


Figura 4.22: Produzione in biomassa (t*ha⁻¹) di melissa in funzione della gestione dei tagli (Norm=normale; Int=intensivo) nell'anno 2006.

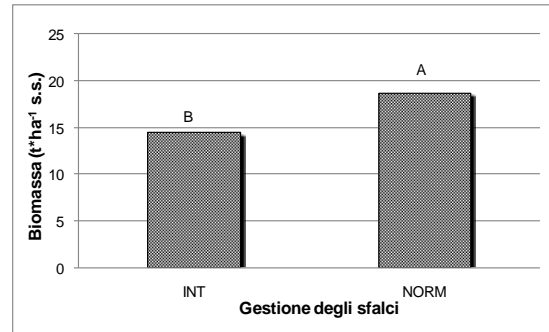


Figura 4.23: Produzione in biomassa (t*ha⁻¹) di melissa in funzione della gestione dei tagli (Norm=normale; Int=intensivo) nell'anno 2007.

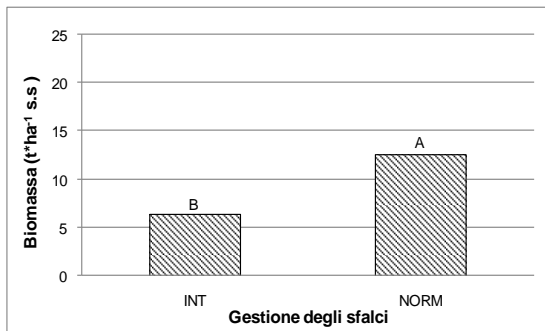


Figura 4.24: Produzione in biomassa (t*ha⁻¹) di melissa in funzione della gestione dei tagli (Norm=normale; Int=intensivo) nell'anno 2008.

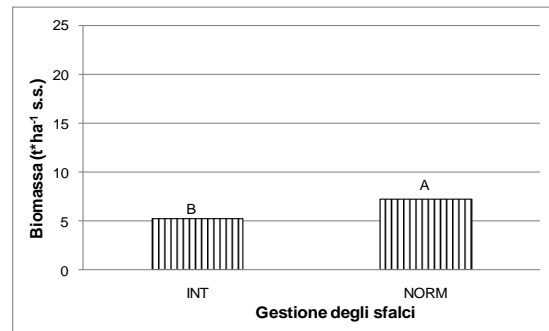


Figura 4.25: Produzione in biomassa (t*ha⁻¹) di melissa in funzione della gestione dei tagli (Norm=normale; Int=intensivo) nell'anno 2009.

Con un minor numero di tagli sono state prodotte, in media, 3 t/ha in più, considerando l'intero triennio di sperimentazione (Fig. 4.26).

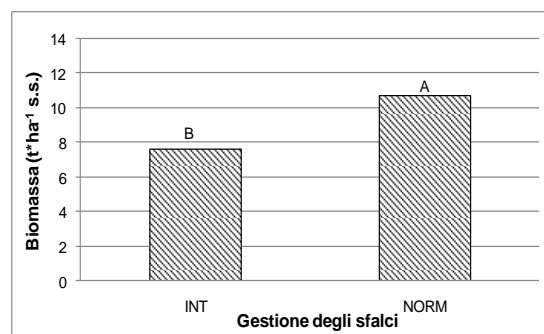


Figura 4.26: Produzione in biomassa (t*ha⁻¹ s.s.) di melissa in funzione della gestione dei tagli (Norm=normale; Int=intensivo) nel quadriennio di sperimentazione.

Per quanto concerne la resa in foglie (t*ha⁻¹ s.s.) gli andamenti della produzione in funzione del fattore "gestione dei tagli" sono stati i medesimi riscontrati per la biomassa. Nel grafico in figura

4.27 è stata riportata la produzione in foglie ($t \cdot ha^{-1}$ s.s.) nell'anno 2006, in modo da mostrare come non vi fossero differenze dovute ad altri fattori antecedenti tra le parcelle soggette a taglio normale e quello soggette a taglio intensivo. Nel 2007 (Fig. 4.28) non sono state evidenziate differenze statisticamente significative tra le due gestioni, al contrario del 2008 (Fig. 4.29) e del 2009 (Fig. 4.30) anni in cui la coltura ha risposto alla diversificazione degli sfalci. Dal confronto tra i grafici in figura 4.23 e 4.28, relativi rispettivamente alla produzione in biomassa e foglie nel 2007, si può osservare come ad una maggiore biomassa prodotta nel trattamento “tagli normali” non sia corrisposto un aumento della produzione in foglie. Presumibilmente tale quota è stata compensata dalla produzione in fusti.

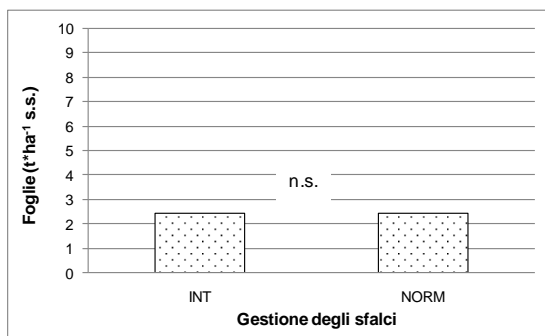


Figura 4.27: Produzione in foglie ($t \cdot ha^{-1}$ s.s.) di melissa in funzione della gestione dei tagli (Norm=normale; Int=intensivo) nell'anno 2006.

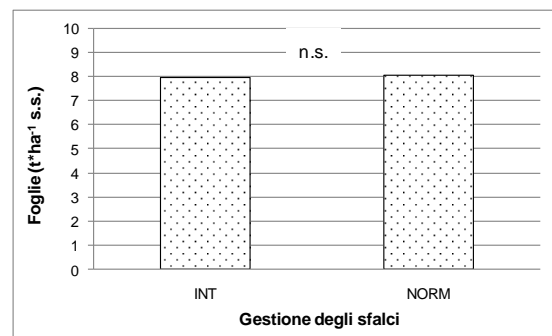


Figura 4.28: Produzione in foglie ($t \cdot ha^{-1}$ s.s.) di melissa in funzione della gestione dei tagli (Norm=normale; Int=intensivo) nell'anno 2007.

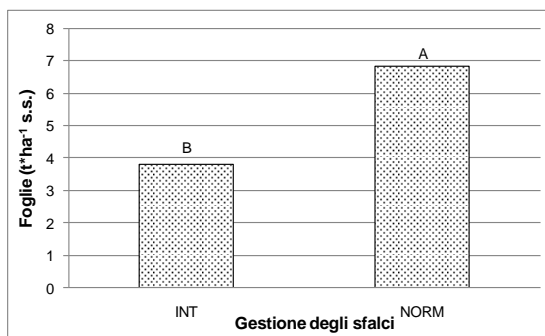


Figura 4.29: Produzione in foglie ($t \cdot ha^{-1}$ s.s.) di melissa in funzione della gestione dei tagli (Norm=normale; Int=intensivo) nell'anno 2008.

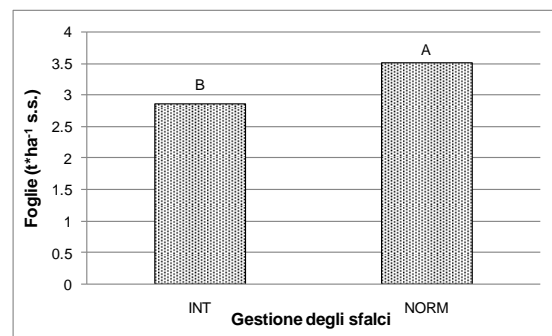


Figura 4.30: Produzione in foglie ($t \cdot ha^{-1}$ s.s.) di melissa in funzione della gestione dei tagli (Norm=normale; Int=intensivo) nell'anno 2009.

Mediamente, nel quadriennio, la gestione con un numero di tagli minore ha portato ad ottenere una produzione più elevata di 1 t/ha rispetto ai tagli intensivi (Fig. 4.31).

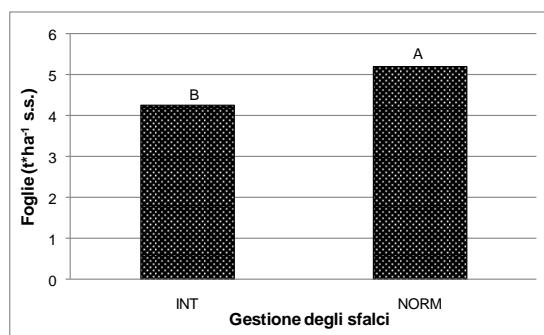


Figura 4.31: Produzione media in foglie (t*ha⁻¹ s.s.) di melissa in funzione della gestione dei tagli (Norm=normale; Int=intensivo).

La coltura non ha risentito della fertilizzazione fino all'anno 2008, anno dopo il quale i risultati hanno presentato differenze statisticamente significative tra i trattamenti, a fronte di aumenti di produzione limitati. Nei grafici in figura 4.32 e 4.33 sono riportate le produzioni in biomassa (t*ha⁻¹ s.s.) e nei grafici in figura 4.34 e 4.35 in foglie (t*ha⁻¹ s.s.). Nei primi due si può notare come la fertilizzazione "alta" abbia prodotto un incremento di circa 0,5 t*ha⁻¹, mentre nei due grafici a seguire, l'incremento è stato nell'ordine dei 0,3 t*ha⁻¹. Si evince che la fertilizzazione ha portato ad un aumento della biomassa totale, distribuito per il 60% in foglie e il 40% in fusti.

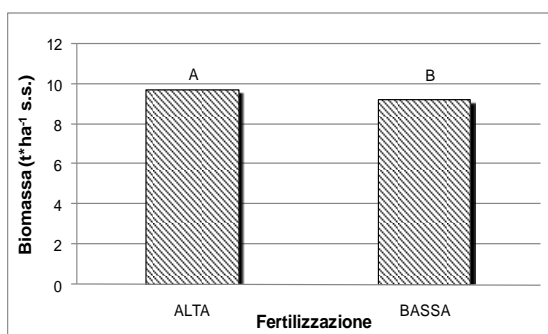


Figura 4.32: Produzione in biomassa (t*ha⁻¹ s.s.) di melissa in funzione della fertilizzazione nell'anno 2008.

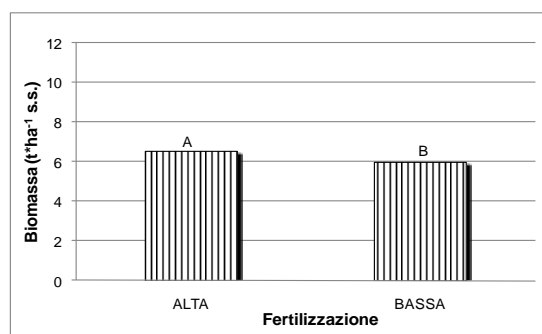


Figura 4.33: Produzione in biomassa (t*ha⁻¹ s.s.) di melissa in funzione della fertilizzazione nell'anno 2009.

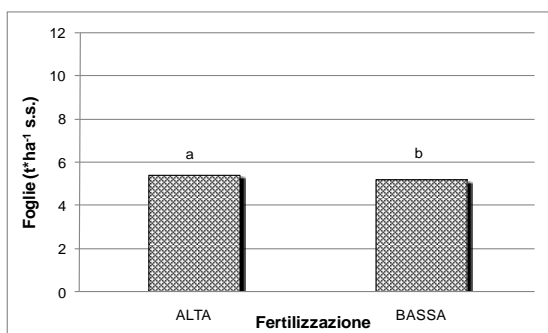


Figura 4.34: Produzione in foglie (t*ha⁻¹ s.s.) di melissa in funzione della fertilizzazione nell'anno 2008.

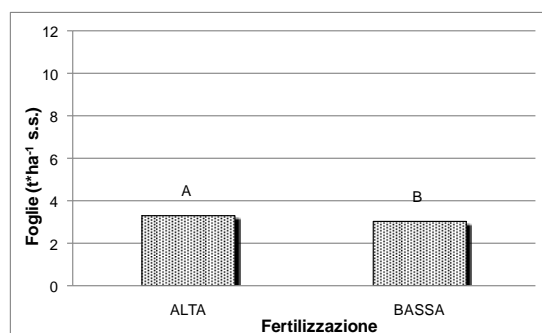


Figura 4.35: Produzione in foglie (t*ha⁻¹ s.s.) di melissa in funzione della fertilizzazione nell'anno 2009.

Nel quadriennio di sperimentazione l'incremento di produzione totale dovuto alla fertilizzazione è stato inferiore alla tonnellata (circa $0,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Fig. 4.36).

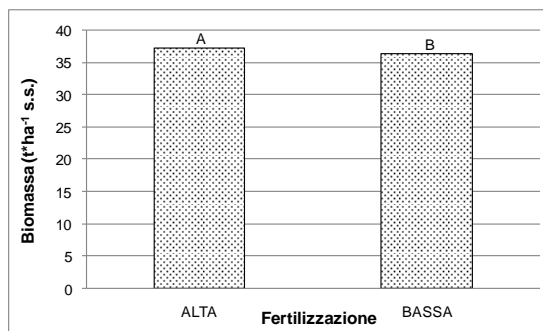


Figura 4.36 Produzione cumulata in biomassa totale ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ s.s.) di melissa in funzione della fertilizzazione nel quadriennio di sperimentazione (2006-2009).

Per quanto riguarda la produzione in foglie espressa in percentuale, sono stati ottenuti i seguenti risultati. Il secondo anno di coltivazione è risultato essere il più produttivo in termini di biomassa e foglie ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$), in realtà è l'anno in cui la resa si è caratterizzata per il minor contenuto percentuale in foglie espresso sul totale della biomassa prodotta, ossia la melissa ha prodotto di più ma con un aumento dei fusti (Fig. 4.37). Diversamente il primo e il terzo anno sono, percentualmente parlando, i più ricchi in foglie (Fig. 4.37).

