



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

**DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA, ANIMALI, ALIMENTI,
RISORSE NATURALI E AMBIENTE**

TESI DI LAUREA IN SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

**CARATTERISTICHE PRODUTTIVE DI IBRIDI DI
SORGO DA SOVESCIO IN FUNZIONE
DELL'EPOCA DI TAGLIO**

Relatore:

Dott.ssa Cristina Pornaro

Correlatore:

Prof. Stefano Macolino

Laureanda:

ALESSIA ANDRIOLO

MATRICOLA N° 2007448

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

SOMMARIO

RIASSUNTO	4
ABSTRACT.....	5
1. INTRODUZIONE.....	6
1.1 ORIGINE DEL SORGO	7
1.2 MORFOLOGIA	8
1.3 STADI FENOLOGICI	11
1.4 TECNICA DI COLTIVAZIONE.....	13
1.5 PROPRIETÀ BENEFICHE	15
1.6 COLTURE DA SOVESCIO.....	17
2. SCOPO DEL LAVORO	19
3. MATERIALI E METODI.....	20
3.1 NUMERO DI PIANTE PER METRO QUADRATO.....	23
3.2 NUMERO DI FOGLIE PER SINGOLA PIANTA	23
3.3 LUNGHEZZA DEGLI INTERNODI	23
3.4 PRODUZIONE DI BIOMASSA DELLA PARTE AEREA	23
3.5 TEMPO DI CRESCITA	24
4. RISULTATI E DISCUSSIONI.....	25
4.1 PRODUZIONE DI SOSTANZA SECCA IN t/ha.....	26
4.2 NUMERO DI PIANTE SU METRO QUADRATO	27
4.3 CRESCITA IN GIORNI.....	28

4.4 NUMERO DI FOGLIE	29
4.5 LUNGHEZZA DEGLI INTERNODI	30
5. CONCLUSIONI.....	32
6. BIBLIOGRAFIA	33

RIASSUNTO

Il sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) è una pianta erbacea annuale appartenente alla famiglia delle Poaceae, la quale fa parte dei cinque cereali più coltivati al mondo per il suo particolare adattamento alle regioni aride e calde, grazie alla sua resistenza alla siccità, alla salinità, agli stress termici e alle malattie.

In commercio ci sono numerose varietà, che si distinguono per la forma, il colore e la composizione chimica della granella e per la destinazione finale.

Esistono sorghi da granella, usati per l'alimentazione umana e animale, sorghi da foraggio, usati per l'insilamento o il sovescio, sorghi zuccherini, usati per la produzione di alcool e biogas, e sorghi da scopa, usati per la fabbricazione di scope e spazzole. Il sorgo da granella può essere ulteriormente suddiviso in sorgo da birra, da farina, da pop-corn e da amido.

Si riserva il fatto di essere un cereale ricco di proprietà nutrizionali e salutistiche, tra cui il fatto di essere privo di glutine, il che lo rende adatto ai celiaci e agli intolleranti al frumento. Ha anche un basso contenuto di grassi e un elevato contenuto di fibre, proteine, ferro, calcio, potassio e antiossidanti, in particolare i composti fenolici, che hanno effetti benefici sul controllo glicemico, sulla prevenzione dei tumori e sull'abbassamento del colesterolo.

Il sovescio è una tecnica agronomica che consiste nella coltivazione di una pianta, per lo più foraggera, in questo caso il sorgo, destinata ad essere interrata per arricchire il suolo di sostanza organica e nutrienti. Questa pratica viene utilizzata per migliorare la fertilità del terreno, controllare infestanti e parassiti del terreno e ridurre l'uso di concimi chimici.

L'elaborato è stato redatto a seguito di una prova sperimentale di campo eseguita presso l'Azienda Agricola dell'Università di Padova dove sono state prese in considerazione le seguenti caratteristiche produttive di cinque particolari cultivar di *Sorghum bicolor* (L.) Moench (Ruzrok, Sugar Graze II, PSE GI3, PSE TI ed PSE GS2): numero di piante per metro quadrato, numero di foglie per pianta, produzione di biomassa della parte aerea, tempo di crescita e lunghezza degli internodi.

Per la stesura di questa tesi ci si è posti come obiettivo quello di analizzare le variazioni delle proprietà sopra elencate in relazione al momento del taglio (deciso essere a 40 ed 80 cm sulla base di test effettuati precedentemente), al fine di individuare le migliori cultivar da utilizzare e le più efficaci modalità di gestione del sorgo da sovescio, in quanto possono influenzare direttamente la quantità e la qualità della biomassa apportata al terreno e la successiva coltura.

Si è potuto constatare attraverso l'analisi dei dati che le caratteristiche produttive come crescita in giorni, numero di foglie e altezza internodi dipendono in maniera molto più considerevole dall'altezza di taglio piuttosto che dalla cultivar, a differenza invece della produzione di sostanza secca e numero di piante su metro quadrato che sono condizionati dalla cultivar.

ABSTRACT

Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) is an annual herbaceous plant belonging to the Poaceae family, which is among the five most cultivated cereals in the world because of its special adaptation to arid and hot regions, due to its resistance to drought, salinity, thermal stresses, and diseases.

There are numerous varieties on the market, which differ in grain shape, colour, and chemical composition, and in their final destination.

There are grain sorghums, used for human and animal feed; fodder sorghums, used for silage or green manure; sugar sorghums, used for alcohol and biogas production; and broom sorghums, used for broom and brush making. Grain sorghum can be further subdivided into brewing sorghum, flour sorghum, popcorn sorghum, and starch sorghum.

It reserves the fact that it is a cereal rich in nutritional and health properties, including being gluten-free, making it suitable for those with celiac disease and wheat intolerance. It is also low in fat and high in fiber, protein, iron, calcium, potassium, and antioxidants, particularly phenolic compounds, which have beneficial effects on glycemic control, cancer prevention, and cholesterol lowering.

Green manure is an agronomic technique involving the cultivation of a forage plant, in this case sorghum, intended to be buried to enrich the soil with organic matter and nutrients. This practice is used to improve soil fertility, control weeds and soil pests, and reduce the use of chemical fertilizers.

The thesis reports results of a field trial conducted at the Experimental Farm of the University of Padua where the following production characteristics of five cultivars of *Sorghum bicolor* (L.) Moench (Ruzrok, Sugar Graze II, PSE GI3, PSE TI and PSE GS2) were considered: number of plants per square meter, number of leaves per plant, biomass production of the aerial biomass, growth time and internode length.

In writing this thesis, we set out to analyze the variations in the properties listed above in relation to the time of cutting (40 and 80 cm based on tests conducted previously), in order to identify the best cultivars to use and the most effective ways to manage green manure sorghum, as they can directly influence the quantity and quality of biomass contributed to the soil and the subsequent crop.

It was found through data analysis that production characteristics such as growth in days, number of leaves, and internode height depend much more considerably on cutting height rather than cultivar, unlike dry matter production and number of plants per square meter, which are conditioned by cultivar.

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

Molti studi hanno dimostrato che la sostanza organica è molto importante per la stabilità fisica, chimica e biologica dei terreni. Essa è in grado di diminuire la compattazione del suolo grazie alla sua capacità di migliorarne la stabilità degli aggregati, aumentando così l'infiltrazione dell'acqua e di conseguenza le riserve di essa in luoghi in cui la piovosità è bassa (Barzegar et al., 2002).

Il contenuto di sostanza organica nei terreni è molto variabile: più del 90% nelle torbe, oltre il 10% in terreni forestali, tra l'1 e il 4% in terreni agrari e meno dell'1% nei suoli molto sabbiosi (Fritegotto, 2017).

La maggior parte delle colture agricole asportano sostanza organica dal terreno e quindi, al fine di mantenere i vantaggi legati alla sua presenza, è necessario apportarne per mantenere la fertilità del suolo a vantaggio delle colture produttive. La sostanza organica può essere apportata concimando con letame o utilizzando delle colture da sovescio.

Negli ultimi anni si è osservato un incremento dell'uso di colture da sovescio dovuto all'aumento dei prezzi dei fertilizzanti, alle nuove normative legate alla distribuzione di quest'ultimi e alla necessità di utilizzare tecniche di coltivazione sempre più sostenibili (Fageria, 2007). Questa tipologia di pratica agricola prevede l'interramento di parti di piante o piante intere allo stato verde, allo scopo di aumentare le proprietà fisiche, chimiche e biologiche del terreno. A seconda della tipologia di pianta e del suo stadio fenologico le proprietà che questa conferisce al terreno variano in modo significativo in base al grado di umificazione e decomposizione del materiale utilizzato per l'interramento.

Alcuni dei benefici che la tecnica del sovescio apporta ai terreni in cui viene effettuato sono:

- La sostanza organica del suolo aumenta con conseguente miglioramento della struttura;
- Miglioramento dell'attività microbica dei terreni dovuto all'aumento della biodiversità la quale, di conseguenza, va ad aumentare gli scambi nutrizionali tra suolo e pianta, incrementandone le difese;
- A seconda della tipologia di coltura utilizzata, si può avere un'accentuazione della fissazione di azoto atmosferico prontamente disponibile per le piante che poi succederanno;
- Diminuzione dell'erosione superficiale operata dagli agenti atmosferici sui suoli cosiddetti "nudi";
- Azione nematocida attuata soprattutto da alcune colture come il sorgo, il quale, a seguito del suo interramento, rilascia sostanze tossiche che vanno a controllare la presenza di Nematodi nel terreno (Sovescio Sementi, 2022).

1.1 ORIGINE DEL SORGO

Esistono diverse opinioni sulla scoperta del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) come pianta utile all'uomo, ma quella più attendibile risale all'8000 a.C., seguita poi dalla sua addomesticazione avvenuta attorno al 4000 a.C. (Venkateswaran et al., 2019).

Il sorgo è una pianta cerealicola originaria dell'Etiopia, dove è stato coltivato per migliaia di anni.

La sua coltivazione è particolarmente diffusa nelle regioni tropicali e subtropicali. Il sorgo è stato uno degli alimenti base nelle diete di molte comunità africane, ed è stato gradualmente diffuso in altre parti del mondo prima in Asia ed Europa e successivamente in America ed Australia attraverso il commercio e gli scambi (Amirante, 2018). Oggi, il sorgo è coltivato su scala mondiale e viene utilizzato per diversi scopi, tra cui l'alimentazione umana e animale, la produzione di biocarburanti e l'uso industriale. A livello globale, Argentina, Etiopia, India, Messico, Nigeria e Stati Uniti sono i principali paesi produttori di sorgo (Venkateswaran et al., 2019).

