

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE NATURALI E AMBIENTE

Corso di laurea magistrale in Scienze e Tecnologie Agrarie

Problematiche e soluzioni nella coltivazione del luppolo (*Humulus lupulus*
L.): risposta di due varietà a condizioni di stress idrico

Relatore

Prof. Stefano Bona

Correlatrici:

Dott.ssa Anna Perbellini

Dott.ssa Maddalena Cappello Fusaro

Laureando

Filippo Fanelli

Matricola n.

2021165

ANNO ACCADEMICO
2022-23

RINGRAZIAMENTI:

Desidero esprimere i miei più sentiti ringraziamenti a coloro che hanno reso possibile il raggiungimento di questo importante traguardo.

In primo luogo, vorrei ringraziare la mia ragazza Camila, per il tuo costante sostegno e incoraggiamento quotidiano. Nei giorni buoni e soprattutto in quelli più difficili la tua presenza e supporto mi hanno spinto sempre a dare il massimo e ad essere migliore.

Un immenso grazie va ai miei genitori, che mi hanno sostenuto durante questi anni con tantissimo amore e premura, e mi hanno concesso opportunità che hanno facilitato questo mio percorso di studi. Grazie davvero.

Un altro grazie va a Betta, per la tua infinita disponibilità nell'aiutarmi fin dai tempi della triennale in qualcosa che mi ha veramente aiutato a portare a termine questo traguardo.

Ai miei fratelli e agli amici di sempre, per essere sempre stati presenti in ogni fase della mia vita e della carriera universitaria.

Un ringraziamento speciale va al professor Bona e alla dottoressa Perbellini. Al professore, per il sostegno e per l'ispirazione durante la stesura della tesi, e ad Anna per gli innumerevoli consigli e per il suo aiuto e sostegno durante questa prova sperimentale.

Insieme, avete tutti contribuito a plasmare il mio percorso accademico e personale. Per questo, ve ne sarò sempre eternamente grato.

Sommario

RIASSUNTO.....	5
ABSTRACT	6
CAPITOLO 1 - INTRODUZIONE	7
1.2 DUE VARIETA' DI LUPPOLO: CASCADE E CHINOOK	8
1.3 TECNICA DI COLTIVAZIONE DEL LUPPOLO.....	10
1.4 LO STRESS IDRICO NELLA COLTIVAZIONE DEL LUPPOLO.....	11
CAPITOLO 2- OBIETTIVI	15
CAPITOLO 3- MATERIALI E METODI.....	16
3.1 SVOLGIMENTO DELLA PROVA SPERIMENTALE	16
CAPITOLO 4- RISULTATI E DISCUSSIONE	29
BIBLIOGRAFIA:.....	30

RIASSUNTO

La presente tesi di laurea magistrale si propone di indagare le difficoltà legate alle reali esigenze idriche del luppolo e la loro implicazione nella sua coltivazione e l'effetto dello stress idrico sul luppolo (*Humulus lupulus L.*).

La disponibilità d'acqua è uno dei maggiori fattori limitanti nella produzione di luppolo nel nostro areale, per cui sono state messe a confronto due varietà per verificare quale delle due fosse più sensibile allo stress e quale più resistente. Lo studio si è concentrato su una prova sperimentale condotta nel mese di giugno, al fine di valutare la relazione tra l'apertura stomatica delle foglie e le caratteristiche del substrato in condizioni di stress idrico relative a due varietà di luppolo, Chinook e Cascade.

Il luppolo è una coltura notoriamente sensibile alle variazioni nei livelli di disponibilità d'acqua nel suolo, e l'apertura stomatica è una delle risposte fisiologiche a tali variazioni. Questo studio ha coinvolto un approccio multidisciplinare, utilizzando tecniche di misurazione per valutare il peso delle piante di giorno in giorno relativo alla perdita d'acqua per traspirazione fogliare in serra.

I risultati ottenuti da questa ricerca forniscono importanti informazioni sulla capacità del luppolo di adattarsi alle condizioni di stress idrico durante il suo ciclo di crescita cruciale.

Questo studio contribuisce alla comprensione delle strategie di adattamento del luppolo allo stress idrico e potrebbe avere implicazioni pratiche per i coltivatori e l'industria della birra. Le informazioni raccolte potrebbero essere utilizzate per ottimizzare le pratiche di irrigazione e la gestione del suolo nelle coltivazioni di luppolo, contribuendo così a garantire una produzione sostenibile di questa importante materia prima per l'industria della birra.

