



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambiente

Corso laurea magistrale in Scienze e Tecnologie Agrarie

Tolleranza allo Stress idrico di Cultivar da Tappeto erboso
di *Festuca Arundinacea*

Relatore: Prof. Stefano Macolino

Correlatore: Pornaro Cristina

Laureando
Alberto Novello
Matricola n. 2024086

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

Indice

Sommario

Riassunto.....	5
Introduzione	7
Effetti fisiologici e risposta allo stress idrico.....	15
Strategie di difesa nei confronti della carenza idrica	15
Fattori che influenzano l'uso dell'acqua	17
Caratteristiche morfologiche della vegetazione.....	18
Fattori ambientali che influenzano l'evapotraspirazione.....	20
Effetti dello stress da siccità e temperatura sulla crescita e la fisiologia nelle piante da tappeto erboso.....	23
Studi sulla risposta allo stress idrico di <i>Festuca arundinacea</i>	27
Un efficiente metabolismo radicale migliora la resistenza alla siccità della <i>Festuca arundinacea</i>?	27
Le analisi fisiologiche e biochimiche rivelano la tolleranza alla siccità del tappeto erboso composto da <i>Festuca arundinacea</i> con l'applicazione di melatonina	29
Attributi morfofisiologici e biochimici di <i>Festuca arundinacea</i> Schreb. Inoculato con <i>Pseudomonas fluorescens</i> sottoposta a deficit di irrigazione.....	30
I funghi micorrizici arbuscolari possono migliorare gli effetti negativi di deficit di irrigazione su <i>Festuca arundinacea</i> Schreb.?.....	31
Materiali e metodi.....	32
Caratterizzazione Climatica.....	35
Dati raccolti	39
Risultati.....	41
Tabella della significatività	41
Effetto interazione tra Cultivar e Data di Rilievo	42
Aspetto Estetico Generale (Interazione tra cultivar e data di rilievo).....	42
Colore (Interazione tra cultivar e data di rilievo)	44
Tessitura (Interazione tra cultivar e data di rilievo).....	46
Uniformità (interazione tra cultivar e data di rilievo)	48
Effetto Cultivar	50
Aspetto Estetico Generale (effetto Cultivar).....	50
Copertura verde (effetto Cultivar)	51
Densità (effetto cultivar).....	52
NDVI (effetto cultivar).....	53
Effetto data di rilievo.....	54
Aspetto Estetico Generale (effetto data di rilievo)	54
Copertura Verde (effetto effetto data di rilievo)	55
Densità (effetto data di rilievo).....	56
NDVI (effetto data di rilievo)	57

Effetto cultivar di agosto 2021	58
Copertura Verde (effetto cultivar di agosto 2021)	58
Aspetto estetico generale (effetto cultivar di agosto 2021)	59
NDVI (effetto cultivar di agosto 2021)	60
Effetto cultivar di agosto 2022	61
Copertura verde (effetto cultivar di agosto 2022)	61
Aspetto estetico generale (effetto cultivar di agosto 2022)	62
NDVI (effetto cultivar di agosto 2022)	63
Discussioni.....	64
Conclusioni	66
Ringraziamenti.....	67
Bibliografia	68

Riassunto

Festuca arundinacea è una specie che viene utilizzata per i tappeti erbosi, microterma, perenne che si adatta bene a climi in cui le precipitazioni sono scarse. L'obiettivo di questo studio è quello di valutare la resistenza alla siccità di 20 cultivar di *Festuca arundinacea* (Bullseye, PPG-TF336, Tough, Triad, Darlington II, PPG-TF315, Thunderstruck, Talladega II, PPG-TF254, Forlaine, Melyane, Turfway, PPG-TF238, ZRC-1, Lexington, Grande II, Rhambler SRP, RGT Nuance, Detonate LS e Thor) per un periodo di 2 anni. Lo studio è stato condotto nell'azienda agraria sperimentale dell'Università di Padova, Lucio Toniolo. I rilievi sono stati effettuati ogni 2 settimane a partire da marzo 2021 e comprendevano: aspetto estetico generale (con scala visiva da 1 a 9), densità, uniformità, tessitura, colore, percentuale di copertura verde, NDVI e presenza di malattie. Gli anni 2021 e 2022 sono stati anni con periodi di siccità prolungati ed alte temperature estive che hanno permesso di valutare al meglio la resistenza alla siccità delle cultivar di *Festuca arundinacea* in prova. Dai dati raccolti si è potuto notare differenze tra le diverse cultivar nella resistenza allo stress idrico. E queste differenze sono molto accentuate soprattutto per quanto riguarda aspetto estetico generale, copertura verde, ed NDVI. Per alcuni parametri (aspetto estetico generale, colore, tessitura e uniformità) l'interazione tra cultivar e data di rilievo è risultata significativa. Negli altri parametri (densità, copertura verde e NDVI) non c'è stata interazione significativa tra cultivar e data di rilievo ma sono risultati significativi i valori singoli di cultivar e data di rilievo. Alla fine della sperimentazione si è potuto notare come alcune varietà tendono ad essere più resistenti ai periodi critici (sia estate che inverno) e altre invece che tendono a subire maggiori danni riducendo quindi il loro possibile utilizzo in ambienti con climi aridi o siccitosi.

Summary

Festuca arundinacea is a perennial cool-season turf species well adapted to region with low rainfall amount. The aim of this study was to evaluate the drought resistance of 20 *Festuca arundinacea* cultivars (Bullseye, PPG-TF336, Tough, Triad, Darlington II, PPG-TF315, Thunderstruck, Talladega II, PPG-TF254, Forlaine, Melyane, Turfway, PPG-TF238, ZRC-1, Lexington, Grande II, Rhambler SRP, RGT Nuance, Detonate LS and Thor) for a period of 2 years. The study was conducted on the Lucio Toniolo experimental farm of the University of Padova. The surveys were carried out every 2 weeks starting from March 2021 and included: turf quality (with a visual scale from 1 to 9), density, uniformity, texture, colour, percentage of green cover, NDVI, and the presence of disease. During 2021 and 2022, period with prolonged drought and high temperatures has been recorded, which made possible to better evaluate the resistance to drought stress of tested *Festuca arundinacea* cultivars. From the collected data it was possible to notice differences between the different cultivars in the resistance to drought stress. And these differences especially involved turf quality, green coverage, and NDVI. Turf quality, color, texture and uniformity displayed a significant interaction between cultivar and sampling date. For the other parameters (density, green cover and NDVI) there was no significant interaction between cultivar and sampling date but the single values of cultivar and sampling date were significant. At the end of the experimentation we noted that some varieties tend to be more resistant to critical periods (both summer and winter), thus making them useful for turfgrass constitution in areas with arid or drought climates.

Introduzione

L'aumento di gas-serra nell'atmosfera indotte dalle attività socio-economiche e dalle attività umane si sono stabilite, con il tempo, come le principali cause del cambiamento climatico (1). L'Istat (l'istituto nazionale di statistica) ha registrato un aumento di circa 1°C dall'ultimo secolo, e questo aumento di temperature a livello mondiale ha causato ondate di calore e periodi di siccità (1). Per quanto riguarda l'Italia, la vulnerabilità ai cambiamenti climatici è strettamente legata alla sua posizione geografica e alla sua eterogeneità a livello di clima, che si traduce in aumento delle temperature e variazione nella distribuzione delle precipitazioni (1). Inoltre Philandras et al. (2) degli studi hanno stimato che, nella maggior parte dell'area del Mediterraneo, vi sarà una diminuzione di circa il 20% delle precipitazioni totali annuali nel periodo che va dal 2071 al 2100, rispetto al periodo 1961-1990. I cambiamenti che più impatteranno sul comparto agricolo riguarderanno temperatura, distribuzione nel tempo delle precipitazioni e loro intensità, con aumento di fenomeni estremi (Fig. 1)

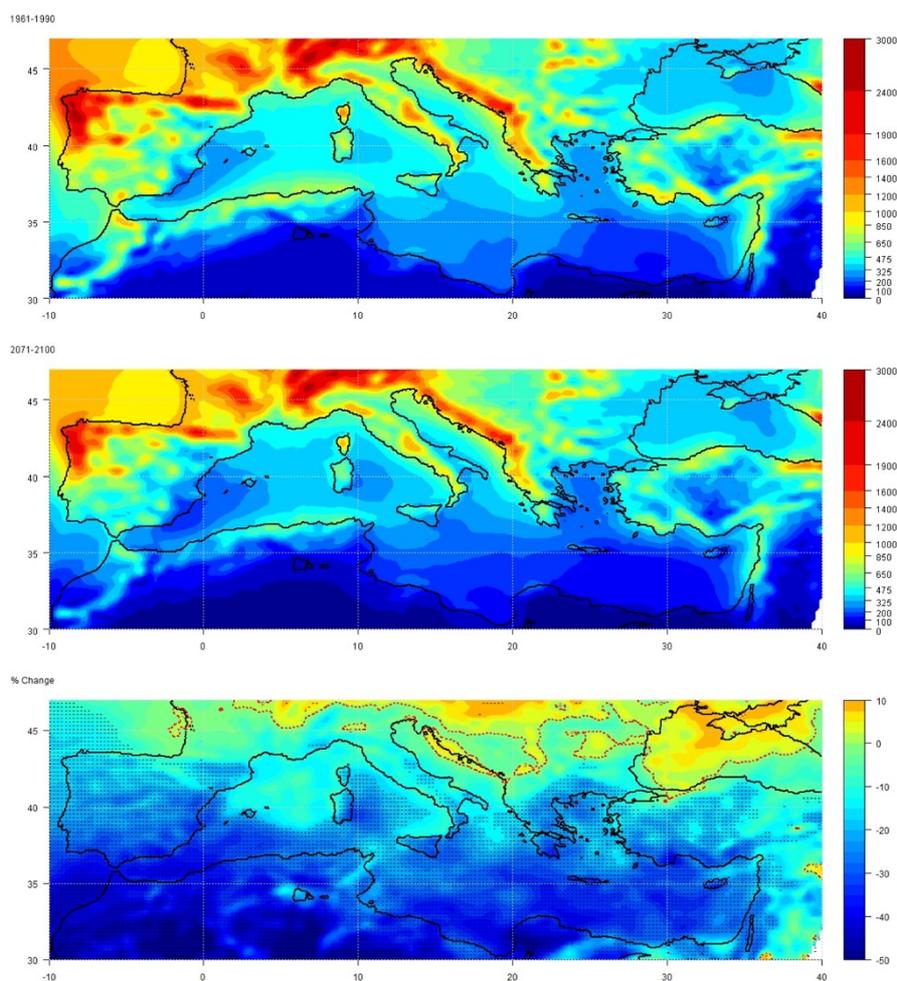


Figura 1 Distribuzione spaziale della media del totale delle precipitazioni annue (mm) per il periodo 1961-1990 (grafico in alto) per il futuro periodo 2071-2100 (grafico al centro) e la differenza tra i due (grafico in basso). Le aree più scure corrispondono a zone con differenza statistica significativa (95 CL) [2]

Dall'archivio dei dati della stazione meteorologica di Legnaro (3) si è visto che il numero di giorni piovosi, nel periodo 1994-2019 (Fig.2), non mostra un andamento costante, ma a partire dal 2008 la variabilità tra gli anni risulta più marcata rispetto al precedente periodo 1994-2007.

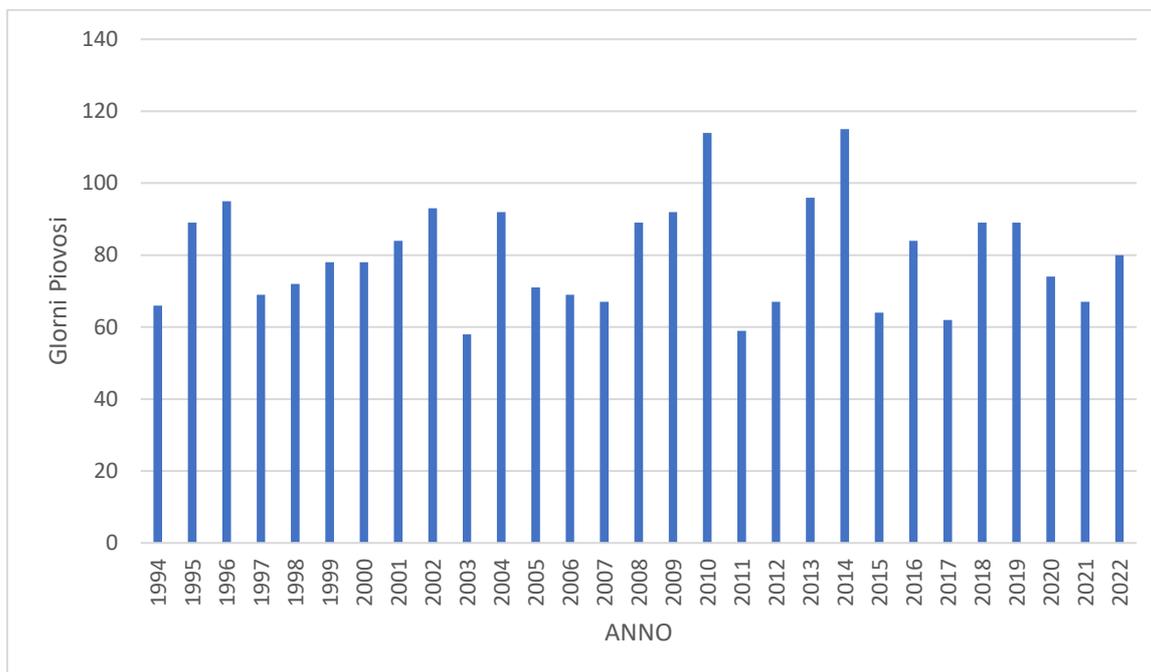


Figura 2 Istogramma dei giorni piovoso annui dal 1994 al 2022

Nella figura 3 sono riportate le precipitazioni totali mensili mediate per gli anni dal 1994 al 2022.

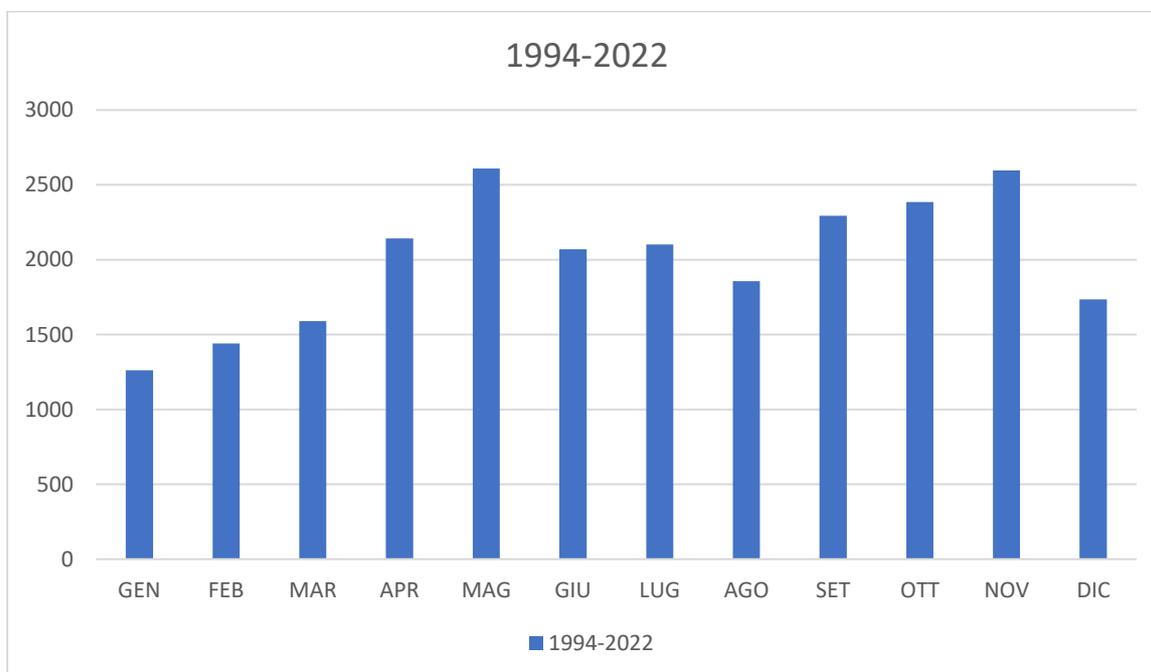


Figura 3 Istogramma delle precipitazioni totali mensili dal 1994 al 2022

Come si può notare nella figura 4 le precipitazioni totali sono state divise in 2 periodi: 1964-1990 e 1994-2022. Da questa suddivisione si riesce a notare come le precipitazioni del periodo gennaio-marzo e giugno-agosto siano maggiori nel periodo 1964-1990. Nei mesi di aprile, maggio e da settembre a dicembre le precipitazioni sono maggiori nel periodo 1994-2022.

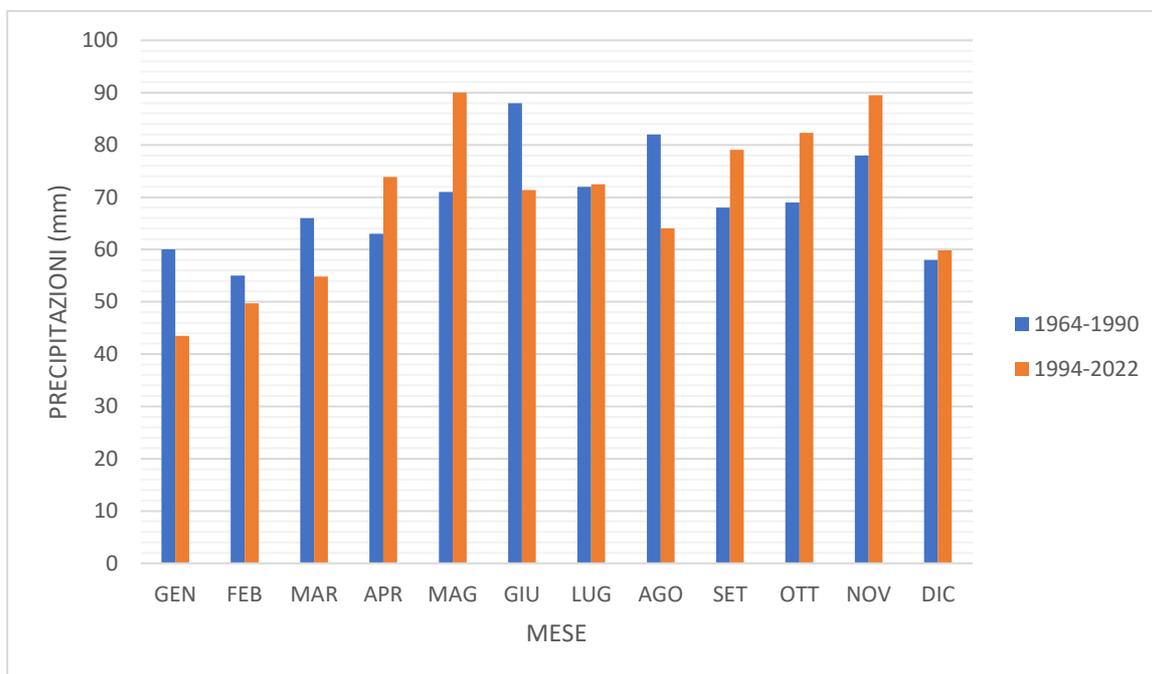


Figura 4 Istogramma delle precipitazioni mensili medie dei periodi 1964-1990 e 1994-2022

Oltre alle precipitazioni e ai giorni di pioggia anche la temperatura ha subito dei cambiamenti nel periodo 1964-2019. Questo lo si nota nella figura 5 dove la curva della temperatura media del periodo 1992-2022 risulta essere sempre maggiore rispetto alla curva del periodo 1964-1990.

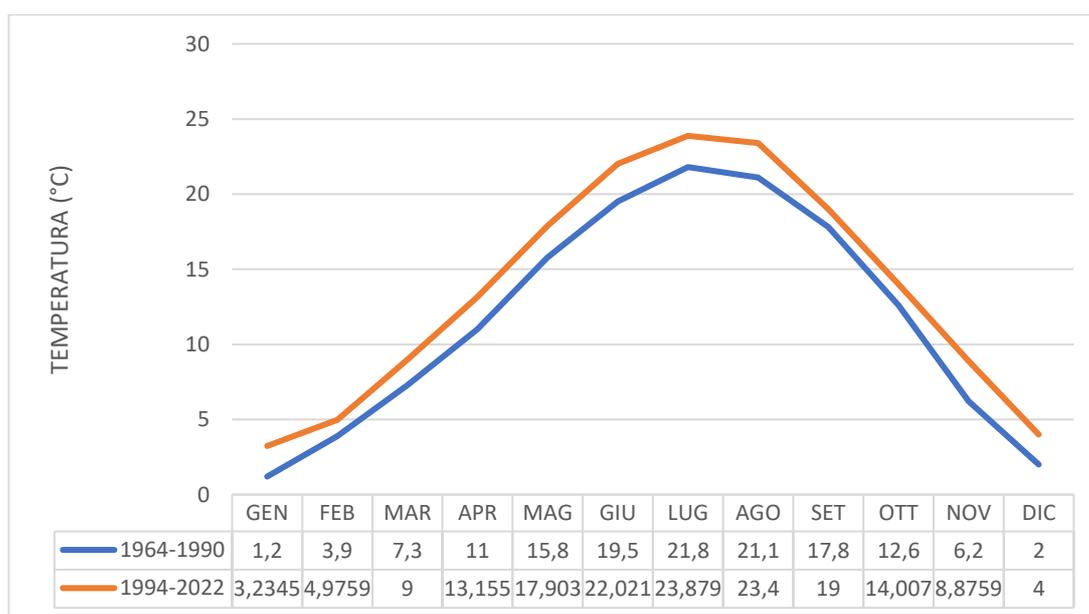


Figura 5 Temperatura medie mensili dei periodi 1964-1990 e 1994-2022

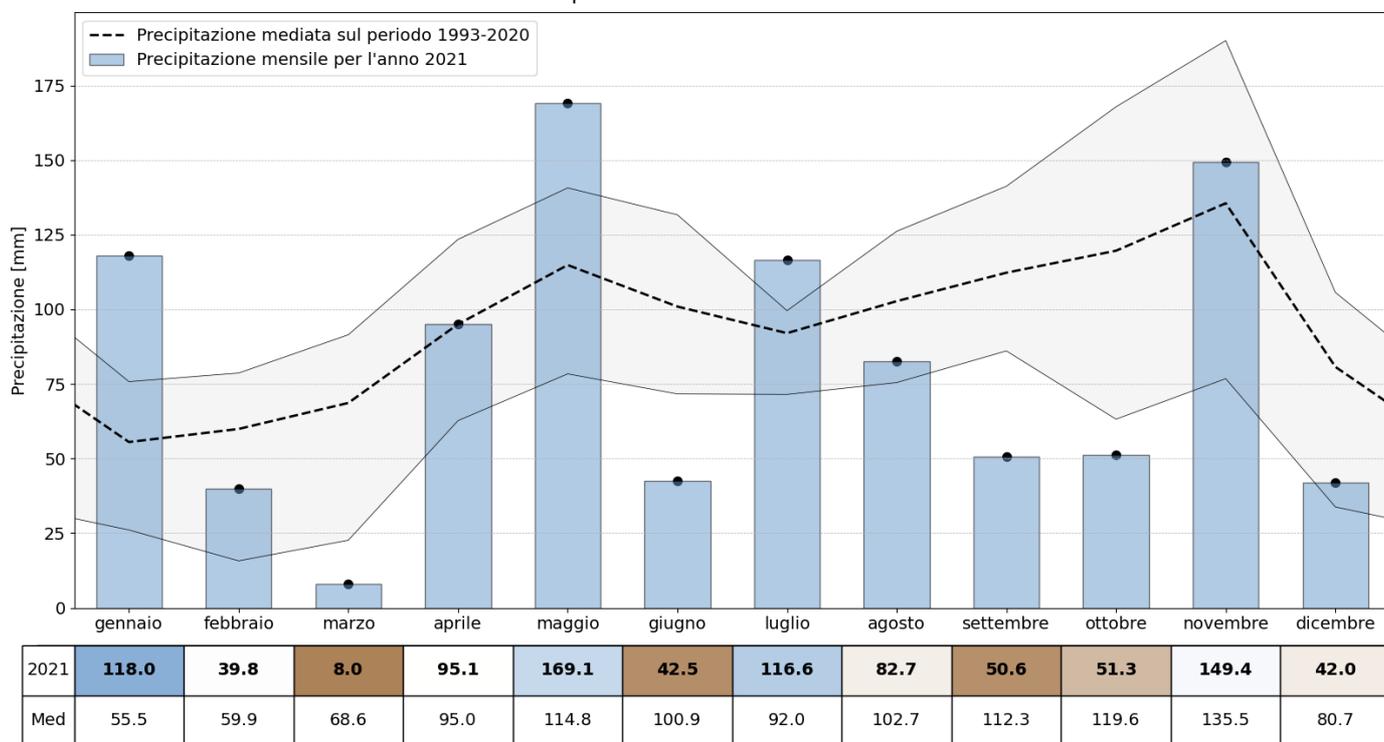
Nel corso dell'anno 2021 si stima che siano mediamente caduti sulla regione Veneto 971 mm di precipitazione, la precipitazione media annuale riferita al periodo 1993-2020 è di 1.136 mm (mediana 1.115 mm): gli apporti meteorici annuali sul territorio regionale sono stati stimati in circa 17.775 milioni di m³ di acqua e risultano inferiori alla media del 13% (3). Nel periodo in cui è stata effettuata la prova si è verificata una estate con valori anomali di temperatura, giorni di pioggia e quantità di pioggia. Questo lo si può notare sulla figura 6 che riporta la media delle precipitazioni del periodo 1993-2020 contro le precipitazioni dell'anno 2021.