È interessante notare che ci sono diverse varietà di sorgo, ciascuna con caratteristiche specifiche e adattamenti alle condizioni ambientali locali. Alcune varietà sono coltivate per la produzione di granella, mentre altre sono utilizzate come foraggio per il bestiame. La diversità genetica del sorgo è stata sfruttata per adattare la coltivazione alle varie esigenze agricole e alimentari in tutto il mondo (Giunco, 2015).

Nei paesi più sottosviluppati, come l'Africa settentrionale o l'India, il sorgo assume un'importanza rilevante come alimento dato dal fatto che possiede dei buoni valori nutrizionali. Esso viene impiegato nell'alimentazione umana poiché privo di glutine, rendendolo adatto alle persone affette da celiachia. Mentre in paesi, come gli Stati Uniti d'America, il sorgo viene utilizzato durante il processo di fermentazione nella produzione della birra (Borgacci, 2020).

Tabella 1: componenti nutrizionali di un chicco di sorgo su 100g di parte edibile (Borgacci, 2020).

<u>Energia</u>	327kcal
<u>Proteine</u>	11,5g
<u>Lipidi</u>	2,3g
<u>Glucidi</u>	70g
<u>Ferro</u>	2,7mg
<u>Calcio</u>	25mg

1.2 MORFOLOGIA

Il sorgo appartiene alla famiglia delle Poaceae e rientra nella forma biologica delle terofite scapose.

L'apparato radicale è fascicolato e formato da radici secondarie che si espandono in profondità, portando così ad un migliore assorbimento dell'acqua e delle sostanze nutritive.

Presenta un culmo non lignificato ma robusto perché pieno ed eretto che può raggiungere l'altezza di 3 metri e un diametro tra i 7 e i 10 cm (Appunti di Foraggicoltura di Macolino Stefano).

Le foglie sono lanceolate e lineari, hanno però stomi più piccoli e in numero minore rispetto al mais.

La pianta, durante i periodi di siccità, può andare incontro a stasi vegetativa per ridurre al minimo la traspirazione e poter così affrontare nel miglior modo le temperature avverse (Appunti di Foraggicoltura di Stefano Macolino). Il numero di foglie varia da 8 a 20 a seconda della varietà anche se solitamente quelle tardive ne hanno di più.

L'infiorescenza è una pannocchia formata da più racemi composti a loro volta da più spiglette uniflore che solitamente sono 2-3 dove quella centrale è ermafrodita e subsessile mentre le restanti sono maschili e peduncolate.

Il sorgo può presentare sia varietà in cui le cariossidi sono vestite in quanto le glume rimangono aderenti al frutto, sia varietà che perdono le glume e hanno cariossidi nude.

Le cariossidi hanno forma sferica e una grande variabilità di dimensione dovuta al tipo di destinazione della pianta così come il colore può variare dal bianco, giallo, bruno, rosso o bruno-violaceo.

Il sorgo ha bisogno che il terreno raggiunga una temperatura di almeno 14°C affinché possa germinare e ha necessità di luce in quanto è una specie macroterma.

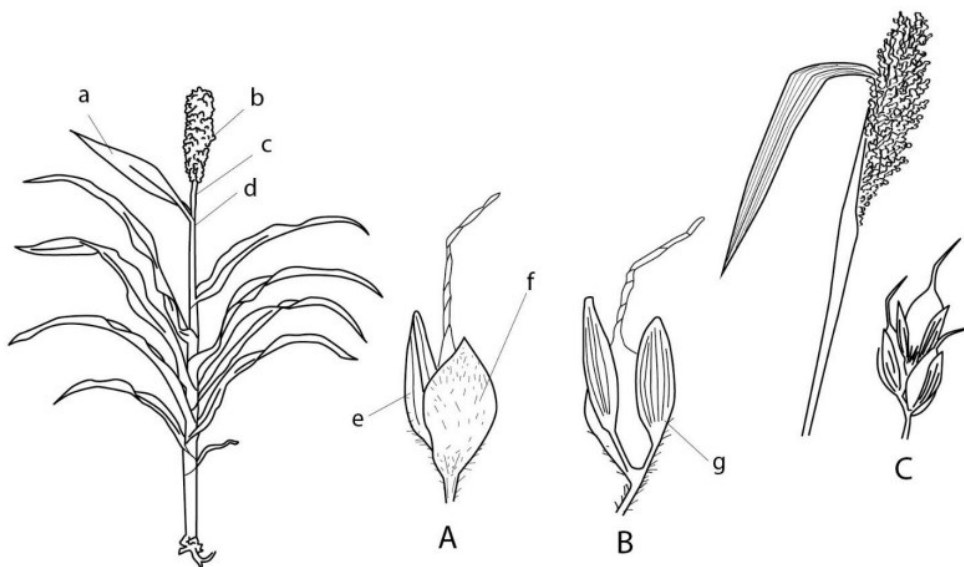


Figura 1: a= foglia a bandiera b= pannocchia c= parte terminale del culmo d= guaina della foglia a bandiera C= racemo di spiglette A, B= spiglette (A= doppia spigletta, B= tripla spigletta). Spigletta pedicellata (e, g), spigletta sessile con resta (f)

Tratto da: Appunti di foraggicoltura di Stefano Macolino.

I tipi di sorgo individuati a fini agronomici sono quattro:

- Sorgo da granella: raggiunge un'altezza massima di 1,5m circa dovuto al fatto che presenta internodi brevi; il culmo è povero di zuccheri o addirittura privo; la pannocchia è densa ed eretta con cariossidi grosse e ricoperte in parte da glume; utilizzata per l'alimentazione umana nei paesi in via di sviluppo e nell'alimentazione animale in sostituzione della granella di mais;
- Sorgo da foraggio: il culmo raggiunge altezze maggiori con pannocchia più lassa; utilizzato per l'alimentazione del bestiame;
- Sorgo da scope o saggina (*Sorghum bicolor* var. *cernuum*): il culmo è molto alto e legnoso; la pannocchia ha le ramificazioni laterali molto lunghe con cariossidi piccole o addirittura assenti; impiegato per la produzione di scope;
- Sorgo zuccherino (*Sorghum bicolor* var. *saccharatum*): si presentano come piante molto alte con culmo grosso, il quale contiene elevate quantità di saccarosio. Purtroppo, non può essere utilizzato per la produzione di zucchero a causa di particolari proprietà organolettiche della pianta e quindi è usato per l'industria dell'alcool o come coltura foraggera.



Figura 2: *Sorghum bicolor* subsp. *Bicolor*



Figura 3: *Sorghum bicolor* cv da biomassa



Figura 4: Sorghum bicolor subsp cernuum



Figura 5: Sorghum bicolor subsp. saccharatum

1.3 STADI FENOLOGICI

Il ciclo vegetativo è quello tipico delle Poaceae:

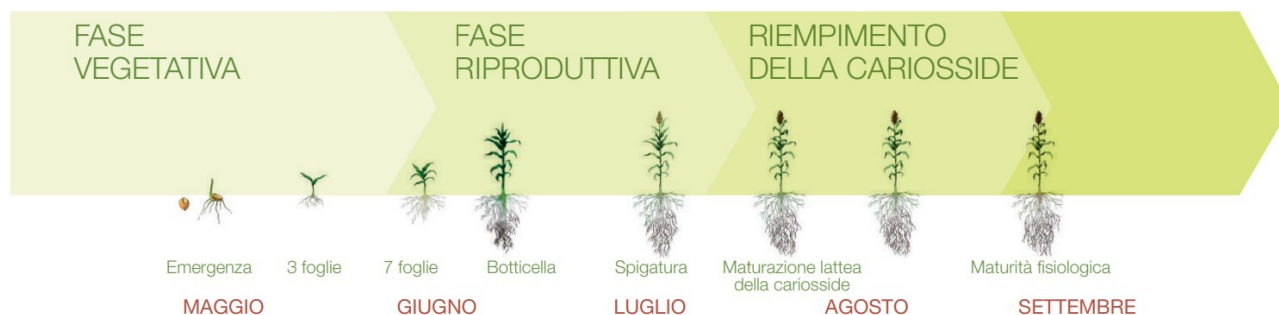


Figura 6: stadi fenologici del sorgo da granella. Tratto da: (Sorghum ID, 2017) .

- ❖ EMERGENZA COLEOPTILE: il coleoptile emerge ed è visibile sulla superficie del suolo;
- ❖ TRE FOGLIE SVILUPPATE: dopo 10-20 giorni dall'emergenza abbiamo tre foglie completamente espanse;
- ❖ CINQUE FOGLIE SVILUPPATE: cinque foglie sono completamente espanse con la ligula visibile. Da questo stadio inizia un rapido sviluppo della pianta con accumulo di sostanze nutritive;
- ❖ DIFFERENZIAMENTO DELL'APICE MERISTEMATICO: a 30-40 giorni dall'emergenza inizia la formazione della pannocchia;
- ❖ FOGLIA A BANDIERA VISIBILE: in questa fase si verifica un elevato assorbimento di minerali quali potassio, fosforo e azoto;
- ❖ STADIO DI AVVIO: l'area fogliare arriva alla massima espansione, con l'allungarsi del peduncolo, cioè la porzione compresa tra la foglia a bandiera e la pannocchia. Momento della crescita che avviene a circa 50-60 giorni dall'emergenza;
- ❖ FIORITURA AL 50%: questo stadio viene raggiunto quando tutte le piante di una coltivazione hanno la pannocchia completamente sviluppata e per il 50% di esse è in corso la fioritura. Mentre in relazione ad una singola pianta, quando la pannocchia è fiorita per il 50%;
- ❖ STADIO CEROSO: momento molto delicato per la pianta che non deve essere sottoposta a stress di alcun tipo in quanto abbiamo il passaggio dei nutrienti e successivo accumulo dal fusto al seme;

sensibilità allo stress idrico:



Figura 7: sensibilità allo stress idrico in relazione al periodo vegetativo.

- ❖ GRANO DURO: si può osservare la senescenza delle foglie basali dovuto all'esaurimento dei nutrienti che vengono traslocati nei semi i quali raggiungono il 75% della sostanza secca finale;
- ❖ MATURAZIONE FISIOLÓGICA: al fine di individuare il periodo ottimale per la raccolta si va ad osservare la presenza di una macchia nera, anche detto "strato nero", alla base del chicco. L'umidità ottimale per la raccolta si aggira attorno ai 25-35% (InfoAgronomo, 2023).