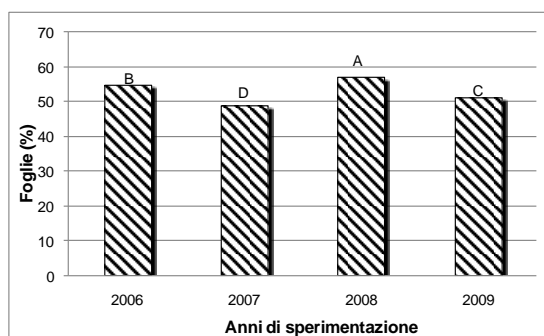


Figura 4.37: Produzione in foglie (% espressa sulla biomassa totale) di melissa in funzione della fertilizzazione nel quadriennio di sperimentazione (2006-2009).

Per concludere, l'effetto del fattore "fertilizzazione" è risultato significativo solo durante il penultimo anno di sperimentazione (Fig. 4.38) apportando un incremento pari allo 0,5%.

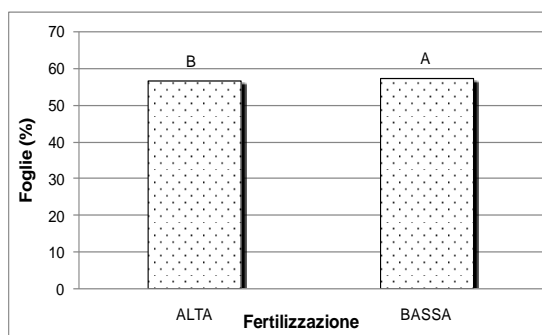


Figura 4.38: Produzione in foglie (% espressa sulla biomassa totale) di melissa in funzione della densità d'impianto nell'anno 2008.

Oltre la significatività dei diversi fattori è stata valutata anche la loro interazione.

L'interazione "anno di coltivazione x densità" è risultata significativa sia in termini di biomassa totale (Fig. 4.39), sia di produzione in foglie (Fig. 4.40), che di produzione in foglie percentuali (Fig. 4.41).

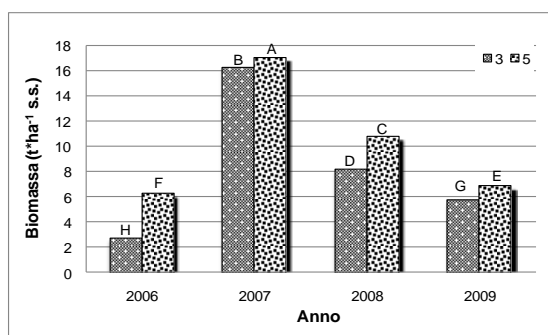


Figura 4.39: Produzione in biomassa totale (t*ha⁻¹ s.s.) di melissa – interazione "anno x densità" (3=3piante *m⁻²; 5=5piante *m⁻²).

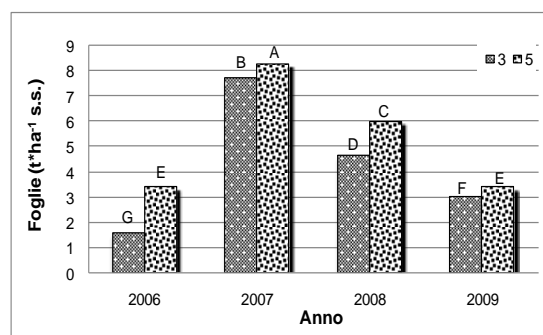


Figura 4.40: Produzione in foglie (t*ha⁻¹ s.s.) di melissa – interazione "anno x densità" (3=3piante *m⁻²; 5=5piante *m⁻²).

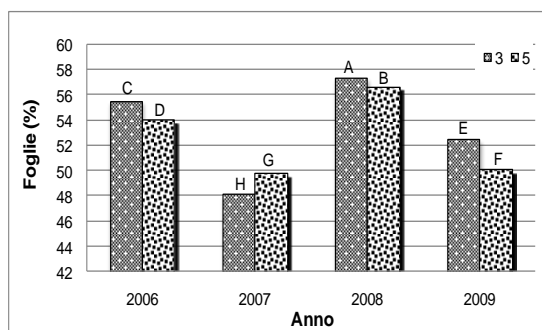


Figura 4.41: Produzione in foglie (% espressa sulla biomassa totale) di melissa – interazione "anno x densità" (3=3piante *m⁻²; 5=5piante *m⁻²).

Nei grafici riportati in figura 4.39 e 4.40 è stato osservato come il sesto d'impianto più produttivo sia stato quello con densità di 5 piante*ha⁻¹, lo stesso andamento è stato notato anche nella produzione in foglie espressa in percentuale, ad eccezione dell'anno 2007 (Fig. 4.41).

L'interazione "anno di coltivazione x gestione degli sfalci" ha evidenziato (Fig. 4.42) come sia più produttivo tagliare con minor intensità; i tagli intensivi, infatti, non lasciano alla pianta il tempo necessario per riprendersi dopo lo sfalcio. Per quanto riguarda la produzione totale di biomassa l'effetto è importante già dalla fine del 2007 (Fig. 4.42), mentre per la resa in foglie l'effetto è visibile a partire dal 2008 (Fig. 4.43).

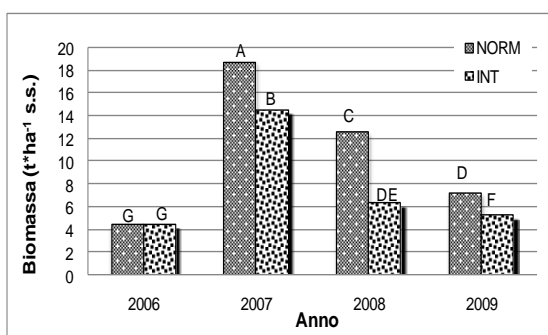


Figura 4.42: Produzione in biomassa totale (t*ha⁻¹) di melissa – interazione “anno x gestione dei tagli” (Norm=normale; Int=intensiva).

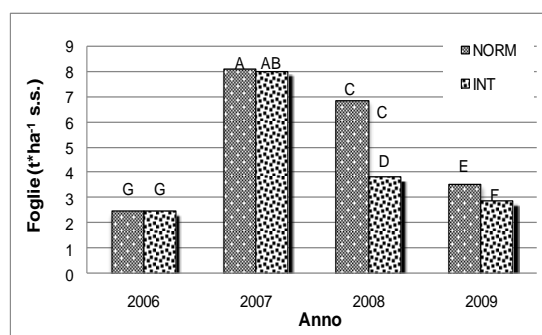


Figura 4.43: Produzione in foglie (t*ha⁻¹) di melissa – interazione “anno x gestione dei tagli” (Norm=normale; Int=intensiva).

In termini di produzione percentuale in foglie la gestione intensiva è risultata migliore, più produttiva e costante negli anni (Fig. 4.44).

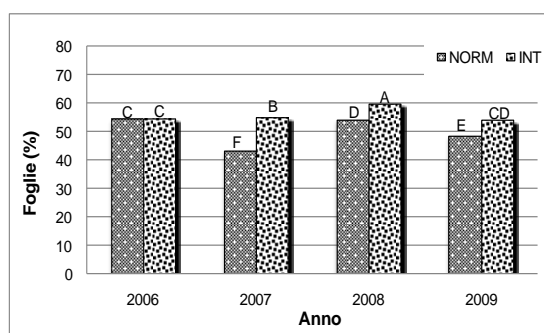


Figura 4.44: Produzione in foglie (% espressa sulla biomassa totale) di melissa – interazione “anno x gestione dei tagli”.

Anche l'interazione "anno di coltivazione x fertilizzazione" è risultata significativa, ma le differenze tra le produzioni in biomassa totale ottenute con differenti livelli di azoto sono molto limitate (Fig. 4.45). Mentre per quanto riguarda la resa in foglie sia in termini assoluti che relativi (t*ha⁻¹ e %), l'interazione non è risultata significativa.

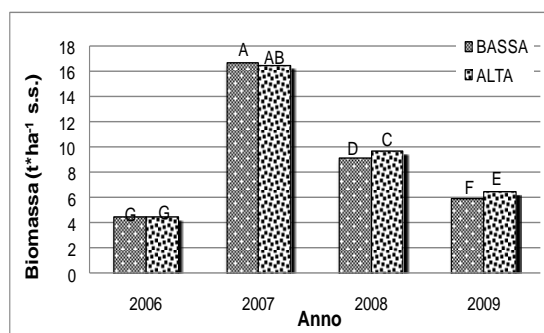


Figura 4.45: Produzione in biomassa totale (t*ha⁻¹) di melissa – interazione “anno x fertilizzazione”.

4.3. Adattamento del modello ai dati sperimentali

Come detto precedentemente, il modello di cui all’equazione 5 (stima della produzione in foglie) e quello relativo alla sola produzione di biomassa (equazione 6) sono stati costruiti utilizzando i dati del 2009. I modelli, una volta definiti, sono stati tarati e testati sui dati relativi al quadriennio di sperimentazione della prova “Intensificazione colturale di *Melissa officinalis*” (vedi 4.2.1).

I modelli di stima della biomassa in funzione della somma termica e della radiazione intercettata sono stati utilizzati per stimare i dati del quadriennio a diversi stadi di aggregazione; dapprima su tutti i dati mediati senza distinzione fra i trattamenti, poi separando le densità di popolamento, quindi la dose di azoto e infine l’intensità degli sfalci. Di seguito è riportata la tabella con i coefficienti di determinazione tra i valori stimati e quelli osservati in termini di biomassa totale (Tab. 4.1).

Tabella 4.1: Valori di determinazione tra i differenti dati rilevati e osservati in termini di biomassa (dove: A=5 piante/m²; B=3piante/m²- N=fertilizzazione (0=basse dosi e 1=alte dosi)- F=ritmo di taglio intensivo e S=ritmo di taglio normale). In verde sono evidenziati i valori maggiori alla mediana di tutti i valori.

BIOMASSA TOTALE								
0,887750192								
sesto	A				B			
	0,870404097				0,893716243			
N	0		1		0		1	
	0,8614956		0,880124775		0,892399145		0,894878831	
ritmi	F	S	F	S	F	S	F	S
	0,767419	0,90996	0,788936	0,893852	0,883223	0,902681	0,860043	0,920281

Nel grafici delle figure 4.46-4.49 sono stati messi in correlazione i valori simulati dal modello e i valori effettivamente misurati relativi alle otto diverse tesi della prova¹.

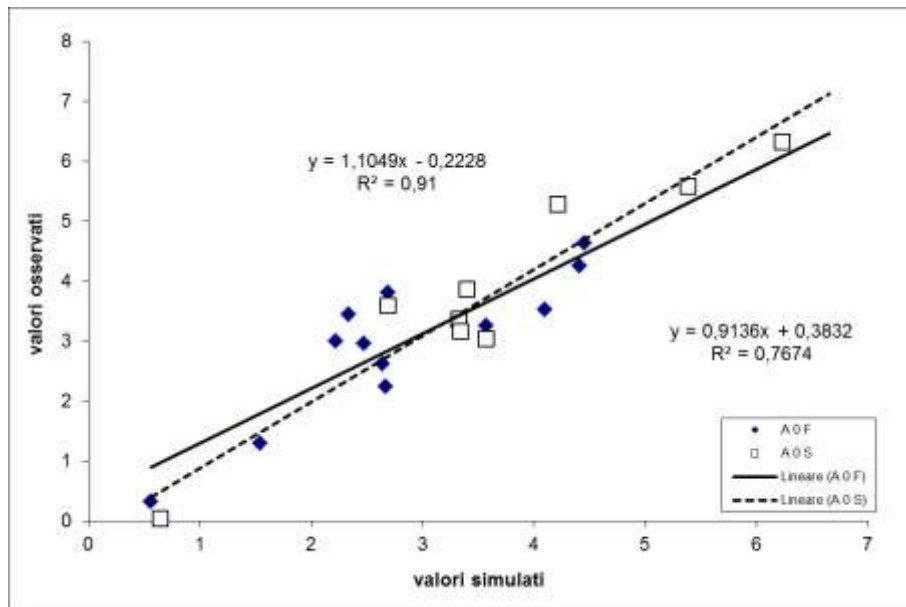


Figura 4.46: Correlazione tra valori simulati e osservati di resa in biomassa totale ($t \cdot ha^{-1} s.s.$) delle tesi A0F e A0S e relative rette di regressione.

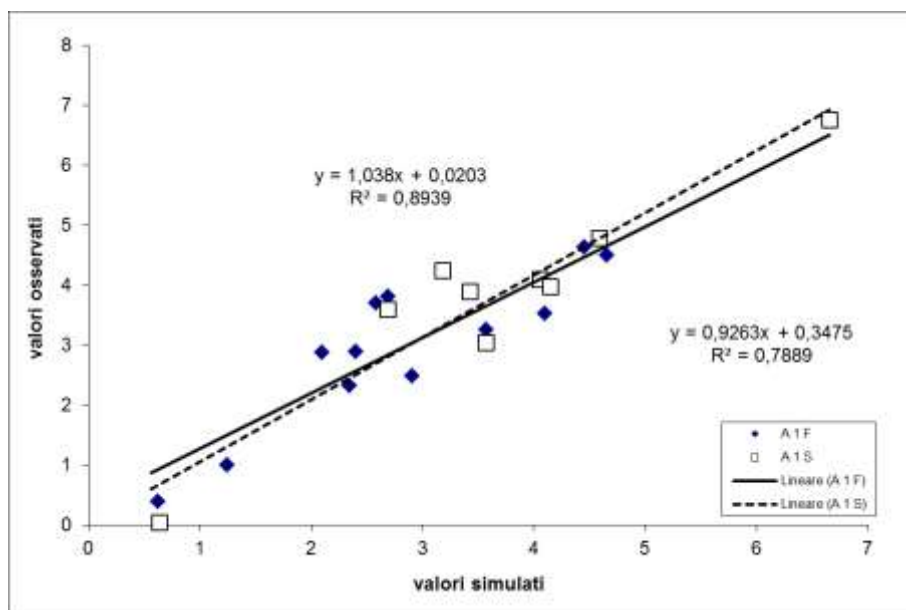


Figura 4.47: Correlazione tra valori simulati e osservati di resa in biomassa totale ($t \cdot ha^{-1} s.s.$) delle tesi A1F e A1S e relative rette di regressione.