Confrontando l'andamento delle precipitazioni mensili del 2021 con quello delle precipitazioni mensili del periodo 1993-2020 si rileva che, effettuando una media su tutto il territorio regionale, gli apporti risultano:

- Nettamente inferiori alla media in marzo (-88%), giugno (-59%), settembre (-54%), ottobre (-58%) e dicembre (-46%);
- Nettamente superiori alla media in gennaio (+119%), maggio (+51%) e luglio (+32%);
- Nella media o vicino ad essa in febbraio (-33%), aprile (+2%), agosto (-19%) e novembre (+13%).

Stampato il 18-05-2022.

Precipitazione in Veneto nel 2021



Nel grafico è riportato l'andamento dell'indicatore nei mesi del 2021, confrontato con la climatologia valutata nel periodo 1993-2020. In tabella si riportano i valori [mm] per l'anno in esame con l'indicazione, nella colorazione della cella, della situazione di anomalia rispetto alla statistica del periodo di riferimento.

Figura 6 Istogramma che correla le precipitazioni mensili per l'anno 2021 contro le precipitazioni medie sul periodo 1993-2020 [3].

Dall'analisi delle carte (Figura 7) delle differenze di precipitazione annua rispetto alla media 1993-2020 si evince che nel corso del 2021 le precipitazioni sono state inferiori o in linea con i valori storici in tutto il territorio regionale. In termini percentuali (Figura 3) la parte del Veneto che più si discosta dalla media è quella meridionale (3).

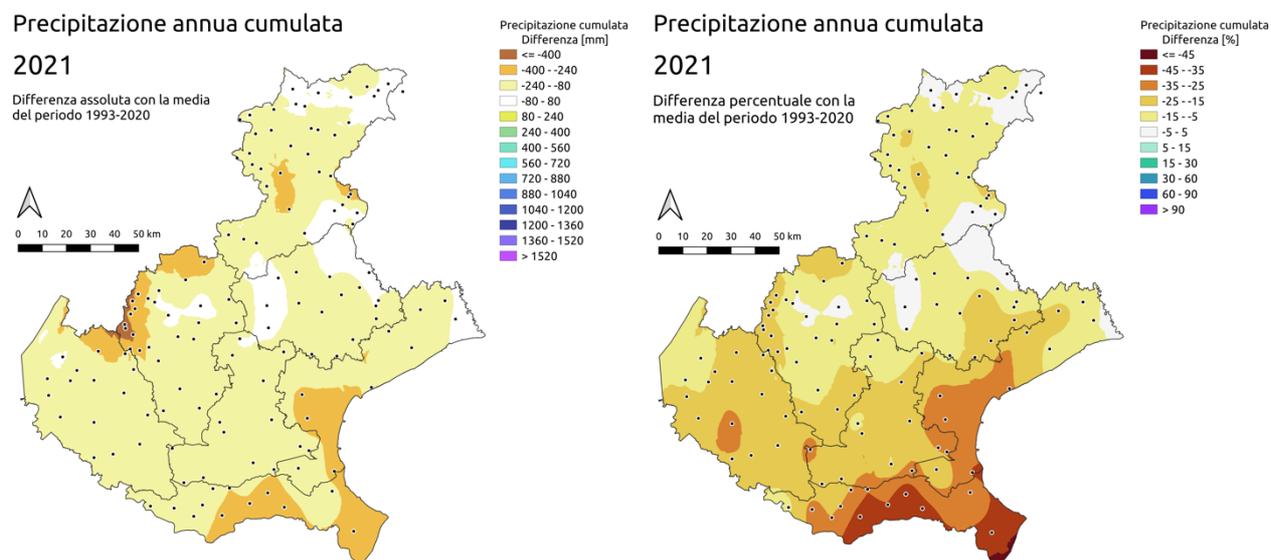


Figura 7 Differenza in mm rispetto alla media del periodo 1993-2020 e la differenza in % rispetto alla media del periodo 1993-2020

A causa delle mutazioni climatiche che si stanno sviluppando in questo periodo la manutenzione delle specie del tappeto erboso, in particolare nel caso delle microterme, si sta riscontrando più impegnativa. C'è anche da aggiungere che c'è una riduzione delle risorse idriche di acqua dolce che in alcuni casi vanno a discapito di colture ritenute secondarie, come nel caso dei tappeti erbosi (4). Questo aspetto sottolinea quindi l'importanza della conservazione dell'acqua nella loro manutenzione, specialmente nelle zone aride e semi-aride (5).

Per ridurre il fabbisogno idrico nei tappeti erbosi si possono adottare delle strategie, quali:

Scelta della specie adatta; Scegliere la specie o le **specie più adatte** in base alle diverse esigenze idriche e alla capacità di resistere alle condizioni di aridità è molto importante. Questo perché tende ad essere un primo fattore di resistenza contro possibili periodi di siccità. Le microterme tendono ad utilizzare maggior quantitativi di acqua rispetto alle macroterme (6):

- Valore di evapotraspirazione (ET) delle microterme è pari a 3-8mm al giorno;
- Valore di evapotraspirazione (ET) delle macroterme è pari a 2-5mm al giorno;

L'ostacolo principale alla diffusione delle macroterme è legato ad aspetti estetici. L'ingiallimento invernale, per l'entrata in dormienza, rappresenta un limite al loro utilizzo. Di conseguenza, nonostante il loro elevato fabbisogno idrico rispetto alle macroterme, le specie microterme sono le più utilizzate nelle zone con clima Mediterraneo, questo per conservare il colore verde anche durante l'inverno (5).

Regolazione dell'altezza di taglio; Lo sviluppo radicale è direttamente correlato con la quantità di tessuti costituenti la parte epigea, quindi un **taglio** più alto favorisce una maggior resistenza alle condizioni di aridità.

Concimazione adeguata; La **concimazione** è anch'essa correlata con il fabbisogno idrico, se scarsa si ha un ridotto sviluppo radicale per un indebolimento della pianta. Al contrario, se eccessiva, si avrà una distribuzione troppo elevata di azoto. Questo determina un aumento dello sviluppo della parte epigea a scapito di quella ipogea. Inoltre si avrà un aumento della superficie traspirante e quindi di fabbisogni idrici.

Controllo del feltro; Il **feltro** si forma tra la parte vegetativa aerea dell'erba e la parte superficiale del terreno. È costituito da materiale organico morto e le parti basali vive della pianta quali la corona, radici, rizomi e stoloni, ove presenti, ed una parte dell'apparato radicale (7). Esso costituisce una barriera all'infiltrazione dell'acqua e ne aumenta le perdite per evaporazione.

Tabella 1: Il massimo intervallo di evapotraspirazione (ET) di alcune specie da tappeto erboso. (Bingru Huang, 2008).

CONSUMO	ET (mm/gg) ^a	SPECIE
Molto basso	< 6	* <i>Buchloe dactiloides</i>
Basso	6 - 7	<i>Eremochloa ophiuroides</i> (Munrow) Hack * <i>Cynodon dactylon</i> L. e ibridi * <i>Zoysiaspp.</i>
Moderato	7 – 8.5	<i>Festuca ovina duriuscula</i> L. <i>Festuca rubra</i> L. subsp <i>commutata</i> <i>Festuca rubra</i> L. <i>Paspalum notatum</i> Flugge <i>Paspalum vaginatum</i> Swartz <i>Stenotaphrum secundatum</i> (Wait) Kuntze
Alto	8.5 – 10	<i>Lolium perenne</i> L. <i>Pennisetum clandestinum</i> Hochst.
Molto alto	> 10	<i>Festuca arundinacea</i> Sherb <i>Agrostis stolonifera</i> L. <i>Poa annua</i> L. * <i>Poa pratensis</i> <i>Poa trivialis</i> L. <i>Lolium multiflorum</i> Lam.

^a Gli intervalli di ET sono basati sulle cultivar più utilizzate per ciascuna specie quando coltivate nelle loro rispettive regioni climatiche di adattamento e nei regimi colturali preferiti.

* L'asterisco (*) indica che le differenze tra le cultivar all'interno di queste specie possono variare in modo significativo.

Irrigazione; dovrebbe essere effettuata nel momento in cui i sintomi della siccità sono imminenti, questo per poter utilizzare in maniera più efficace le precipitazioni estive. Ritardare l'irrigazione fino all'insorgenza dei sintomi di siccità provoca una riduzione del consumo d'acqua da parte del tappeto erboso. Inoltre, bisognerebbe distribuire un quantitativo di acqua pari a quella persa con l'evapotraspirazione in modo tale da mantenere il sistema in equilibrio e non avere sprechi. Per riuscire in questo si può ricorrere all'installazione di un misuratore dell'evapotraspirazione o di sensori di umidità. Un esempio sono i sensori che utilizzano una sonda per misurare l'umidità del terreno all'interno della zona delle radici. Quando la sonda rileva che il terreno ha raggiunto il livello di umidità desiderato, interrompe l'irrigazione, prevenendo lo spreco di acqua. Esso è composto da 2 componenti: una sonda per sensori di umidità, che viene posizionata nel terreno e un modulo elettronico, che comunica con la sonda e il programmatore. Un altro esempio che permette di ridurre gli sprechi idrici aumentandone quindi l'efficacia di somministrazione sono i sistemi calcolano l'evapotraspirazione (ET) e si regolano ogni giorno in base alle condizioni meteo locali. Il sensore misura l'irraggiamento solare e la temperatura, e sfrutta l'ET per calcolare il valore percentuale di regolazione stagionale corretto (8).



Immagine 1 Sensore per il rilevamento dell'umidità Soil-Click (sulla sinistra), che utilizzano sensori per misurare l'umidità del terreno, e Solar Sync (sulla destra), che si basano su un sistema di calcolo dell'ET tenendo conto delle condizioni climatiche della giornata.

Effetti fisiologici e risposta allo stress idrico

Strategie di difesa nei confronti della carenza idrica (da *Applied Turfgrass Science and Physiology*, JACK FRY, 2004)

Le piante per resistere alla carenza idrica utilizzano delle strategie diverse quali:

- **Elusione:** è una tecnica con la quale le piante possono opporsi alla disidratazione riducendo la traspirazione e/o incrementando l'assorbimento dell'acqua.
 - Le strategie più utilizzate sono:
 - Perdita o ripiegamento delle foglie (per ridurre la superficie traspirante);
 - Ispessimento della cuticola e/o formazione di cere;
 - Regolazione stomatica;
 - Espansione e approfondimento dell'apparato radicale;
 - Un esempio di specie che utilizza tali meccanismi è la *Festuca arundinaceae*, che è in grado di approfondire l'apparato radicale per esplorare il terreno in profondità, come si può notare dalla tabella 2;
- **Tolleranza:** in questo caso le piante entrano in dormienza e riprendono a vegetare dagli organi di sopravvivenza (corona, stoloni e/o rizomi) non appena le condizioni sono ideali. Le piante che utilizzano questa strategia sono quelle con basso tasso di evapotraspirazione, abilità fisiologiche di adottare aggiustamenti osmotici in caso di stress, capacità di recupero quando lo stress finisce.
 - I processi che possono essere avviati sono:
 - Aggiustamenti osmotici: in condizioni di stress la pianta richiama nelle cellule diversi soluti organici e inorganici per mantenere il turgore e proteggere le proteine, organelli e membrane;
 - Sintesi di proteine stress-indotte: alcune proteine accumulate in condizioni di stress idrico intervengono nel mantenere l'integrità fisiologica della cellula, un esempio sono le disidrine;
 - Alcuni studi affermano che la tolleranza alla siccità varia con l'intensità degli aggiustamenti osmotici, riportando che *Buchloe dactyloides* e *Zoysia spp.* hanno la stessa tolleranza, entrambe sono più tolleranti di *Cynodon dactylon*, e tutte e tre sono più tolleranti di *Festuca arundinacea*;
- **Sottrazione:** alcune specie, come ad esempio *Poa annua*, sfuggono alla siccità completando il loro ciclo vitale prima che questa si presenti. Anche se molto efficienti in natura, le specie che ricorrono a questa strategia non possono essere impiegati nella realizzazione dei tappeti erbosi dato che è una coltura permanente;

Tabella 2: Strategie utilizzate da alcune specie da tappeto erboso in condizioni di carenza idrica.
(da Applied Turfgrass Science and Physiology, 2004).

SPECIE	ELUSIONE	TOLLERANZA	RESISTENZA
<i>Lolium perenne</i> L.	***	*	**
<i>Poa pratensis</i>	**	***	***
<i>Festuca arundinacea</i>	*****	**	****
<i>Cynodon spp.</i>	*****	****	*****
<i>Zoysia spp.</i>	***	*****	****
<i>Buchloe dactyloides</i>	*****	*****	*****

Nota:

* : molto basso

** : basso

*** : medio

**** : alto

***** : molto alto

Tabella 3 Principali specie per tappeti erbosi e le loro strategie più efficaci

Specie	Adattamento alla carenza idrica in condizioni di taglio basso
<i>Cynodon dactylon</i>	Buon adattamento, in fase matura, per determinare cultivar di recente introduzione, anche superiore ai 50 giorni di totale assenza di acqua. Analogamente per alcune cultivar comuni ovvero locali molto strutturate a livello rizomatoso (rizomi grassi). Necessita di molta acqua in fase di insediamento. Si adatta mediamente al sale.
<i>Paspalum vaginatum</i>	Buon adattamento, sempre in fase matura. Per alcuni ecotipi particolarmente grassi, anche superiore alla gramigna. Si adatta bene al sale.
<i>Zoysia japonica</i>	Buon adattamento anche se inferiore alla gramigna e al paspalo. Anche in questo caso, variabilità legata alla cultivar. Poco adattata al sale.
<i>Festuca arundinacea</i>	Tra le microterme è quella che maggiormente si adatta a condizioni relativamente siccitose. Rimane comunque vulnerabile in assenza protratta di acqua. In carenza costante produce un tappeto rado poco gradevole.
<i>Lolium perenne</i>	Discreto adattamento alla siccità temporanea. La selezione varietale ha prodotto loietti più adattabili alle Festuche arundinacee.
<i>Poa pratensis</i>	Scarso adattamento alla siccità. La presenza di piccoli rizomi non garantisce in questo caso alcun vantaggio.
<i>Festuche a foglie fini</i>	Scarso adattamento alla siccità, analogo a quello della <i>Poa pratensis</i> . In carenza idrica tendono in fretta alla paglia.
<i>Agrotis palustris</i>	Adattamento nullo alla siccità

Tabella 4 Principali specie per le realizzazioni di tappeti erbosi e il loro rispettivo adattamento a situazioni di carenza idrica (9).

FATTORI CHE INFLUENZANO L'USO DELL'ACQUA

Sono presenti diversi fattori che comportano la perdita d'acqua nella parte epigea delle specie da tappeto erboso, quali:

- Numero di accestimenti;
- L'evaporazione dell'acqua dal suolo;
- Capacità di assorbire acqua attraverso il sistema radicale;

Le specie per tappeto erboso si differenziano in base alle percentuali di utilizzo dell'acqua, questa differenziazione dipende da:

- Densità degli accestimenti;
- Habitus di crescita;
- Profondità;
- Densità radicale;

La traspirazione è il processo tramite il quale la pianta perde acqua dalle foglie sotto forma di vapore, questo serve per regolare la temperatura della superficie fogliare, che può essere da 3 a 10°C in meno rispetto alla temperatura dell'aria. Gli stomi, poi, permettono la fuoriuscita del vapore acqueo dalla foglia e la loro apertura e chiusura è regolata dall'entrata o uscita del potassio (K⁺) nelle cellule di guardia.

Le caratteristiche della pianta che influenzano la traspirazione sono:

L'area fogliare;

L'orientamento della foglia;

Le caratteristiche della superficie fogliare;

Stomi;

Un buon approvvigionamento idrico e un apparato radicale esteso e ben sviluppato verso gli strati più profondi del suolo consente di avere una continua traspirazione.

Inoltre, alcuni studi hanno affermato che la traspirazione dipende da tre processi principali (10):

Tensione del vapore tra foglia e aria;

Resistenza dello strato limite esterno, uno strato che va a ridurre la perdita di vapore acqueo dalla foglia;

Resistenza della diffusione interna alle foglie, questa è associata alla densità stomale e alla conduttanza, lo spazio intercellulare, la dimensione delle cellule e la loro densità, lo spessore della cuticola della foglia; tutti fattori legati alla genetica;

I fattori che influenzano l'uso dell'acqua riguardano sia la vegetazione e sia l'ambiente in cui le piante vegetano.

Caratteristiche morfologiche della vegetazione

Caratteristiche della porzione epigea: esistono delle specie che presentano un consumo di acqua inferiore rispetto ad altre. Questo lo si può notare nel caso di specie con crescita prostrata, che tendono ad avere un consumo d'acqua inferiore rispetto alle specie a crescita verticale (11). Questo perché se la superficie fogliare tende ad essere maggiore è molto probabile che anche la l'evapotraspirazione tende ad essere maggiore. Quindi se la pianta tende ad avere una dimensione più contenuta e una crescita lenta l'evapotraspirazione sarà minore rispetto a piante con dimensioni più importanti e una crescita veloce (11). Tuttavia, i tappeti erbosi con una parte epigea densa e compatta hanno una minor perdita di acqua dal terreno per evaporazione rispetto a quelli meno densi e fini. Sembra che le piante con un minor utilizzo di acqua posseggano almeno una combinazione delle caratteristiche di

- a. Lenta crescita verticale;
- b. Crescita prostrata;
- c. Apparato fogliare denso;

La formazione di cuticole e la chiusura stomale possono risultare dei fattori molto importanti per controllare il dispendio di acqua (6).

Caratteristiche dell'apparato radicale: per avere un buon approvvigionamento di acqua dal suolo è molto importante avere un apparato radicale profondo e ben sviluppato. Generalmente, le radici tendono a concentrarsi nella zona più umida del suolo, tipicamente quella superficiale. In questo ambito hanno peso le pratiche di irrigazione, essendo che se lo strato superficiale del terreno tende sempre ad essere umido le radici non saranno mai stimolate ad approfondirsi per ricercare l'acqua. Al contrario se si effettuano poche irrigazioni settimanali con quantitativi di acqua importanti gli strati superficiali del terreno tenderanno ad asciugarsi prima ma quelli sottostanti rimarranno umidi, questo permette alla pianta di esplorare gli strati più profondi del terreno garantendo quindi una possibile maggior resistenza in caso di carenza di acqua.

Che vanno ad incrementare la capacità del pelo stesso di attaccarsi alle particelle del terreno. In questo modo, quando il terreno si asciuga, si (12):

- Previene lo sviluppo d'aria tra terreno e superficie radicale;
- Diminuzione degli efflussi idrici dalla pianta che si trova in terreni asciutti;
- Ritarda l'essiccazione delle radici;

Via via che il terreno si asciuga, aumenta il numero e la lunghezza dei peli radicali (10), con effetto positivo sull'assorbimento d'acqua. I peli radicali possono essere un sito in cui avviene la produzione di mucillagine.

Dormienza e uso dell'acqua: la dormienza si attiva quando lo stress da siccità raggiunge un livello critico, questo metodo serve alla pianta per sopravvivere. Essa va a indurre:

- Le attività di crescita che vengono ridotte al minimo;
- La perdita di acqua per traspirazione è nulla o scarsa;
- L'acqua presente all'interno della pianta sarà maggiormente concentrata nella corona e/o nei rizomi;

La pianta tornerà a vegetare quando il contenuto idrico nel terreno tornerà a salire, questo a seguito di piogge o irrigazioni. La capacità di sopravvivenza varia comunque da specie a specie, per esempio:

- *Poa pratensis* ha una buona capacità di riprendersi a seguito di prolungati periodi di carenza idrica perché dotata di rizomi vigorosi che le consentono di generare nuove radici e nuovi accostamenti una volta che il terreno si reidrata;
- *Lolium perenne* e *Festuca arundinacea*, invece, hanno una capacità e velocità di rigenerazione molto più lenta;

FATTORI AMBIENTALI che influenzano l'evapotraspirazione

I fattori ambientali che vanno ad influenzare la perdita di acqua sono principalmente:

- Radiazione solare;
- Temperatura;
- Umidità relativa dell'aria;
- Vento;
- Acqua nel suolo;
- Tessitura e proprietà fisiche del suolo;

La **radiazione solare** va ad incidere sulla l'evapotraspirazione essendo che è un processo ad energia dipendente, infatti è stata trovata una relazione lineare tra irradiazione e utilizzo dell'acqua (11). Nelle aree con una maggior radiazione luminosa si avrà una maggiore evapotraspirazione e maggiori temperature, quindi il consumo di acqua da parte delle specie del tappeto erboso tenderà ad essere più importante rispetto a zone più ombreggiate.

La **temperatura** influenza la traspirazione attraverso il suo effetto sulla tensione di vapore, che a sua volta influenza il gradiente di pressione tra foglia e aria (Beard, 1973). Si può quindi riscontrare che una elevata pressione di vapore attorno alla foglia è indice di una foglia di una pianta che è in uno stato ottimale di idratazione. In base alla temperatura dell'aria, l'umidità relativa presente tenderà a modificarsi e di conseguenza questo andrà a modificare anche la pressione di vapore attorno alla foglia. Quindi, alte temperature tendono ad asciugare l'acqua riducendo l'umidità relativa e quindi questo va a generare un gradiente di pressione del vapore tra l'aria e la foglia con conseguente perdita di acqua da parte della pianta (Shearman e Beard, 1973). Una pianta in condizioni di illimitata disponibilità idrica, dunque, traspira più acqua ad alte temperature perché l'evaporazione della stessa è più rapida. Bingru Huang (12) in uno studio svolto nel New Jersey, nel 2008, riporta che l'incremento tra il tasso d'utilizzo dell'acqua da parte della pianta e l'aumento della temperatura ha un indice di correlazione pari a 0.81.

L'**umidità relativa** dell'aria va ad influenzare il gradiente di pressione di vapore tra la foglia e l'aria. Un valore di umidità relativa bassa, o aria asciutta, attorno alla foglia causa una rapida perdita di acqua dalla foglia stessa (6). Con una diminuzione dell'umidità relativa si avrà quindi un incremento del consumo di acqua da parte della pianta a causa di un aumento della sua evapotraspirazione. Carrow (13) riporta che una cultivar da tappeto erboso che si trova in un ambiente umido ha valori di evapotraspirazione pari al 40-60% in meno rispetto alla stessa cultivar che si trova in un ambiente asciutto.

Grazie all'azione del **vento** l'aria che è stagnante vicino alla pianta, che presenta una umidità relativa molto importante a causa dell'azione del vapore acqueo generato dall'evapotraspirazione della pianta, tende ad essere allontanata e rimpiazzata con aria meno carica di acqua e di conseguenza con minor umidità relativa. Quindi si deduce che in caso di zone ventilate la perdita di acqua per evapotraspirazione tende ad essere maggiore rispetto a zone non ventilate. L'effetto del vento è associato al cambiamento nel gradiente di tensione di vapore tra la foglia e l'aria e la resistenza dello strato limite (6). L'aumento del tasso di traspirazione tende a essere correlato con l'aumento della velocità del vento che se tende ad aumentare riduce lo spessore dello strato limite. Tuttavia, una velocità del vento eccessiva può causare la chiusura stomale riducendo la traspirazione prima che le foglie si secchino ha osservato che in alcune cultivar di *Festuca arundinacea*, all'aumentare della velocità del vento da 1 m/s a 3.5 m/s, vi è un sensibile aumento della traspirazione. (14)

Non tutta l'**acqua presente nel suolo** può essere utilizzata dalle piante, l'acqua nel suolo è disponibile solo se la sua quantità si trova tra la capacità di campo e il punto di avvizzimento. Inoltre, è stato visto che il tasso d'utilizzo dell'acqua cala al diminuire del contenuto idrico nel suolo indipendentemente che siano microterme o macroterme (15) (16). I tappeti erbosi irrigati di frequente utilizzano una maggior quantità di acqua rispetto a quelli irrigati meno frequentemente (17). A tal proposito, Bingru Huang in uno studio svolto in New Jersey nel 2005, ha trovato che *Agrostis stolonifera* L. irrigata tre volte a settimana in estate (giugno-settembre) aveva un valore di evapotraspirazione maggiore rispetto alla stessa specie irrigata una o due volte a settimana. Aumentando la frequenza dell'irrigazione o aumentando la quantità di acqua data per irrigazione si è notato che si ha una maggior formazione degli accostamenti. Di contro però, come già ricordato, mantenere il suolo costantemente umido promuove lo sviluppo di un sistema radicale superficiale e c'è maggior rischio di insorgenza di malattie e marciumi al livello radicale.