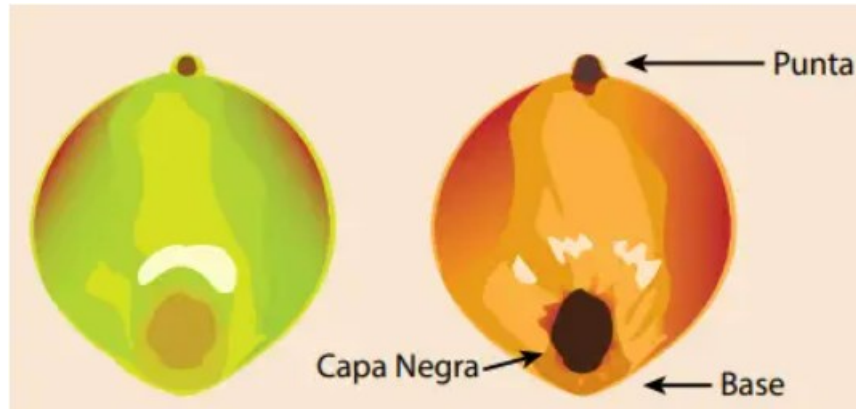


Figura 8: presenza dello "strato nero" in corrispondenza del momento della maturazione fisiologica (InfoAgronomo, 2023).

1.4 TECNICA DI COLTIVAZIONE

(tratto da: (Agraria.org, 2023))

Nonostante il sorgo possieda molteplici vantaggi dal punto di vista produttivo e di adattabilità ambientale, presenta comunque alcuni svantaggi legati alla fragilità dei suoi semi. Questi sono di dimensioni ridotte ed estremamente delicati rispetto alle condizioni climatiche, costituendo così un elemento vulnerabile nella coltivazione di questa pianta.

La preparazione accurata del terreno in autunno è essenziale per far fronte alle ridotte dimensioni del seme: se la granulometria del terreno fosse eccessiva, il seme potrebbe finire troppo in profondità, compromettendo la sua capacità di germinazione causando un allungamento di tale periodo e, di conseguenza, influenzare negativamente il ciclo complessivo di coltivazione. Pertanto, è cruciale adottare pratiche di preparazione del terreno che evitino problemi legati alla profondità di semina e favoriscano un ambiente ottimale per la germinazione e lo sviluppo delle piante di sorgo. Si procede quindi con un'aratura profonda, per interrare gli stocchi della coltura precedente, seguita da estirpatura ed erpicatura che riducono notevolmente le dimensioni degli aggregati per riuscire a livellare al meglio il terreno e renderlo pronto per la semina primaverile. Si sconsiglia di effettuare colture intercalari come, ad esempio, l'orzo, in quanto il suolo necessita di rimanere incolto per la stagione invernale affinché possano agire le intemperie, come il ghiaccio, sullo sminuzzamento delle particelle dato dal congelamento e successivo scongelamento dell'acqua presente in esse.

La semina può quindi avvenire quando la temperatura del suolo si aggira attorno ai 14°C e cioè avviene verso metà maggio per il nord e centro Italia e verso fine aprile per il sud, periodo in cui indicativamente si possono avere le condizioni ambientali tali affinché possa svilupparsi nel miglior modo possibile ma soprattutto perché germi.

Come anticipato, il seme non va posto troppo in profondità, perché andrebbe ad ostacolare la normale emergenza ma nemmeno troppo in superficie perché lo si renderebbe eccessivamente soggetto a rischi come la predazione da parte di uccelli o il suo disseccamento.

A tal proposito la profondità di semina si aggira attorno ai 20-30 mm, fino ad un massimo di 40 mm con densità pari a 10-15 kg/ha ed avviene con seminatrici da frumento o pneumatiche, utilizzate per la semina della barbabietola, apportandovi gli opportuni adattamenti per il seme del sorgo.

Anche la concimazione assume un ruolo importante durante la crescita della pianta, soprattutto per quanto riguarda l'azoto, in quanto la sua carenza incide notevolmente sulla produzione dovuto al disseccamento precoce della parte epigea. Le dosi da apportare ad un terreno vanno razionate a seconda della quantità di sostanza organica presente ed alla produzione che si desidera o si presuppone verrà ottenuta: dai 230 kg/ha per terreni poco dotati su cui si vorrebbero avere anche 9 t/ha, ai 100-140 kg/ha in terreni già ben dotati.

Anche il fosforo assume notevole importanza per il sorgo in quanto è un componente di alcune molecole come fosfolipidi, proteine del nucleo e lecitine. È di facile individuazione una carenza di fosforo in quanto si

trasmette in un arrossamento delle foglie negli stadi giovanili della pianta. Al fine di sopperire a tale inconveniente si consiglia di apportare una quota di concime fosfatico alla semina (Fertilgest, 2017).

Durante la coltivazione del sorgo si renderà necessario eliminare le malerbe nell'interfila che vanno a limitare le risorse nutritive e la normale crescita, ma la riduzione sempre più insistente di principi attivi adatti a questa coltura ci porta ad effettuare sarchiature meccaniche, che oltre a questo ci permettono di arieggiare il terreno, soprattutto in suoli argillosi soggetti a fessurazioni e a rapido disseccamento.

Date le peculiarità morfologiche del sorgo, in alcune regioni come quelle dell'Italia settentrionale, l'irrigazione risulta addirittura superflua. Ciò è dovuto principalmente all'impiego di un sistema radicale che si sviluppa in profondità per attingere acqua da strati remoti del terreno. Le foglie del sorgo, caratterizzate da una marcata cutinizzazione e da un minor numero di stomi rispetto al mais, contribuiscono a questa resistenza alle condizioni di stress idrico.

Una caratteristica distintiva è la capacità del sorgo di entrare in uno stato di stasi vegetativa fino a quando non si verificano condizioni favorevoli per riprendere la normale attività vegetativa. Questo è in contrasto con il mais, che, in caso di stress idrico, subisce un arresto nello sviluppo con una conseguente significativa riduzione della produzione. Tuttavia, in ambienti molto aridi è necessario intervenire con almeno un'irrigazione al fine di limitare il più possibile le perdite produttive per siccità.

A differenza del sorgo da granella, il quale viene raccolto da settembre ad ottobre, quando l'umidità della granella si aggira attorno al 25%, per il sorgo utilizzato come coltura da sovescio il taglio avviene a circa due mesi di distanza dalla semina quando si presuppone abbia raggiunto le caratteristiche idonee a svolgere la sua azione nematocida (Agraria.org, 2023).

Le produzioni medie in Italia sono attorno le 6,0-8,0 t/ha di granella, fino anche al raggiungimento di 10 t/ha in particolari areali, ma soprattutto a seconda della varietà coltivata, con un prezzo del sorgo bianco nazionale che al 30/11/2023 è quotato dalla borsa di Bologna tra i 203 e 208 €/t (TESEO, 2023).

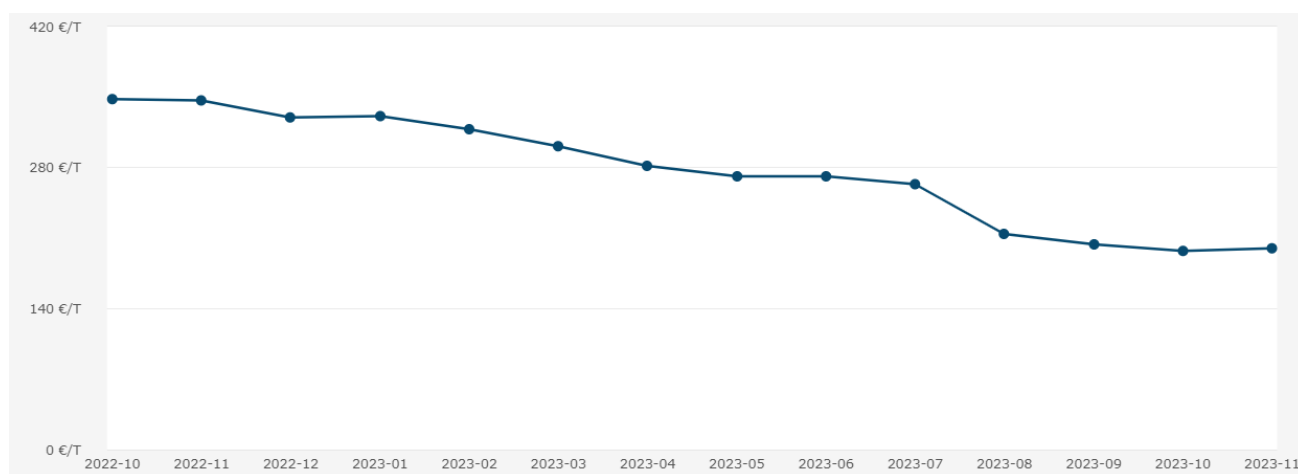


Figura 9: variazione di prezzo del sorgo bianco da granella dal 10/2022 al 11/2023. Tratto da: (ISMEA, 2023).

1.5 PROPRIETÀ BENEFICHE

Il sorgo è coltura molto versatile che detiene il 5° posto come cereale più coltivato dopo grano, riso, mais ed orzo. Si è potuto valutare un aumento di produttività a partire dal 2019 con quasi 60 Mt di produzione mondiale e leader mondiale indiscusso gli Stati Uniti D'America con quasi 9.000.000 di tonnellate, seguita da Etiopia e Messico.

Anche per l'Italia si è visto un aumento nel 2020 del 18% di superficie coltivata e del 10% di produzione rispetto al 2019 (Plantgest, 2021).



Figura 10: produttori di sorgo da granella in Europa. Tratto da: (Plantgest, 2021).

Questo incremento di produttività è dovuto ad un maggior consumo legato alle sue buone caratteristiche nutrizionali utili nell'alimentazione bovina, ma anche in quella umana, nonché alla sua facilità di coltivazione rispetto al mais in ambienti in cui i cambiamenti climatici stanno causando un aumento delle temperature e una diminuzione di precipitazioni nel periodo caldo.

Il chicco è composto da tre parti principali: lo strato di crusca, dove possiamo trovare acidi fenolici, tannini, flavonoidi o vitamine come il carotene, l'endosperma, il quale contiene amido, proteine e minerali, ed il germe, dove sono stati trovati vari complessi di vitamine.

Le sue caratteristiche distintive includono la presenza abbondante e diversificata di quasi tutte le classi di composti fenolici, come gli acidi fenolici semplici, i flavonoidi e i tannini, superando così le altre colture cerealicole principali. Va sottolineato che il sorgo in granella è naturalmente privo di glutine, ricco di amido resistente e costituisce una fonte nutrizionale completa.

I meccanismi d'azione principali dei composti isolati dal sorgo, evidenziati nei risultati di studi in vitro e su animali, sono stati approfonditamente discussi da vari ricercatori per quanto riguarda i parametri legati alle malattie non trasmissibili. Tuttavia, l'impiego delle frazioni di sorgo negli alimenti per migliorare il profilo nutrizionale e fenolico relativamente alla salute umana è attualmente limitato (Birhanu, 2021).