¹ La situazione ottimale sarebbe che i punti fossero situati lungo la bisettrice del quadrante, in realtà esistono delle discrepanze. Esaminando le equazioni delle rette (Fig. 4.46-4.49) e in particolare il coefficiente angolare, più esso si avvicina al valore 1, più il modello funziona bene. La stessa cosa vale per il coefficiente di determinazione (R^2). R^2 è una proporzione tra la variabilità dei dati e la correttezza del modello statistico utilizzato; esso varia tra 0 ed 1: quando è 0 il modello utilizzato non spiega per nulla i dati, mentre quando è 1 il modello spiega perfettamente i dati. Quindi più il coefficiente di determinazione si avvicina al valore 1, più la retta spiega bene il fenomeno.

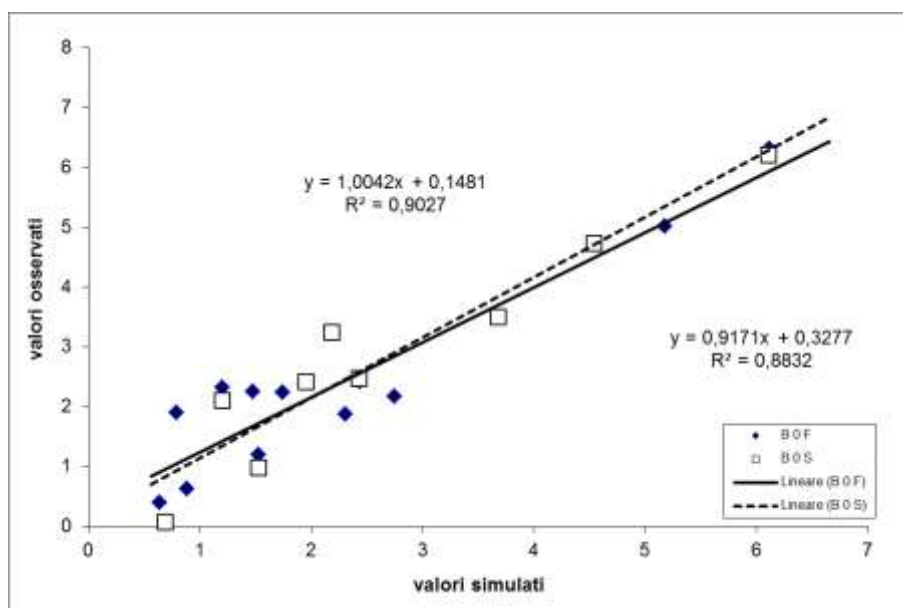


Figura 4.48: Correlazione tra valori simulati e osservati di resa in biomassa totale ($t \cdot ha^{-1} s.s.$) delle tesi B0F e B0S e relative rette di regressione.

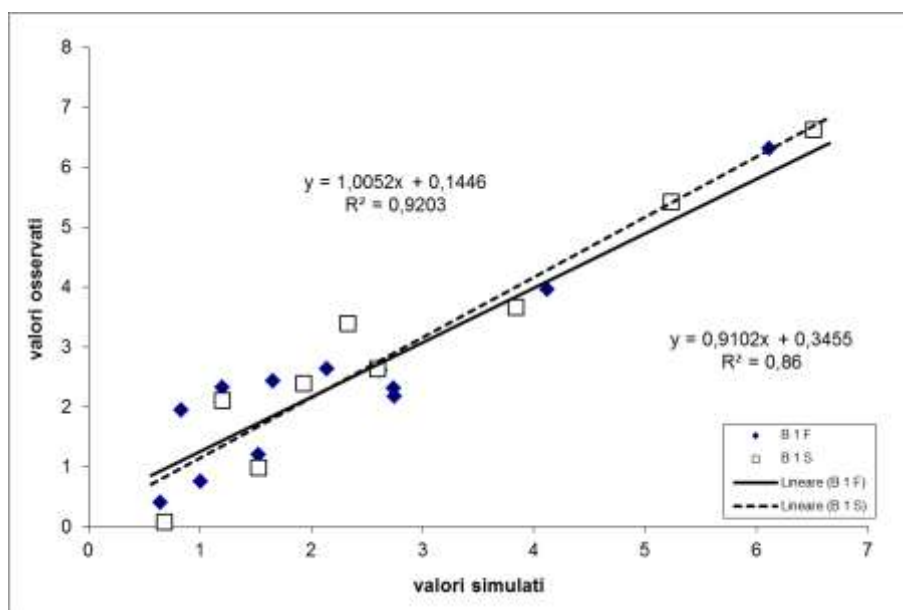


Figura 4.49: Correlazione tra valori simulati e osservati di resa in biomassa totale ($t \cdot ha^{-1} s.s.$) delle tesi B1F e B1S e relative rette di regressione.

Tutti i coefficienti ottenuti hanno mostrato una buona correlazione e di conseguenza i modelli utilizzati hanno una buona capacità di stimare i valori reali di campo.

Nella condizione di basse dosi di azoto e alta densità d'impianto c'è stata differenza tra sfalci intensivi e normali. I tagli intensivi hanno prodotto meno rispetto ai tagli normali (Fig. 4.50).

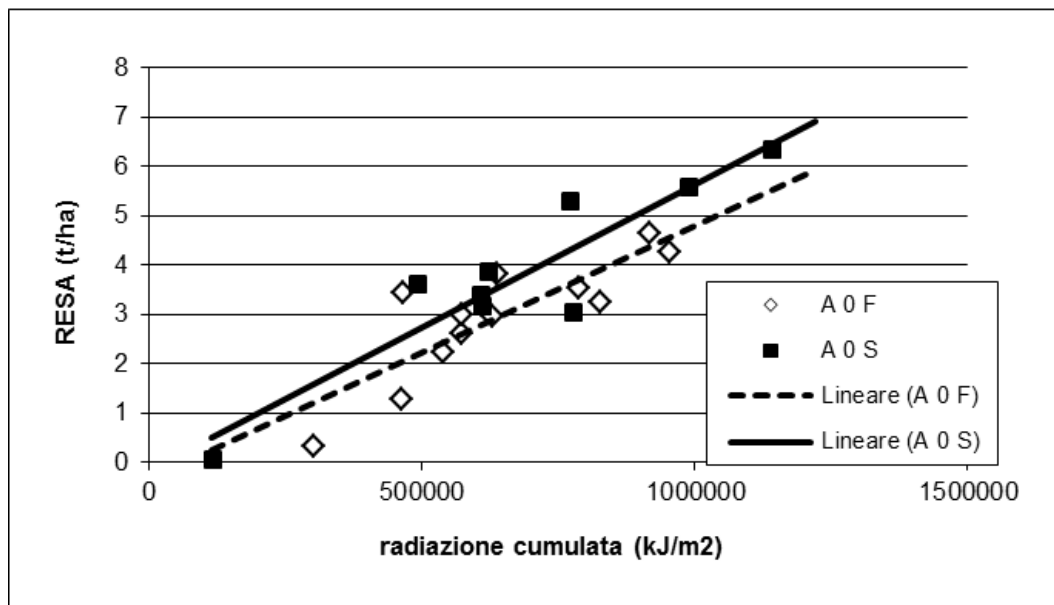


Figura 4.50: Comparazione della produzione di biomassa ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni A0F e A0S.

Nella condizione di alte dosi di azoto e alta densità d'impianto le piante hanno molto nutrimento quindi non esiste differenza tra la produttività degli sfalci normali rispetto a quelli intensivi. Le rette sono praticamente sovrapposte e i punti non si discostano molto l'uno dall'altro (Fig. 4.51).

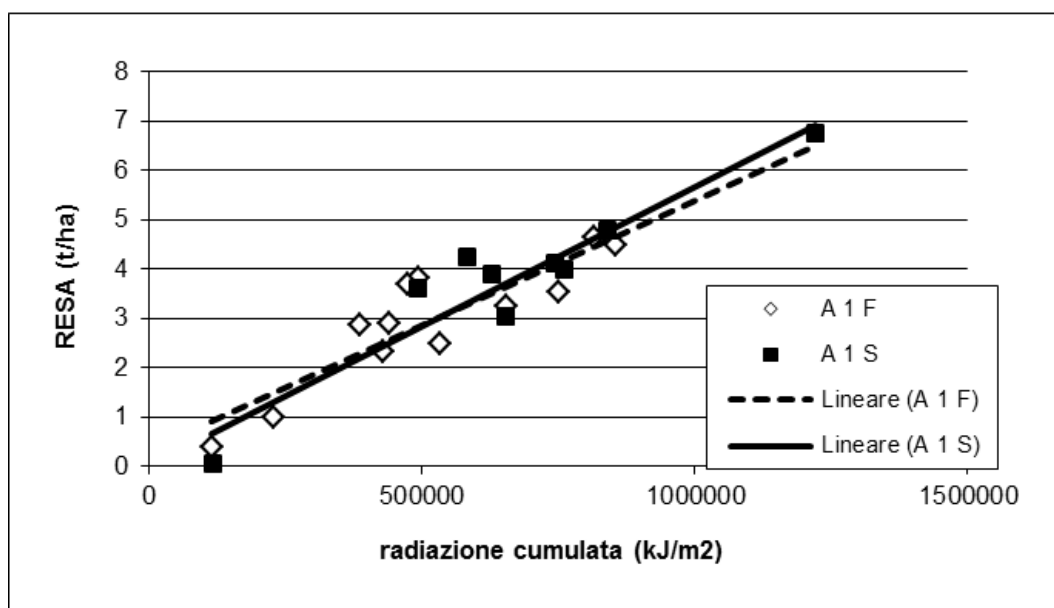


Figura 4.51: Comparazione della produzione di biomassa ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni A1F e A1S.

Anche nelle condizioni di bassa densità di impianto e basso livello d'azoto le rette sono quasi sovrapposte (Fig. 4.52); questo perché le piante essendo meno dense riescono ad assorbire lo stesso gli elementi nutritivi sufficienti alle loro esigenze anche se i livelli di azoto sono bassi. A maggior ragione non esiste differenza tra la produttività degli sfalci normali rispetto a quelli intensivi nelle condizioni di bassa densità di impianto e alte dosi di azoto proprio per l'abbondanza di nutrienti nel terreno (Fig. 4.53).

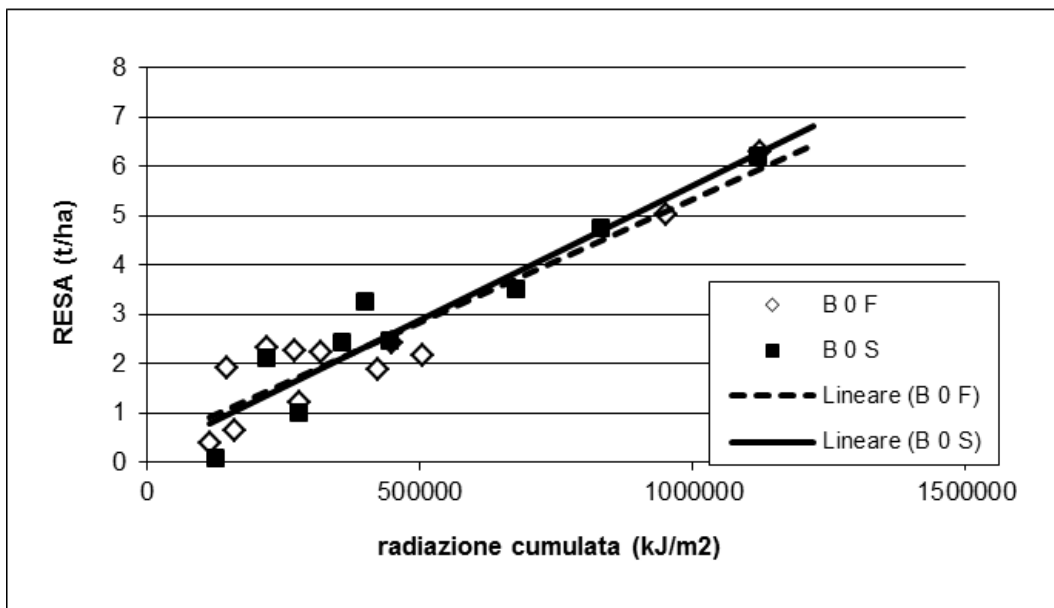


Figura 4.52: Comparazione della produzione di biomassa ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni B0F e B0S.

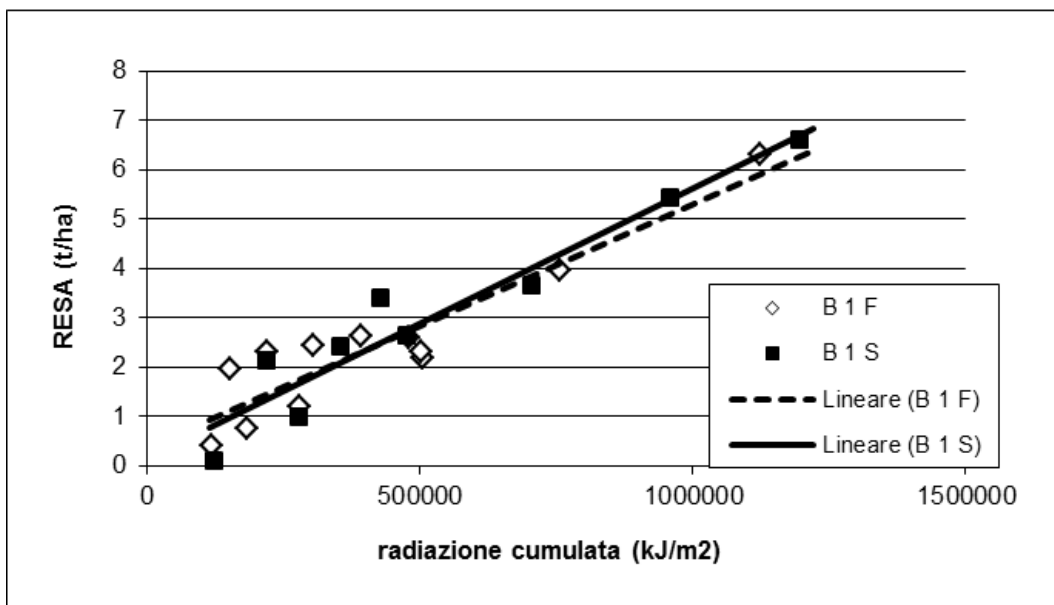


Figura 4.53: Comparazione della produzione di biomassa ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni B1F e B1S.