ABSTRACT

The present master's thesis aims to investigate the difficulties related to the actual water requirements of hops and their implications in cultivation, as well as the effect of water stress on hops (*Humulus lupulus* L.). Water availability is one of the major limiting factors in hop production in our region. Therefore, two varieties were compared to determine which was more sensitive to stress and which was more resistant. The study focused on an experimental trial conducted in June to assess the relationship between leaf stomatal aperture and substrate characteristics under water stress conditions for two hop varieties, Chinook and Cascade.

Hops are known to be particularly sensitive to changes in soil water availability, and stomatal aperture is one of the physiological responses to such variations. This study employed a multidisciplinary approach, using measurement techniques to assess the daily weight of plants relative to water loss through leaf transpiration in a greenhouse.

The results obtained from this research provide important insights into the ability of hops to adapt to water stress conditions during their crucial growth cycle. This study contributes to understanding the adaptation strategies of hops to water stress and may have practical implications for growers and the beer industry. The gathered information could be used to optimize irrigation practices and soil management in hop cultivation, thus contributing to ensuring the sustainable production of this essential raw material for the beer industry.

CAPITOLO 1 - INTRODUZIONE

1.1 IL LUPPOLO, BOTANICA E DIFFUSIONE

Il luppolo è una pianta angiosperma appartenente alla famiglia delle Cannabacee (stessa famiglia della Cannabis). È una pianta erbacea perenne con vita massima di 50 anni (Evans, 1989). La sua altezza può arrivare fino a 8-10 metri. La parte sotterranea del luppolo è organizzata in due organi sotterranei, distinti sia per la loro morfologia che per le funzioni principali: il fusto sotterraneo e l'apparato radicale; il rizoma ha una crescita orizzontale e molto ramificata dal quale si estendono fusti legnosi, esili e volubili. Gli steli costituiscono la base del sistema fuori dalla terra. Il suo portamento è lianoso, rampicante e tortuoso. Le foglie sono palmato-lobate (3-5 lobi) con apice acuto e margine dentato, opposte, picciolate con stipole ovali. La superficie della parte superiore è ruvida al tatto data la presenza di numerosi peli, quella inferiore è resinosa. Essendo una specie dioica, i fiori maschili e femminili, unisessuali e di colore verdognolo, sono presenti su individui separati (S.I.FIT. Piante Medicinali. Scienza nella tradizione. 56,2011). I fiori stamiferi (infiorescenze maschili) sono di colore verdognolo riuniti in pannocchie riccamente ramificate all'ascella delle foglie. Raggiungono un diametro di 5-6 mm. Essi hanno 5 tepali fusi alla base e 5 stami. I petali sono provvisti di ghiandole di luppolina ma il loro numero è ridotto rispetto alle infiorescenze femminili. I fiori pistilliferi (infiorescenze femminili) consistono da 20 a 60 fiori raggruppati intorno ad un asse, formate da numerose brattee fogliacee che danno origine a infiorescenze a strobilo, a forma di coni penduli; esse raggiungono una lunghezza di circa 2-4 cm e presentano un colore giallo-verdastro. (Francesco Capasso, Raffaele Capasso. Piante medicinali. L'Erborista. 22, 2009). I fiori femminili possiedono un cono membranoso che circonda un ovario uniloculare bicarpellare composto da due stimmi lunghi e pelosi senza stilo. La parte essenziale del cono è costituita da bratteole e brattee. Il frutto è un achenio color grigiastro. La riproduzione avviene per via anemofila. Gli strobili sono ricchi di ghiandole resinose che a maturità secernono una sostanza giallastra dal sapore amaro chiamata luppolina si tratta di una sostanza polverosa, ovvero un'oleoresina che vira dal colore giallo-arancio a giallo-verdognolo e dal sapore amaro (B. Ferri, 2016).

Il luppolo (*Humulus lupulus* L.) è una pianta principalmente conosciuta per la sua infiorescenza femminile, comunemente chiamata cono. Questi coni di luppolo sono gli ingredienti fondamentali di cruciale importanza per la produzione di birra, conferendo sapore, aroma ed amarezza. Sono utilizzati anche in misura minore nell'industria farmaceutica e cosmetica (P. Donner et al., 2019).