A fronte di questi dati si prospetta un futuro sempre più in crescita per il sorgo grazie alla sua grande adattabilità in luoghi siccitosi come il sud Italia, la minor necessità di fertilizzanti e la possibilità di sostituirlo al mais in razioni alimentari per bovini (Plantgest, 2021), data dal fatto che la presenza di tannini condensati

a livelli moderati nel rumine è stata collegata alla protezione delle proteine alimentari dalla degradazione da parte dei microrganismi ruminali, incrementando il flusso di proteine alimentari assorbibili nell'intestino.

Studi indicano che diete contenenti tannini condensati possono portare a una minore emissione di metano per chilogrammo di sostanza secca ingerita nei bovini. Anche se le spiegazioni definitive mancano, si suggerisce che i tannini potrebbero influire negativamente sui batteri metanogeni, supportando l'ipotesi che la catechina ossidata, un tannino condensato, possa ridurre la crescita di tali batteri.

Esiste una relazione tra il livello di assunzione di sostanza secca, la composizione della dieta e la produzione di gas. L'alimentazione di insilati di sorgo con tannini integrati a vari livelli, insieme a un concentrato ricco di proteine e carboidrati digeribili, suggerisce che ciò potrebbe migliorare la digeribilità delle proteine alimentari e ridurre le emissioni di metano (de Oliveira et al., 2007).

Inoltre, considerando il notevole miglioramento delle aspettative dei consumatori sulla qualità alimentare degli ultimi anni e la crescente evidenza dell'influenza della dieta animale sulle proprietà nutrizionali degli alimenti, è essenziale che la ricerca esplori questo aspetto. Dovrebbe essere valutato attentamente ogni possibile cambiamento nel valore nutrizionale degli alimenti derivante dalla modifica degli ingredienti nella dieta animale. Come indicato da (Cattani et al., 2017), ciò assume particolare rilevanza nelle vacche da latte, specialmente quando si tratta del profilo degli acidi grassi. In particolare, la concentrazione di acidi grassi polinsaturi omega-3, associata a una riduzione del rischio di malattie cardiache, e gli acidi linoleici coniugati (CLA), noti per le loro proprietà antiossidanti e anticancerogene in modelli animali e nell'uomo, richiedono un'attenzione particolare (Tudisco et al., 2021).

Tabella 2: composizione media della sostanza secca in % a confronto tra mais e sorgo.
Tratto da: (Plantgest, 2021).

COMPOSIZIONE % SS	SORGO	MAIS
Amido*	75.1	75.8
Proteine*	10.6	8.7
Materia grassa*	4.1	4.5
Pareti vegetali*	8.3	9.3
Zuccheri totali*	0.8	1.9
Calcio	0,04	0,05
Fosforo	0,32	0,30
Lisina	0,25	0,28
Metionina	0,36	0,35
Met+Cis	0,38	0,43
Triptofano	0,12	0,06

1.6 COLTURE DA SOVESCIO

La pratica agricola nota come sovescio, o concimazione vegetale, consiste nell'alternare coltivazioni principali con colture specifiche, caratterizzate da particolari attributi che favoriscono l'aumento della fertilità del terreno. Va sottolineato che il sovescio non è destinato al consumo umano, ma agisce come fertilizzante naturale per le colture successive.

Dopo essere stato trinciato e incorporato al terreno, il materiale vegetale della coltura lasciato a degradare nel suolo viene decomposto dai microrganismi, contribuendo così al miglioramento della qualità del terreno. Oltre a svolgere un ruolo cruciale nel controllo delle infestanti, le colture da sovescio agiscono come fitofarmaci naturali contro microrganismi patogeni.

Le specie prevalentemente coltivate per la pratica del sovescio rientrano principalmente nella famiglia delle Leguminose, le quali contribuiscono all'arricchimento di azoto nel terreno (come lupino, trifoglio, lupinella, veccia e fava). Importanti sono anche le Crucifere, come colza e senape, che presentano un potenziale biofumigante. Infine, le Graminacee, tra cui segale, avena e orzo, svolgono un ruolo nel trattenere l'azoto (Vettore Ilaria, 2023).

Le piante cianogene (ad esempio il lino, il sorgo, il pero, ecc.) presentano un notevole potenziale come colture biocide da sovescio per controllare vari parassiti e patogeni del suolo. Nel caso specifico del sorgo, esso contiene il glucoside cianogenico p-idrossi-(S)-mandelonitrile- β -d-glucoside, noto come durrina, che costituisce il substrato del loro sistema difensivo secondario (De Nicola et al., 2011).

La durrina è un glicoside cianogenetico, la quale, a seguito di una rottura meccanica a spese della pianta, viene idrolizzata dall'enzima β -glucosidasi contenuto nel mesofillo e nell'epidermide della foglia.

Così facendo si vanno ad ottenere dei composti, quali l'acido cianidrico (HCN) e il p-idrossibenzaldeide, che vanno ad intaccare la normale funzione metabolica dell'apparato respiratorio dei parassiti, in particolare dei nematodi, presenti nel suolo (Widmer & Abawi, 2000).

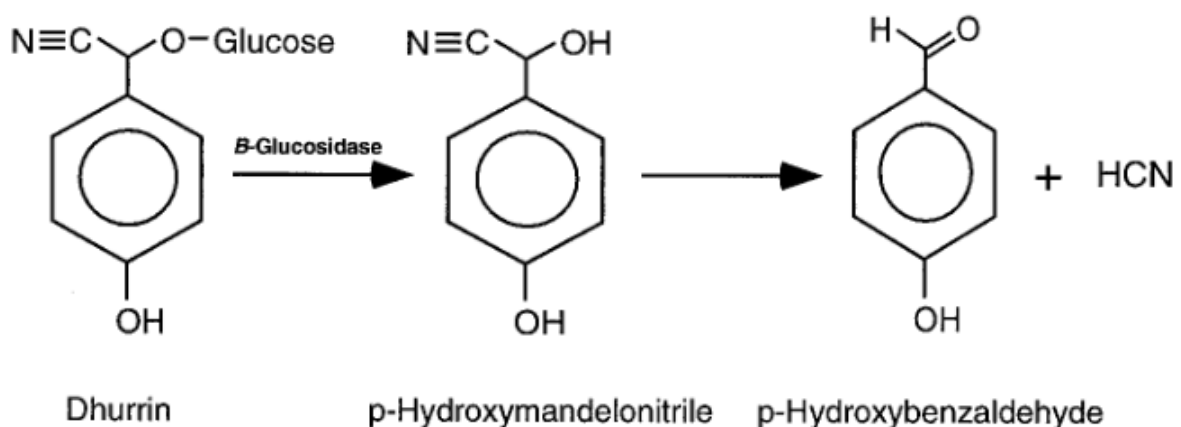


Figura 11: idrolizzazione della durrina ad opera della β -glucosidasi nei composti finali di acido cianidrico (HCN) e p-idrossibenzaldeide. Tratto da: (Widmer & Abawi, 2000).

L'efficacia biofumigante di queste piante è correlata al contenuto di durrina, pertanto, un elevato tenore di durrina potrebbe essere un carattere positivo per l'utilizzo del sorgo come pianta biocida da sovescio (De Nicola et al., 2011).

CAPITOLO 2

SCOPO DEL LAVORO

La sperimentazione messa in atto a partire da fine maggio del 2023, presso l'Azienda Agraria Sperimentale Lucio Toniolo dell'Università di Padova, vuole mettere in evidenza alcuni aspetti produttivi del sorgo utilizzato come coltura da sovescio, in relazione alle caratteristiche nematocide, tagliata a due diverse altezze: 40 cm e 80 cm, misurate dalla base della pianta fino all'attaccatura con il fusto dell'ultima foglia completamente espansa.

Sono stati selezionati, per le loro caratteristiche morfologiche, cinque ibridi di sorgo: Ruzrok, Sugar graze II, PSE TI3, PSE GI ed PSE GS2.

Non si trovano molte informazioni riguardo queste cultivar in quanto alcune sono ancora in fase di registrazione, mentre la Ruzrok è in commercio come sorgo sudanese utilizzato per la biofumigazione (Padana Sementi, 2019a) e la Sugar Graze II, anch'essa in commercio, è un ibrido a tre vie il quale può essere utilizzato per la produzione di biomassa o come alimento per il bestiame (Padana Sementi, 2019b).

Questi cinque ibridi sono stati raccolti a due diversi stati vegetativi per valutarne caratteristiche morfologiche, produttive e per valutare la presenza di durrina all'interno della pianta.

CAPITOLO 3

MATERIALI E METODI

La prova sperimentale è avvenuta presso l'Azienda Agraria Sperimentale Lucio Toniolo dell'Università di Padova situata nel comune di Legnaro (PD), che si trova a circa 8 m s.l.m. ed è attraversato dal fiume Bacchiglione.

Il suolo è di origine alluvionale e di tipo franco-limoso (35% sabbia, 48% limo e 17% argilla) appartenente alla classe Fluvi-Calcaric-Cambiso (FAO, 2015), il quale presenta un pH sub-alcalino, che si aggira attorno ad 8, ed un contenuto di carbonio organico del 0,9% (Cavasso, 2021), con scarsa permeabilità e bassa fertilità, che ci ha portato ad effettuare una concimazione presemina per migliorare il contenuto di nutrienti del terreno. Il clima di tipo subcontinentale si presenta con estati calde e afose ed inverni relativamente freddi. Grazie alla stazione meteorologica (ARPAV, stazione di Legnaro) installata presso l'azienda si può sempre aver ben chiara la situazione climatica a cui sono soggette le colture in prova. Sono stati quindi riportati alcuni parametri importanti di temperatura minima, massima e precipitazioni dei mesi di maggio, giugno, luglio e agosto, mesi in cui è avvenuto il test.

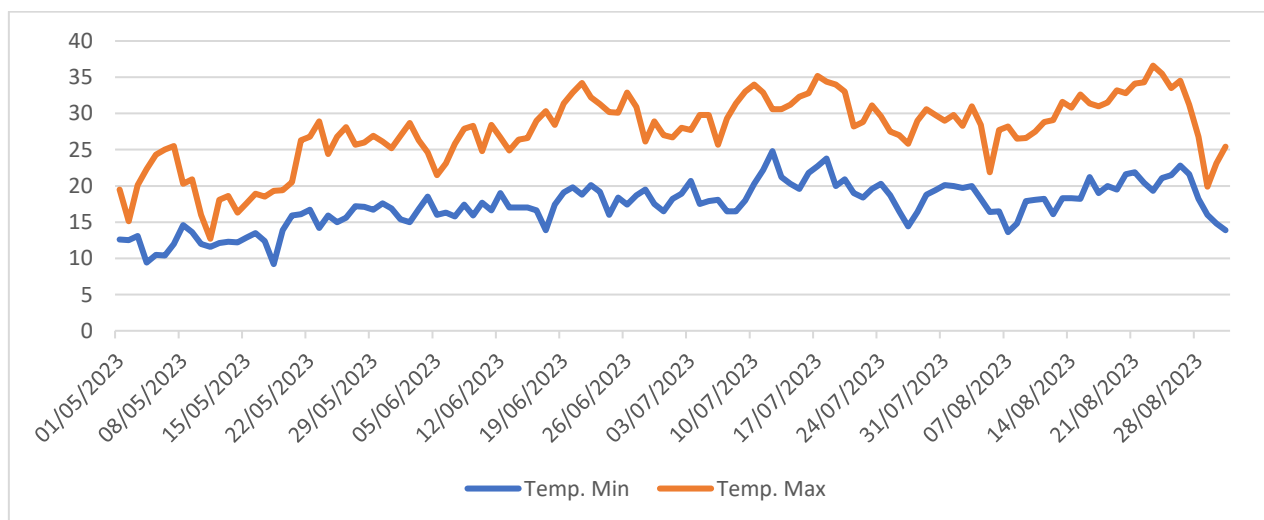


Figura 12: valori delle temperature minime e massime riscontrate nel periodo di coltivazione (ARPAV, 2024).