Nel grafico della figura 4.54 sono state raggruppate tutte le tesi ad alta densità indipendentemente dal tipo di sfalcio e vengono comparate le diverse dosi di azoto. Le due rette sono quasi parallele e si nota che le dosi basse di azoto tendono a dare una produttività più bassa.

Nel caso delle basse densità (Fig. 4.55) le piante essendo meno dense hanno minore richiesta d'azoto. Quindi i livelli di azoto non influiscono sulla produttività

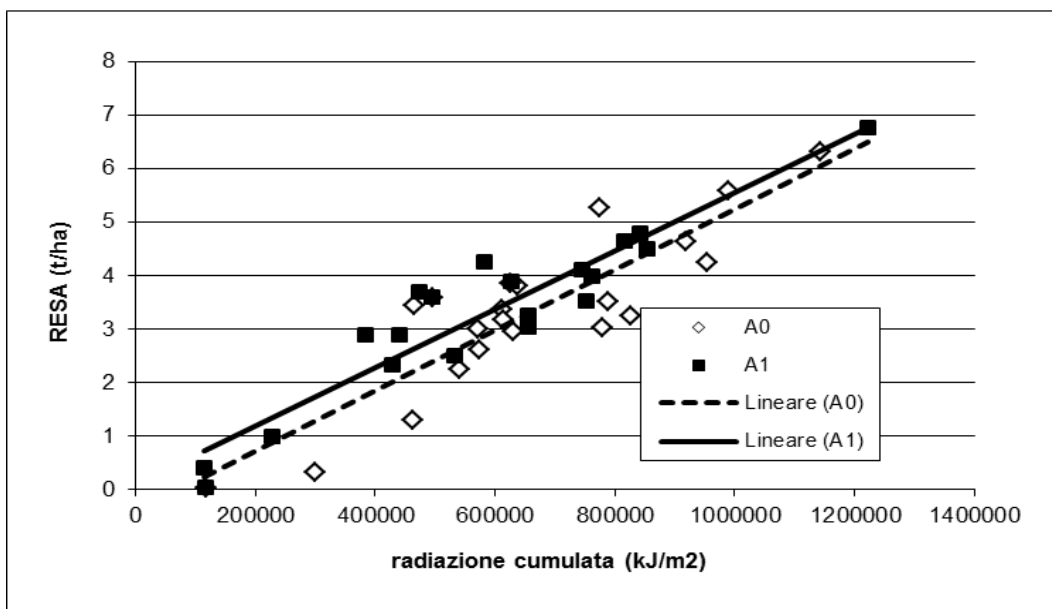


Figura 4.54: Comparazione della produzione di biomassa ($t \cdot ha^{-1} s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni A0 e A1.

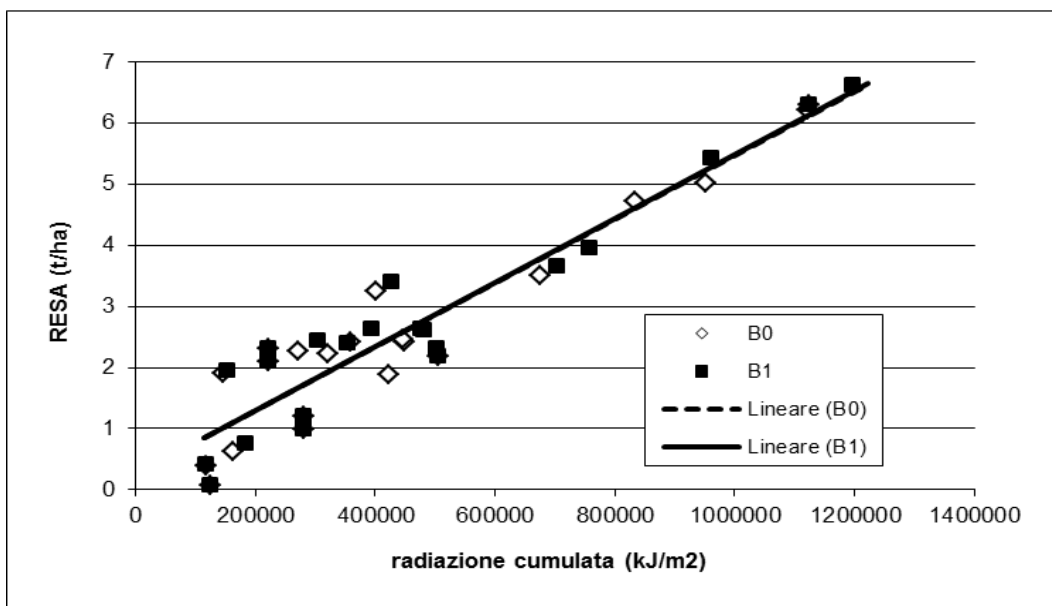


Figura 4.55: Comparazione della produzione di biomassa ($t \cdot ha^{-1} s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni B0 e B1 .

Nel grafico della figura 4.56 vengono invece comparati i dati di alta e bassa densità indipendentemente dagli altri fattori. Si può osservare che la bassa densità ha dato produttività maggiori nel caso di sfalci precoci mentre man mano che viene accumulata radiazione i livelli di densità tendono ad equipararsi. Quindi la bassa densità è più attiva nell'accumulo di biomassa quando c'è poca radiazione mentre l'alta densità non è così attiva. In altri termini le singole piante intercettano meglio la luce rispetto a quando sono addossate una all'altra.

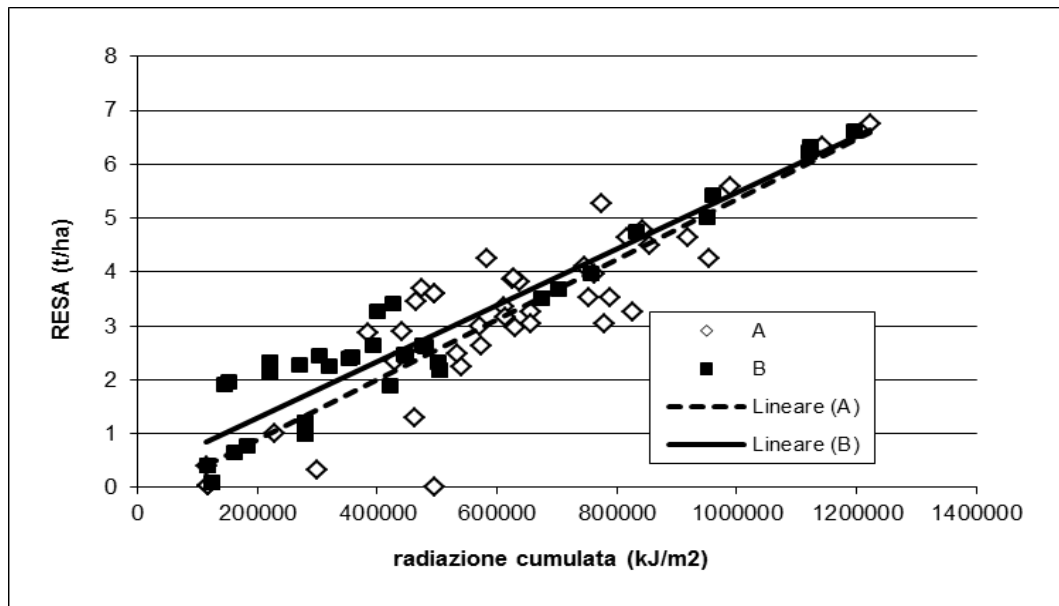


Figura 4.56: Comparazione della produzione di biomassa ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni A=alta densità e B=bassa densità.

L'effetto principale del fattore azoto si può notare nel grafico della figura 4.57. La differenza tra i livelli di azoto si ha soprattutto quando la pianta cresce molto. Facendo tagli tardivi si manifesta una certa differenza di produttività a vantaggio di elevate dosi di azoto.

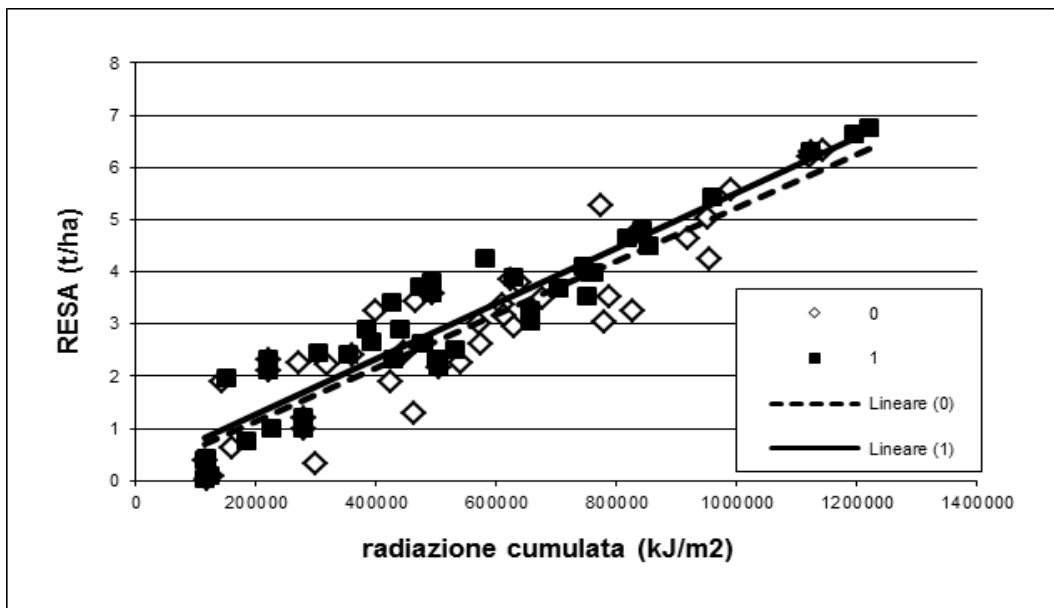


Figura 4.57: Comparazione della produzione di biomassa ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni 0=basse dosi di azoto e 1=alte dosi di azoto.

In fine nel grafico della figura 4.58 viene analizzata la differenza tra sfalci intensivi e normali in toto. Generalmente la retta relativa agli sfalci intensivi sta sotto a quella relativa agli sfalci normali (tranne nel caso di sfalci precoci). Questo perché i tagli normali lasciano più tempo alla pianta per vegetare e la stressano meno, garantendo quindi produttività maggiori.

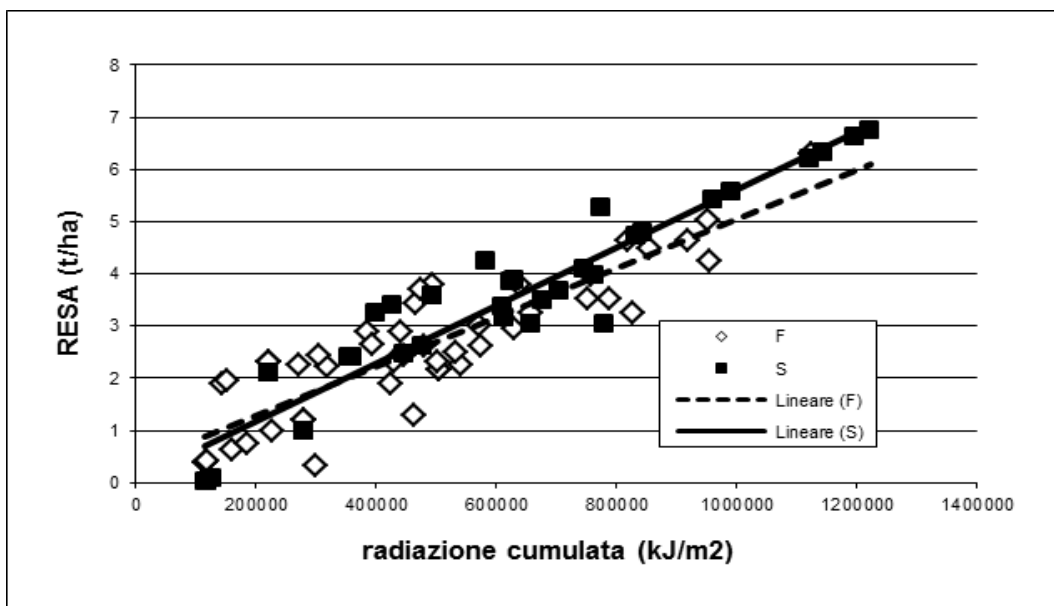


Figura 4.58: Comparazione della produzione di biomassa ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni F=ritmo di taglio intensivo e S=ritmo di taglio normale.

Di seguito è riportata la tabella con i coefficienti di determinazione tra i valori stimati e quelli osservati in termini di produzione in foglie (Tab. 4.2).

Tabella 4.2: Valori di determinazione tra i differenti dati rilevati e osservati in termini di produzione in foglie (dove: A=5 piante/m²; B=3piante/m²- N=fertilizzazione (0=basse dosi e 1=alte dosi)- F=ritmo di taglio intensivo e S=ritmo di taglio normale). In verde sono evidenziati i valori maggiori alla mediana di tutti i valori.