Il tipo di suolo e la tessitura vanno ad influenzare

1. Ritenzione idrica e l'infiltrazione;
2. Frequenza delle irrigazioni;
3. Quantità d'acqua distribuita;

Generalmente i suoli a granulometria più grossolana, come quelli sabbiosi, hanno una maggior capacità drenante e trattengono meno l'acqua. In questi casi sono necessari quindi interventi più frequenti con minori volumi d'acqua, sebbene le piante abbiano a disposizione circa il 50% dell'acqua presente nel suolo. In terreni a granulometria fine come quelli limosi ed argillosi, anche se conservano grandi quantità d'acqua, di questa solo il 30-35% è disponibile per le piante. In uno studio condotto durante il periodo estivo in Colorado, (18) riportano che piante di *Poa pratensis* coltivate in terreni argillosi avevano un valore di evapotraspirazione più basso di 6 punti percentuali rispetto alle piante coltivate in una miscela di sabbia e torba. Inoltre, il calpestio e la compattazione, principali problemi nei tappeti erbosi ricreativi e sportivi, hanno effetti sulle caratteristiche fisiche del suolo. Entrambi possono influenzare

1. Infiltrazione;
2. Ritenzione idrica;
3. Resistenza del suolo alla penetrazione;
4. Approfondimento radicale;
5. Scambi gassosi;
6. Crescita delle piante;

O'Neil e Carrow (19) riportano una diminuzione del 21% e del 49% nell'utilizzo dell'acqua per *Lolium perenne* coltivato in terreni moderatamente e fortemente compattati in Kansas. Un risultato simile è stato trovato anche da Agnew e Carrow (1985) (20) per *Poa pratensis*.

EFFETTI DELLO STRESS DA SICCIÀ E TEMPERATURA SULLA CRESCITA E LA FISIOLOGIA NELLE PIANTE DA TAPPETO ERBOSO

La **siccità** nei tappeti erbosi si manifesta con l'appassimento ed eventualmente disseccamento fogliare, diminuzione della crescita dell'erba e una generale perdita di qualità. Questo fenomeno lo si può notare quando si cammina sopra un tappeto erboso e l'erba non ripristina la sua forma originale, questo a causa della mancanza di elasticità fogliare a causa della carenza idrica.

L'espansione cellulare dipende dal turgore della cellula (pressione idrostatica) che deve essere superiore a un livello critico, per molte piante questo livello è attorno al 15-50% della pressione di turgore in condizioni normali (21). L'espansione della cellula e la crescita sono limitate quando il potenziale idrico è basso, questo dovuto a situazioni di carenza di acqua. Questo a causa di una riduzione dell'elasticità della parete cellulare.

Lo stress idrico causa al livello delle radici:

- Riduzione della lunghezza totale delle radici e la loro massa aumentandone la mortalità;
- Distribuzione alterata nel profilo del suolo da parte delle radici a causa della continua siccità;
- Il rapporto della massa delle radici e della biomassa epigea aumenta sotto stress idrico (22), questo può essere dovuto alla notevole riduzione della crescita della biomassa epigea rispetto alle radici;

Grazie agli aggiustamenti osmotici le radici riescono a mantenere più facilmente il turgore rispetto alla parte aerea. La differenza nella sensibilità allo stress idrico tra parate epigea e radici può essere legato all'effetto dell'acido abscissico, il quale va a ridurre lo sviluppo epigeo a vantaggio dello sviluppo radicale (23).

La **temperatura** ottimale per lo sviluppo varia da specie a specie. In base alla specie si ha:

- Microterme: l'intervallo ottimale oscilla tra i 18 e 24°C per la parte epigea, mentre per le radici varia tra 10 e 18°C;
- Macroterme: gli intervalli sono rispettivamente 27- 35°C e 24-29°C (6)

Per quanto riguarda lo stress legato alla temperatura si distinguono due tipologie di danno:

- **Stress da congelamento;**
- **Stress da calore;**

Lo **stress da congelamento** avviene quando la temperatura scende sotto gli 0°C. Nel caso delle microterme, per esempio, la *Poa annua* e *Lolium perenne* possono risentirne di questa tipologia di stress. I danni da congelamento avvengono solitamente a fine inverno, quando le piante riprendono l'attività vegetativa e possono verificarsi le gelate tardive. I danni da freddo possono derivare da 2 forme di congelamento:

- Intercellulare;
- Extracellulare;

Nel caso di formazione di particelle di ghiaccio all'interno della cellula, derivanti da un abbassamento repentino delle temperature, si avrà un danneggiamento della membrana cellulare fino anche alla sua possibile rottura, causando la morte del tessuto e quindi della pianta.

Nel caso di formazione di ghiaccio all'esterno della cellula (al di fuori della parete cellulare), causato da un abbassamento più graduale delle temperature, i danni sono minore se non addirittura nulli. I danni sono causati dalla formazione di ghiaccio più che dalle basse temperature.

La sopravvivenza della pianta viene ad essere minata quando la temperatura dell'aria e del terreno raggiungono livelli importanti e questo va a minare lo sviluppo della parte epigea e ipogea della pianta. Questo avviene in particolare nelle specie microterme quanto le temperature superano i 30°C, mentre le macroterme resistono fino ai 45°C. Zhimin et al. (24) hanno osservato che per specie come *Poa annua*, *Poa trivialis*, *Lolium multiflorum* e *Lolium perenne* una temperatura superiore ai 20°C provoca danni fisiologici significativi, che si manifestano con:

- Riduzione della qualità dell'erba;
- Riduzione del contenuto idrico relativo delle foglie;
- Riduzione dell'attività dell'enzima antiossidante catalasi (coinvolto nell'azione detossificante della cellula dalle specie reattive dell'ossigeno o ROS);
- Dall'incremento del valore della stabilità della membrana (EL) nonché del contenuto di malondialdeide;

Ci sono due tipologie di stress da calore:

- Stress da calore indiretto;
- Stress da calore diretto;

Nel caso dello **stress da calore indiretto** la temperatura sale lentamente sopra il livello ottimale e persiste per un periodo prolungato durante l'estate. Questo può causare danni importanti alla pianta o addirittura la morte

della stessa. Questa tipologia di stress va a colpire le funzionalità fisiologiche e metaboliche delle piante, comprese la fotosintesi, la respirazione, la traspirazione e l'assorbimento dell'acqua e dei nutrienti.

Lo **stress da calore diretto** tende ad essere meno comune del precedente ed è dovuto ad innalzamenti rapidi della temperatura che durano per un breve periodo. Questo stress può provocare immediati danni fisici come denaturalizzazione delle proteine ed enzimi cellulari, rotture della membrana cellulare, portando a una rapida morte della cellula e della pianta.

I tipici **sintomi** di danno provocati dal calore includono la clorosi fogliare e la riduzione nella densità degli accostamenti. Nel caso delle microterme si è notato anche che le radici appaiono più corte e meno estese durante il periodo estivo rispetto a quello primaverile.

La **temperatura del suolo** svolge un ruolo molto importante, rispetto alla temperatura dell'aria, nel controllo della crescita. Xu e Huang (23), riportano che esponendo le radici di *Agrostis stolonifera* a una temperatura del suolo di 35°C e mantenendo la porzione epigea a una temperatura di 20°C si è avuta una riduzione nella crescita di entrambe le parti. Abbassando la temperatura del suolo a 20°C e alzando quella dell'aria a 35°C la crescita epigea e delle radici è rimasta inalterata, rafforzando la fotosintesi e migliorando la qualità dell'erba (25).

La diminuzione dell'assorbimento di nutrienti è uno tra gli effetti negativi dovuti all'alta temperatura del suolo e questo va ad incidere sulla parte epigea della pianta. Tra i tre macroelementi (N, P e K) il potassio è risultato il più sensibile ai cambiamenti di temperatura del suolo (23). Un alto contenuto di potassio nelle foglie e nelle radici può incrementare la capacità del tappeto erboso di sopportare le alte temperature facilitando:

- L'apertura degli stomi;
- L'assorbimenti di acqua e nutrienti;
- Incrementando la traspirazione;

Tabella 5 Resistenza al calore di alcune specie microterme da tappeto erboso (da Applied Turfgrass Science and Physiology, 2004)

SPECIE	RELATIVA RESISTENZA AL CALORE
<i>Festuca arundinacea</i>	molto alta
<i>Poa pratensis</i>	alta
<i>Lolium perenne</i> Festuche fini <i>Agrostis stolonifera</i>	bassa
<i>Poa annua</i> <i>Poa trivialis</i>	scarsa

Si è comunque dimostrato che le microterme hanno una miglior tolleranza al calore quando si effettuano irrigazioni con turni lunghi che consentono al terreno di asciugarsi, questo è confermato anche dai risultati ottenuti da Jiang e Huang (26) in uno studio su *Poa pratensis*.

Esistono anche delle pratiche per ridurre la temperatura del tappeto erboso proprio per evitare situazioni di eccesso di calore; una di queste pratiche è il *syringing*. Esso consiste nel somministrare un leggero quantitativo di acqua ben nebulizzato per bagnare la superficie fogliare. Questo comporta alla riduzione della temperatura della foglia a causa della liberazione di calore latente da parte dell'acqua. Questa pratica, però, tende ad avere una durata limitata.

Studi sulla risposta allo stress idrico di *Festuca arundinacea*

Un efficiente metabolismo radicale migliora la resistenza alla siccità della *Festuca arundinacea*?

Dawid Perlikowsky et al. (27) hanno effettuato uno studio per determinare i possibili meccanismi di resistenza alla siccità in *Festuca arundinacea*. Il materiale utilizzato per l'esperimento sono stati 2 genotipi di *Festuca arundinacea* Schreb cv Kord:

- Genotipo HDT con un relativamente alto livello di resistenza allo stress idrico;
- Genotipo LDT con un relativamente basso livello di resistenza allo stress idrico;

Queste 2 tipologie di piante sono state selezionate da un grande popolazione composta da 60 individui, ognuno dei quali originari da un singolo seme. La prima fase della selezione delle piante si è basata sull'analisi dei parametri di fluorescenza della clorofilla durante 11 giorni di condizioni progressive di deficit idrico nei vasi e 10 giorni di successiva irrigazione. I processi fotochimici nei centri di reazione del fotosistema II hanno dimostrato di essere meno colpiti dalla siccità nel genotipo HDT, rispetto al genotipo LDT. Questo fenomeno è stato ulteriormente confermato e seguito dagli altri parametri fisiologici in Kosmala et al. (28). Il genotipo HDT, rispetto al genotipo LDT, è stato caratterizzato da:

- Assorbimento dell'acqua più efficiente all'11° giorno di trattamento dello stress e dopo la reidratazione;
- Un RWC fogliare più elevato e un livello relativamente basso di EL (un alto livello di integrità delle membrane cellulari) tra il 9° e l'11° giorno di deficit;
- Un alto livello di assimilazione di CO₂ all'11° giorno di stress idrico;

Dopo la cessazione dello stress, entrambi i genotipi di *F. arundinacea* non differivano significativamente rispetto ai livelli di RWC fogliare, EL e assimilazione della CO₂. Così, è stato dimostrato che il genotipo LDT è in grado di rigenerare il suo metabolismo dopo la ripresa dell'irrigazione (28).

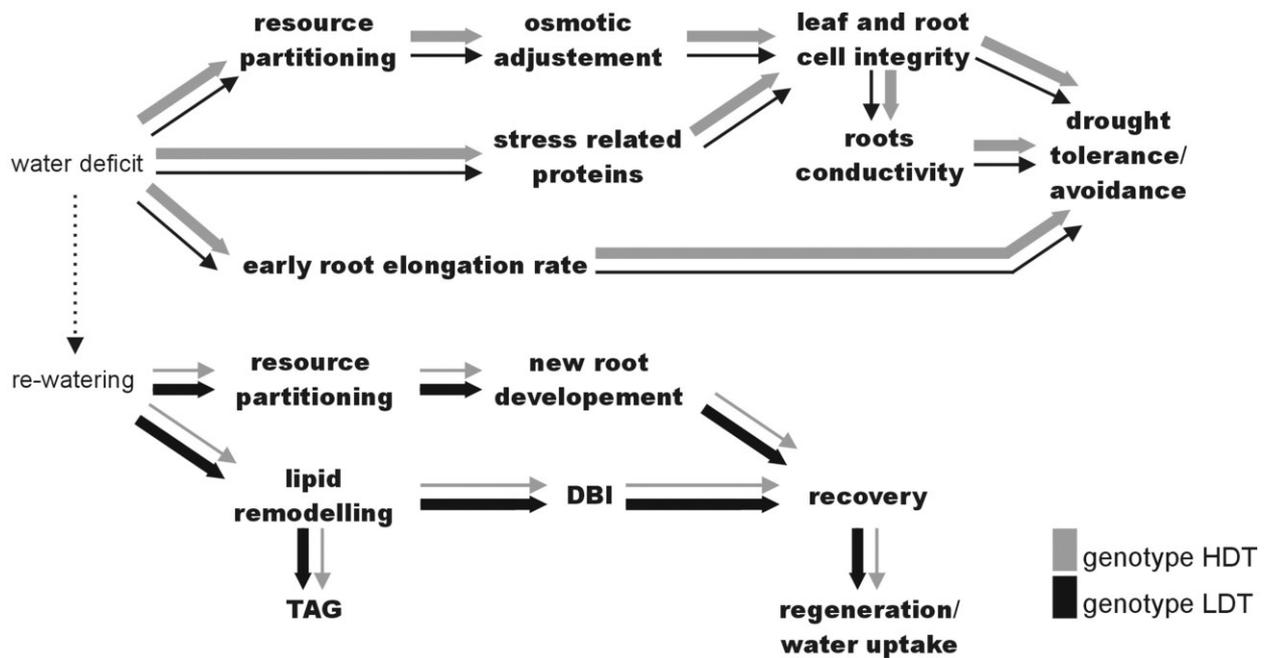


Figura 8 Un modello schematico che sintetizza gli effetti più importanti della ricerca. Le frecce nere e grigie rappresentano i genotipi e lo spessore delle frecce rappresentano le differenze quantitative tra i 2 genotipi di *Festuca arundinacea* [13]

Da questo studio si è poi dimostrato che, sebbene *F. arundinacea* sia una specie erbacea ben riconosciuta e sia stata una pianta modello per lavorare sui meccanismi di resistenza alla siccità nelle erbe foraggere, i componenti cruciali di tale resistenza non sono stati riconosciuti in dettaglio, fino ad oggi.

È stato suggerito che il sistema radicale profondo e ben sviluppato di questa specie potrebbe essere un tratto cruciale per evitare i danni della siccità, come componente importante della strategia di prevenzione della siccità. In questo studio (27) è stato indicato che una tale strategia non è sufficiente per evitare perfettamente i danni da siccità e per resistere a condizioni ambientali avverse senza disturbare il metabolismo cellulare. Inoltre, dopo una ricerca completa sulle radici a livelli proteico, lipidico e metabolico primario, hanno chiaramente dimostrato che le prestazioni metaboliche del sistema radicale sono cruciali quanto la sua architettura in condizioni di carenza d'acqua, per far fronte allo stress da siccità attraverso strategie di evasione, tolleranza e rigenerazione.

Le analisi fisiologiche e biochimiche rivelano la tolleranza alla siccità del tappeto erboso composto da *Festuca arundinacea* con l'applicazione di melatonina

Nur Alam et al. (29) hanno dimostrato che la melatonina può essere usata per migliorare la tolleranza allo stress abiotico in molte piante. In questo studio, hanno dimostrato che, sebbene l'altezza dei germogli e il peso fresco delle piantine di *Festuca arundinacea* siano stati significativamente ridotti dallo stress da siccità, sono stati aumentati dal pretrattamento della melatonina rispetto alle piante di controllo. Le analisi chimiche hanno mostrato che le piantine di *Festuca arundinacea* pre-trattate con melatonina hanno mostrato

- Livelli inferiori di:
 - Specie reattive di ossigeno;
 - Perdite di elettroliti e malondideide;
- Livelli più elevati di:
 - Attività enzimatiche antiossidanti (catalasi e perossidasi);
 - Contenuto totale di clorofilla, rispetto alle piantine non trattate;

Anche la perdita di acqua fogliare è stata parzialmente mitigata e il contenuto di acqua fogliare è aumentato dall'applicazione di melatonina, con conseguente miglioramento della crescita delle piante sotto stress da siccità. Inoltre, la crescita delle radici di piantine di *Festuca arundinacea* è stata promossa dalla melatonina sotto stress osmotico.

I risultati mostrano che la tolleranza alla siccità è stata migliorata in *Festuca arundinacea* mediante l'applicazione di melatonina esogena. Pertanto, la melatonina può potenzialmente essere utilizzata come protezione per le piante contro gli effetti deleteri della siccità o dello stress da deficit idrico.

Attributi morfofisiologici e biochimici di *Festuca arundinacea* Schreb. Inoculato con *Pseudomonas fluorescens* sottoposta a deficit di irrigazione

Mahdavi et al. (30) hanno condotto uno studio sugli attributi morfofisiologici e biochimici di *Festuca arundinacea* Schreb inoculato con *Pseudomonas fluorescens* piante sottoposte a deficit di irrigazione. Questo esperimento è stato condotto vicino al Dipartimento di Scienze Orticolturali, Scuola di Agricoltura, Università di Shiraz, Shiraz, Iran in serra e anche ambiente esterno. La ricerca è durata 2 anni consecutivi dal 2014 al 2015. Sono state utilizzate 2 cultivar di *Festuca arundinacea*. Sono state analizzate le proprietà fisico-biochimiche del suolo e l'analisi chimica dell'acqua di irrigazione utilizzata. I dati sono mostrati da Mahdavi et al. (31).

Ceppo batterico utilizzato

Il ceppo SH11 di *Pseudomonas fluorescens* (Pf) (numero di adesione GenBank: KX683310) è stato ottenuto dal laboratorio di biologia e biotecnologia del suolo, Dipartimento di scienze del suolo, Shiraz University, Iran.

Trattamenti e configurazione sperimentale

I trattamenti includevano l'inoculazione del batterio nella zona radicale. Dopo il periodo di acclimatazione, i prodotti sono stati applicati per 12 settimane. I trattamenti includevano due cultivar di *festuca arundinacea* ("H-d" e "J-r"), tre trattamenti con il prodotto contenente i batteri (7, 14 e 21 giorni) e due livelli di batterio/controllo.

Misurazioni

Le misurazioni che sono state effettuate in questo esperimento sono state: qualità del tappeto erboso e peso totale fresco, contenuto di clorofilla delle foglie e contenuto idrico, accumulo osmoprotettivo, analisi enzimatica, tenore di fosforo (P) e periodo di ripresa.

Conclusioni della sperimentazione

In condizioni di stress idrico, *Pseudomonas fluorescens* aumentava la capacità di mantenere funzionanti i processi metabolici vitali, in particolare nella parte della corona. La cultivar 'J-r' inoculata con batterio e irrigata ogni 7 giorni ha mantenuto un'ottima qualità. Tuttavia, la stessa cultivar inoculata col suddetto batterio può essere irrigata ogni 14 giorni mantenendo una qualità sufficiente.

I funghi micorrizici arbuscolari possono migliorare gli effetti negativi di deficit di irrigazione su *Festuca arundinacea* Schreb.?

Questo esperimento è stato condotto da Mahdavi et al. (32) in condizioni di serra e anche in campo (Bajgah) vicino al Dipartimento di Scienze Orticolturali, Scuola di Agricoltura, Università di Shiraz, Shiraz, Iran. La ricerca è stata condotta in 2 anni consecutivi dal 2014 al 2015. Sono state utilizzate due cultivar di *Festuca arundinacea*. Queste cultivar erano "J-r" (tollerante alla siccità) e "H-d" (meno tollerante alla siccità), sottoposte a 3 trattamenti (inoculazione a 7, 14 e 21 giorni) e 3 tipi di inoculamento (il gruppo di controllo, *Funneliformis mosseae* e *Rhizophagus irregularis*)

Misurazioni

Le misurazioni che sono state effettuate in questo esperimento sono state: peso fresco totale (FW) e qualità visiva (VQ), clorofilla fogliare (Chl), contenuto idrico relativo (RWC), contenuto soluto compatibile, test enzimatici, contenuto di fosforo e colonizzazione radicale e periodo di recupero

Conclusioni della Sperimentazione

Questo studio è stata la prima ricerca approfondita che ha studiato la biomassa vegetale, l'attività degli aminoacidi e degli enzimi antiossidanti su base quantitativa e qualitativa, alla luce del trattamento di un tappeto erboso con AMF. Le caratteristiche di *Festuca arundinacea* possono essere migliorate dagli AMF applicando diversi trattamenti. I risultati dimostrano che 'J-r' e 7-giorni di trattamento con *Funneliformis mosseae* sono i migliori in termini di indurre la tolleranza delle piante contro la siccità. Il trattamento dopo 14 giorni si è verificato efficace in zone con forti limitazioni di acqua. Questa ricerca ha concluso che gli AMF possono salvare organi vitali di *Festuca arundinacea*, in particolare la corona, quando sono in condizioni gravi e lunghe e stressanti. Di conseguenza, quindi, la maggior parte degli organi si riattiva nel periodo di recupero.

Materiali e metodi

La sperimentazione è stata condotta presso l'Azienda Agraria Sperimentale "L. Toniolo" dell'Università di Padova con sede a Legnaro (45°20' N, 11°57' E; altezza sul livello del mare 8 m). La zona è caratterizzata da un clima subtropicale umido (Köppen-Geiger climate classification system), con precipitazioni annuali di 820 mm distribuite per lo più da aprile a novembre e una temperatura media annua su un arco di quarant'anni di 12,3°C. Il terreno è composto per il 14% di argilla, 64,9% di limo e 17,9% di sabbia, ha un pH di 8,1; il contenuto di sostanza organica è del 2,57%, il rapporto C/N del 12,2, il contenuto di fosforo pari a 29 mg kg⁻¹ e quello di potassio scambiabile di 140 mg kg⁻¹.

Lo schema sperimentale adottato è stato il blocco randomizzato a 3 ripetizioni (parcelle di 2m x 2m con un totale di 60 parcelle) e la semina è stata effettuata a settembre 2020 e ha riguardato 20 cultivar di *Festuca arundinacea*: Bullseye, PPG-TF336, Tough, Triad, Darlington II, PPG-TF315, Thunderstruck, Talladega II, PPG-TF254, Forlaine, Melyane, Turfway, PPG-TF238, ZRC-1, Lexington, Grande II, Rhambler SRP, RGT Nuance, Detonate LS e Thor.

La concimazione è stata eseguita in modo da apportare 120 kg ha⁻¹ anno⁻¹ di N mediante concime Barfertile equamente distribuito in 3 interventi (100 gr per parcella ad ogni applicazione) effettuati a:

1. Metà marzo;
2. Primi di maggio;
3. Metà settembre;

Il taglio delle parcelle è stato effettuato a 52 mm con tosaerba a lama rotante.

L'irrigazione si è limitata soltanto ad interventi di emergenza.

Sono stati eseguiti alcuni trattamenti fungicidi contro *Pythium spp.* a seguito di infezioni diffuse che avrebbero potuto compromettere la sperimentazione. Il controllo delle infestanti è avvenuto mediante scerbatura manuale in modo da evitare la distribuzione di prodotti chimici che potessero condizionare le cultivar.



Figura 9 Foto scattata con il drone della prova

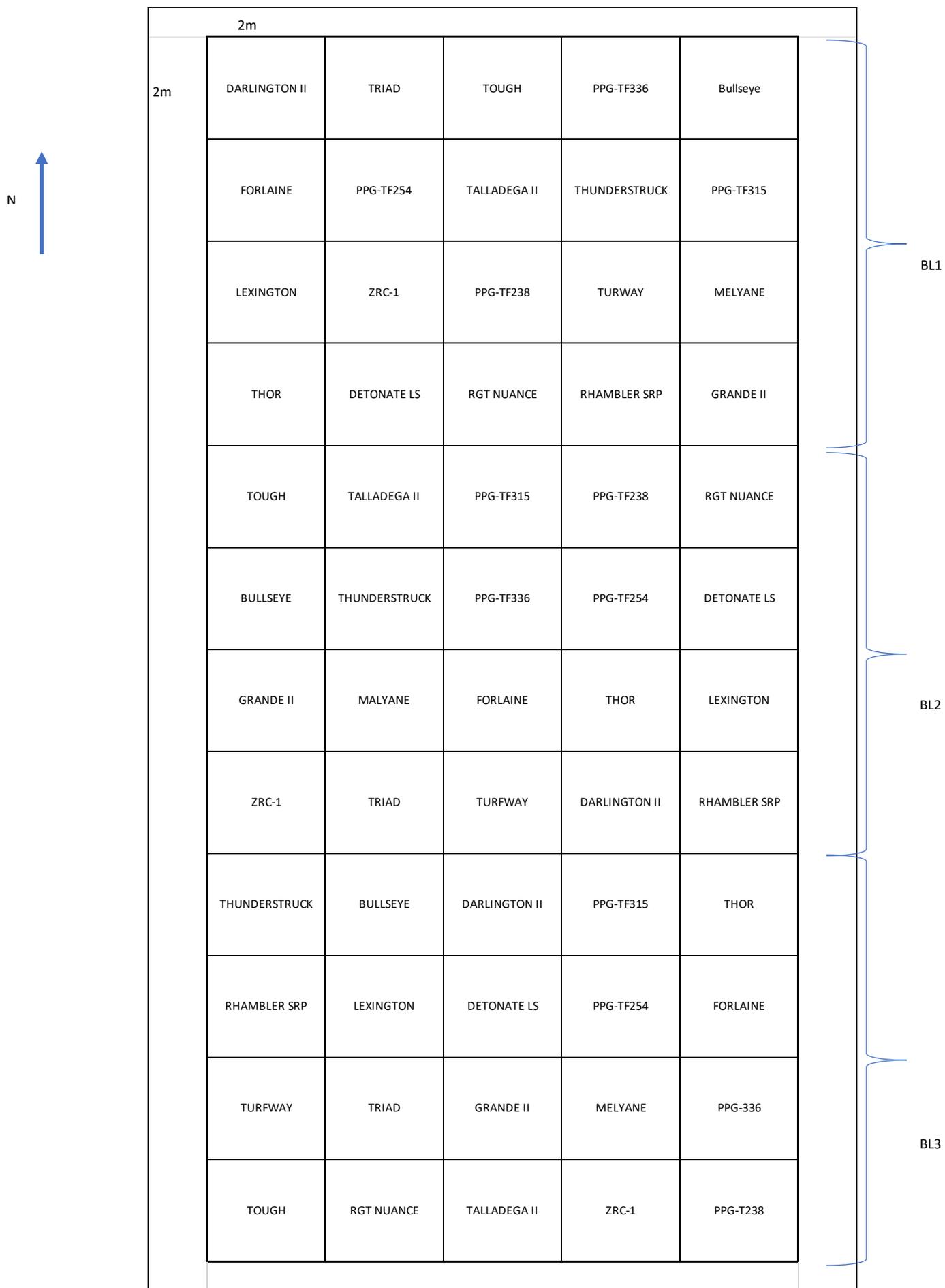


Immagine 2 Mappa della prova con le rispettive varietà di *Festuca arundinacea* utilizzate per la sperimentazione

Caratterizzazione Climatica

Gli anni 2021 e 2022 sono stati degli anni particolari dal punto di vista climatico, sia a livello nazionale che specifico per l'area di studio. La pioggia totale caduta nel 2021 a Legnaro è stata pari a 660,4 mm, mentre il totale di millimetri di pioggia caduti fino a settembre 2022 a Legnaro sono pari a 369,6. I mesi di agosto e settembre 2022 sono gli unici mesi ad avere un valore di precipitazione simile o maggiore alla media sul lungo periodo, ma in agosto si sono verificati pochi giorni piovosi con eventi di elevata intensità (figura 12). In aprile e maggio, invece, i giorni piovosi sono stati molto abbondanti ma con quantitativi ridotti di precipitazioni.