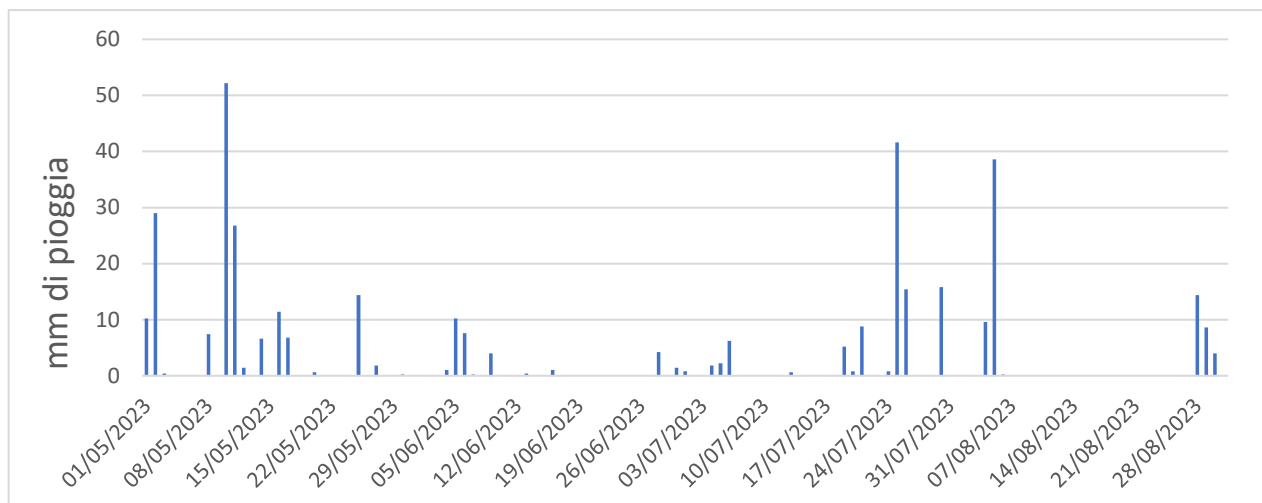


Figura 13: valori delle precipitazioni avvenute nel periodo di coltivazione tratti da (ARPAV, 2024).

Alcuni giorni prima della messa in atto della prova, il terreno interessato, con un'area complessiva di circa 330 m², è stato arato e successivamente erpicato al fine di ottenere un suolo ben livellato e adatto alla semina. A seguito della concimazione, effettuata con 100 kg/ha di urea (CH₄N₂O), 100 kg/ha di fosfato (P₂O₅), 200 kg/ha di zolfo (K₂SO₄), l'appezzamento è stato opportunamente suddiviso nel seguente modo (Figura 16):

- circoscrizione del perimetro 22 m x 15 m;
- determinazione di 3 blocchi di lavoro ognuno della larghezza di 6 m intervallati da 2 m di terreno al fine di separarli e creare un passaggio per la raccolta;
- suddivisione di ogni blocco in 5 parcelle dalle dimensioni di 3 m x 6 m;
- creazione di 10 solchi per parcella con distanza tra le file di 30 cm;
- suddivisione di ogni parcella in due sub-parcelle di 3 m x 3 m, una sub-parcella per la raccolta della coltura a 40 cm e una sub-parcella per la raccolta a 80 cm.

Nei giorni 29/05/2023 e 30/05/2023 è avvenuta la semina, a mano per alcuni ibridi che presentavano un seme di dimensioni estremamente ridotte, i restanti invece con una seminatrice manuale. La dose di semina impiegata è stata di 40 kg/ha, cioè 36 grammi per parcella suddivisi per 10 file e quindi 3,6 grammi a fila. Dopo circa 20 giorni si è potuto assistere all'emergenza favorita da leggere piogge avvenute i primi giorni di giugno (Figura 13).

Durante la prova si è reso necessario intervenire nuovamente con una concimazione di soccorso a base di fosforo, in quanto le piante presentavano foglie di color violaceo e dalle dimensioni ridotte, sintomo di carenza. Una volta che in ogni singola sub-parcella le piante raggiungevano un'altezza media di 40 o 80 cm (Figura 14), campioni di piante e di foraggio sono stati raccolti in giorni diversi a seconda della varietà degli ibridi, che ci hanno portato a dover controllare giornalmente l'altezza delle piante.

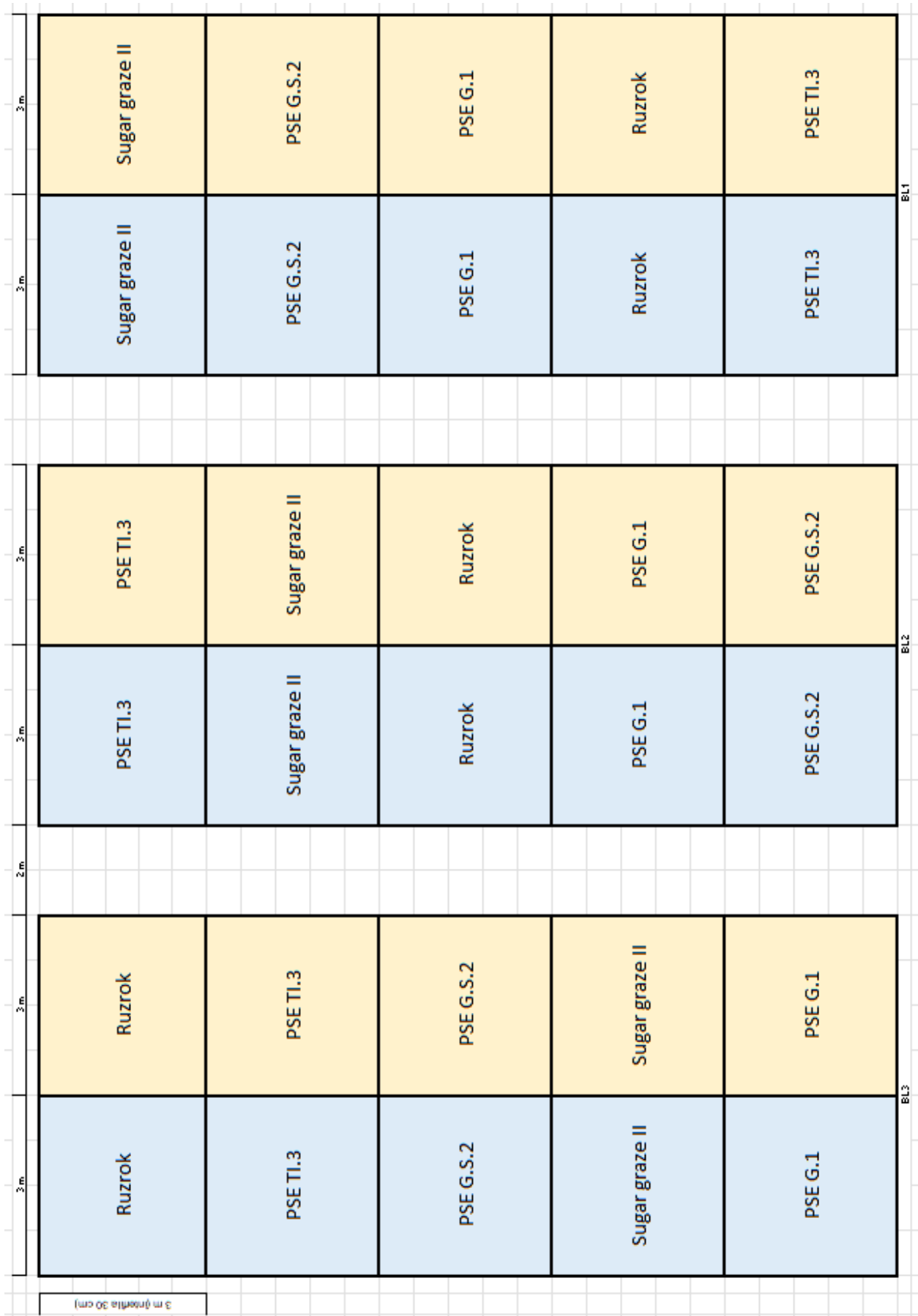


Figura 14: mappa illustrativa parcellare della disposizione delle cultivar coltivate ai fini della prova. Blu: 40 cm, Giallo: 80 cm.

3.1 NUMERO DI PIANTE PER METRO QUADRATO

Il primo parametro di cui ci siamo occupati è stato il conteggio del numero di piante per unità di superficie (metro quadrato).

Sono state scelte 3 file su 10, solitamente quelle di mezzo, al fine di ottenere tre misurazioni per ogni cultivar di ciascun blocco. Successivamente, sono state fatte delle conversioni in quanto i dati raccolti erano riferiti al metro lineare; perciò, è stata fatta la media dei tre valori ed in seguito calcolato il numero di piante per metro quadrato.

3.2 NUMERO DI FOGLIE PER SINGOLA PIANTA

Per il conteggio delle foglie sono state scelte cinque piante provenienti da punti diversi di ogni singola parcella. Tali piante, contrassegnate ciascuna con una lettera (A, B, C, D ed E), venivano tagliate a raso terra, successivamente contante le foglie che avevano raggiunto la completa espansione e poi recuperate le radici. Ogni pianta, separatamente dalla propria radice, è stata imbustata insieme al loro corrispettivo cartellino dove sono indicate le seguenti informazioni: altezza di taglio se 40 cm o 80 cm, data di raccolta, blocco di provenienza (1, 2, 3) e la cultivar.

3.3 LUNGHEZZA DEGLI INTERNODI

L'internodo è la porzione del culmo compresa fra due nodi successivi, cioè il punto in cui sono inserite le foglie sul fusto.