BIOMASSA FOGLIE								
0,985054775								
sesto	A				B			
	0,978159952				0,989596141			
N	0		1		0		1	
	0,974847508		0,981082585		0,989252965		0,98992015	
ritmi	F	S	F	S	F	S	F	S
	0,964876	0,981595	0,968469	0,988857	0,988326	0,991712	0,986218	0,993333

Nel caso della stima della produzione in foglie (Tab. 4.2), i valori di determinazione tra valori osservati e valori stimati sono aumentati rispetto a quelli mostrati nel caso della biomassa totale (Tab. 4.1). Questo particolare si può notare anche dai grafici in figura 4.59-4.62 dove le rette si discostano leggermente meno una dall'altra rispetto ai grafici in figura 4.46-4.49 relativi alla biomassa totale.

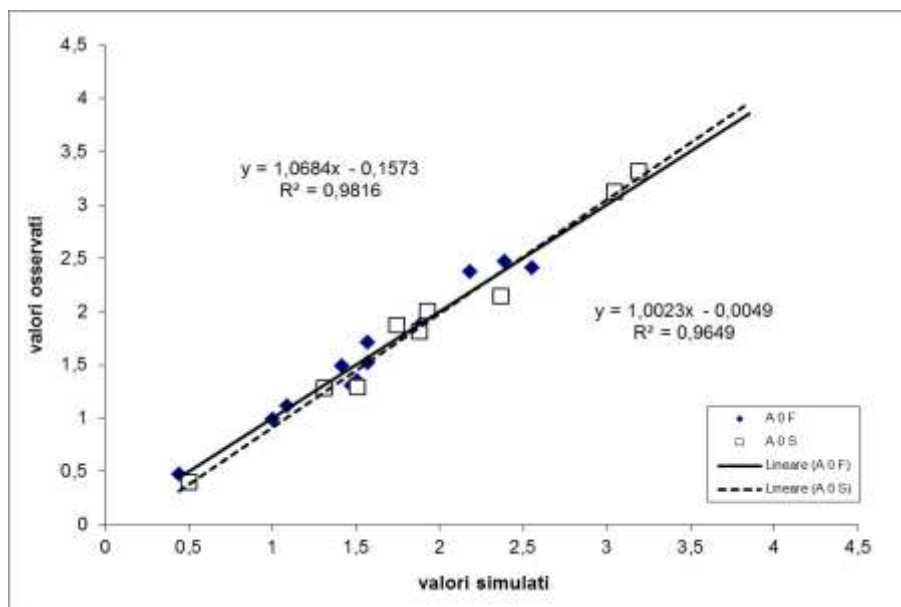


Figura 4.59: Correlazione tra valori simulati e osservati di resa in foglie (t*ha⁻¹ s.s.) delle tesi A0F e A0S e relative rette di regressione.

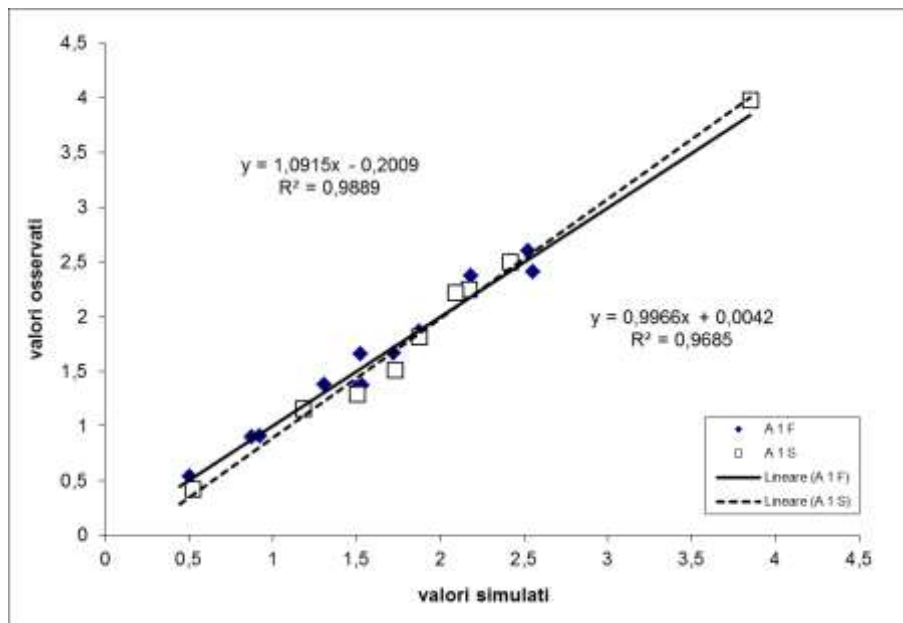


Figura 4.60: Correlazione tra valori simulati e osservati di resa in foglie ($t \cdot ha^{-1}$ s.s.) delle tesi A1F e A1S e relative rette di regressione.

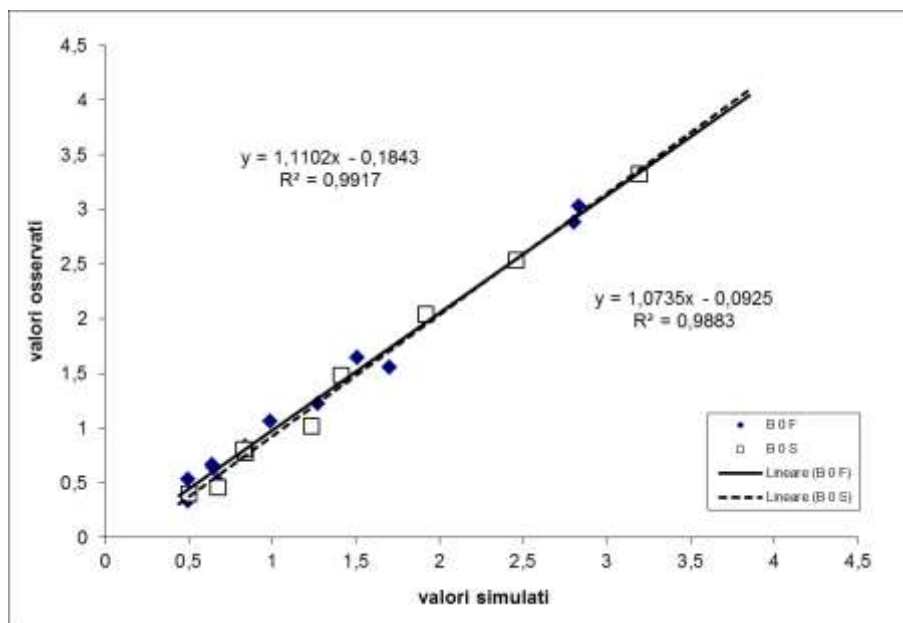


Figura 4.61: Correlazione tra valori simulati e osservati di resa in foglie ($t \cdot ha^{-1}$ s.s.) delle tesi B0F e B0S e relative rette di regressione.

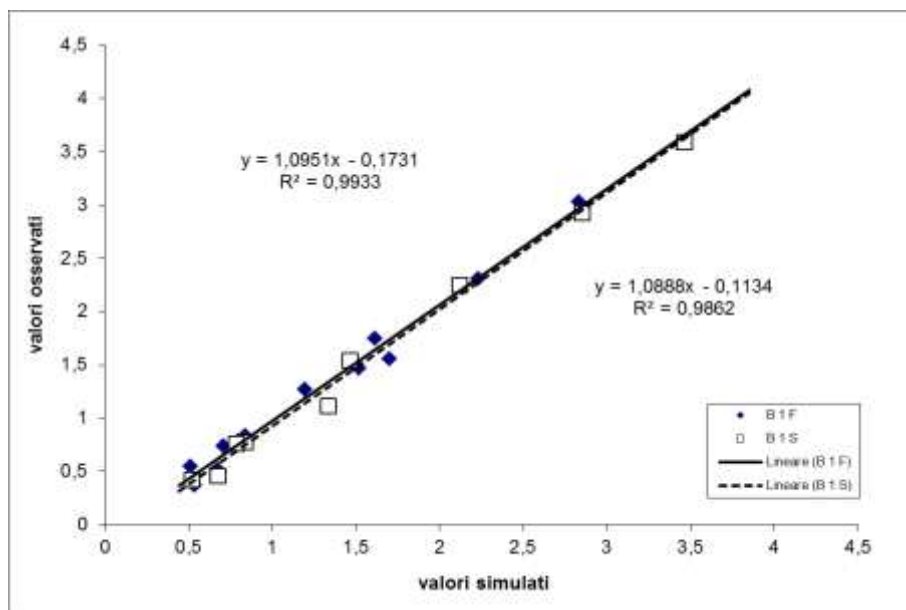


Figura 4.62: Correlazione tra valori simulati e osservati di resa in foglie ($t \cdot ha^{-1} s.s.$) delle tesi B1F e B1S e relative rette di regressione.

Anche nel caso della stima della produzione in foglie tutti i coefficienti ottenuti hanno mostrato una buona correlazione e di conseguenza i modelli utilizzati hanno una buona capacità di stimare i valori reali di campo.

Nella condizione di basse dosi di azoto e alta densità d'impianto c'è stata differenza tra sfalci intensivi e normali. Con tagli intensivi la produzione in foglie è minore rispetto ai tagli normali (Fig. 4.63).

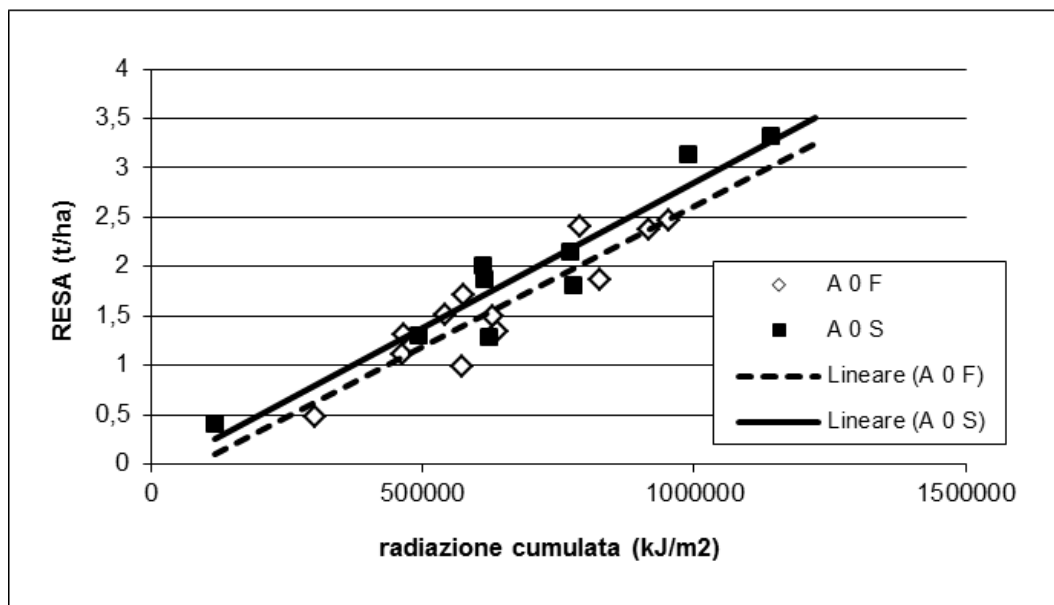


Figura 4.63: Comparazione della produzione in foglie ($t \cdot ha^{-1} s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni A0F e A0S.

Nella condizione di alte dosi di azoto e alta densità d'impianto i tagli intensivi hanno danno una resa in foglie maggiore con tagli precoci rispetto ai tagli normali mentre man mano che viene accumulata radiazione i livelli di densità tendono ad equipararsi (Fig. 4.64).

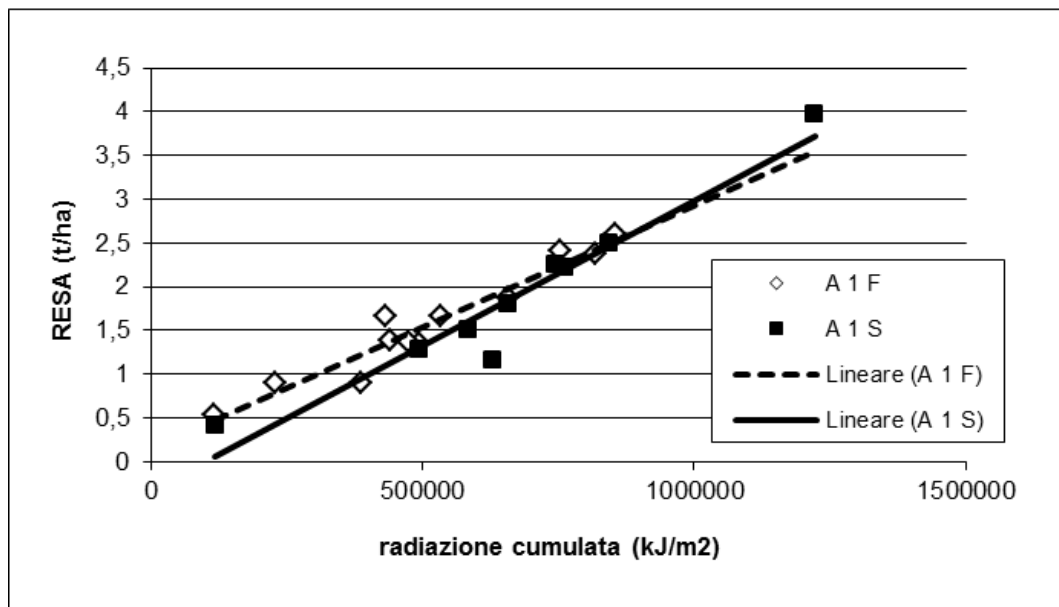


Figura 4.64: Comparazione della produzione in foglie ($t \cdot ha^{-1} s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni A1F e A1S.