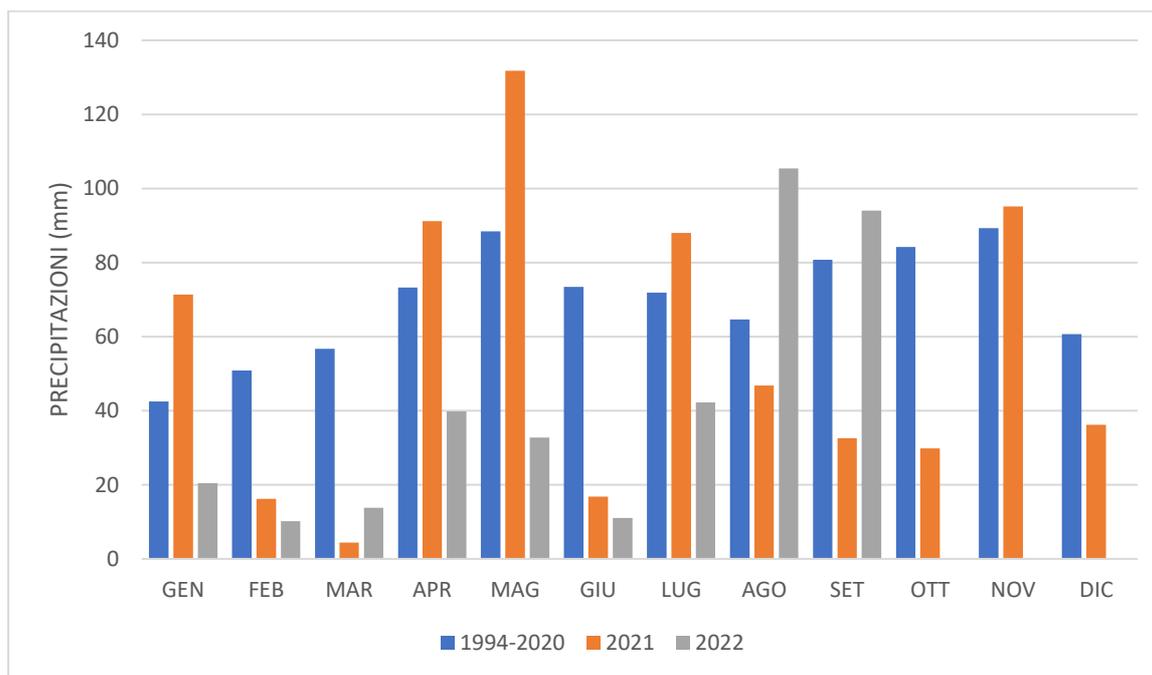


Figura 10 Comparazione tra i millimetri di pioggia caduti fino a settembre 2022 con i millimetri di pioggia medi caduti nel periodo 1994-2020

Inoltre, come si può notare nella figura 7, anche i giorni piovosi sono meno numerosi nell'anno 2022 (48 giorni piovosi) rispetto ai giorni piovosi medi del periodo 1994-2020 (80 giorni piovosi). Anche l'anno 2021 è risultato un anno con un quantitativo ridotto di giorni piovosi rispetto al periodo 1994-2020, essendo che si sono verificati 67 giorni piovosi contro gli 80 del periodo di riferimento. Anche gli stessi millimetri di pioggia sono stati in buona parte ridotti, essendo che nel 2021 sono caduti 660,4 mm di pioggia contro gli 836 del periodo 1994-2020. Questo ridotto quantitativo di pioggia lo si può notare nella figura 9 dove i mesi di febbraio, marzo, giugno, settembre e ottobre sono stati mesi molto siccitosi rispetto alla media del periodo di comparazione. Per l'appunto le piogge, nel 2021, si sono concentrate principalmente nei periodi di gennaio, aprile, maggio e luglio.

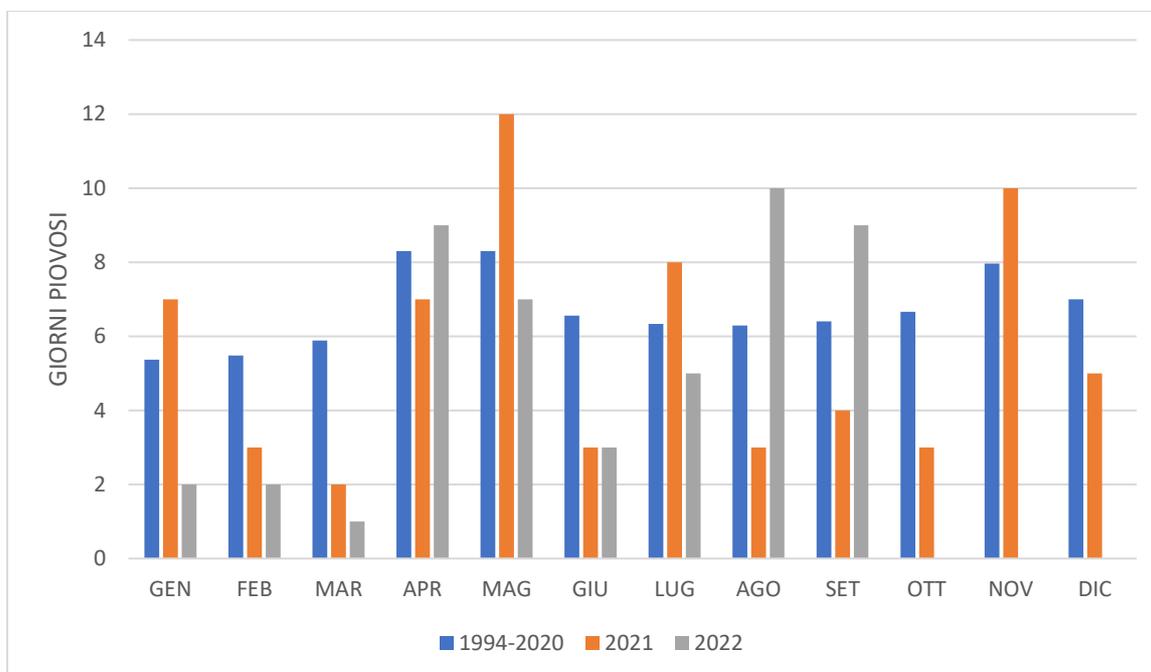


Figura 11 Comparazione tra i giorni piovosi medi del periodo 1994-2020 rispetto ai giorni piovosi fino a settembre 2022

Nella figura 10 possiamo notare la presenza di 2 periodi dove i giorni di pioggia sia nel 2021 e sia nel 2022 sono stati inferiori rispetto al periodo 1994-2020. Il primo periodo fa riferimento a febbraio e marzo, dove ci sono stati anche pochi millimetri di pioggia caduti (figura 9) e il secondo periodo in estate, dove giugno è stato il mese con il minor numero di giorni piovosi e il minor quantitativo di pioggia caduta.

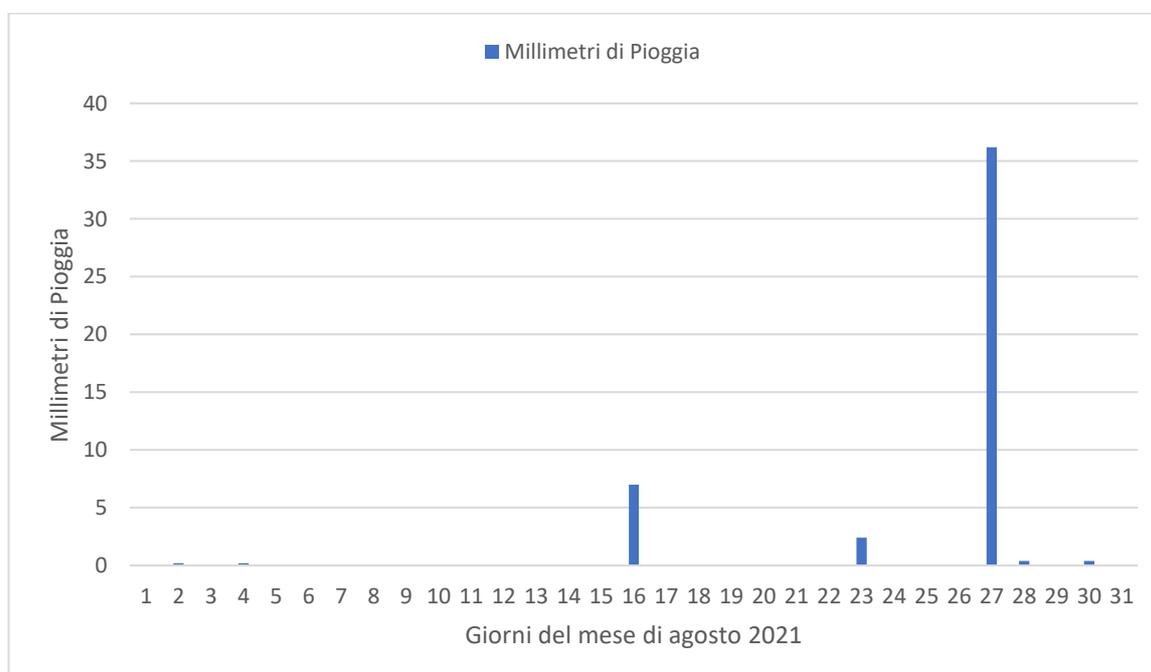


Figura 12 Dettaglio del mese di agosto 2021 dei giorni di pioggia e del quantitativo di millimetri caduti in quel determinato giorno

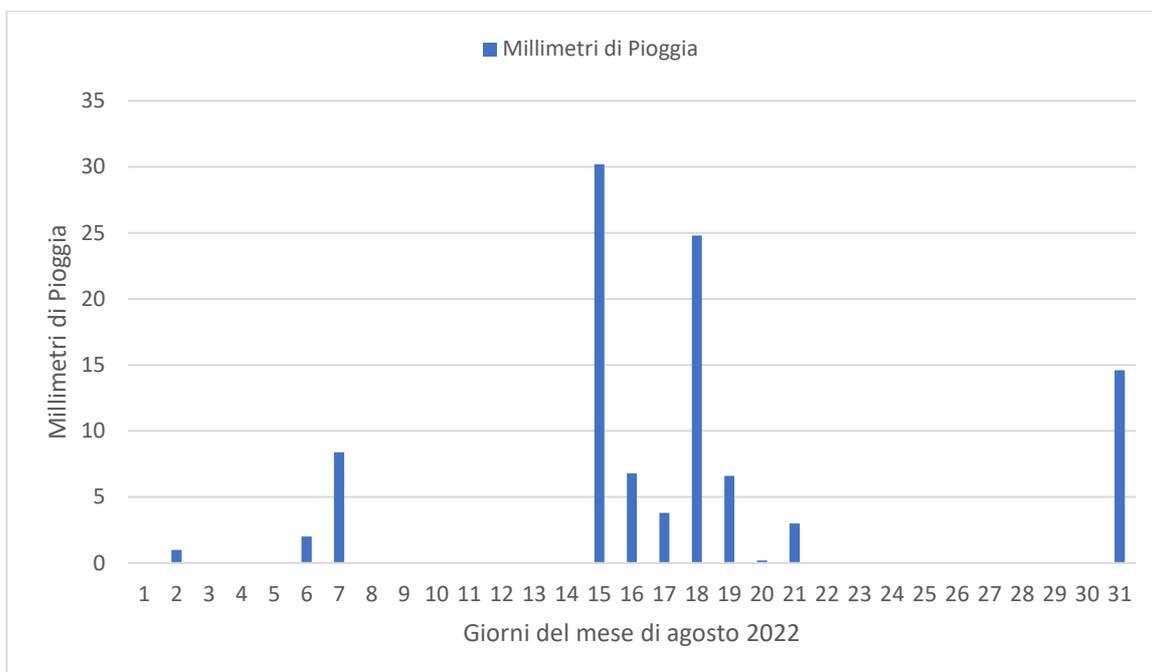


Figura 13 Dettaglio del mese di agosto 2022 dei giorni di pioggia e del quantitativo di millimetri caduti in quel determinato giorno

Nella figura 11 e 12 possiamo notare come nei 2 mesi di agosto (2021 e 2022) si sono verificati pochi eventi piovosi, ma con volumi elevati di pioggia.

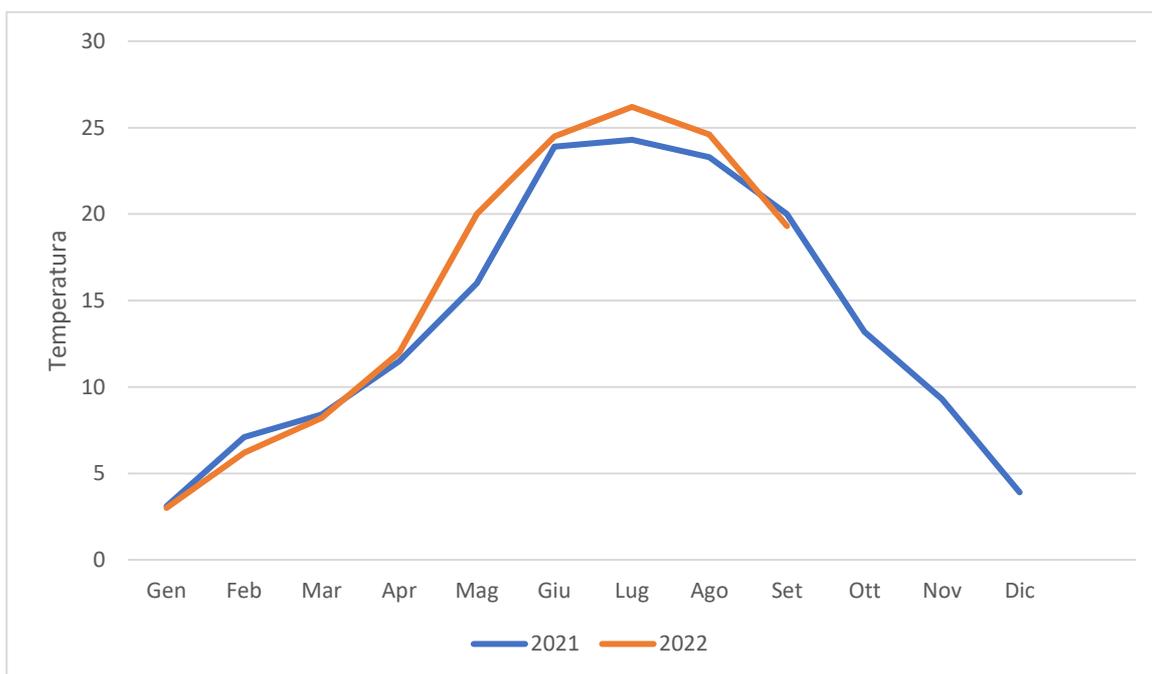


Figura 14 Comparazione delle Medie delle Temperature Medie tra il periodo 2021 e il 2022

Un altro fattore da prendere in considerazione è che il 2022 è stato un anno con le temperature medie leggermente superiori, rispetto al 2021, dal periodo che parte da aprile fino ad agosto. Questo, ovviamente, ha portato ad enfatizzare il possibile stress da siccità (Figura 14).

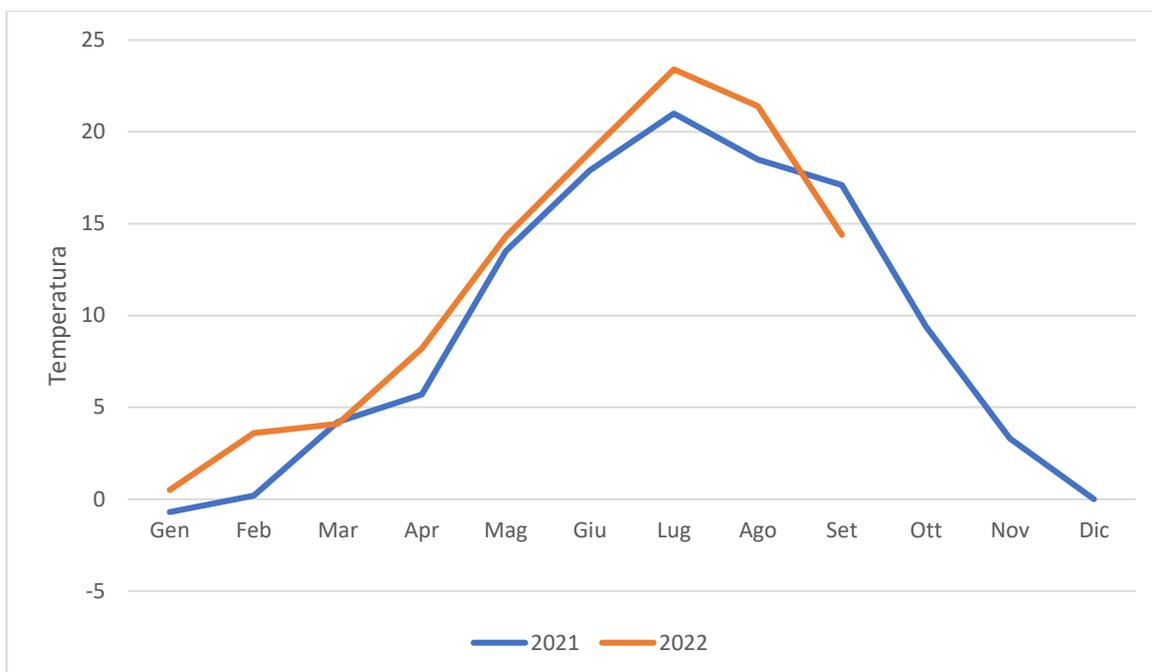


Figura 15 Comparazione delle Medie delle Temperature Minime tra il periodo 2021 e 2022

Come possiamo notare dalla figura 15 le temperature medie minime si sono mantenute minori nel 2021 rispetto al 2022. Questo lo si può notare in maniera significativa nel periodo primaverile ed estivo.

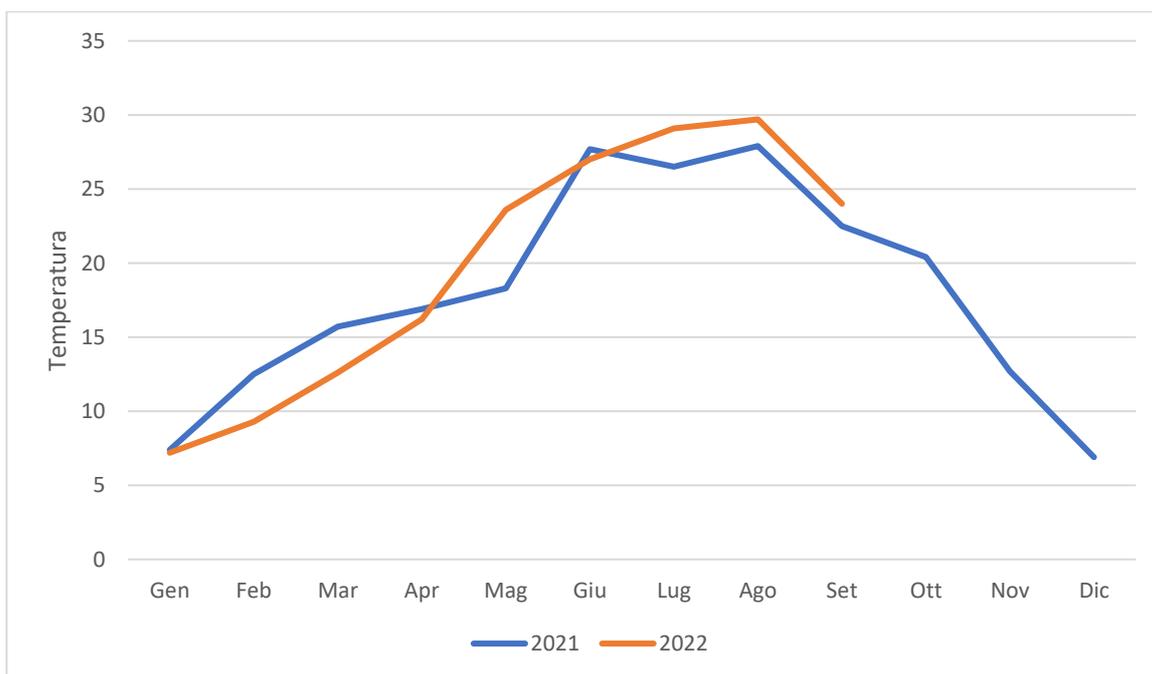


Figura 16 Comparazione delle Medie delle Temperature Massime tra il periodo 2021 e 2022

Inoltre possiamo notare che le temperature massime del 2022 rispetto al 2021 si presentano maggiori durante l'estate e minore durante la fase primaverile (Figura 16).

DATI RACCOLTI

Ogni 2 settimane e per tutta la durata della prova nei due anni, sono state effettuate le seguenti misurazioni:

- Grado di copertura verde;
- Indice NDVI
- Aspetto estetico con valutazione di:
 - Tessitura;
 - Uniformità;
 - Densità;
 - Colore;
 - Aspetto estetico generale;

Il **grado di copertura verde è stato misurato** mediante analisi dell'immagine digitale sono state scattate le foto di ogni parcella con una fotocamera digitale CANON PowerShot G5X Mark II impostata manualmente con i seguenti parametri: ISO 200, esposizione +2, f3.5 e tempo di apertura 1/30. Le foto sono state scattate con l'ausilio di un parallelepipedo di acciaio completamente chiuso (light box) attrezzato con 4 lampadine, in modo da ottenere foto standard per tutte le parcelle e per tutte le date. È stata effettuata una foto per parcella con cadenza ogni 2 settimane. Successivamente le foto sono state sottoposte all'analisi digitale utilizzando il programma Sigmascan Pro v. 5.0 (SPSS Inc., Chicago, IL).

L'indice **NDVI** è stato utilizzato per la valutazione dello stato fisiologico del tappeto, utilizzando lo strumento *RapidSCAN CS-45 Handheld Crop Sensor* effettuando 1 rilievo per parcella. Questo strumento consente di ottenere una valutazione più sicura e razionale, da affiancare alla valutazione visiva caratterizzata da un elevato grado di soggettività.

Lo strumento valuta la luce riflessa dalle foglie partendo da un fascio luminoso noto. Se la pianta sta bene riflette nella fascia dell'infrarosso lontano mentre se è in sofferenza riflette nella fascia dell'infrarosso vicino il valore di NDVI diminuisce. Sono state fatte 1 misurazione ogni 2 settimane per parcella ottenendo un totale di 60 rilievi per settimana. Il sensore non è influenzato dall'illuminazione ambientale che gli consente di effettuare misurazioni accurate della biomassa di giorno o di notte grazie alla sua sorgente luminosa policromatica interna. Il sensore è in grado di raccogliere dati dalla vegetazione a distanze da sensore a canonica che vanno da 0,3 metri a oltre 3 metri. Le informazioni prodotte dal sensore includono indici di vegetazione NDVI/NDRE, statistiche di latitudine/longitudine e campione, nonché informazioni di riflessione di base. RapidSCAN CS-45 incorpora tre canali di misurazione ottica. Il sensore misura contemporaneamente la riflettanza del raccolto/suolo a 670 nm, 730 nm e 780 nm. Una caratteristica unica del sensore RapidSCAN CS-45 è la sua capacità di effettuare misurazioni di riflettanza spettrale indipendenti dall'altezza. Holland Scientific si riferisce a queste misurazioni di riflettanza come misurazioni di pseudo riflettanza solare (PSR).

Come tale, le bande di riflettanza spettrale sono ridimensionate in percentuali e non variano con l'altezza del sensore sopra un bersaglio. (33).