La resa del luppolo è il risultato di una complessa interazione tra vari fattori, quali la genetica della cultivar, apporto nutritivo, tipo di suolo e operazioni agrotecniche e condizioni ambientali (Mozny et al., 2009).

Le variazioni nella temperatura e nelle precipitazioni possono influenzare la crescita, lo sviluppo e i raccolti delle piante di luppolo. Le modifiche climatiche possono anche influire su composti specifici e sui sapori presenti nei coni di luppolo. Gli operatori dell'industria della birra dipendono dalla qualità costante del luppolo per mantenere il gusto e le caratteristiche del loro prodotto.

Per mitigare i potenziali effetti del cambiamento climatico sulla produzione di luppolo, i coltivatori e l'industria della birra potrebbero dover adattarsi utilizzando strategie come la regolazione dei tempi di semina e raccolta, la selezione di varietà più resistenti alle temperature critiche e l'implementazione di sistemi di irrigazione adeguati. Anche se tutti questi aspetti fossero garantiti, le condizioni meteorologiche svolgerebbero un ruolo importante sulla resa. In particolare, lo stress idrico in fioritura o durante lo sviluppo dei coni diminuiscono significativamente la resa e il contributo di alfa acidi, sostanze che contribuiscono al sapore amaro della birra (Hniličková and Novák 2000, Keukeleire et al. 2007, Srečec et al. 2008).

Inoltre, la ricerca continua di pratiche agronomiche al fine di ovviare al cambiamento climatico potrebbe contribuire allo sviluppo di pratiche più sostenibili e resilienti per l'industria. La stabilità nella produzione di luppolo è di notevole importanza economica sia per i coltivatori che per i commercianti; tuttavia, può essere minacciata dal cambiamento climatico. Infatti, il cambiamento climatico può affettare quantità e qualità della produzione (Mozny et al. 2009).

Esistono tre specie di luppolo: *Humulus Yunnanensis*, *H. Japonicus* e *H. Lupulus*, quest'ultima è la specie più diffusa (www.hopestore.fr). *Humulus lupulus* L. è la specie più diffusa in Europa Occidentale ed in regioni temperate dell'Australia, Sud Africa e Sud America. *H. japonicus* è endemico nell'est dell'Asia. Il luppolo selvatico europeo è considerevolmente esteso in questa area. In Europa la coltivazione è tipica in Germania, Gran Bretagna, Polonia e Repubblica Ceca. In Asia la pianta è coltivata in Cina e Giappone, Nuova Zelanda e sud dell'Australia. (Engles et Al., 2006).

1.2 DUE VARIETA' DI LUPPOLO: CASCADE E CHINOOK

Le due varietà che sono state selezionate per svolgere questa prova sono state due varietà da aroma molto utilizzate nell'industria della birra: Cascade e Chinook.

Il Cascade è un luppolo da aroma proveniente dagli Stati Uniti ottenuto dall'incrocio tra Fuggle e Serebrianka, una varietà russa ([www. Birradegliamici.com](http://www.Birradegliamici.com)).

Prende il nome dalla catena montuosa (Catena delle Cascade) che costeggia la Willamette Valley, una delle zone dove viene coltivata questa particolare varietà. Il luppolo Cascade è il frutto di una sperimentazione condotta dal prof. Stan Brooksll dell'Università dell'Oregon tra il 1957 e il 1972, anno in cui venne rilasciata la prima varietà di Cascade. Oggigiorno ne esiste

una varietà coltivata in Tasmania, molto simile a quella statunitense ma con minore contenuto di umulene e mircene, una argentina e una neo-zelandese ([www. Birradegliamici.com](http://www.Birradegliamici.com)).

La popolarità del Cascade è esplosa enormemente dopo il suo rilascio, fino a farne uno degli ingredienti fondamentali della West Coast IPA e delle American Pale Ale. Uno dei primi birrifici a farne il suo cavallo di battaglia è stato l'Anchor Steam Brewing Company, che l'ha usato nella sua Liberty Ale ([www. Birradegliamici.com](http://www.Birradegliamici.com)).

L'aroma del Cascade è molto caratterizzante e distintivo, per questo è particolarmente ricercato dai birrifici statunitensi. Il suo carattere è agrumato e floreale con netti sentori di pompelmo. Qualcuno nota anche dei sentori di menta ([www. Birradegliamici.com](http://www.Birradegliamici.com)).