È un parametro che non viene stimato in campo ma che viene calcolato sulla base del numero di foglie presenti sulla pianta e della lunghezza del fusto.

Per ottenere i valori di nostro interesse sarà sufficiente dividere l'altezza, che nel nostro caso sarà 40 cm o 80 cm, per il numero di foglie di ogni singola pianta.

3.4 PRODUZIONE DI BIOMASSA DELLA PARTE AEREA

L'art. 2 del DLgs 387/2003 riprende testualmente la direttiva 2001/77/CE e stabilisce che "... per biomassa si intende la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani".

Per effettuare questa misurazione ogni parcella è stata privata del primo metro di coltura adiacente al bordo esterno, per evitare "l'effetto di bordo" e quindi ottenere il massimo delle prestazioni produttive. Tutta la biomassa presente nella restante parte della sub-parcella è stata tagliata a livello del terreno.

Un chilo di sostanza verde è stato prelevato dalla biomassa tagliata allo scopo di essiccarlo (essiccazione in stufa a 105°C per 48 ore) ed ottenere il peso secco. La biomassa rimanente è stata pesata per calcolare la produttività totale delle sub-parcelle. Con il dato ottenuto dall'essiccazione di un chilo di sostanza verde, contenente quindi una percentuale preponderante di acqua, il dato di produttività verde è stato elaborato al fine di ottenere la reale quantità di sostanza secca prodotta in t/ha.



Figura 15: taglio con BCS per la determinazione della biomassa.

3.5 TEMPO DI CRESCITA

Il tempo di crescita è un parametro importante da tenere in considerazione per quanto riguarda il tipo di utilizzo per cui è stato coltivato il sorgo, cioè il sovescio. A seconda della velocità di crescita, infatti, tenendo conto anche di altri parametri produttivi, si possono fare considerazioni sull'avvicendamento colturale del sorgo da sovescio rispetto ad altre colture principali.

Il tempo di crescita espresso in giorni è la differenza tra il giorno in cui è avvenuta la raccolta e quello della semina; si ottiene così il numero di giorni che la cultivar ha impiegato per raggiungere una determinata altezza.

CAPITOLO 4

RISULTATI E DISCUSSIONI

A seguito dell'analisi statistica, ANOVA, anche detta analisi della varianza, eseguita sui dati raccolti in campo, si è potuto stilare la tabella sottorappresentata (Tabella 3) in cui si riesce velocemente ad intuire il grado di significatività dei dati indicato con gli asterischi.

Si può notare come la cultivar incida maggiormente sulla variabilità delle caratteristiche produttive rispetto all'altezza di taglio.

Un dato di spicco lo si nota sulla riga dell'interazione, il quale ci fa capire che non c'è un'influenza reciproca tra i parametri cultivar e altezza di taglio.

Possiamo inoltre osservare come tutte le caratteristiche produttive siano influenzate sia dalla cultivar che dall'altezza di taglio tranne che per il numero di piante su metro quadrato che risulta essere influenzato solo dalla cultivar per ovvi motivi.

*Tabella 3: rappresentazione concisa dei dati ottenuti a seguito dell'elaborazione statistica.
Glossario: *= significativo; **= molto significativo; ***= altamente significativo; ns= non significativo.*

Anova	Produzione reale in t/ha	N° piante/m2	Crescita in giorni	H internodi media	Numero di foglie
Cultivar	**	*	***	**	***
H taglio	*	ns	*	*	***
Interazione	ns	ns	ns	ns	ns

4.1 PRODUZIONE DI SOSTANZA SECCA IN t/ha

La sostanza secca è un parametro importante in quanto con essa si va a restituire al terreno la sostanza organica.

Notevole produttività ha avuto la cultivar PSE GS2 con una produzione di 3,79 t/ha, seguita dalla PSE TI3 con 3,15 t/ha (Figura 16). Secondo (Mantovi et al., 2015) un sorgo da foraggio (cultivar Sugar Graze II) raccolto a fine agosto, quando è in fioritura, produce circa 10 t/ha.

Si può notare una notevole differenza rispetto alla produzione da noi rilevata, ma questo è dovuto dal fatto che la raccolta del sorgo è avvenuta prima della fioritura ed è rimasta in campo meno tempo rispetto alla raccolta eseguita da (Mantovi et al., 2015).

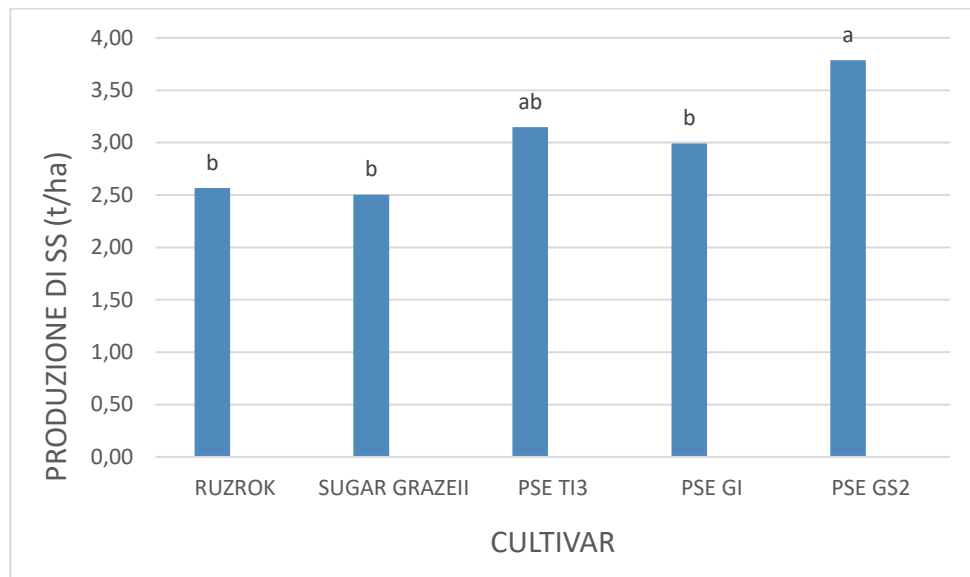


Figura 16: rappresentazione grafica della produzione di sostanza secca di ogni cultivar.

La produzione delle parcelle tagliate a 80 cm è superiore (3,82 t/ha), quasi il doppio, rispetto a quelle tagliate a 40 cm che hanno prodotto solo 2,18 t/ha.

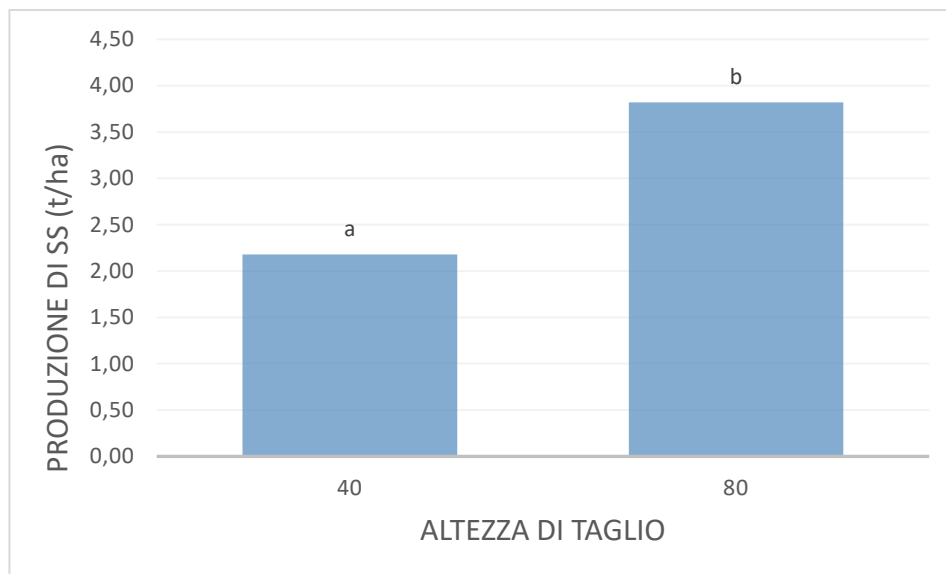


Figura 17: rappresentazione grafica della produzione di sostanza secca in relazione all'altezza di taglio.

4.2 NUMERO DI PIANTE SU METRO QUADRATO

Le varietà Sugar Graze II (90,19 piante su metro quadrato) e Ruzrok (86,30 piante) hanno mostrato un numero maggiore di piante per metro quadrato rispetto a PSE TI3 e PSE GS2 (Figura 18).

Il numero di piante per metro quadrato potrebbe variare in base alla varietà, poiché la semina avviene considerando il peso del seme, e ogni varietà potrebbe presentare differenze nel peso dei semi.

Dipende anche da altri fattori, e in campo non sempre è facile distinguere la singola pianta dall'accostamento. È comunque una caratteristica che non viene influenzata dall'altezza di taglio.

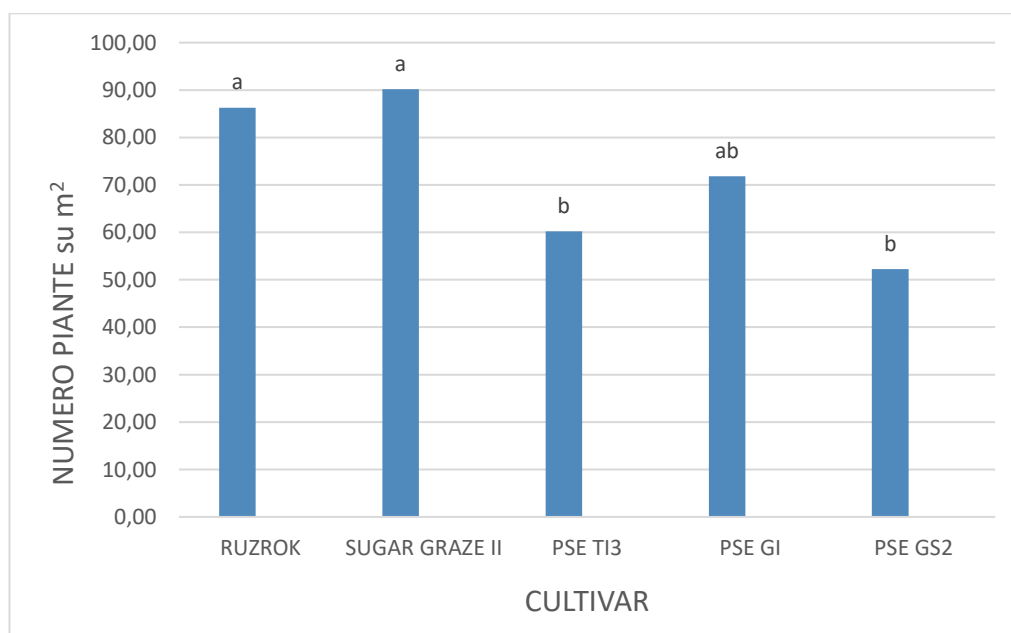


Figura 18: numero di piante su metro quadrato per ogni cultivar.