Immagine 3 Strumento utilizzato per la misurazione dell'NDVI

L'aspetto estetico consiste nella valutazione visiva di: tessitura, uniformità, densità, colore e aspetto estetico generale. La valutazione prevede l'attribuzione di un punteggio tra 1 e 9, dove 6 corrisponde alla sufficienza a ciascuna parcella. Nel caso della tessitura fa riferimento alla larghezza della lamina fogliare. Dipende dalla specie e dalla varietà impiegata. L'uniformità determina una stima del grado di omogeneità del cotico erboso. Per quanto riguarda la densità è viene stimata tenendo conto della quantità di accestimenti. È fortemente influenzata dalla specie impiegata, dalle condizioni ambientali e soprattutto dalle pratiche colturali adottate. Il colore viene valutato dando valori alti a cultivar molto scure. L'aspetto estetico generale tiene conto di tutte le caratteristiche nominate sopra.

Tutti i dati precedentemente raccolti sono stati poi sottoposti all'analisi della varianza utilizzando il software R. (R Development Core Team, 2021). Per quanto riguarda i parametri copertura verde del tappeto erboso, NDVI, aspetto estetico generale del tappeto erboso, colore, tessitura, uniformità e densità l'analisi della varianza è stata eseguita utilizzando un modello lineare a effetti misti per testare gli effetti della 'cultivar', la 'data di rilievo' e la loro interazione. I modelli sono stati eseguiti per misurazioni.

Risultati e discussioni

Tabella della significatività

L'analisi della varianza ha evidenziato un'interazione significativa tra "data di rilievo" e "cultivar" nel caso dell'aspetto estetico generale, uniformità, tessitura e colore. Mentre gli effetti principali "data di rilievo" e "cultivar" sono stati significativi per: densità, NDVI e copertura verde.

Tabella 1 Risultato dell'analisi della varianza

Parametro	Fonte		
	Cultivar	Data di rilievo	Cultivar X Data di Rilievo
Densità	***	***	N.S.
Tessitura	***	***	*
Colore	***	***	***
Uniformità	***	***	*
Aspetto Estetico Generale	***	***	**
NDVI	***	***	N.S.
Copertura Verde	***	***	N.S.

** = significativo al livello di probabilità del 0.01

*** = significativo al livello di probabilità del 0.001

N.S. = non significativo al livello di probabilità del 0.05

Effetto interazione tra Cultivar e Data di Rilievo

Aspetto Estetico Generale (Interazione tra cultivar e data di rilievo)

In generale, l'andamento della qualità del tappeto erboso alterna periodi in cui i valori superano la sufficienza e altri i cui i valori invece sono nettamente sotto il 6. L'estate e l'inverno sono i mesi più critici per *Festuca arundinacea*, e la qualità del tappeto ne risente (Figura 14). Fino a novembre 2021 tutte le cultivar hanno raggiunto valori superiori al 6, con eccezione di agosto, mentre durante il 2022 soltanto a maggio, settembre e ottobre alcune cultivar hanno raggiunto la sufficienza. Come possiamo notare dalla figura 14, dal punto di vista dell'aspetto estetico generale non c'è stata differenza significativa nell'agosto 2021 tra le diverse cultivar. Durante l'autunno 2021 le cultivar che hanno segnato i migliori risultati sono state: PPG-TF238, PPG-TF336, PPG-TF254, Triad e Turfway. Le cultivar con valori più bassi invece sono state: ZRC-1, Bullseye, Lexington, Rhambler SRP, RGT Nuance, Thunderstruck, Talladega II e Melyane. A maggio 2022 le cultivar che hanno riscontrato i risultati migliori sono state: ZRC-1 (che era una delle cultivar che ha avuto uno dei peggiori risultati durante il periodo autunnale), Forlaine, PPG-TF336, Tough, Rhambler SRP (che anch'essa era una delle cultivar che ha avuto uno dei peggiori risultati durante il periodo autunnale), Triad, Thunderstruck e Talladega. Quelle che hanno ricevuto i risultati peggiori, invece, sono state: Bullseye, Forlaine, RGT Nuance e Melyane. Nell'agosto 2022 si può notare, invece, che le cultivar meno influenzate dallo stress idrico sono state: ZRC-1, Lexington, Thor, PPG-TF238, PPG-TF336, Tough, Grande 2, Rhambler, Thunderstruck, Triad, Turfway e Talladega II. Al contrario, quelle più influenzate, sono state: Bullseye, Darlington II, Talladega II e Melyane. Ad ottobre 2022, dopo un periodo prolungato di stress idrico, le cultivar migliori sono: ZRC-1, Darlington II, Tough, PPG-TF254 (che si attesta con i valori più alto tra le migliori), Talladega II, Thunderstruck e la Turfway. Nello stesso periodo, invece, le cultivar con i risultati peggiori sono state: Bullseye, PPG-TF238, Thor, Lexington, Forlaine, RGT Nuance, PPG-TF315 e la Melyane. Thunderstruck e la Turfway. Nello stesso periodo, invece, le cultivar con i risultati peggiori sono state: Bullseye, PPG-TF238, Thor, Lexington, Forlaine, RGT Nuance, PPG-TF315 e la Melyane

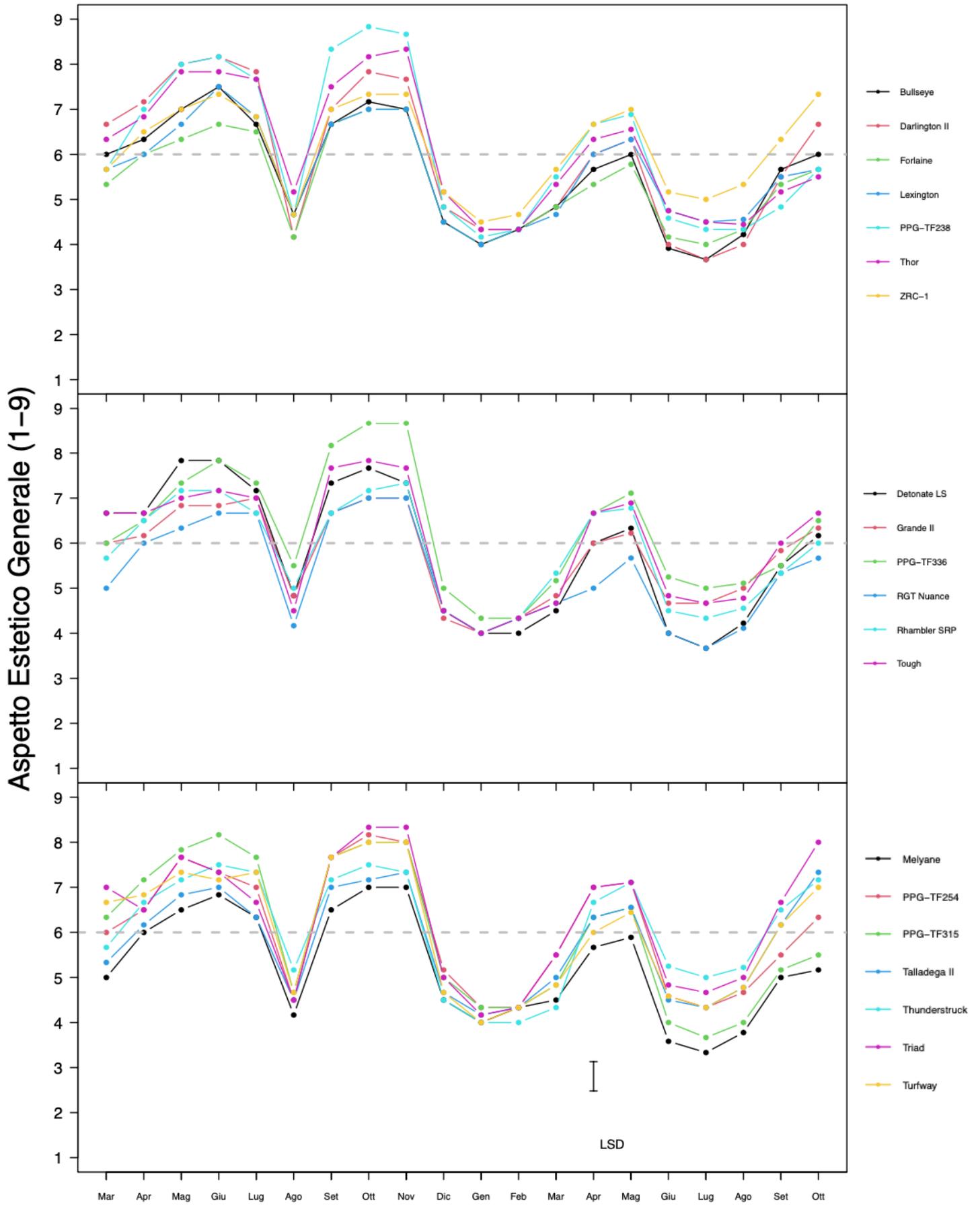


Figura 17 Variazione dell'aspetto estetico sulle 20 Cultivar di *Festuca arundinacea*. La barra di errore (LSD) rappresenta una differenza significativa ($P = 0.05$) per la comparazione delle medie.

Colore (Interazione tra cultivar e data di rilievo)

Come la qualità l'andamento del colore del tappeto erboso alterna periodi in cui i valori superano la sufficienza e altri i cui i valori invece sono nettamente sotto il 6. E questo lo si può notare in figura 15 dove nell'agosto 2021, nel periodo invernale e durante l'estate 2022 i valori di tutte le cultivar si sono attestati a livelli inferiori alla sufficienza. Come possiamo notare, dal punto di vista del colore non c'è stata differenza significativa nell'agosto 2021 tra le diverse cultivar. Durante l'autunno 2021 le cultivar che hanno segnato i migliori risultati sono state: Darlington II, Turfway e Triad. Le cultivar con valori più bassi invece sono state: Forlaine, Talladega II e Melyane. A maggio del 2022 le cultivar che hanno riscontrato i risultati migliori sono state: Thor, Darlington II, Tough, Triad e Thunderstruck. Quelle che hanno ricevuto i risultati peggiori, invece, sono state: Forlaine, Talladega II e Melyane. Nell'agosto 2022 si può notare, invece, che le cultivar meno influenzate dallo stress idrico sono state: Darlington II, Lexington, Thor, PPG-TF336, Grande II, Tough, Rambler SRP e Thunderstruck. Al contrario, quelle più influenzate sono state: Bullseye, RGT Nuance e Melyane. Ad ottobre 2022, dopo un periodo prolungato di stress idrico, le cultivar migliori sono: Darlington II, ZRC-1, Tough e Turfway. Nello stesso periodo, invece, le cultivar con i risultati peggiori sono state: Forlaine, RGT Nuance e Melyane.

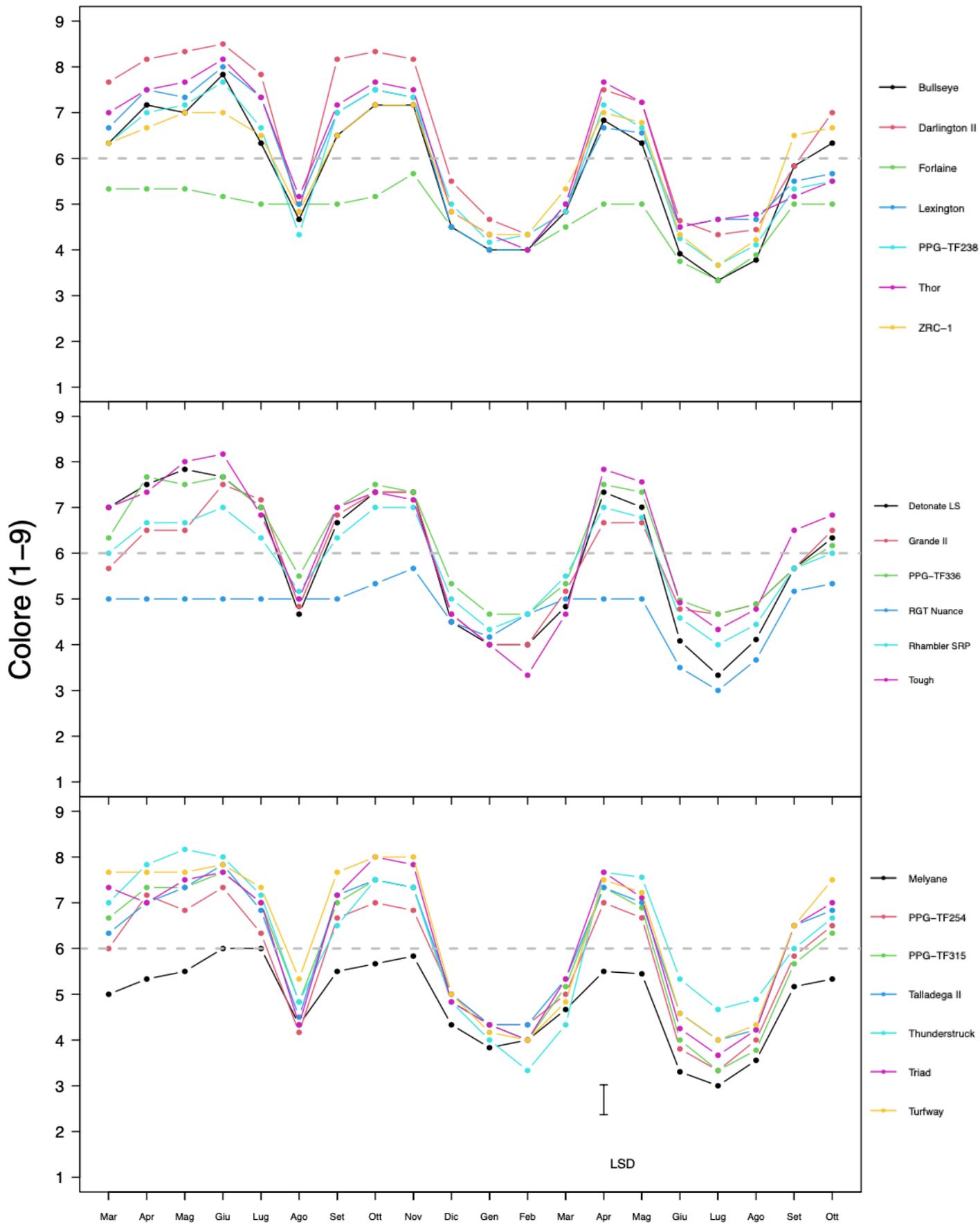


Figura 18 Variazione del colore sulle 20 Cultivar di *Festuca arundinacea*. La barra di errore (LSD) rappresenta una differenza significativa ($P = 0.05$) per la comparazione delle medie

Tessitura (Interazione tra cultivar e data di rilievo)

Rispetto alla qualità e al colore la tessitura si è sempre mantenuta superiore alla sufficienza durante tutto il periodo della prova, con alcune variazioni durante l'agosto 2021 e la primavera 2022. Come possiamo notare in figura 16 dal punto di vista del colore c'è stata differenza significativa nell'agosto 2021 tra le diverse cultivar, dove le cultivar migliori sono state: PPG-TF315, Thor, ZRC-1, Detonate LS, Turfwaye Triad. Le cultivar che hanno invece riscontrato un valore statisticamente inferiore sempre in quel mese sono state: Bullseye, Lexington, Rhambler SRP, Tough, Talladega II, Thunderstruck e Melyane. Durante l'autunno 2021 le cultivar che hanno segnato i migliori risultati sono state: Tough e la PPG-TF238. Le cultivar con valori più bassi invece sono state: Bullseye, Lexington, Rhambler SRP, Grande II, Thunderstruck, Talladega II e Melyane. A maggio del 2022 non si sono riscontrate differenze significative tra le diverse cultivar, questo tranne nel caso di Lexington che si è attestata con un valore inferiore rispetto alla media delle altre cultivar. Nell'agosto 2022 non si sono riscontrare differenze significative importanti tra le diverse cultivar. Possiamo solo notare che la migliore cultivar è stata la PPG-TF315 e le 2 peggiori al livello statistico sono state Lexington e Thunderstruck. Ad ottobre 2022, dopo un periodo prolungato di stress idrico, le cultivar non presentavano valori molto differenti tra loro, le cultivar con valori più bassi sono Melyane e Lexington.

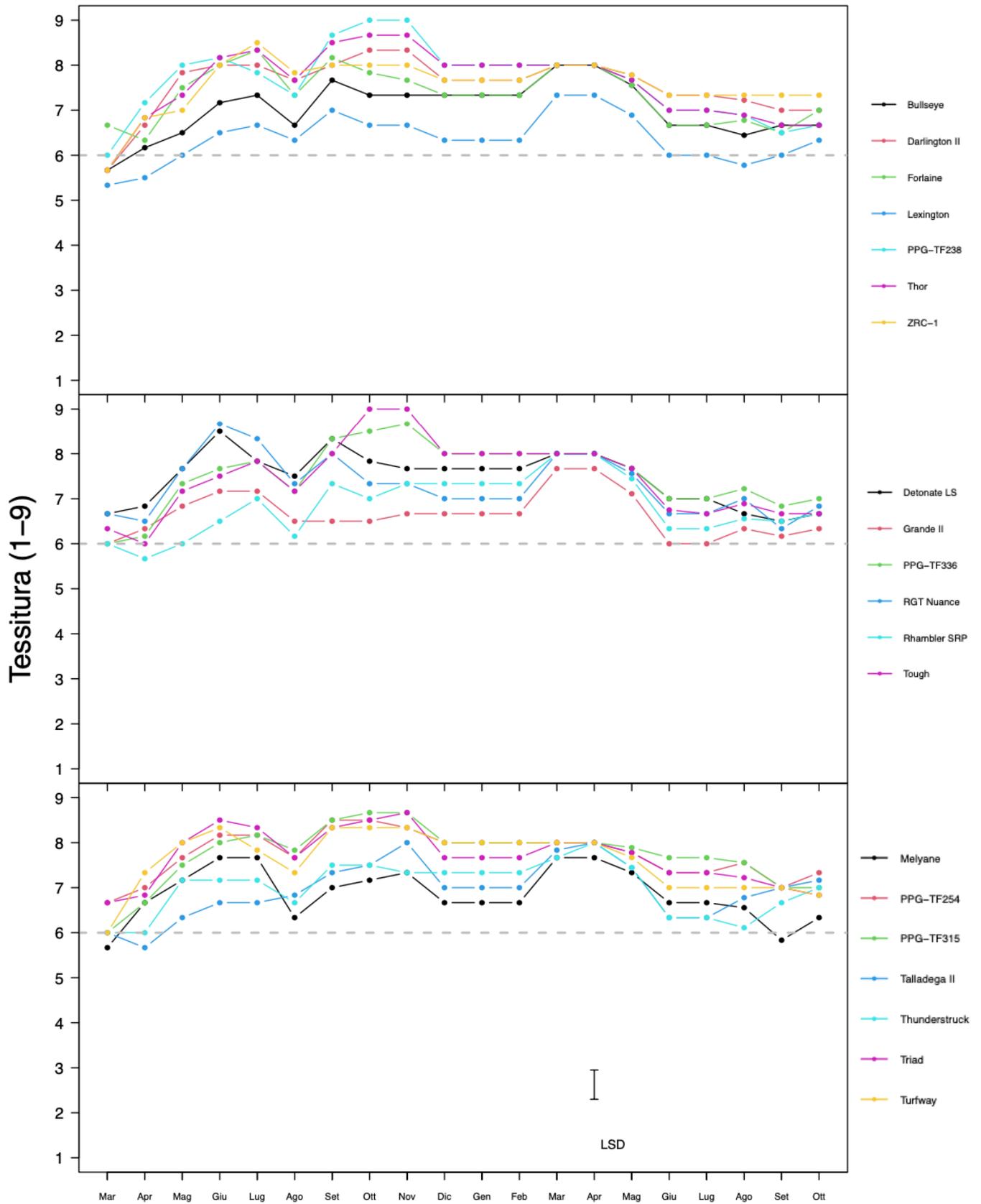


Figura 19 Variazione della tessitura sulle 20 Cultivar di *Festuca arundinacea*. La barra di errore (LSD) rappresenta una differenza significativa ($P = 0.05$) per la comparazione delle medie

Uniformità (interazione tra cultivar e data di rilievo)

Come la qualità e il colore, l'uniformità del tappeto erboso alterna periodi in cui i valori superano la sufficienza e altri i cui i valori invece sono nettamente sotto il 6. E questo lo si può notare in figura 17 dove nell'agosto 2021, nel periodo invernale e durante l'estate 2022 i valori di tutte le cultivar si sono attestati a livelli inferiori alla sufficienza per poi pian piano riprendersi nell'autunno 2022. Come possiamo notare nella figura 17, dal punto di vista dell'uniformità non c'è stata differenza significativa nell'agosto 2021 tra le diverse cultivar. Si può dire che le uniche cultivar che sono riuscite ad avere valori sufficienti sono state Thor e PPG-TF336. Durante l'autunno 2021 le cultivar che hanno segnato i migliori risultati sono state PPG-TF238, Grande II e PPG-TF254. Le cultivar con valori più bassi invece sono state Lexington, Forlaine, Bullseye, Thor, Rhambler SRP, RGT Nuance, Tough e Melyane. A maggio del 2022 le cultivar che hanno riscontrato i risultati migliori sono state PPG-TF238, PPG-TF336 e Triad. Quelle che hanno ricevuto i risultati peggiori, invece, sono state Lexington, Forlaine, Tough, RGT Nuance, Turfway e Meylane. Nell'agosto 2022 si può notare, invece, che le cultivar meno influenzate dallo stress idrico sono state ZRC-1, Thunderstruck e Triad. Al contrario, quelle più influenzate sono state Forlaine, Bullseye, Melyane e PPG-TF315. Ad ottobre 2022, dopo un periodo prolungato di stress idrico, le cultivar migliori sono ZRC-1, Talladega II, Triad e Thunderstruck. Nello stesso periodo, invece, le cultivar con i risultati peggiori sono state Thor, Melyane e PPG-TF315.

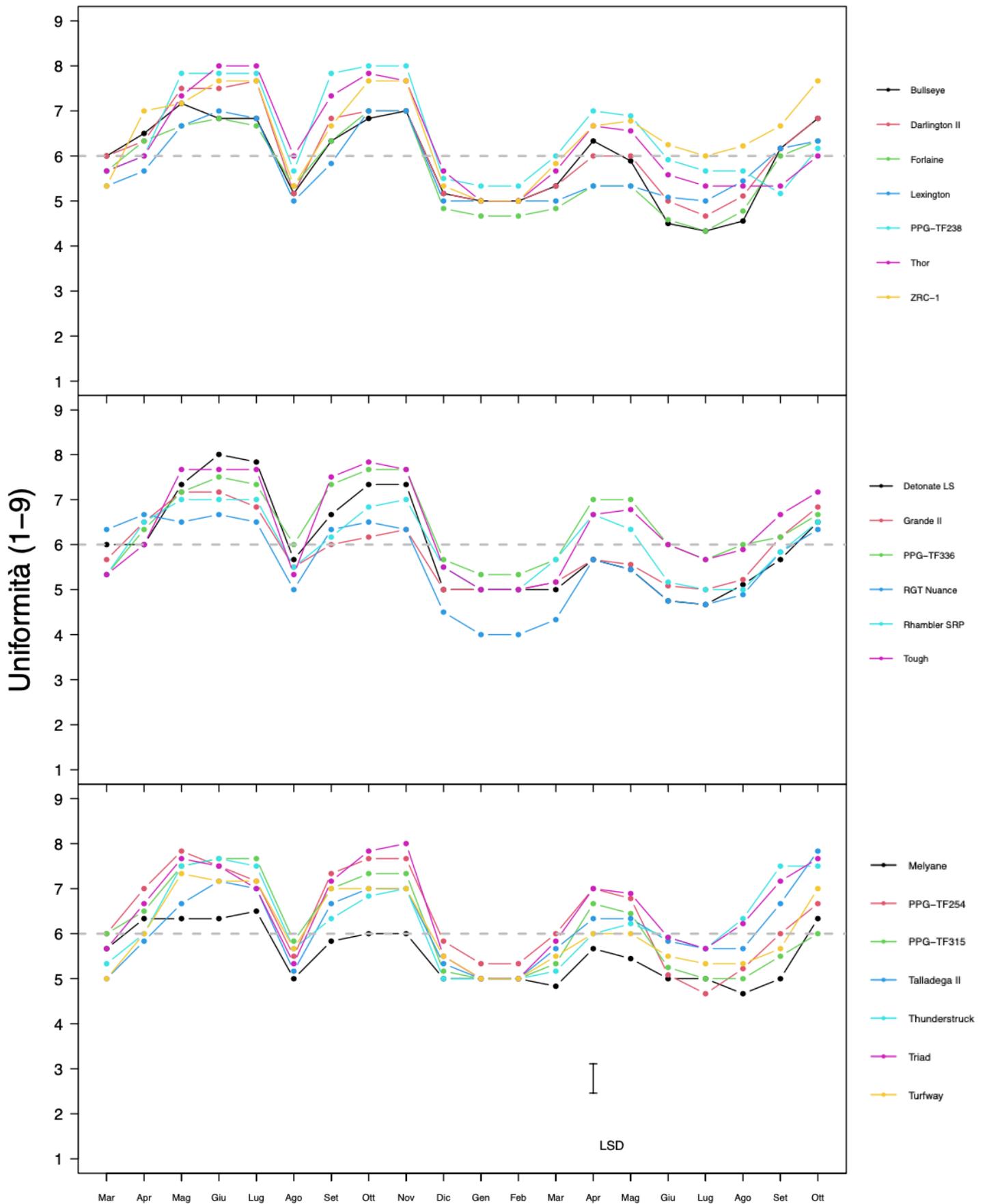


Figura 20 Variazione della uniformità sulle 20 Cultivar di *Festuca arundinacea*. La barra di errore (LSD) rappresenta una differenza significativa ($P = 0.05$) per la comparazione delle medie

Effetto Cultivar

Aspetto Estetico Generale (effetto Cultivar)

Come possiamo notare dalla figura 18, che permette di notare le differenze tra le diverse cultivar nel corso di tutta la durata la prova, le cultivar Triad e PPG-TF336 hanno dimostrato di avere delle medie statisticamente più elevate rispetto alle cultivar RGT Nuance e Melyane. Questo sta a conferma di quello già visto nella figura 14.