Nelle condizioni di bassa densità di impianto e basso livello d'azoto le rette sono quasi sovrapposte (Fig. 4.65); questo perché le piante essendo meno dense riescono ad assorbire lo stesso gli elementi nutritivi sufficienti alle loro esigenze anche se i livelli di azoto sono bassi. A maggior ragione non esiste differenza tra la produttività in foglie degli sfalci normali rispetto a quelli intensivi nelle condizioni di bassa densità di impianto e alte dosi di azoto proprio per l'abbondanza di nutrienti nel terreno (Fig. 4.66).

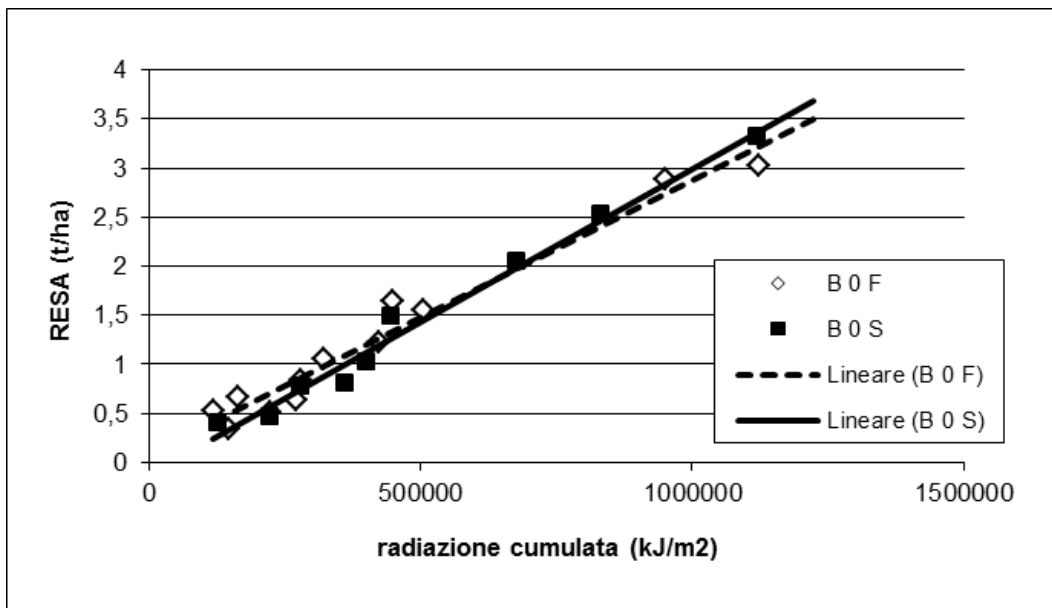


Figura 4.65: Comparazione della produzione in foglie ($t \cdot ha^{-1} s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni B0F e B0S.

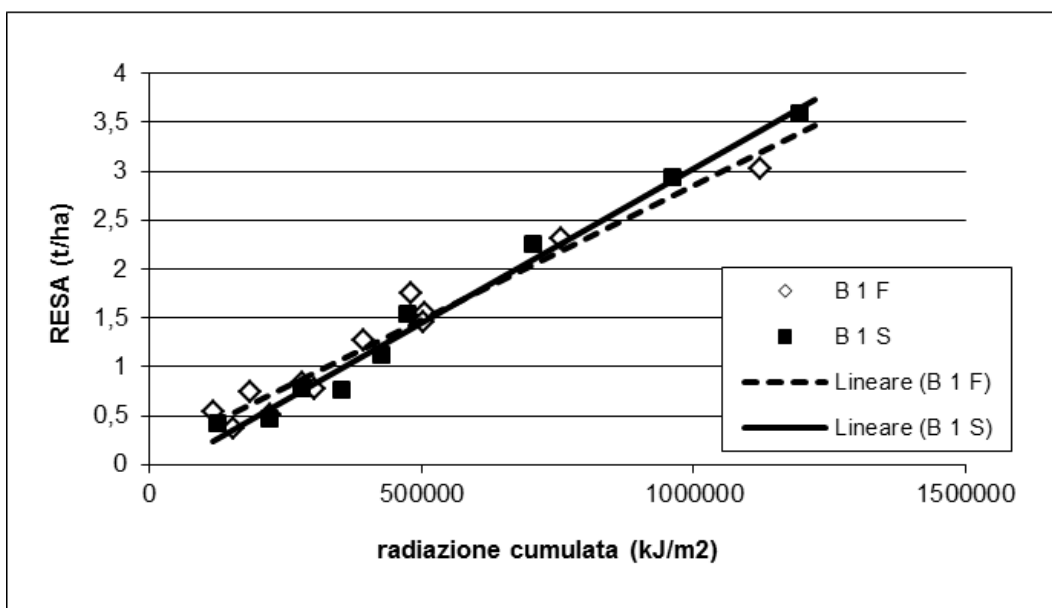


Figura 4.66: Comparazione della produzione in foglie ($t \cdot ha^{-1} s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni B1F e B1S.

Nel grafico della figura 4.67 sono state raggruppate tutte le tesi ad alta densità indipendentemente dal tipo di sfalcio e vengono comparate le diverse dosi di azoto. Le due rette sono quasi parallele e si nota che le dosi basse di azoto tendono a dare una produttività in foglie più bassa.

Nel caso delle basse densità (Fig. 4.68) le piante essendo meno dense hanno minore richiesta d'azoto. Le rette coincidono quindi i livelli di azoto non influiscono sulla produttività in foglie.

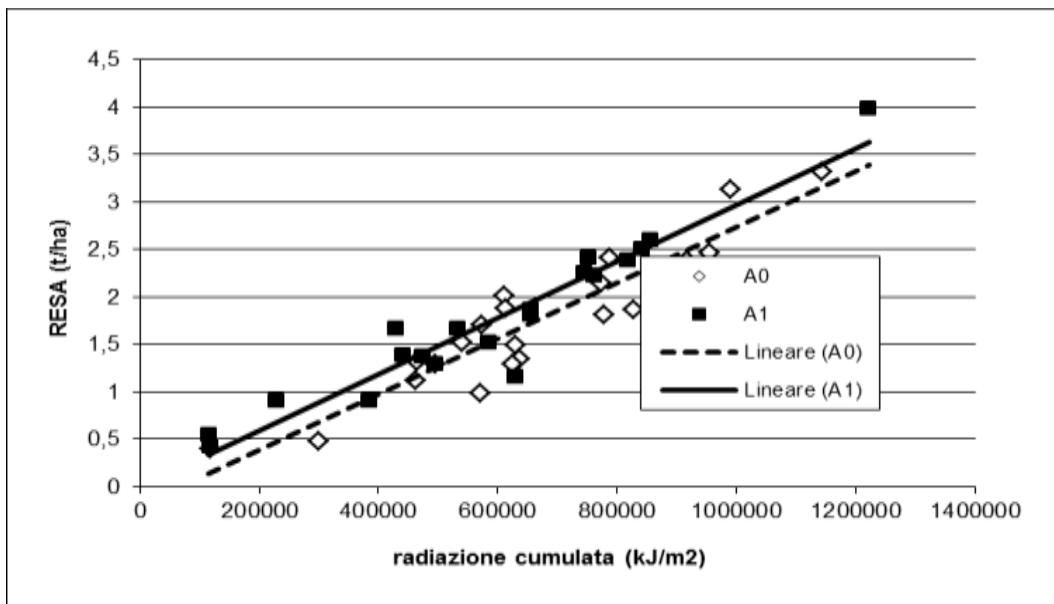


Figura 4.67: Comparazione della produzione in foglie ($t \cdot ha^{-1} s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni A0 e A1.

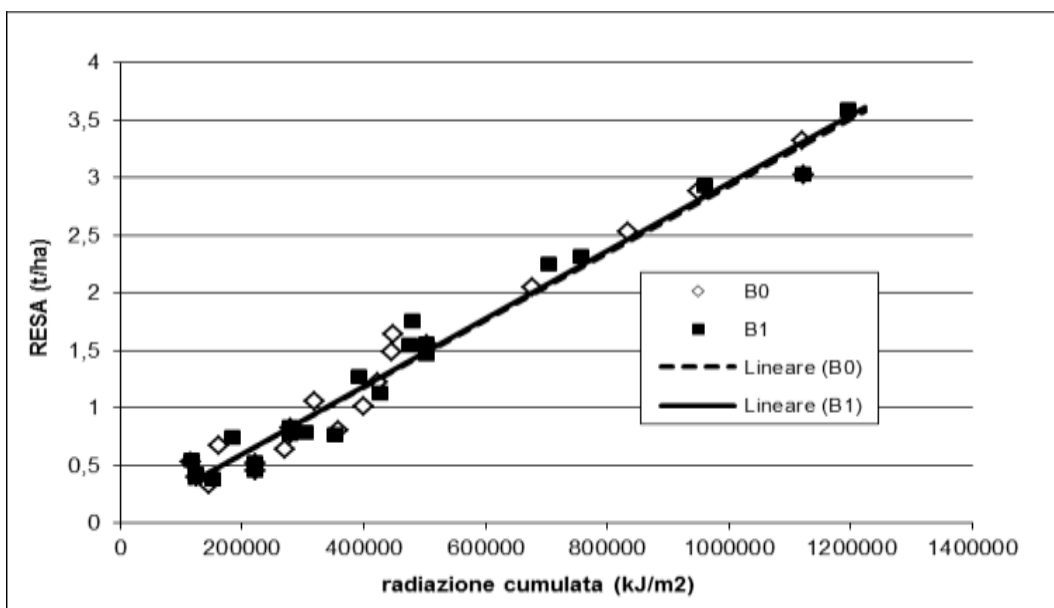


Figura 4.68: Comparazione della produzione in foglie ($t \cdot ha^{-1} s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni B0 e B1 .

Nel grafico della figura 4.69 vengono invece comparati i dati di alta e bassa densità indipendentemente dagli altri fattori. Le rette sono quasi parallele e si può notare come la bassa densità dia produzioni in foglie più alte rispetto all'alta densità.

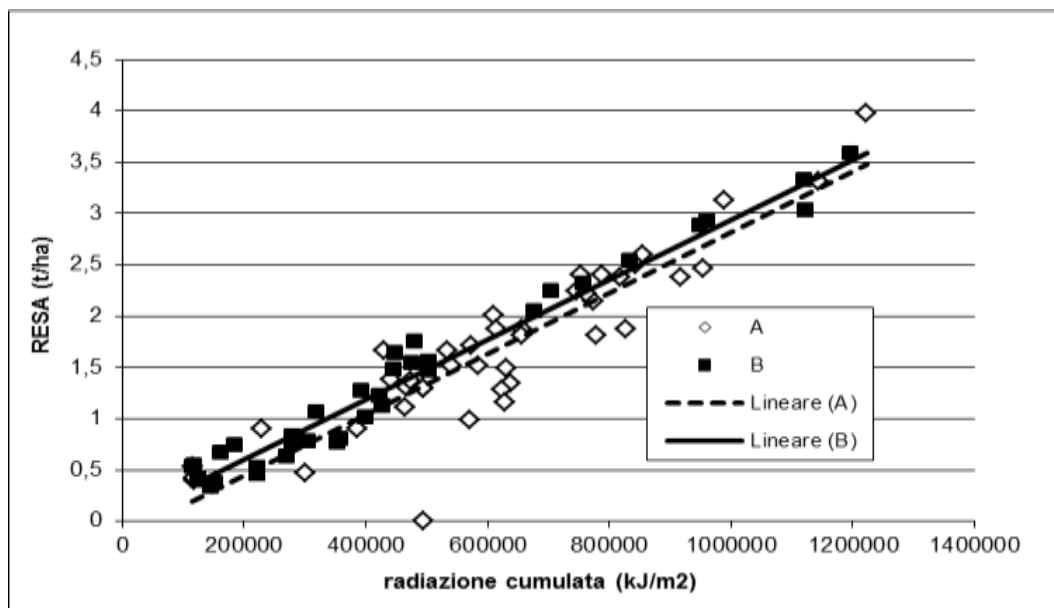


Figura 4.69: Comparazione della produzione in foglie ($t \cdot ha^{-1} s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni A=alta densità e B=bassa densità.

L'effetto principale del fattore azoto si può notare nel grafico della figura 4.70. La differenza tra i livelli di azoto si ha soprattutto quando la pianta cresce molto. Facendo tagli tardivi si manifesta una certa differenza di produttività in foglie a vantaggio di elevate dosi di azoto.

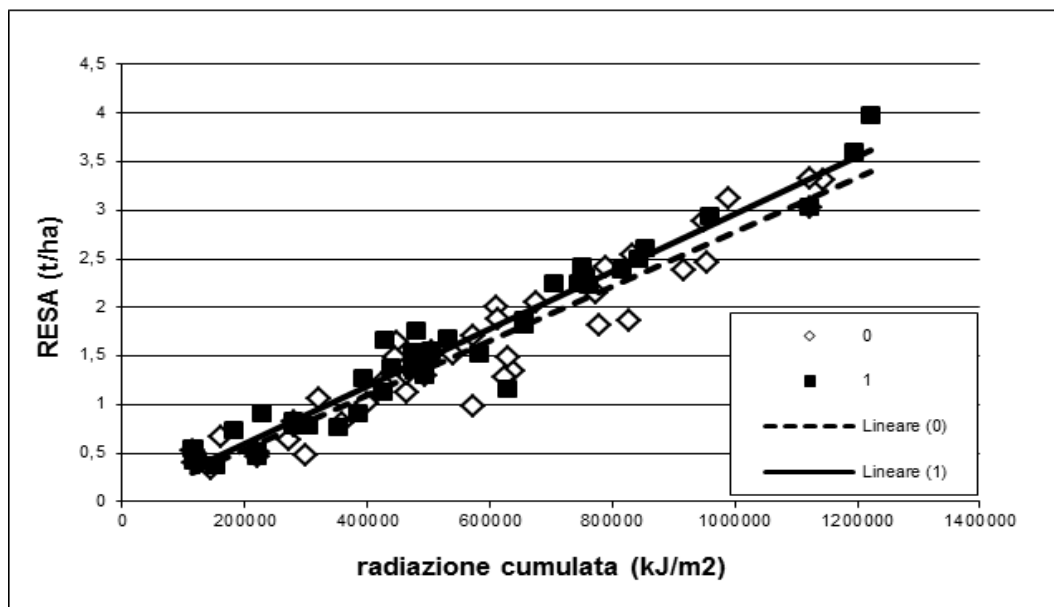


Figura 4.70: Comparazione della produzione in foglie ($t \cdot ha^{-1} s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni 0=basse dosi di azoto e 1=alte dosi di azoto.