4.3 CRESCITA IN GIORNI

La crescita in giorni è stata calcolata come differenza tra il giorno in cui le cultivar sono state raccolte e quello in cui sono state seminate. Si nota come le cultivar PSE TI3, PSE GI e PSE GS2 abbiano una crescita in giorni molto simile che si diversifica solo di pochi giorni, ma che risulta diversa dalla crescita in giorni di Ruzrok e Sugar Graze II (Figura 19).

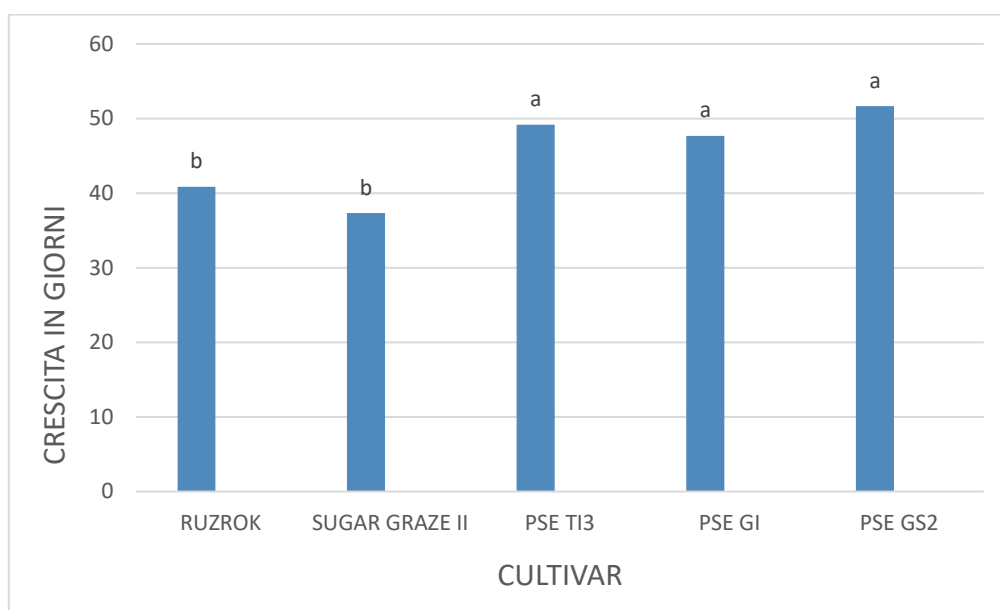


Figura 19: rappresentazione grafica del tempo di crescita in giorni per ogni cultivar.

L'altezza di taglio ha un effetto significativo, dovuto proprio dal fatto che la coltura tagliata a 80 cm è rimasta in campo per un periodo di tempo più lungo (Figura 20).

Tuttavia, non abbiamo una diversità eccessivamente accentuata in quanto la media dei giorni necessari per raggiungere un'altezza di 80 cm è 51 giorni mentre per raggiungere i 40 cm è 39 giorni.

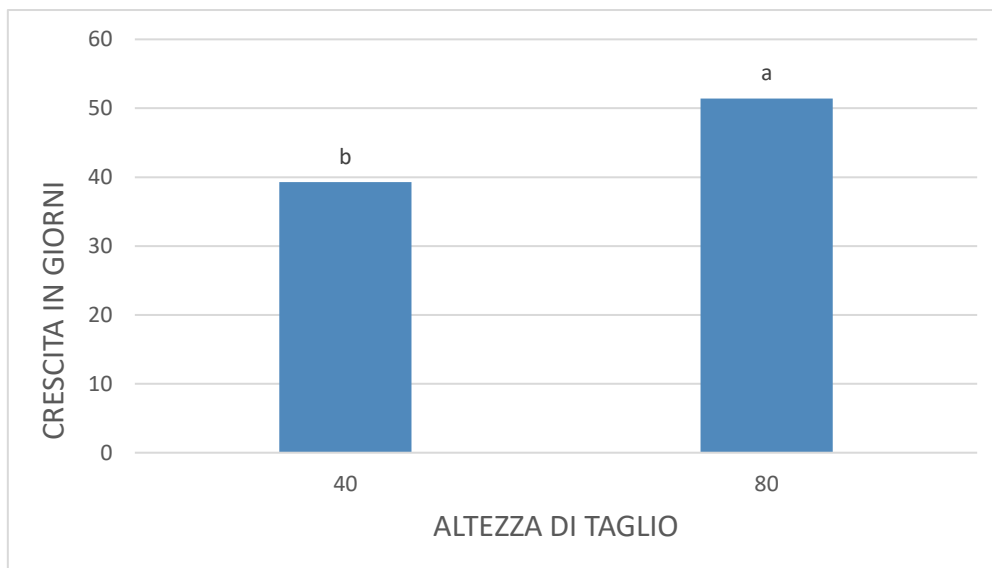


Figura 20: tempo di crescita in giorni necessari per raggiungere le due altezze di taglio.

4.4 NUMERO DI FOGLIE

Nella Figura 21 possiamo vedere come la cultivar incida sul numero di foglie medio; infatti, solo PSE TI3 e PSE GS2 hanno valori uguali pari a 6,07 mentre le restanti cultivar hanno valori più bassi, a causa delle caratteristiche intrinseche della cultivar stessa.

Significativamente diversi risultano anche i dati medi del numero di foglie in relazione all'altezza di taglio con 4,61 foglie per l'altezza a 40 cm e 6,32 per quella a 80 cm (Figura 22).

Questa è sempre una conseguenza morfologica data dal fatto che la pianta si sviluppa maggiormente con il passare del tempo.

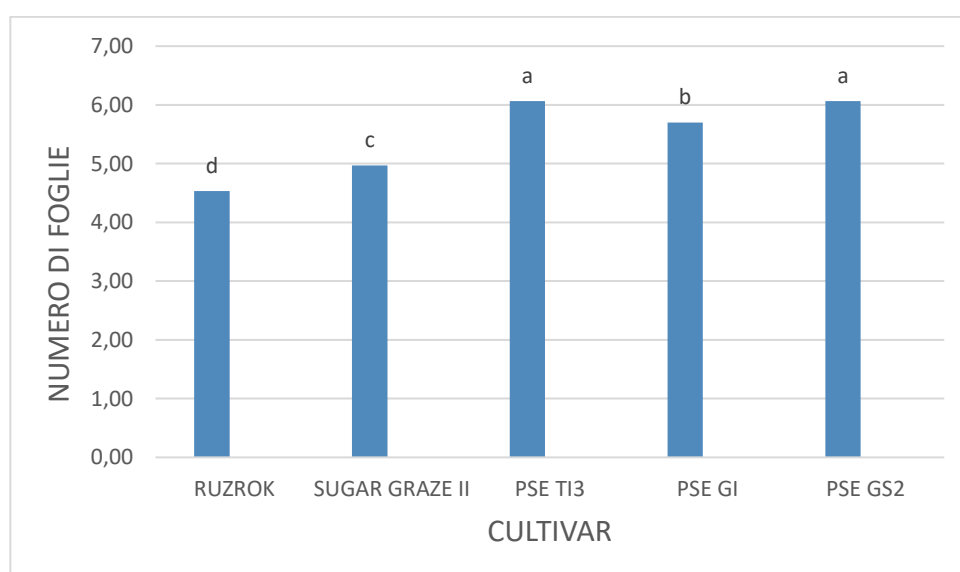


Figura 21: numero medio di foglie al momento del taglio per singola cultivar.

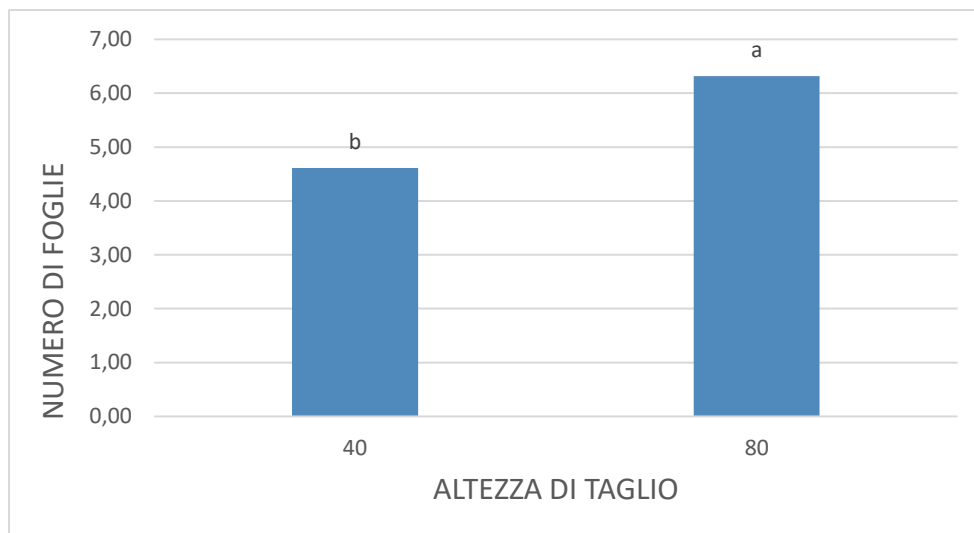


Figura 22: numero medio di foglie al momento del taglio a confronto tra le altezze di taglio.

4.5 LUNGHEZZA DEGLI INTERNODI

Come per la crescita della pianta, anche la lunghezza media degli internodi mostra di essere diversa alle due diverse altezze di taglio: Ruzrok e Sugar Graze II mostrano valori che si aggirano intorno ai 12 cm, mentre le altre hanno valori prossimi ai 10 cm (Figura23).

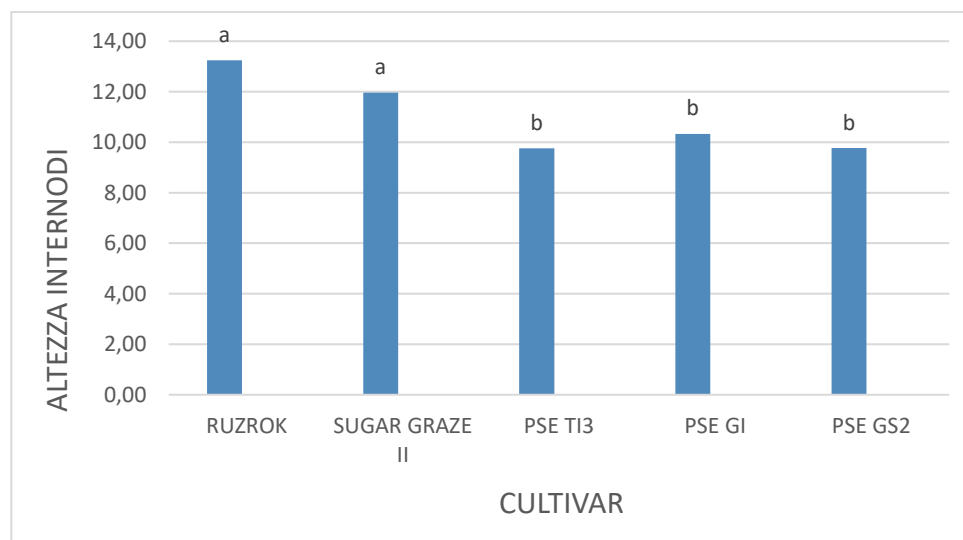


Figura 23: rappresentazione grafica dell'altezza degli internodi media per ogni cultivar.