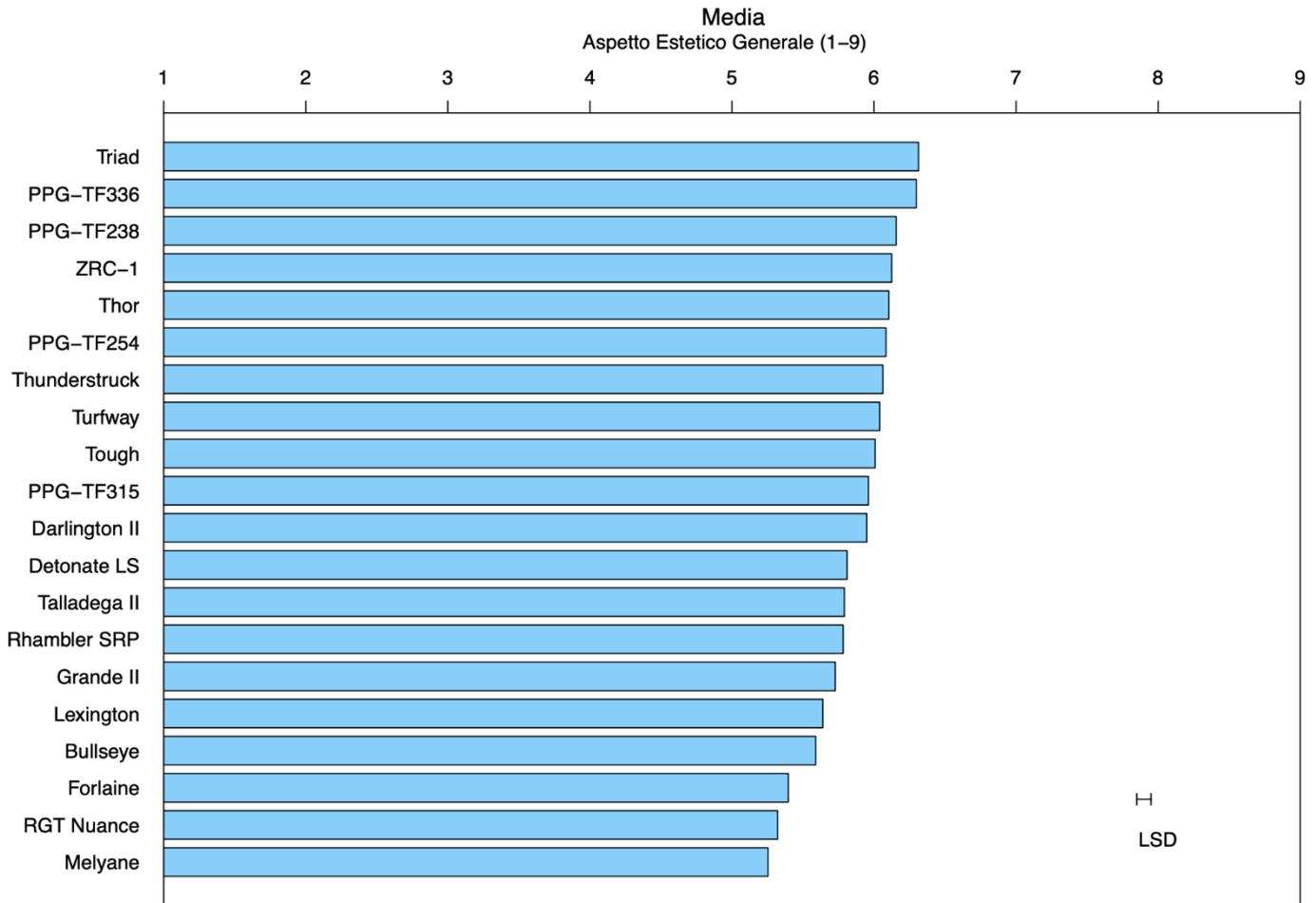


Figura 21 Istogramma che rappresenta la media dell'aspetto estetico generale di ogni singola cultivar per la durata di tutto l'esperimento (questo permette di verificare l'effetto cultivar)

Copertura verde (effetto Cultivar)

Nella figura 19 possiamo verificare che le cultivar Forlaine e PPG-TF336 si sono attestate come le migliori cultivar nella media del periodo trascorso. Invece le cultivar Lexington e Detonate LS si sono posizionate come le peggiori in tale periodo.

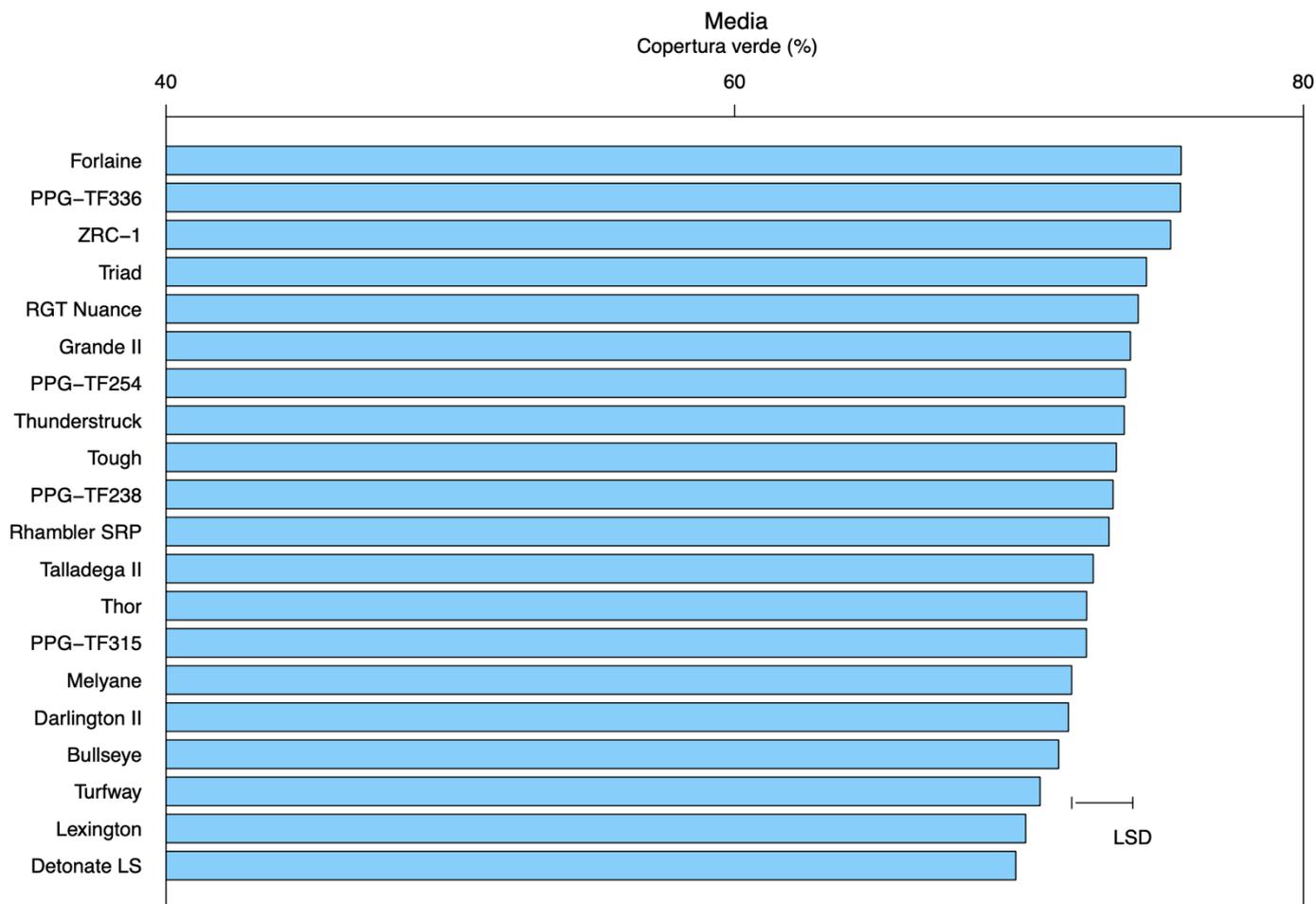


Figura 22 Istogramma che rappresenta la media della copertura verde di ogni singola cultivar per la durata di tutto l'esperimento (questo permette di verificare l'effetto cultivar)

Densità (effetto cultivar)

Come si può notare dalla figura 20 le cultivar Triad e ZRC-1 presentano i valori migliori al livello statistico rispetto al Bullseye, Thunderstruck, Lexington, Forlaine, RGT Nuance, Grande II e Melyane.

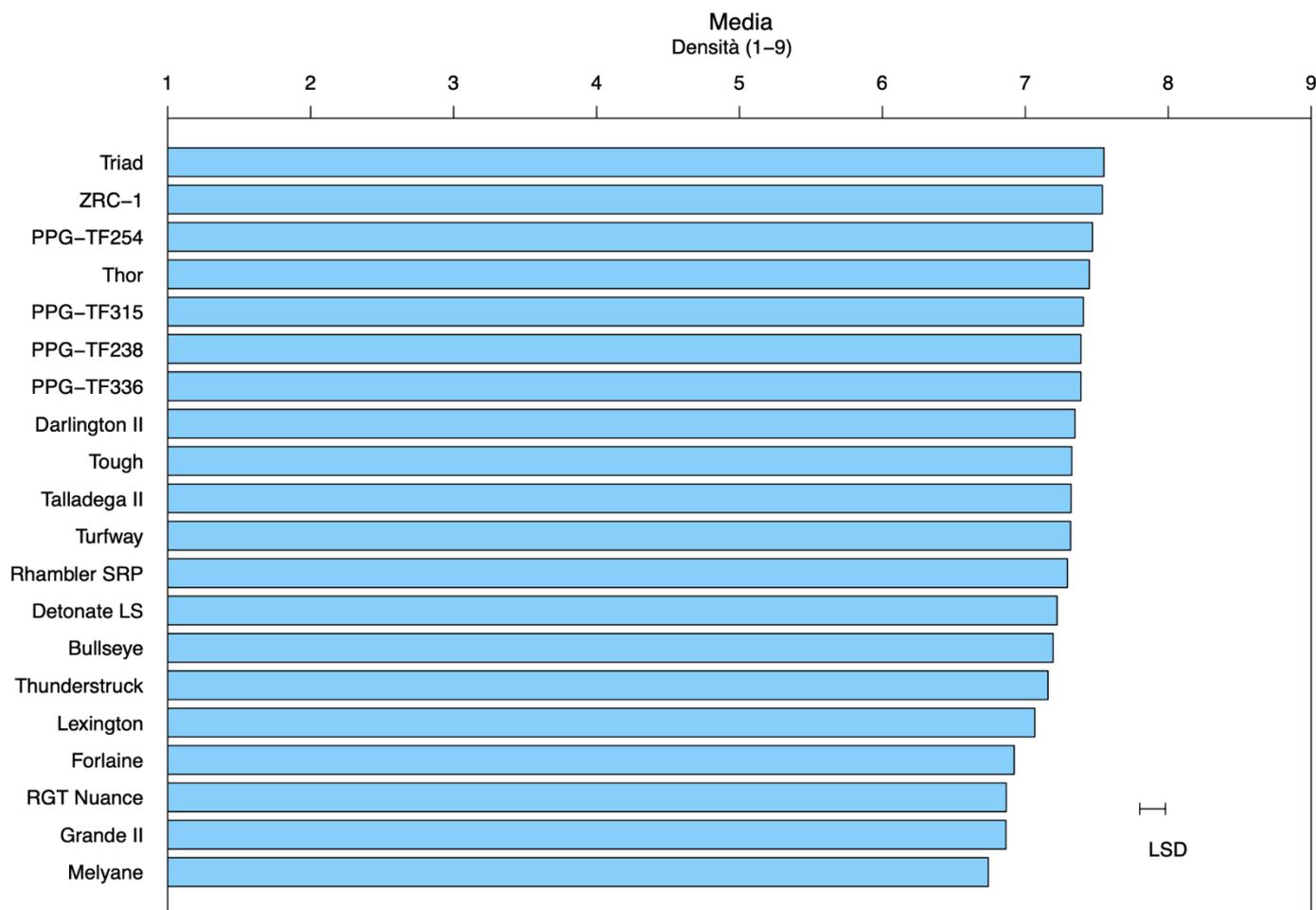


Figura 23 Istogramma che rappresenta la media della densità di ogni singola cultivar per la durata di tutto l'esperimento (questo permette di verificare l'effetto cultivar)

NDVI (effetto cultivar)

Come possiamo notare dalla figura 21 le cultivar ZRC-1 e PPG-TF336 si sono mantenute come le migliori in termini di valori di NDVI durante tutto il periodo della piova. Lexington e Melyane, invece, si sono riscontrate come le peggiori in tale periodo.

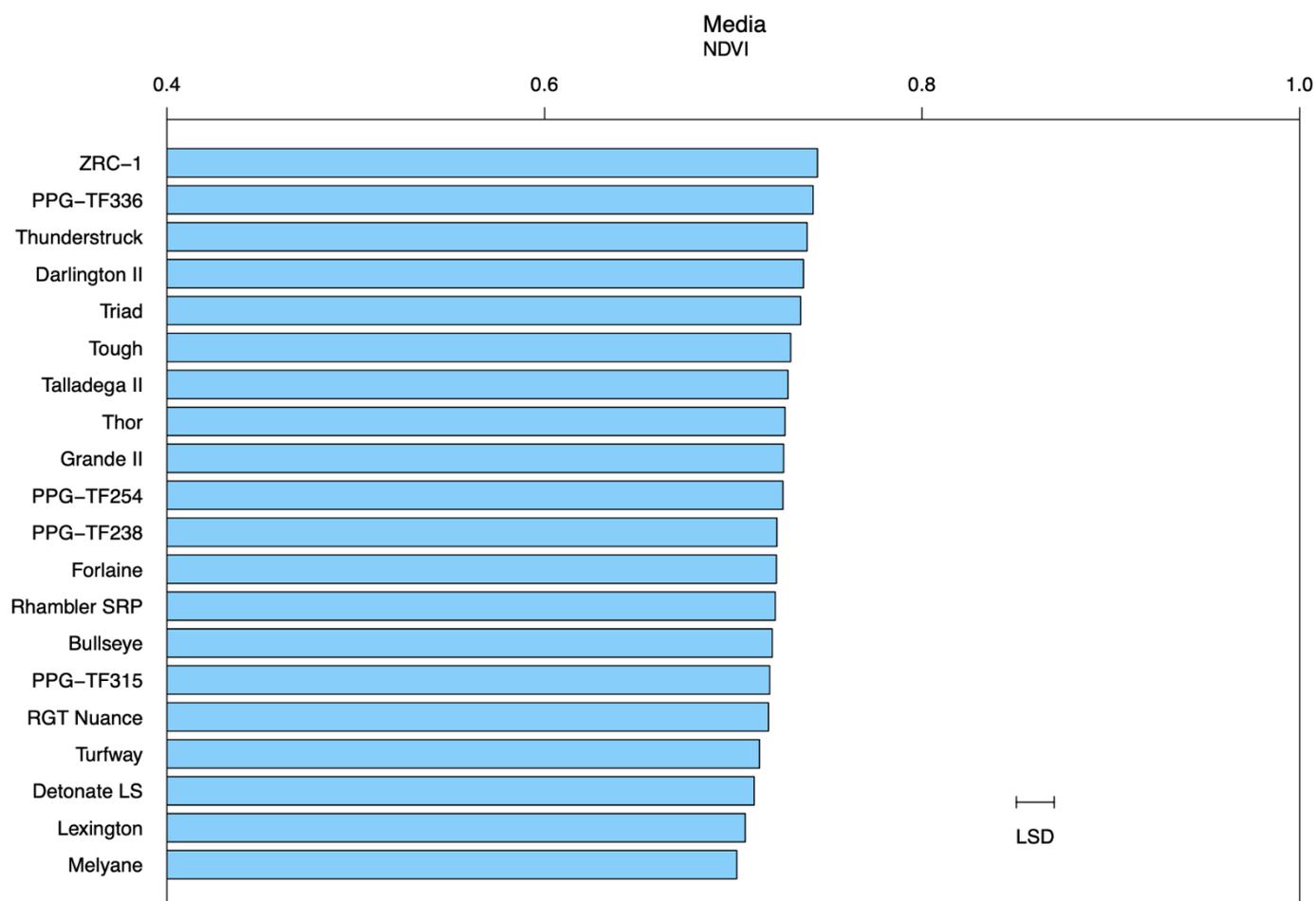


Figura 24 Istogramma che rappresenta la media del NDVI di ogni singola cultivar per la durata di tutto l'esperimento (questo permette di verificare l'effetto cultivar)

Effetto data di rilievo

Aspetto Estetico Generale (effetto data di rilievo)

Nella figura 22 si possono notare dei periodi dove l'aspetto estetico è risultato sufficiente o anche più che sufficiente (primavera 2021, autunno 2021 e primavera 2022) e periodi (agosto 2021, inverno 2021 ed estate 2022) dove i valori sono diminuiti al di sotto della sufficienza. Questo lo si può confrontare anche con la figura 14 che segna anch'essa questi periodi di calo di valori.

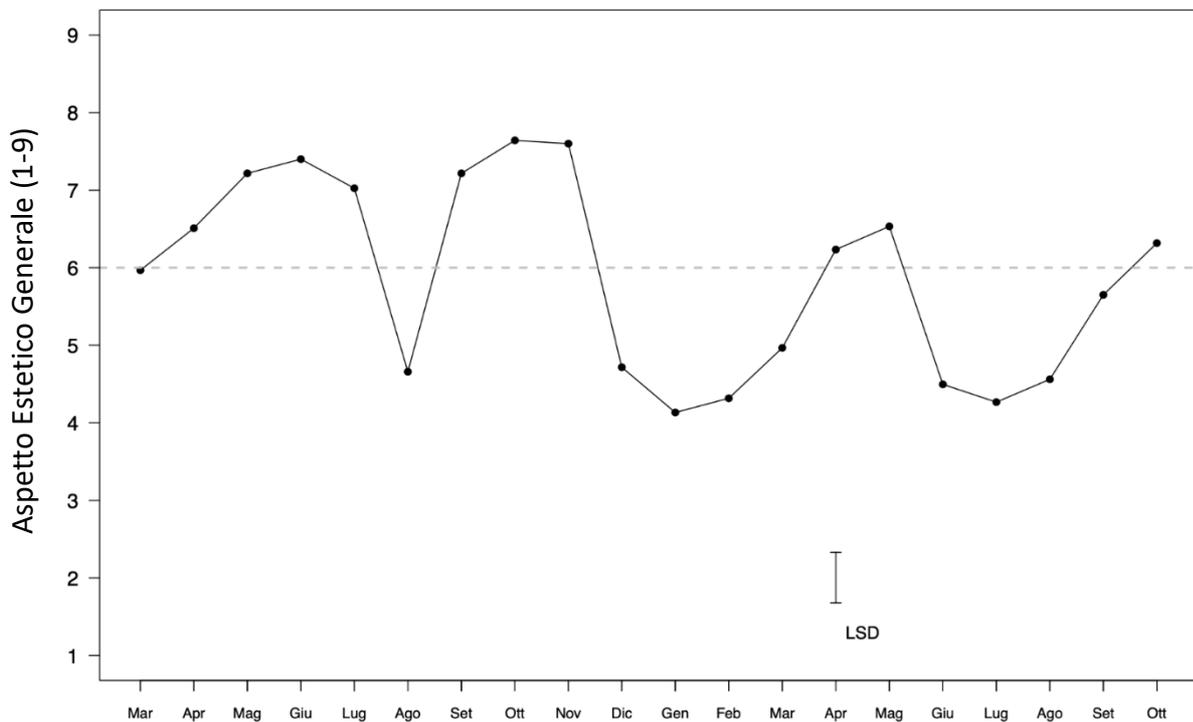


Figura 25 Grafico che rappresenta la media di tutte le cultivar utilizzate nell'esperimento con valore di riferimento l'aspetto estetico (questo permette di verificare l'effetto data di rilievo)

Copertura Verde (effetto effetto data di rilievo)

Nella figura 23 possiamo notare come all'inizio della prova la media della copertura verde rea vicina al 100%, dopo il primo periodo di stress idrico (agosto 2021) la copertura è scesa fino a livelli leggermente superiori al 60% per poi riprendersi nel periodo favorevole dell'autunno a valori vicini al 90%. Durante la fase invernale (inverno 2021) la copertura verde è scesa in maniera molto più importante anche rispetto al periodo di siccità precedente (agosto 2021) per poi rialzarsi nel periodo favorevole primaverile (primavera 2022) per poi ritornare nell'estate 2022 a valori simili all'inverno 2021. Infine, grazie al periodo autunnale la copertura si è ripristinata vicino a valori dell'80%.

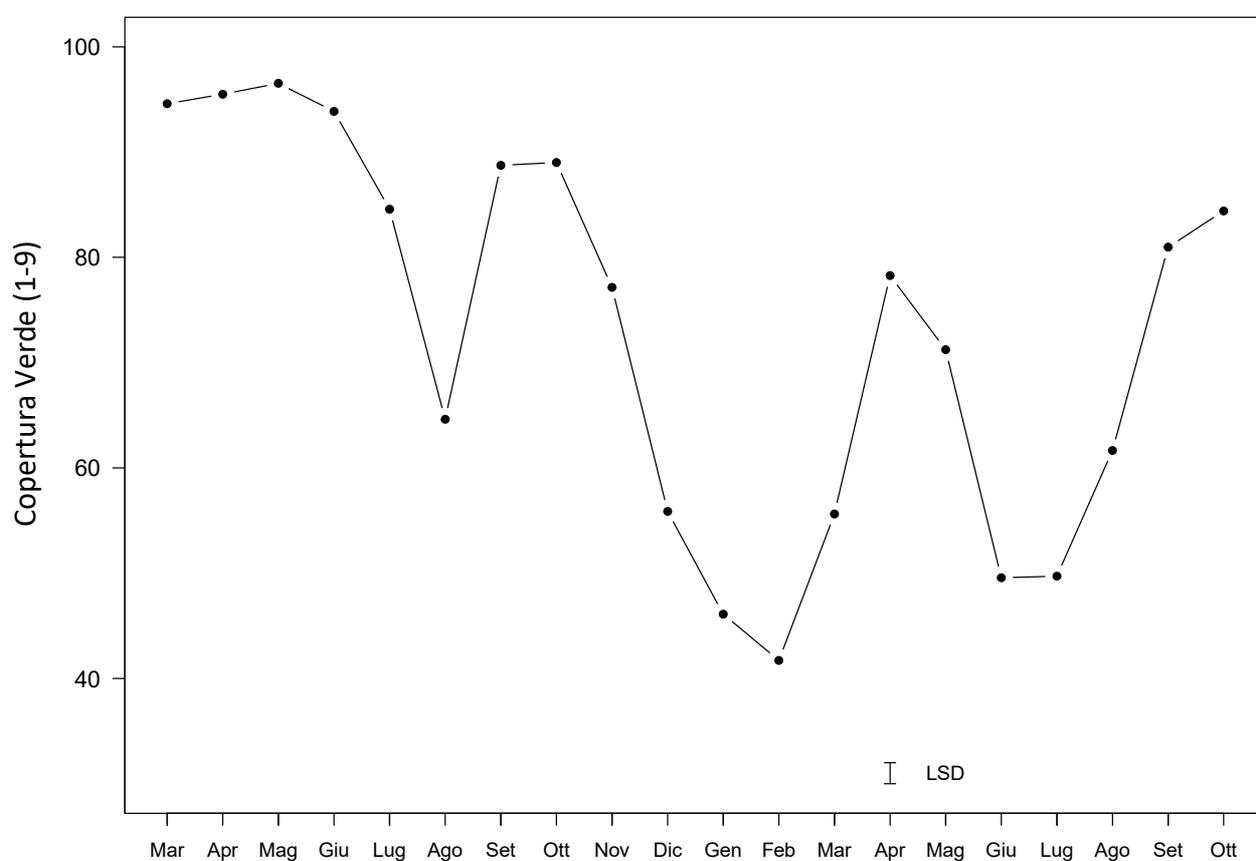


Figura 26 Grafico che rappresenta la media di tutte le cultivar utilizzate nell'esperimento con valore di riferimento la copertura verde (questo permette di verificare l'effetto data di rilievo)

Densità (effetto data di rilievo)

Come possiamo verificare nella figura 24 la densità durante la durata della prova è rimasta costante nel tempo. Ad agosto 2021 c'è stato un leggero calo del valore e da maggio 2022 un costante declino dei valori.