In fine nel grafico della figura 4.71 viene analizzata la differenza tra sfalci intensivi e normali in toto. Generalmente la retta relativa agli sfalci intensivi sta sotto a quella relativa agli sfalci normali (tranne nel caso di sfalci precoci). Questo perché i tagli normali lasciano più tempo alla pianta per vegetare e la stressano meno, garantendo quindi produttività in foglie maggiori.

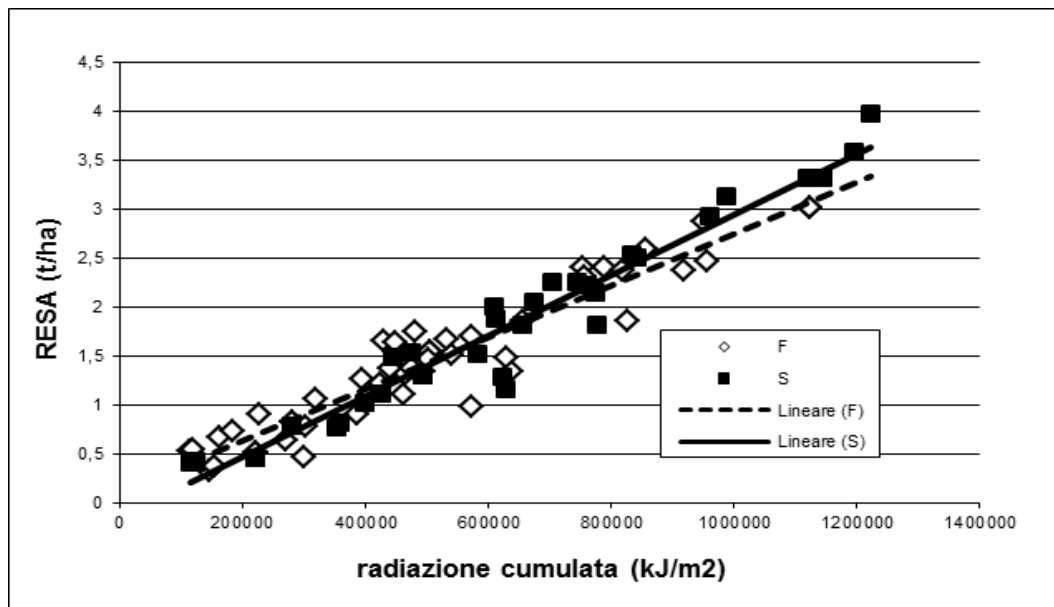


Figura 4.71: Comparazione della produzione in foglie ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni F=ritmo di taglio intensivo e S=ritmo di taglio normale.

Confrontando i grafici precedenti relativi alla produzione di biomassa totale (Fig. 4.50-4.58) con quelli relativi alla produzione in foglie (Fig. 4.63-4.71) nelle diverse condizioni di coltivazione, possiamo osservare come le due produttività (biomassa totale e foglie) si comportino generalmente in maniera analoga (Fig. 4.72-4.80).

Una differenza è stata riscontrata nelle condizioni riportate in figura 4.73 dove i diversi tipi di taglio in condizione di alte dosi di azoto e alta densità d'impianto non hanno comportato differenze di produttività a livello di biomassa totale però i tagli intensivi hanno dato una resa in foglie maggiore con tagli precoci. Altra differenza è stata riscontrata nelle condizioni riportate in figura 4.78 dove si osserva come la bassa densità dia produzioni in foglie più alte rispetto all'alta densità, mentre dia produzioni in biomassa totale più alte solo nel caso di sfalci precoci; man mano che viene accumulata radiazione i livelli di densità tendono ad equipararsi.

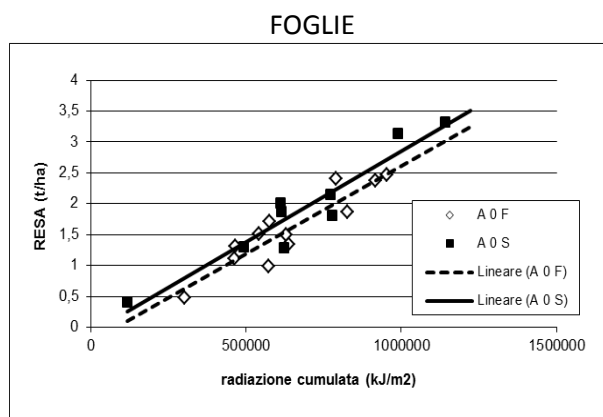
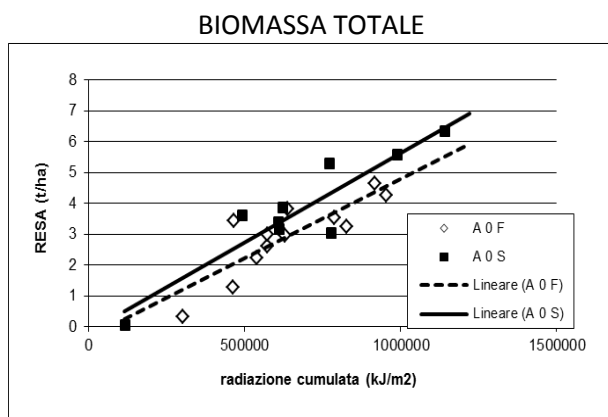


Figura 4.72: Confronto tra i grafici delle rese in biomassa totale ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) e in foglie ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni A0F e A0S.

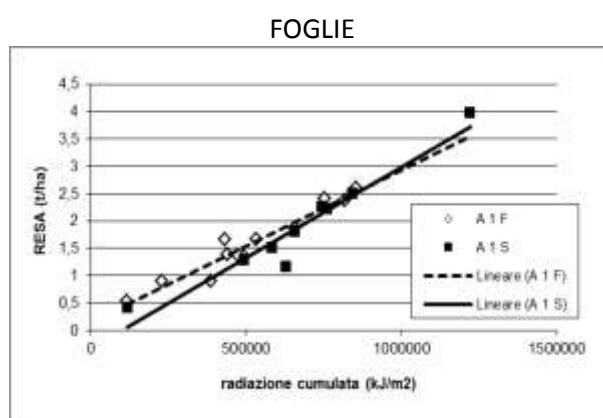
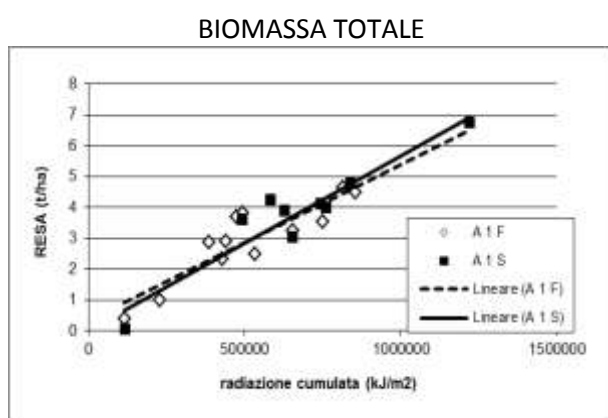


Figura 4.73: Confronto tra i grafici delle rese in biomassa totale ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) e in foglie ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni A1F e A1S.

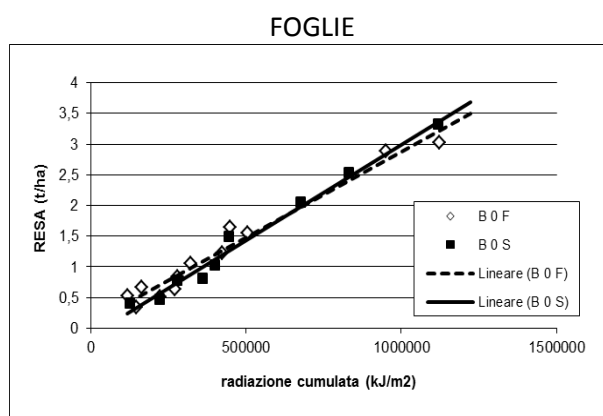
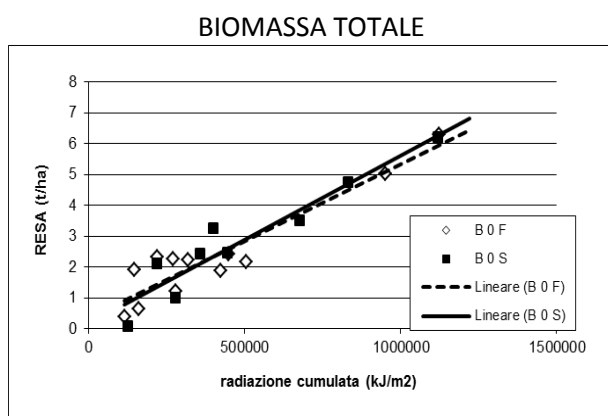


Figura 4.74: Confronto tra i grafici delle rese in biomassa totale ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) e in foglie ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni B0F e B0S.

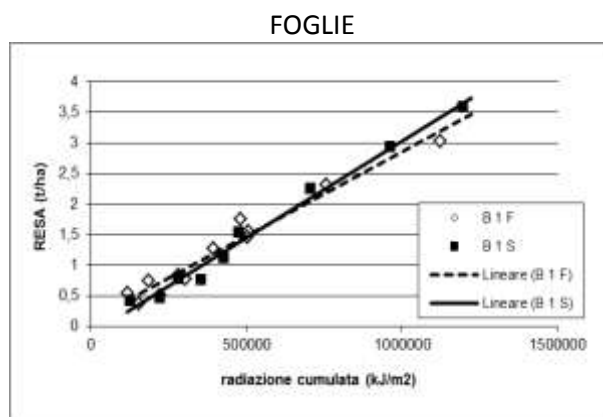
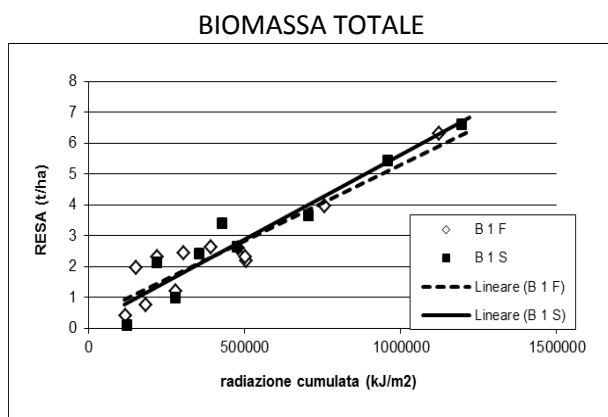


Figura 4.75: Confronto tra i grafici delle rese in biomassa totale ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) e in foglie ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni B1F e B1S.

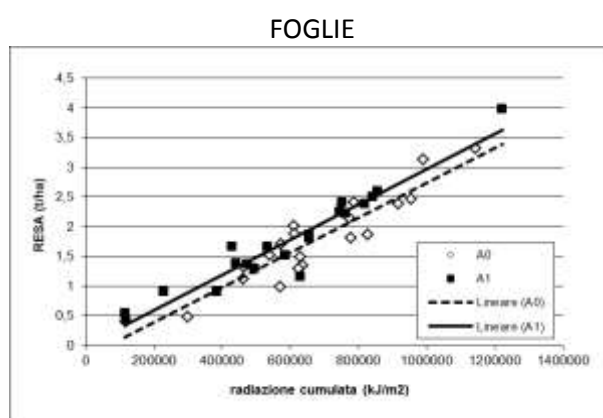
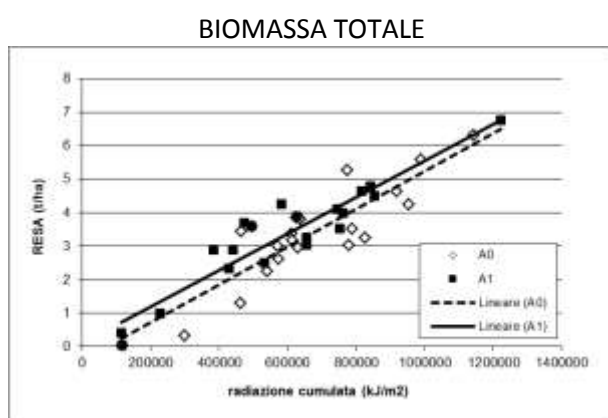


Figura 4.76: Confronto tra i grafici delle rese in biomassa totale ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) e in foglie ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni A0 e A1.