Le piante tagliate a 40 cm hanno raggiunto una lunghezza di internodi pari a 9,02 cm, mentre la media a 80 cm è pari a 13,01 cm (Figura 24).

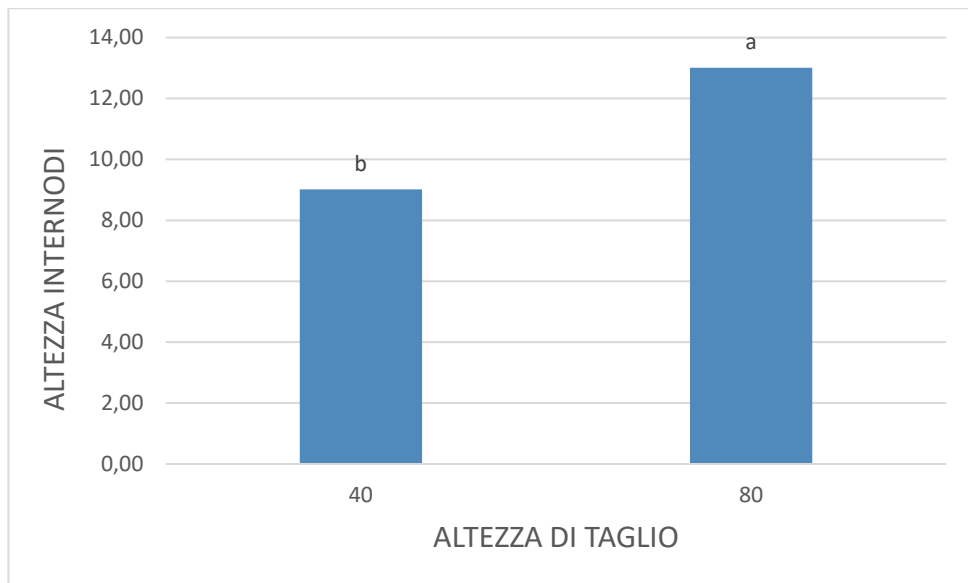


Figura 24: rappresentazione grafica dell'altezza degli internodi media nelle diverse altezze di taglio.

CAPITOLO 5

CONCLUSIONI

L'altezza di taglio, e cioè il momento in cui ipoteticamente si va ad eseguire un sovescio, influisce sulle caratteristiche produttive e morfologiche delle piante, con valori significativamente più elevati a 80 cm che a 40 cm, senza influenzare la densità della coltura.

Esistono però delle differenze varietali: abbiamo osservato, infatti, come le varietà Ruzrok e Sugar Graze II hanno prodotto meno in termini di sostanza secca, ma hanno prodotto un numero maggiore di fusti, raggiungendo in minor tempo le altezze di taglio prestabilite (Figura 19).

Un'altra cosa che salta all'occhio confrontando le figure 21 e 23 è che sempre queste cultivar hanno prodotto un minor numero di foglie ma dagli internodi più allungati, conseguenza quindi di minor produttività di sostanza secca.

Molto produttiva è stata la cultivar PSE GS2 (Figura 16) seguita da un elevato numero medio di foglie pari a 6,07 per pianta (Figura 21), tuttavia essa è stata la cultivar che ha impiegato il maggior numero di giorni per poter essere utilizzata (Figura 19).

Nella scelta delle cultivar da utilizzare come sovescio bisogna fare molta attenzione a questi aspetti.

Una coltura da sovescio viene usata infatti come intercalare tra due colture principali, come ad esempio il primo raccolto di orzo e poi secondo raccolto di soia, di conseguenza minore è il tempo che permane in campo e maggiore è la sua produttività, più vantaggi otterrà il coltivatore da questa tecnica.

PSE GI sembra essere una buona cultivar da utilizzare come sovescio in quanto ha avuto una buona produttività (che si aggira attorno alle 3 t/ha) ma che ha impiegato meno giorni per crescere rispetto a PSE TI3 e PSE GS2 (Figura 19).

Un'ulteriore analisi da prendere in considerazione sarebbe quella della determinazione del contenuto di durrina, in quanto il sorgo insieme ad un effetto positivo dato dalla restituzione di sostanza organica, potrebbe essere utilizzato anche come coltura nematocida e quindi ridurre, anche se in misura contenuta rispetto ad un fitosanitario, i patogeni del terreno. Il contenuto di durrina, infatti, varia molto tra le cultivar e anche durante le fasi di sviluppo della pianta.

CAPITOLO 6

BIBLIOGRAFIA

- Agraria.org. (2023). *Sorgo- Sorghum vulgare Pers.* <https://www.agraria.org/coltivazionierbacee/sorgo.htm>
- Amirante, P. (2018). *Macchine ed Impianti per la Coltivazione del sorgo e per la trasformazione del prodotto. February.* <https://www.researchgate.net/publication/323259354>
- ARPAV. (2024). *ARPAV.* 1–5. <https://www.arpa.veneto.it>
- Barzegar, A. R., Yousefi, A., & Daryashenas, A. (2002). The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. *Plant and Soil*, 247(2), 295–301. <https://doi.org/10.1023/A:1021561628045>
- Birhanu, S. (2021). Potential Benefits of Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] on Human Health: A Review. *International Journal of Food Engineering and Technology*, 5(1), 16. <https://doi.org/10.11648/j.ijfet.20210501.13>
- Borgacci, R. (2020). *Sorgo.* <https://www.my-personaltrainer.it/alimentazione/sorgo.html>
- Cattani, M., Guzzo, N., Mantovani, R., & Bailoni, L. (2017). Effects of total replacement of corn silage with sorghum silage on milk yield, composition, and quality. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0146-8>
- Cavasso, A. (2021). *Influenza di alcune proprietà chimiche e idrauliche sui processi di adsorbimento e movimento di glifosate in suoli di alta e bassa pianura veneta.* università degli studi di padova.
- De Nicola, G. R., Leoni, O., Malaguti, L., Bernardi, R., & Lazzeri, L. (2011). A simple analytical method for dhurrin content evaluation in cyanogenic plants for their utilization in fodder and biofumigation. In *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (Vol. 59, Issue 15). <https://doi.org/10.1021/jf200754f>
- de Oliveira, S. G., Berchielli, T. T., Pedreira, M. dos S., Primavesi, O., Frighetto, R., & Lima, M. A. (2007). Effect of tannin levels in sorghum silage and concentrate supplementation on apparent digestibility and methane emission in beef cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 135(3–4), 236–248. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.07.012>
- Fageria, N. K. (2007). Green manuring in crop production. *Journal of Plant Nutrition*, 30(5), 691–719. <https://doi.org/10.1080/01904160701289529>
- FAO. (2015). The International Soil Classification System WRB, Third Edition, 2014. In *Springer Water*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24409-9_25
- Fertilgest. (2017). *Sorgo.* <https://fertilgest.imaginenetwork.com/it/colture/cereali/sorgo/sorgo/285>
- Fritegotto, D. S. (2017). *Il valore della sostanza organica nel terreno.* <https://coltureprotette.edagricole.it/orticoltura/valore-della-sostanza-organica-nel-terreno/>
- Giunco, G. (2015). *Valutazione della degradabilità e della produzione di gas in vitro di differenti ibridi di sorgo e di mais insilati provenienti da due aziende della Pianura Padana* [università degli studi di padova]. http://tesi.cab.unipd.it/49484/1/Giunco_Giorgia.pdf

- InfoAgronomo. (2023). *Fenologia del Sorgo*. <https://infoagronomo.net/fenologia-del-sorgo-y-sus-caracteristicas/>
- ISMEA. (2023). *Prezzo del sorgo bianco da granella*. <https://www.ismeamercati.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/856>
- Mantovi, P., Ruozi, F., Reggiani, R., & Ciuffreda, G. (2015). Varietà di sorgo a confronto per la produzione di biogas. *L'informatore Agrario*, 45, 65–69.
- Padana Sementi. (2019a). *Ruzrok*. <https://www.padanasementi.com/prodotto/ruzrok/>
- Padana Sementi. (2019b). *Sugar Graze II*. <https://www.padanasementi.com/prodotto/sugar-graze-ii/>
- Plantgest. (2021). *Sorgo, pianta dal grande potenziale*. <https://plantgest.imagelinenetwork.com/it/news/2021/02/19/sorgo-pianta-dal-grande-potenziale/69387#:~:text=Nel mondo nel 2019 sono,Messico con 4.352.947 tonnellate>
- Sorghum ID. (2017). *Sorgo da granella, dalla coltura alla valorizzazione*. https://www.sorghum-id.com/content/uploads/2017/12/Synthese_Sorgho_Grain_ITA_v7.pdf
- Sovescio Sementi. (2022). *Sovescio : un terreno più ricco è più fertile*. <https://sovesciosementi.it/sovescio/>
- TESEO. (2023). *Bologna - Prezzo del Sorgo*. https://teseo.clal.it/?section=sorgo_bologna
- Tudisco, R., Morittu, V. M., Musco, N., Grossi, M., Iommelli, P., D'aniello, B., Ferrara, M., Infascelli, F., & Lombardi, P. (2021). Effects of Sorghum silage in lactating buffalo cow diet: Biochemical profile, milk yield, and quality. *Agriculture (Switzerland)*, 11(1), 1–11. <https://doi.org/10.3390/agriculture11010057>
- Venkateswaran, K., Elangovan, M., & Sivaraj, N. (2019). Origin, domestication and diffusion of Sorghum bicolor. In *Breeding Sorghum for diverse end uses. Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*, 15–31. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-101879-8.00002-4>
- Vettore Ilaria. (2023). *La pratica del sovescio in orticoltura : effetti e prospettive*. Università degli Studi di Padova.
- Widmer, T. L., & Abawi, G. S. (2000). Mechanism of suppression of Meloidogyne hapla and its damage by a green manure of sudan grass. *Plant Disease*, 84(5), 562–568. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2000.84.5.562>