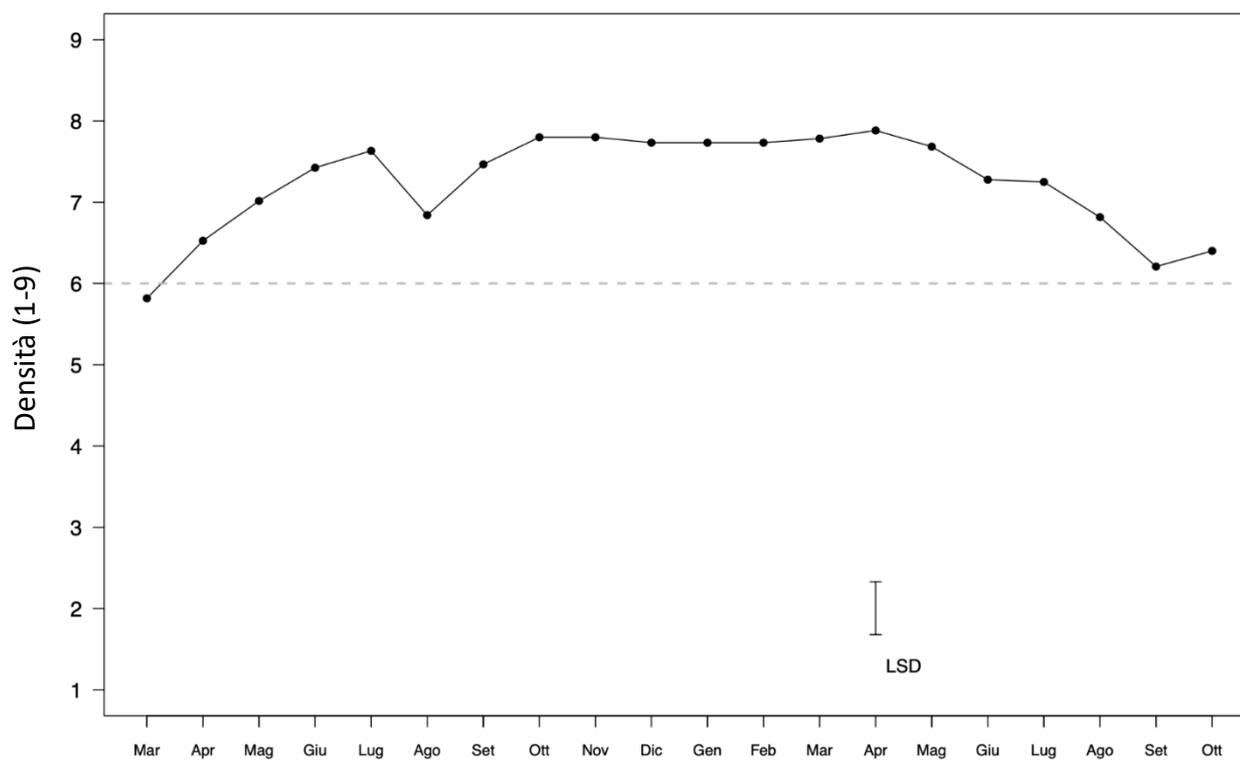


Figura 27 Grafico che rappresenta la media di tutte le cultivar utilizzate nell'esperimento con valore di riferimento la densità (questo permette di verificare l'effetto data di rilievo)

NDVI (effetto data di rilievo)

Nella figura 25 possiamo notare l'andamento dell'NDVI durante la durata totale della prova. Possiamo verificare che nei periodi di stress idrico (agosto 2021 estate 2022) il suo valore si è abbassato in maniera importante rispetto al valore medio di 0.8, per poi riprendersi nuovamente con l'ingresso della stagione favorevole (autunno 2022).

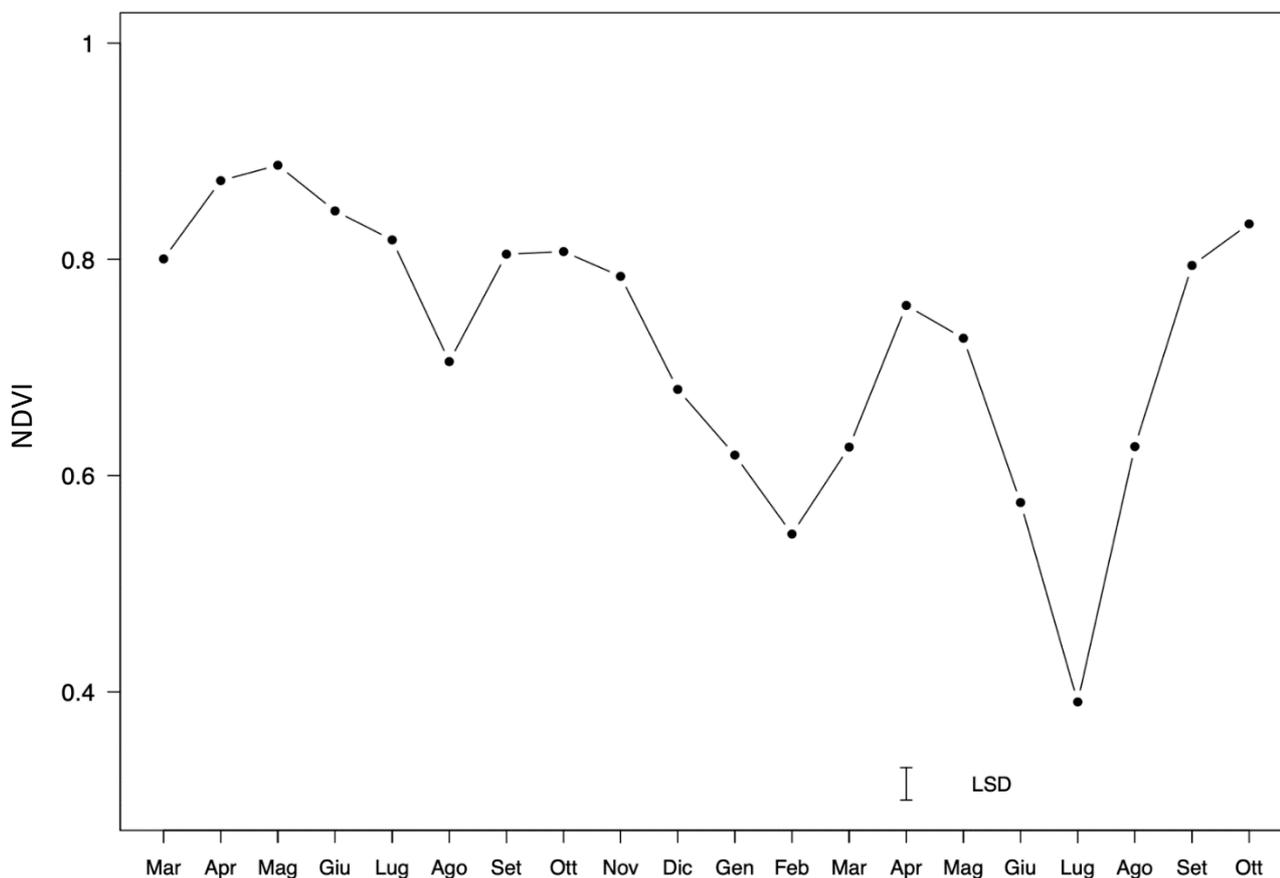


Figura 28 Grafico che rappresenta la media di tutte le cultivar utilizzate nell'esperimento con valore di riferimento l'NDVI (questo permette di verificare l'effetto data di rilievo)

Effetto cultivar di agosto 2021

Copertura Verde (effetto cultivar di agosto 2021)

Come possiamo notare dalla figura 26 la cultivar Forlaine ha mantenuto un grado di copertura verde significativamente superiore rispetto ad altre cultivar. Queste cultivar che hanno sofferto maggiormente lo stress idrico sono state: Talladega II, Triad e Darlington II.

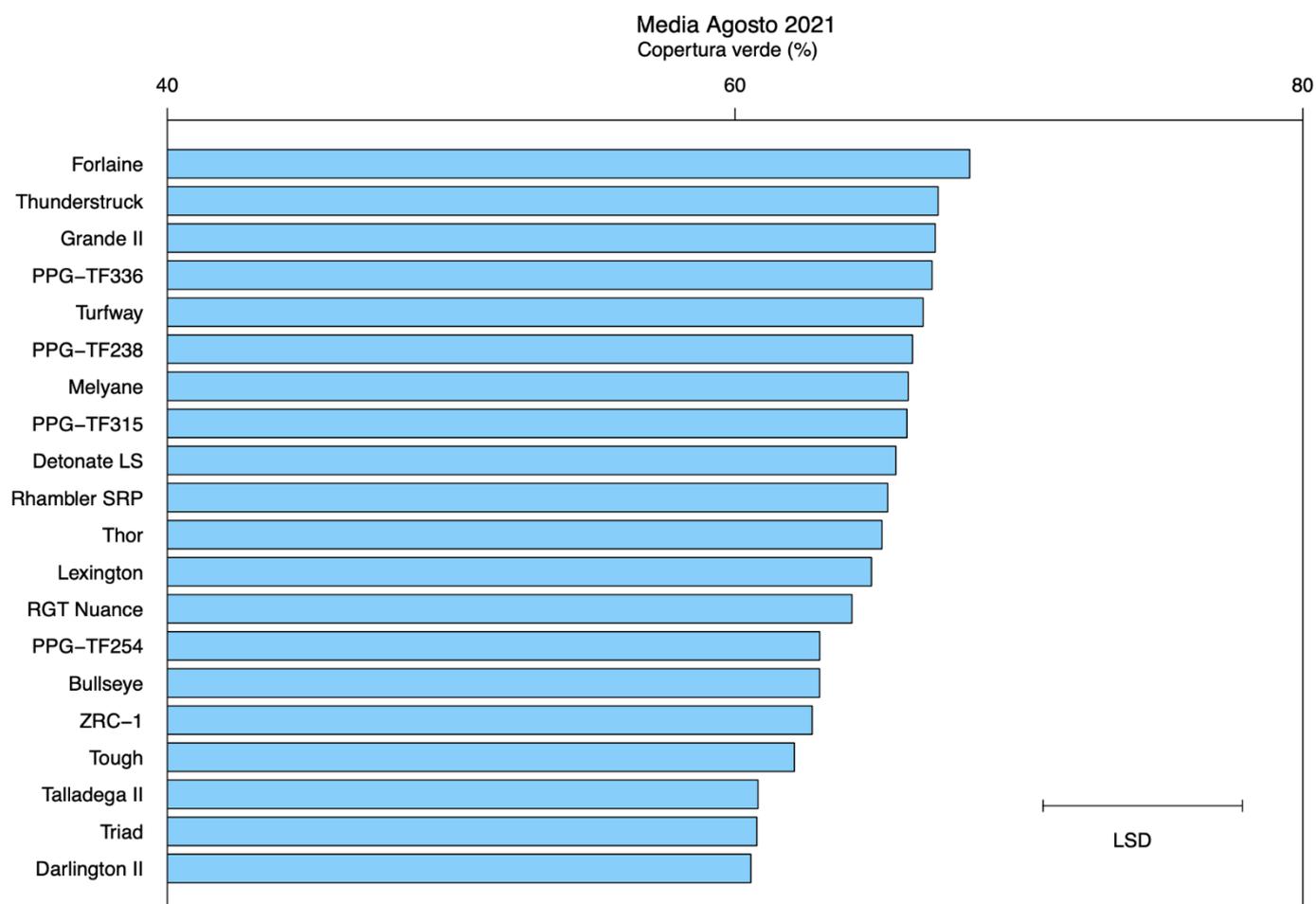


Figura 29 Istogramma che rappresenta la media della copertura verde di ogni singola cultivar per la durata di tutto il mese di agosto 2021 (questo permette di verificare l'effetto cultivar del mese di agosto 2021)

Aspetto estetico generale (effetto cultivar di agosto 2021)

Come possiamo notare dalla figura PPG-TF336 si è attestata la migliore cultivar dal punto di vista dell'aspetto estetico nel mese di agosto 2021. Le cultivar PPG-TF254, RGT Nuance, Melyane, Folaine e Darlington II hanno riportato invece valori inferiori rispetto al PPG-TF336.

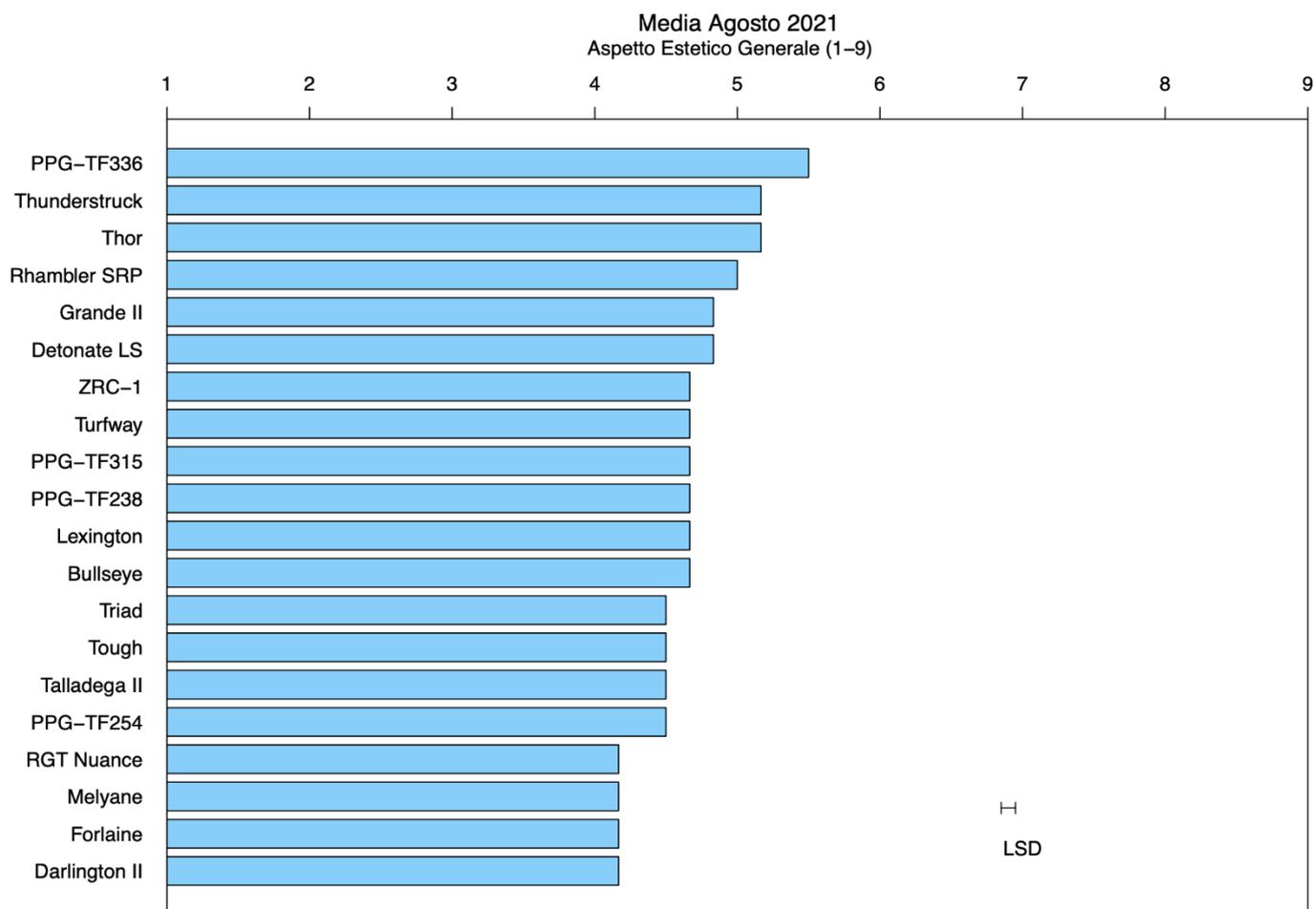


Figura 30 Istogramma che rappresenta la media dell'aspetto estetico generale di ogni singola cultivar per la durata di tutto il mese di agosto 2021 (questo permette di verificare l'effetto cultivar del mese di agosto 2021)

NDVI (effetto cultivar di agosto 2021)

Come possiamo determinare da questa figura la cultivar Forlaine ha riscontrato un valore maggiore al livello statistico dell'NDVI rispetto al Triad e Darlington II che sono state le peggiori nel periodo dell'agosto 2021.

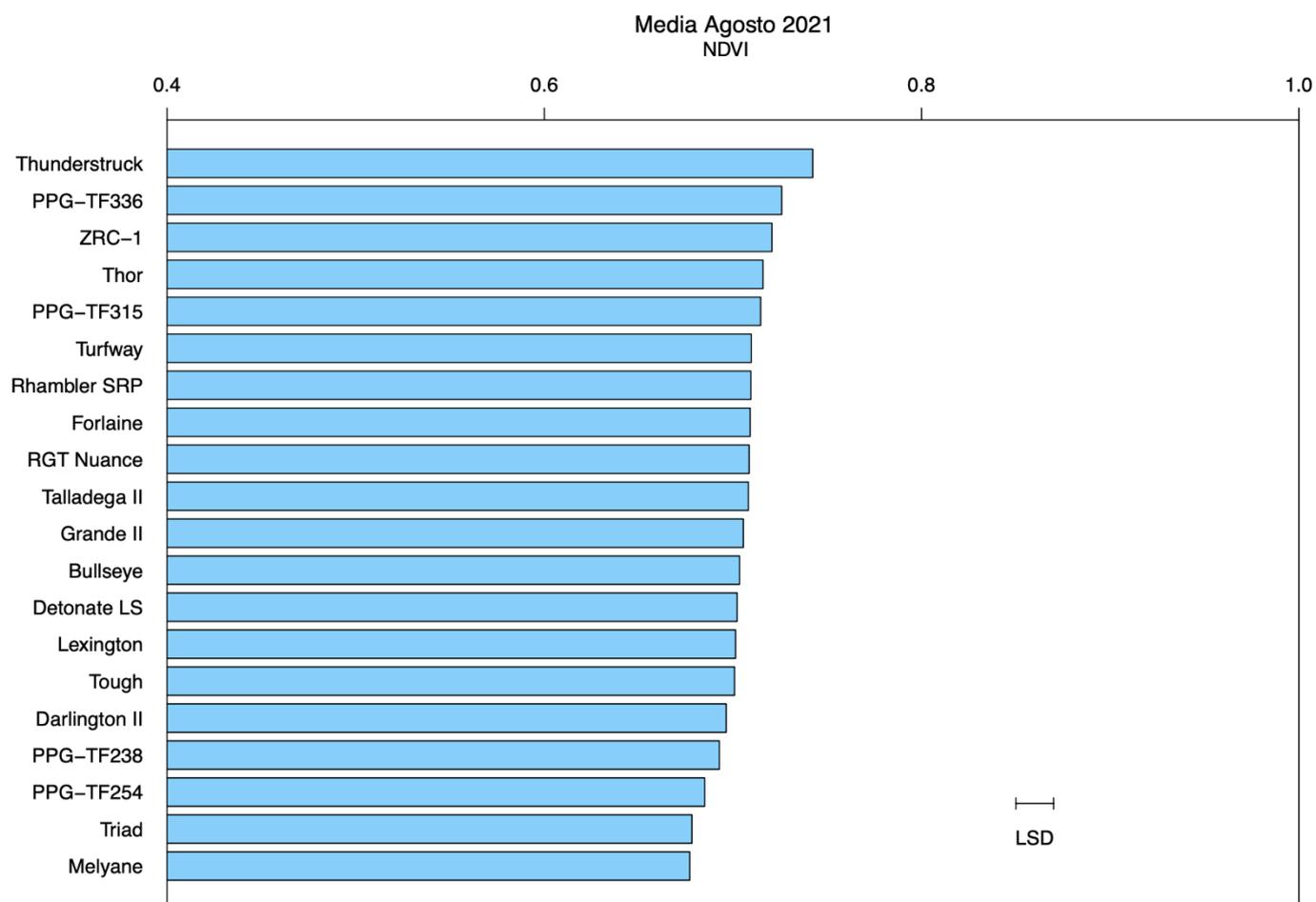


Figura 31 Istogramma che rappresenta la media del NDVI di ogni singola cultivar per la durata di tutto il mese di agosto 2021 (questo permette di verificare l'effetto cultivar del mese di agosto 2021)

Effetto cultivar di agosto 2022

Copertura verde (effetto cultivar di agosto 2022)

Come possiamo vedere dalla figura 29 le cultivar che ha mantenuto la maggior percentuale di copertura verde sono state Thunderstruck e Triad. Rispetto ad esse si può determinare che le cultivar PPG-TF315, Darlington II, PPG-TF254 e Melyane sono state le peggiori al livello statistico nel mese di agosto 2022.

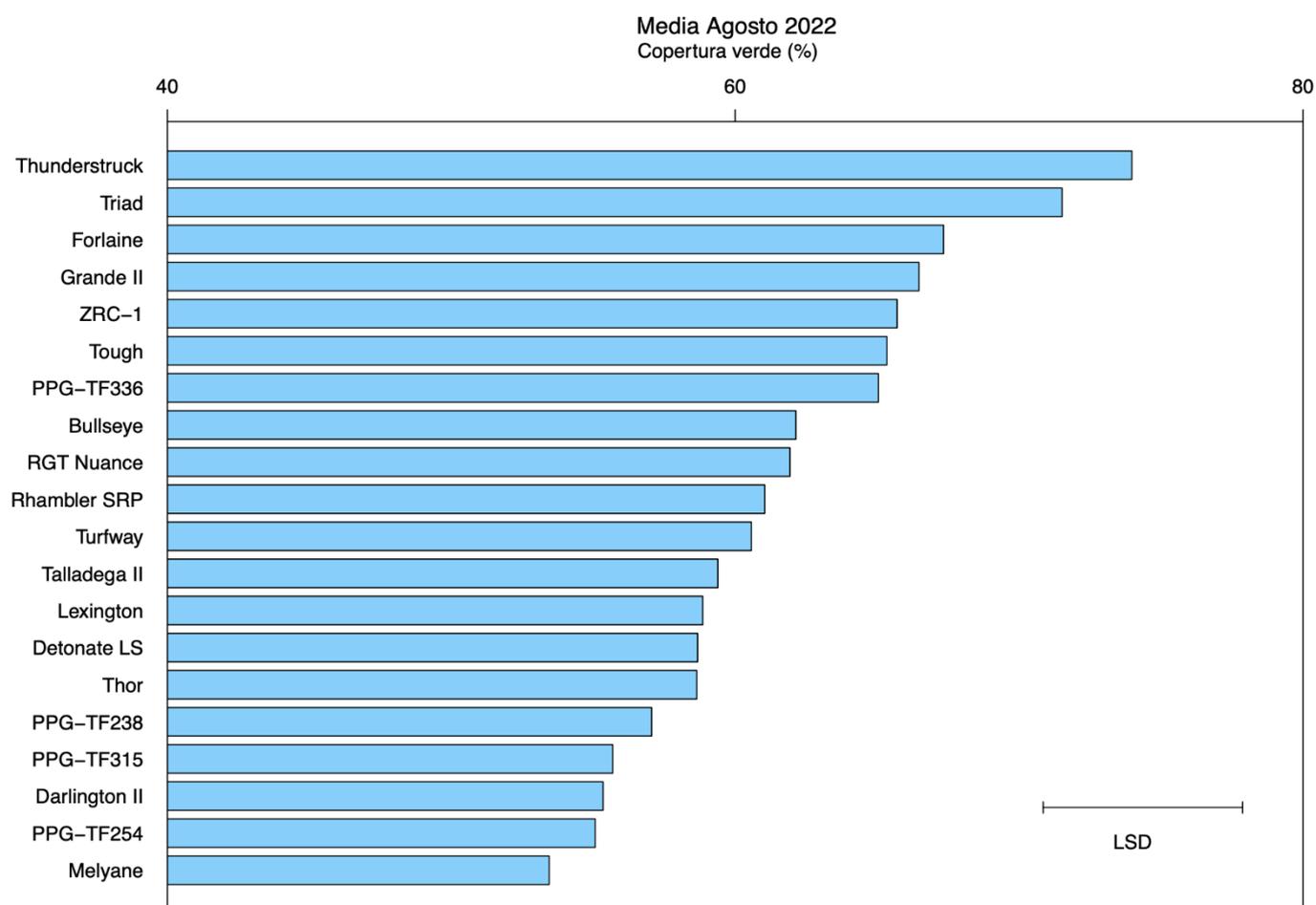


Figura 32 Istogramma che rappresenta la media della copertura verde di ogni singola cultivar per la durata di tutto il mese di agosto 2022 (questo permette di verificare l'effetto cultivar del mese di agosto 2022)

Aspetto estetico generale (effetto cultivar di agosto 2022)

Nella figura possiamo notare che le cultivar ZRC-1, Thunderstruck e PPG-TF336 sono risultate le migliori dal punto di vista dell'aspetto estetico generale nel mese di agosto 2022 rispetto al PPG-TF315, Darlington II e Melyane.