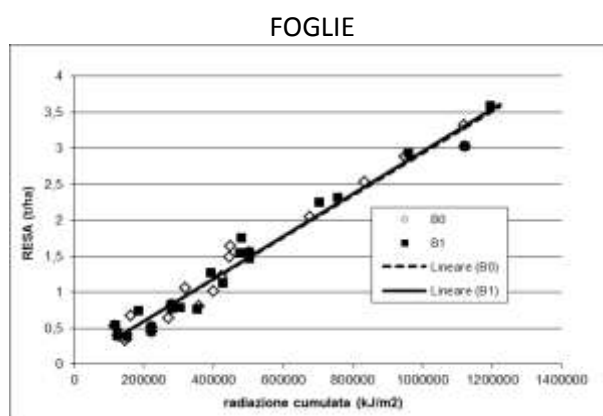
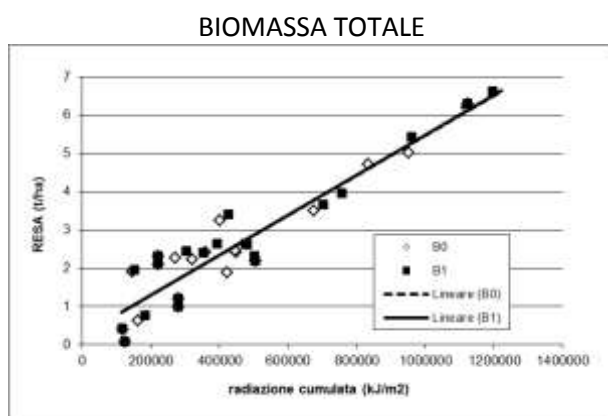


Figura 4.77: Confronto tra i grafici delle rese in biomassa totale ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) e in foglie ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni B0 e B1.

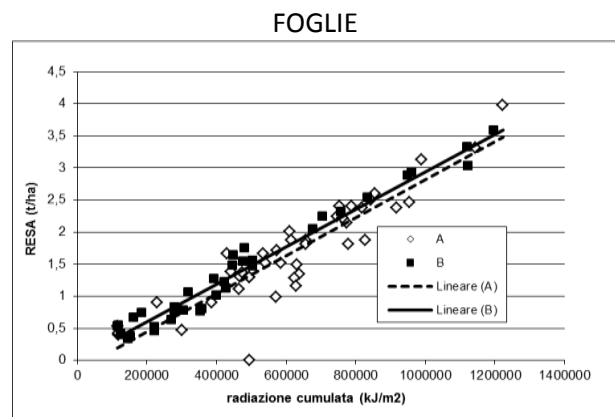
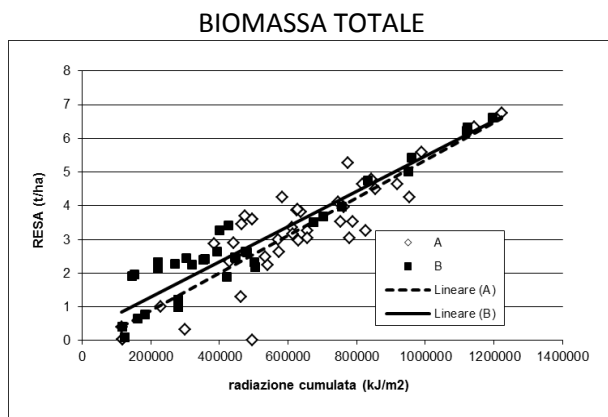


Figura 4.78: Confronto tra i grafici delle rese in biomassa totale ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) e in foglie ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni di A=alta densità e B=bassa densità.

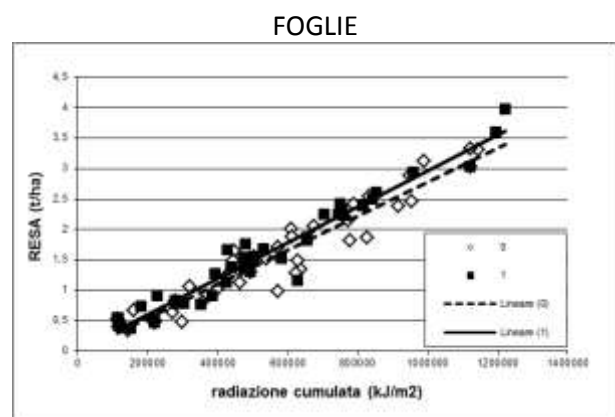
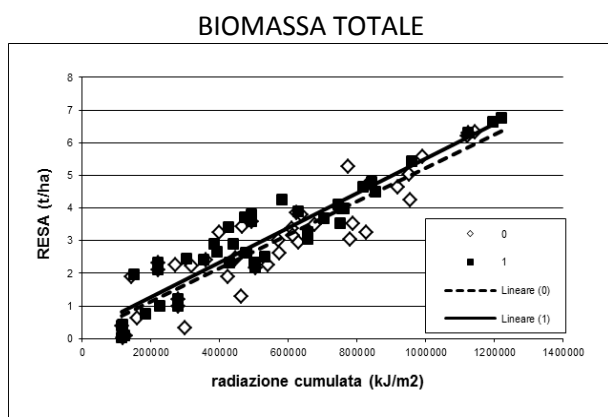


Figura 4.79: Confronto tra i grafici delle rese in biomassa totale ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) e in foglie ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni 0=basse dosi di azoto e 1=alte dosi di azoto.

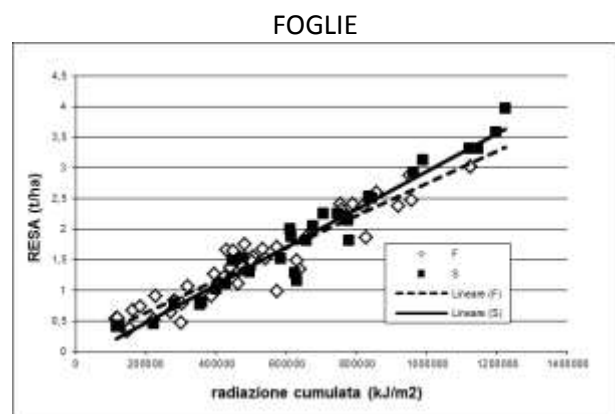
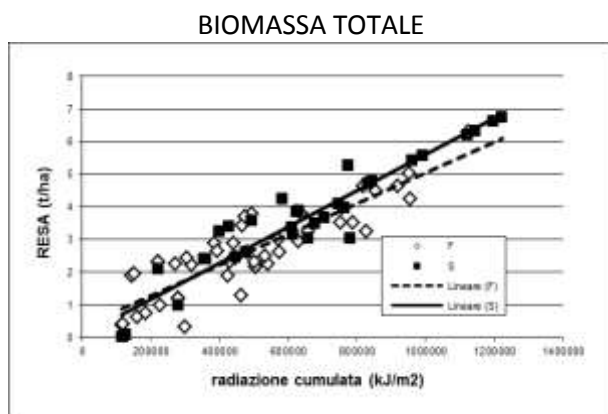


Figura 4.80: Confronto tra i grafici delle rese in biomassa totale ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) e in foglie ($t \cdot ha^{-1} \cdot s.s.$) in funzione della radiazione cumulata (kJ/m^2) fra le condizioni F=ritmo di taglio intensivo e S=ritmo di taglio normale.

5. Conclusioni

La raccolta dei dati e le successive elaborazioni hanno permesso di costruire un modello di simulazione basato su equazioni matematiche in grado di descrivere l'accrescimento della coltura e di prevedere la produzione in ogni momento del ciclo. La successiva taratura del modello ha permesso di ottenere dei sotto-modelli che tengono in considerazione i tre diversi fattori allo studio (vedi 3.3.1); in questo modo si è potuto rilevare quali fossero i contributi di ogni singolo fattore nel determinare la produttività della coltura. I sotto-modelli ottenuti, sebbene presentino delle piccole incongruenze con i valori effettivamente osservati in campo, hanno una buona capacità di stimare la produttività reale.

E' stato osservato (Tab. 4.1 e 4.2) che i risultati migliori sono stati ottenuti con piante allevate con densità pari a 3 piante*m⁻² sebbene il modello principale sia stato costruito su individui allevati con densità pari a 5 piante*m⁻². Questo potrebbe essere spiegato dal fatto che la pianta al quarto anno d'età raggiunge un'espansione tale da coprire lo spazio sulla fila e annullare le differenze tra i due sestri d'impianto. È stato inoltre osservato (Fig. 4.3) che all'aumentare della somma termica la melissa tende ad investire energie nella produzione di fusti a discapito delle foglie. Normalmente l'indice di raccolta dei prodotti aumenta all'aumentare della somma termica (Bindi et al., 1999), mentre per la produzione in foglie, nel nostro esperimento, l'andamento è risultato opposto. Questo fatto può essere visto come un'eccezione alla teoria del Linear increase in harvest index (Bindi et al., 1999). Infatti in questo caso si ha una diminuzione dell'indice di raccolta perché della melissa si raccoglie un organo diverso dai semi/frutti. Se da un lato aumentano le riserve dedicate agli organi riproduttivi, dall'altra significa che percentualmente diminuisce la quota in peso del resto della pianta e, nel nostro caso, diminuisce il rapporto foglie/resto della pianta. Questo comportamento può fornire utili indicazioni al fine della gestione aziendale. Infatti considerando che i prodotti ottenibili dalla melissa sono la pianta intera, destinata ad ulteriori trasformazioni (distillazione, estrazione idroalcolica) e le foglie essiccate destinate al taglio tisana, si tratterà di scegliere la somma termica soglia per ottenere la quantità ottimale di foglie o di biomassa aerea della pianta in funzione del successivo utilizzo.

Il modello ottenuto risulta semplice e versatile, facilmente utilizzabile per venire a conoscenza in qualsiasi momento dello stato della coltura (in termini di biomassa e produzione di foglie), anche senza essere presenti effettivamente in campo. Solo con l'utilizzo di pochi dati meteorologici facilmente reperibili in azienda o da siti specifici, si potranno stimare la produttività in ogni momento del ciclo colturale favorendo così la scelta del tempo ottimale per lo sfalcio.

Queste premesse possono essere impiegate per migliorare l'organizzazione aziendale. Conoscendo la produttività in un dato momento, il modello potrà risultare utile nella programmazione delle operazioni colturali, come la gestione degli sfalci e dei mezzi disponibili in azienda (capacità dell'essiccatoio, strumenti tecnici, macchinari, magazzino, manodopera). Un ulteriore importante utilizzo è a scopo previsionale. Conoscendo i dati storici dei parametri climatici (temperature giornaliere e radiazione intercettata), il modello può essere utilizzato nel decidere se può essere conveniente oppure no coltivare la melissa in un certo ambiente. Ma non solo, riuscendo a prevedere la produttività, permette agli agricoltori che già coltivano questa pianta, di poter ottimizzare la gestione della coltura in relazione ai mezzi disponibili nella loro azienda. Invece, per gli agricoltori interessati ad una futura coltivazione di melissa, il modello potrà essere impiegato al fine di conoscere le richieste che dovranno essere soddisfatte per gestire al meglio un'eventuale coltura.

Bibliografia

- Agrosarda. 2002. L'officina delle erbe: la valorizzazione delle specie vegetali officinali. http://www.sardegna statistiche.it/documenti/12_117_20061221100936.pdf
- Beldi F. e Accorsi E. 2008. Le classiche da tisana: menta e melissa. Bioagricoltura n.108/2008
- Bindi M., Sinclair T.R. e Harrison J. 1999. Analysis of seed growth by linear increase in harvest index. Crop Sci. 39: 486–493
- Catizone P., Marotti M., Toderi G. e Tétény P. 1986. Coltivazione delle piante medicinali e aromatiche. Bologna: Patron Editore.
- Catorci A., Cesaretti S., Gatti R., Menghini M., Pancotto D. e Recchi A. 2006. Recupero, sperimentazione e promozione di piante officinali e medicinali. <http://www.galsibilla.it/old/images/stories/azioni/testo%20libro%20piante%20officinali.pdf>
- Fernandez-Pola J. 2001. Cultivo de plantas medicinales, aromáticas y condimenticias. Barcellona: Ediciones Omega.
- I.S.A.F.A. 2001. Indagine sulla consistenza e le caratteristiche della produzione di piante officinali in Italia. Comunicazioni di ricerca 2001/3. <http://mpf.entecra.it/files/2001-3.PDF>
- Leporatti M.L., Foddai S. e Tomassini L. 1997. Testo-atlante di anatomia vegetale e delle piante officinali. Padova: Piccin Editore
- Marzi, V., e De Mastro, G. 2008. Piante officinali, coltivazione, trattamenti di post-raccolta, contenuti di principi attivi, impieghi in vari settori erboristici. Verona: Mario Adda Editore.
- Mendonça M.C., Santos M.F., Simes R.A., Silva-Mann R. e Blank A.F. 2005. Production and entomofauna associated to lemon balm (*Melissa officinalis* L.) cultivated with sintetic mulch. Revista Brasileira de Plantas Medicinai, 8: 63-7.
- Milesi Ferretti, G., e Massih Milesi Ferretti, L. 2001. La coltivazione delle piante aromatiche e medicinali. Bologna: Calderini Edagricole.
- Morelli, I., Flamini, G., e Pistelli, L. 2005. Manuale dell'erborista, Biosintesi, estrazione e identificazione delle sostanze di origine vegetale. Milano: Tecniche nuove.
- Nimis P.L., Martellos S. e Rinaldi Ceroni R. 2006. Il giardino delle erbe "A. Rinaldi Ceroni" <http://www.ilgiardinodelleerbe.it/images%20schede/Melissa.pdf>
- Parco informa. 2002. Parco Regionale dei Colli Euganei. Supplemento n.1 al n.1/2002. Verona: Cierre Grafica.
- Veneto Agricoltura. 2008. Sperimentazione in agricoltura, piante officinali, *Melissa officinalis* L. <http://www.venetoagricoltura.org/basic.php?ID=1720>

Ringraziamenti

Desidero ringraziare il prof. Bona, relatore di questa tesi, per la disponibilità e cortesia dimostratemi e per tutto l'aiuto fornito durante la stesura.

Un sentito ringraziamento ai miei genitori che, con il loro sostegno morale ed economico, mi hanno permesso di raggiungere questo traguardo.

Grazie a Giada. A te che sei la mia ragazza, compagna, spalla, coscienza; grazie per tutto quanto, per la gioia che mi dai, per le risate, i sorrisi, le emozioni, la comprensione, l'aiuto, la fiducia, il tuo amore, per come sei, perché ci sei. E mi sopporti.

Un ultimo ringraziamento ai compagni di studi, per essermi stati vicini sia nei momenti difficili, sia nei momenti felici: sono stati per me più veri amici che semplici compagni.