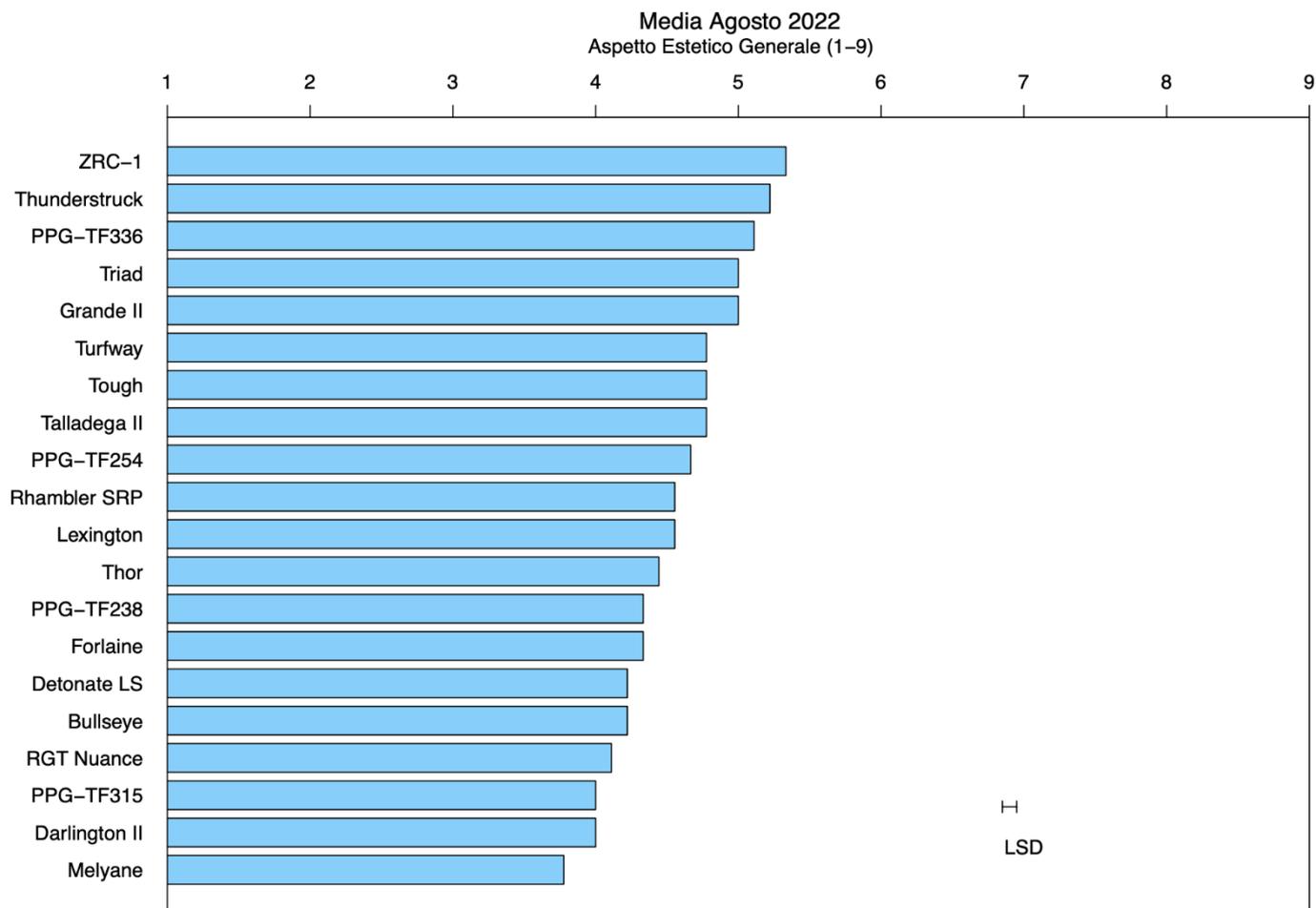


Figura 33 Istogramma che rappresenta la media dell'aspetto estetico generale di ogni singola cultivar per la durata di tutto il mese di agosto 2021 (questo permette di verificare l'effetto cultivar del mese di agosto 2021)

NDVI (effetto cultivar di agosto 2022)

In figura 31 possiamo notare che Forlaine e Thunderstruck presentano valori maggiori dal punto di vista dell'NDVI rispetto a Triad e Darlington II.

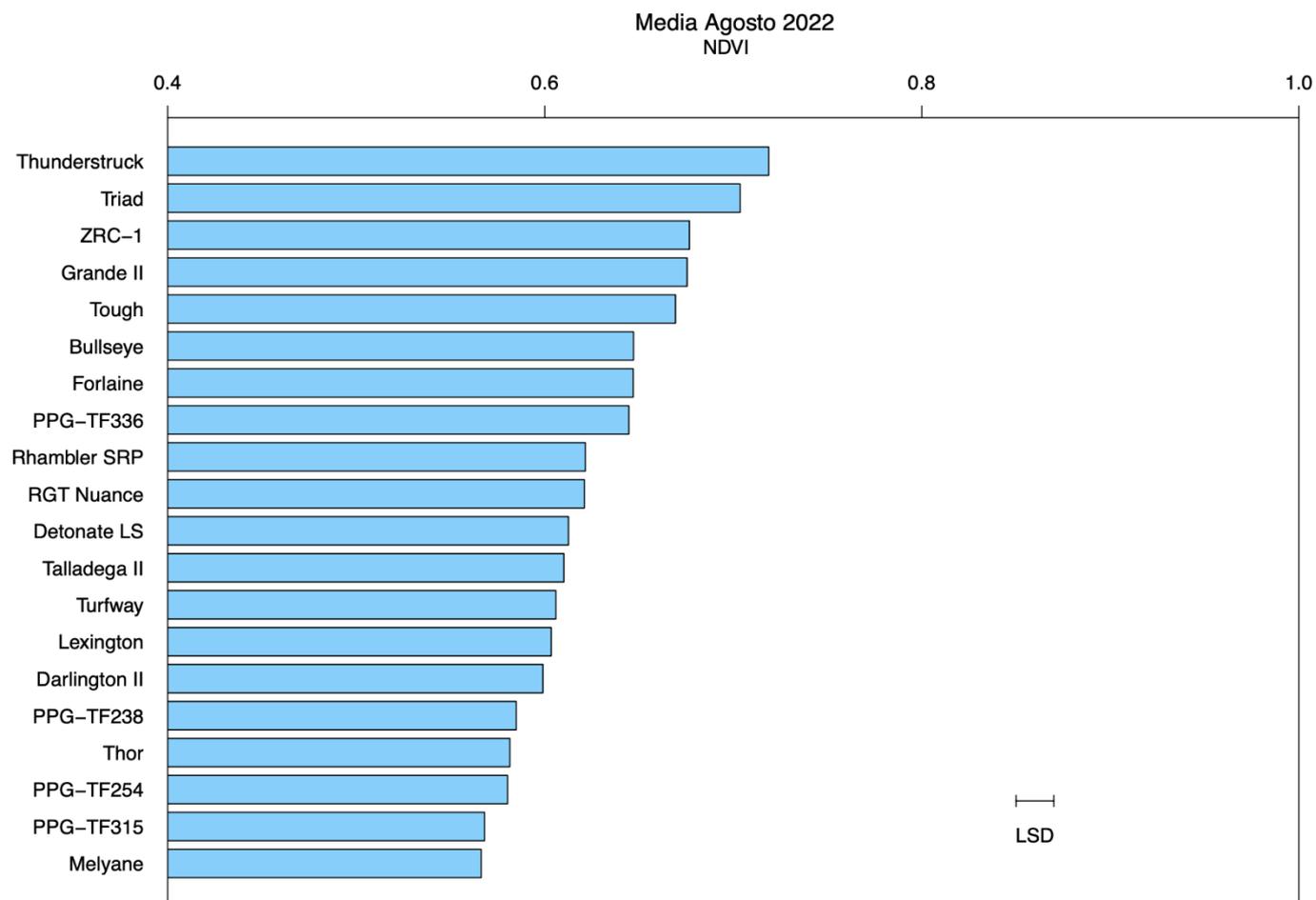


Figura 34 Istogramma che rappresenta la media del NDVI di ogni singola cultivar per la durata di tutto il mese di agosto 2022 (questo permette di verificare l'effetto cultivar del mese di agosto 2022)

Discussioni

Durante il periodo della prova si sono verificate condizioni climatiche estreme e inusuali, quali periodi di siccità prolungati, estati molto calde e nel caso del 2022 anche temperature sotto la media fino ad aprile 2022. Questo ha portato ad avere valori molto diversificati durante tutta la durata della prova e lo si può notare valutando i valori raccolti e riportati sui grafici precedentemente illustrati. Queste differenze si possono notare sui valori della qualità, colore, uniformità e percentuale di copertura verde che riportano valori al di sotto della sufficienza nei periodi di stress idrico prolungato e nei periodi di crescita sfavorevole quale l'inverno.

Durante il periodo della prova possiamo notare che l'aspetto estetico generale è l'unico valore che presenta valori negativi nel periodo di agosto 2021. Questo probabilmente dovuto alle basse precipitazioni di quel periodo e dalle alte temperature registrate. Inoltre è possibile che le piante di *Festuca arundinacea* non avevano ancora un apparato radicale ben formato essendo state seminate nell'autunno 2020. Proprio per questo si può dedurre che nell'agosto 2022, dove i valori di aspetto generale sono stati superiori rispetto all'agosto 2021, l'apparato radicale delle piante era più sviluppato e di conseguenza la loro resistenza alla siccità era maggiore rispetto al primo anno di prova. Questo potrebbe quindi aver causato un maggior turgore delle piante e quindi un miglior aspetto estetico generale.

Inoltre la primavera del 2022 ha presentato valori di temperature minime e massime inferiori allo stesso periodo del 2021. Questo potrebbe aver provocato un ritardo della ripresa vegetativa delle piante provocando valori inferiori di aspetto estetico generale inferiori nella primavera 2022 rispetto al 2021.

Un altro possibile effetto delle alte temperature in estate e dalla prolungata siccità del 2022 lo possiamo riscontrare sempre nell'aspetto estetico generale dell'estate 2022 che si presenta con valori inferiori rispetto allo stesso periodo nel 2021. Anche in questo caso la maggior parte delle cultivar hanno riscontrato valori inferiori nell'estate 2022, ma non tutte. Ad esempio Grande II e Thundestruock hanno mantenuto gli stessi valori dell'estate 2021.

L'effetto che si è notato per l'aspetto estetico generale lo si può comparare anche con il grado di copertura verde e con l'NDVI. Entrambi i valori seguono l'andamento dell'aspetto estetico generale, per esempio la copertura verde durante la primavera 2022 è notevolmente inferiore rispetto alla primavera 2021 e vale lo stesso per l'NDVI. Questo può essere sempre dovuto alle temperature che si sono riscontrate leggermente inferiori nella primavera 2022 rispetto alla 2021 e ciò potrebbe aver causato una tardiva ripresa vegetativa da parte delle piante. Lo stesso vale per la fase estiva dove a causa delle temperature elevate e al periodo di siccità prolungato entrambi i valori sono molto inferiori rispetto alla controparte del 2021 (come si può notare anche dall'aspetto estetico generale).

Alcune delle cultivar che presentavano valori di aspetto estetico generale superiori alle altre durante i periodi critici (estate ed inverno), presentavano valori superiori alle altre anche durante i mesi primaverili. Per esempio ZRC-1, PPG-TF336, Tough, Triad e Thundestruock si sono sempre mantenute con valori superiori in tutti e 3 i periodi (primavera, estate e inverno) rispetto alle altre cultivar.

Un altro fattore interessante è analizzare il periodo successivo alla fase di stress idrico dell'estate 2022. Per esempio, dopo l'agosto 2021 le cultivar che si sono riprese meglio rispetto alle altre sono state PPG-TF238, Thor, PPG-TF336, Triad, Turfway e PPG-TF254. Dopo l'inverno 2021, invece, le cultivar che sono uscite peggio da questo periodo sono state RGT Nuance e Melyane. Le altre, invece si sono mantenute a circa gli stessi valori. In seguito all'estate 2022 le cultivar che si sono differenziate al livello di uscita da questo periodo di stress sono state ZRC-1 (che è entrata nell'estate 2022 con valori già più elevati rispetto alle altre cultivar) e Triad. Le peggiori, invece, sono state sempre Melyane e Forlaine che sono arrivate all'estate 2022 già con valori inferiori rispetto alle altre cultivar. Dal punto di vista dell'entrata nei periodi critici nel primo anno della prova non si sono viste differenze molto importanti tra le diverse cultivar. Dal secondo anno, invece, alcune cultivar tendono ad entrar nei periodi critici con valori superiori rispetto alle altre, come nel caso della ZRC-1, PPG-TF336 e Thunderstruck che presentavano già valori superiori rispetto alle altre nell'estate 2022.

Dopo l'estate 2022, che come anche descritto prima, è stata una estate più calda e siccitosa rispetto all'estate 2021, alcune cultivar si sono riprese in maniera peggiore rispetto ad altre. Tra queste ci sono RGT Nuance, Melyane, Lexington, PPG-TF238, Thor e Forlaine.

Dal punto di vista del colore le diverse cultivar hanno mantenuto la loro posizione nella graduatoria per tutta la durata dell'anno. Ovviamente nei periodi di siccità il valore del colore risultava inferiore, ma comparando la posizione della cultivar rispetto alle altre, tutte rimanevano circa nella loro posizione durante gli altri periodi. Quindi possiamo dedurre che probabilmente, oltre ad un effetto del periodo, il colore, è una forte caratteristica di ogni singola cultivar.

Conclusioni

Possiamo concludere che alcune cultivar hanno sopportato meglio di altre gli stress subiti durante il periodo di studio. Altre, invece, si sono sempre mantenute con valori più scarsi rispetto alle altre, come ad esempio la Malyane. Sarebbe interessante valutare se le diverse cultivar presentano un apparato radicale differente tra loro, analizzando tramite il prelievo di campioni del terreno a quale profondità si sono attestate le radici delle diverse cultivar. Questo poi per capire se la resistenza a periodi di stress idrico è dovuta alla maggior possibilità di assorbimento di acqua presente negli strati profondi del suolo o è dovuto anche a fattori di tipo biochimico. Questa tipologia di sperimentazione mette in evidenza come è importante la scelta della cultivar più adatta per un determinato ambiente per poter avere i migliori risultati dal punto di vista sia qualitativo che gestionale (riducendo in caso il numero di interventi irrigui in una stagione). Quindi possiamo affermare che la scelta della varietà da utilizzare è tanto importante quanto le pratiche agronomiche da adottare per avere un tappeto erboso di qualità.

Ringraziamenti

Durante questo percorso durato 5 anni ho avuto l'occasione di incontrare diverse persone che mi hanno permesso di diventare ciò che sono ora e per questo voglio ringraziare tutti quelli che mi hanno permesso di arrivare fino a questo punto, essendo che diversi anni fa non avrei mai potuto immaginare di arrivare ad un risultato del genere.

I primi che vorrei ringraziare sono il professor Stefano Macolino e Cristina Pornaro, che mi hanno dato non solo l'opportunità di effettuare una tesi con loro ma mi hanno permesso di intraprendere un percorso ricco di nuove esperienze e sfide personali. Li ringrazio anche per la loro immensa pazienza e soprattutto ringrazio la Cristina di essere sempre stata disponibile, gentile e calma durante tutto il periodo della stesura di questa tesi.

Ringrazio anche tutti i miei parenti, in particolare i miei genitori che mi hanno permesso di intraprendere questo percorso di studi supportandomi anche quando i periodi non erano i migliori.

Ringrazio i miei migliori amici: Damiano, Stefano, Riccardo, Nicola, Christian, Daniele, Deborah e Giovanni. Loro che mi hanno supportato ma soprattutto sopportato per tutti questi anni, alcuni fino dalle superiori, tanto da chiedermi ogni tanto come non hanno fatto a impazzire fino ad adesso con un personaggio come il sottoscritto.

Ringrazio anche i miei colleghi di lavoro da Bardin, che hanno reso i weekend di lavoro più leggeri sia dal punto di vista fisico ma anche dal punto di vista mentale. Un meritato grazie soprattutto ai ragazzi di Bardin che oltre a rendermi più spensierato durante la giornata lavorativa mi hanno regalato momenti di divertimento dopo lavoro ma anche durante la settimana quando c'era la possibilità di trovarci.

Infine ringrazio anche la Nicoletta, Andrea e Graziano che mi hanno sempre dato una mano per effettuare le analisi alla prova con grandissima disponibilità.

Grazie mille ancora a tutti!

Bibliografia

1. *Climate variability and agriculture in Italy: a stochastic frontier at the regional level*. **Vignani, Sabrina Auci & Donatella**. 2020, *Economia Politica*, p. 381-409.
2. *Long term precipitation trends and variability within the Mediterranean region*. **Philandras, C.M., P.T. Nastos, J. Kapsomenakis, K.C. Douvis, G. Tselioudis, and C.S. Zerefos**. 2011, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Vol. 11, p. 3235-3250.
3. **Veneto, ARPAV**. [Online] 2021. https://www.arpa.veneto.it/arpavinforma/indicatori-ambientali/indicatori_ambientali/clima-e-rischi-naturali/clima/precipitazione-annua/view.
4. *Drought Tolerance of Tall Fescue Population Selected for High Root/Shoot Ratios and Summer Survival*". **Douglas E. Karcher, Michael D. Richardson, Kenneth Hignight, Debra Rush**. 2, 2008, *Crop Science*, Vol. 48.
5. *Drought Tolerance of Cool-Season Turfgrasses in a Mediterranean Climate*. **M. Schiavon, J.H. Baird**. 79, 2014, *European Journal of Horticultural Science*, Vol. 3, p. 175-182.
6. **Beard, J.B.** *Turfgrass Science and Culture*. 1973.
7. **P. Croce, A. De Luca, M. Falcinelli, F.S. Modestini, F. Veronesi**. *Tappeti erbosi cura, gestione e manutenzione delle aree verdi pubbliche e private*". s.l. : Edagricole, 2006.
8. **Irrigation, Hunter**. [Online] <https://www.hunterindustries.com/it>.
9. **Alessandro Bertolini, Erminio Sinigaglia**. *Tappeti erbosi-Realizzazione-Manutenzione-Problematich*e. Palermo : Dario Flaccovio Editore, 2022.
10. **Huang, Jack Fry and Bingru**. *Applied Turfgrass Science and Physiology*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2004.
11. *Comparative Turfgrass evapotranspiration rates and associated plant morphological characteristics*. **Kim, K.S. and J.B. Beard**. 1988, *Crop Science*, Vol. 28, p. 328-331.
12. *Turfgrass water requirement and factors affectin water usage*. **Huang, Bingru**. 2008, *Council Agr. Sci. Technol. Spec*.
13. *Drought resistance aspects of turfgrass in the Southeast: Root-shoot response*". **Carrow, R.N.** 94, 1995, *Crop Sci.*, Vol. 36, p. 687.
14. **Hpkins, W.G.** 1999. *Introduction to Plant Physiology, 2nd ed*. New York : John Wiley & Sons, INC., 1999.
15. *Water Consumption and Growth Rate of 11 Turfgrasses as Affected by Mowing Height, Irrigation, Frequency, and Soil Moisture*. **Biran, I., Bravdo, B., Bushkin-Harav, I., & Rawitz, E.** 1, 1981, *Agronomy Journal*, Vol. 73, p. 85-90.
16. *Minimum water requirements for creeping, colonial, and velvet bentgrasses under fairway conditions*. **Da Costa, M., & Huang B.** 46, 2006, *Crop Science*, Vol. 1, p. 81-89.

17. *Water requirements and irrigation*. **Kneebone, W. R., Kopec, D. M., & Mancino, C. F.** 1992, *Turfgrass*, Vol. 32, p. 441-472.
18. *Turfgrass evapotranspiration. I. Factors influencing rate in urban environments*. **Feldhake, C. M., Danielson, R. E., & Butler, J. D.** 75, 1983, *Agronomy Journal*, Vol. 5, p. 824-830.
19. *Kentucky bluegrass growth and water use under different soil compaction and irrigation regimes*. . **O'Neil, K.H., and R.N. Carrow.** 1982, *Agron. J.*, Vol. 74, p. 933-936.
20. *Soil Compaction and Moisture Stress Preconditioning in Kentucky Bluegrass. I. Soil Aeration, Water Use, and Root Responses I*. **Agnew, M. L., & Carrow, R. N.** 6, 1985, *Agronomy Journal*, Vol. 77, p. 872-878.
21. *New York: Springer-Verlag. arundinacea, Un efficiente metabolismo radicale migliora la resistenza alla siccità della Festuca*. 1998, *Plant physiological ecology*.
22. *Drought resistance aspects of turfgrasses in the Southeast: Root-shoot responses*. **Carrow, R. N.** 1996, *Crop Science*, Vol. 36, p. 687-694.
23. *Growth and physiological responses of creeping bentgrass to changes in air and soil temperatures*. **XU, Q., and B HUANG.** 2000, *Crop Science*, Vol. 40, p. 1363-1368.
24. *Differential growth and physiological responses to heat stress between two annual and two perennial cool-season turfgrasses*. **ZHIMIN YANG, YUCHUN MIAO, JINGIN YU, JUN LIU, BINGRU HUANG.** 2014, *Scientia Horticulturae*, Vol. 170, p. 75-81.
25. *Lowering soil temperature under suboptimal air temperature improved shoot and root growth in creeping bentgrass*. **XU, Q., and B. HUANG.** 2001, *Crop Science*, Vol. 41, p. 1878-1883.
26. *Osmotic Adjustment and Root Growth Associated with Drought Preconditioning-Enhanced Heat Tolerance in Kentucky Bluegrass*. **HUANG, YIWEI JIANG and BINGRU.** 2001, *Crop Science*, Vol. 41.
27. *Efficient root metabolism improves drought resistance of Festuca arundinacea*. **Dawid Perlikowsky, Adam Augustyniak, Aleksandra Skirycz, Isabela Pawłowicz, Katarzyna Masajada, Anne Michaelis, Arkadiusz Kosmala.** 3, 2020, *Plant & Cell Physiology*, Vol. 61, p. 492-504.
28. *Changes in the chloroplast proteome following water deficit and subsequent watering in a high- and a low-drought-tolerant genotype of Festuca arundinacea. J. . Kosmala A., Perlikowski D., Pawłowicz I., Rapacz M.* 2012, Vol. 63, p. 6161-6172.
29. *Physiological and biochemical analyses reveal drought tolerance in cool-season tall fescue (Festuca arundinacea) turf grass with the application of melatonin*. **Mohammad Nur Alam, Yanping Wang and Zhulong Chan.** 10, 2018, *Crop & Pasture Science*, Vol. 69, p. 1041-1049.
30. *Morpho-Physiological and Biochemical Attributes of Tall Fescue (Festuca arundinacea Schreb.) Inoculated with Pseudomonas fluorescens under Deficit Irrigation*. **S.M.E. Mahdavi, H. Salehi & M. Zarei.** 2020, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, Vol. 20, p. 1457-1471.
31. *Can arbuscular mycorrhizal fungi ameliorate the adverse effects of deficit irrigation on tall fescue (Festuca arundinacea Schreb.)? . Zarei2, Sayyed Mohammad Ehsan Mahdavi1 Hassan Salehi1 Mehdi.* 3, 2018, *Journal of soil science and plant nutrition*, Vol. 18.

32. *Can arbuscular mycorrhizal fungi ameliorate the adverse effects of deficit irrigation on tall fescue (Festuca arundinacea Schreb.)?* **Zarei, Sayyed Mohammad Ehsan Mahdavi Hassan Salehi Mehdi.** 3, 2018, Journal of soil science and plant nutrition, Vol. 18.
33. **Scientific, Holland.** <https://hollandscientific.com/portfolio/rapidscan-cs-45/>. [Online]
34. *Biochemical differences underlie varying drought tolerance in four Festuca arundinacea Schreb. genotypes subjected to short water scarcity .* **M-K- Sarmast, H. Salehi & A. Niazi.** 192, 2015, Acta Physiologiae Plantarum, Vol. 37.
35. *Drought Tolerance of Tall Fescue Populations Selected for High Root/Shoot Ratios and Summer Survival.* **Douglas E. Karcher, Michael D. Richardson, Kenneth Hignight, Debra Rush.** 2, 2008, Crop Science, Vol. 48, p. 771-777.
36. *Improving Drought Resistance and Persistence in Turf-Type Tall Fescue.* **R. N. Carrow, R. R. Duncan.** 3, 2003, Crop Science, Vol. 43, p. 974-984.
37. *Selection for Deep Root Production in Tall Fescue and Perennial Ryegrass.* **Stacy A. Bonos, Debra Rush, Kenneth Hignight, William A. Meyer.** 5, 2004, Crop Science, Vol. 44, p. 1770-1775.
38. *Improving Drought Resistance and Persistence in Turf-Type Tall Fescue.* **R. N. Carrow, R. R. Duncan.** 3, 2003, Crop Science, Vol. 43, p. 978-984.
39. **MH, Ravanbakhsh.** *Bioremediation of heavy metals by bacteria and fungi isolated from lead and zinc polluted locations.* Shiraz : Ph.D. dissertation, Department of Soil Science, Shiraz University, Iran, 2016.
40. *Effect of PGPR, Phosphate sources and vermicompost on growth and nutrients uptake by lettuce in a calcareous soil.* **Anahita Khosravi, Mehdi Zarei & Abdolmajid Ronaghi.** 1, 2018, Journal of Plant Nutrition, Vol. 41, p. 80-89.
41. *Community structure of arbuscular mycorrhizal fungi associated to Veronica rechingeri at the Anguran zinc and lead mining region.* **Zarei, M., König, S., Hempel, S., Nekouei, M.K., Savaghebi, Gh., Buscot, F.** 2008, Environ. Pollut., Vol. 156, p. 1277-1283.
42. *Arbuscular mycorrhizal abundance in contaminated soils around a zinc and lead deposit.* **Zarei, M., Saleh-Rastin, N., Jouzani, G.S., Savaghebi, G., Buscot, F.** 2008, Eur. J. Soil Biol, Vol. 44, p. 381-391.
43. **System, POGO.** [Online] 2020. <https://www.stevenswater.com/resources/downloads/pogo/POGO-System-2020-print.pdf>.