Il luppolo Chinook è una delle varietà più conosciute e apprezzate sul panorama americano della birra artigianale. È un incrocio sviluppato dal professor Zimmermann presso la USDA (il Dipartimento americano per l'agricoltura) nel 1974. Il processo di ricerca e selezione durò per parecchi anni, tanto che il prodotto venne modificato e perfezionato da Stephen Kenny che lo rilasciò poi al pubblico e al commercio nel 1985 ([www. Birradegliamici.com](http://www.Birradegliamici.com)).

Il Chinook sembrerebbe essere il frutto di un incrocio tra una femmina di Brewer's Gold e una varietà selvatica maschile originaria dello Utah ([www. Birradegliamici.com](http://www.Birradegliamici.com)).

Il Chinook ha vissuto dei momenti difficili e per un certo periodo la sua coltivazione ha subito una drastica riduzione a causa della sua scarsa resistenza alle muffe, cosa che ha decimato la sua produzione e spinto molti coltivatori a ripiegare su varietà più resistenti. In tempi più recenti si è assistito tuttavia a un certo ritorno pressì i coltivatori dello stato di Washington.

Il Chinook ha un profilo inconfondibile caratterizzato da un aroma intenso di agrumi, soprattutto pompelmo, resinoso e speziato. Anche se i birrai spesso lo utilizzano in fase di amaro, queste spiccate caratteristiche aromatiche lo rendono adatto anche in fase di aroma. Attenzione come per il Nelson Sauvín a non esagerare con le dosi. In caso di utilizzo eccessivo può rilasciare le tanto temute note di "pipì di gatto". Moderare le dosi quindi soprattutto in fase di aroma ([www. Birradegliamici.com](http://www.Birradegliamici.com)).

La sua grande ed estrema versatilità ha portato i birrai ad utilizzare il Chinook in una grande quantità di stili (beermaverik.com).

Il Chinook ha vissuto dei momenti difficili e per un certo periodo la sua coltivazione ha subito una drastica riduzione a causa della scarsa resistenza alle muffe, cosa che ha decimato la sua produzione e spinto molti coltivatori a ripiegare su varietà più resistenti. In tempi più recenti si è assistito tuttavia a un certo ritorno pressì i coltivatori dello stato di Washington. Il Chinook ha un profilo inconfondibile caratterizzato da un aroma intenso di agrumi, soprattutto pompelmo, resinoso e speziato. Anche se i birrai spesso lo utilizzano in fase di amaro, queste spiccate caratteristiche aromatiche lo rendono adatto anche in fase in fase di aroma ([www. Birradegliamici.com](http://www.Birradegliamici.com)). Attenzione come per il Nelson Sauvín a non esagerare con le dosi. In caso di utilizzo eccessivo può rilasciare le tanto temute note di "pipì di gatto" ([www. Birradegliamici.com](http://www.Birradegliamici.com)).

La sua grande ed estrema versatilità ha portato ad utilizzare il Chinook in una grande quantità di stili (beermaverik.com).

1.3 TECNICA DI COLTIVAZIONE DEL LUPPOLO

Il luppolo è una pianta rampicante, selvatica e spontanea; predilige ambienti freschi, luoghi incolti come le rive dei fiumi e margini di boschi fino ad un'altitudine di 1.200 metri. Essendo una pianta molto resistente, cresce anche in terreni poveri di sostanze nutritive. Il clima deve essere poco umido, poco ventoso ed esposto al sole per 6-8 ore il giorno. La coltivazione è effettuata a partire da talee o rizoma di piante già esistenti, nei mesi di marzo ed aprile (varia a seconda dell'aria geografica in cui si trova). L'agricoltore seleziona i germogli più robusti e li indirizza lungo i fili o pali di sostegno. La pianta, infatti, necessita di un supporto per crescere; pertanto, la preparazione di un campo di luppolo richiede un capitale considerevole. La struttura deve sostenere il peso del raccolto anche in condizioni meteorologiche avverse. I sistemi di coltivazione del luppolo variano tra i paesi e le varietà. Ad esempio, l'altezza delle strutture di supporto è altamente variabile. La raccolta meccanica ha permesso di costruire strutture di supporto più alte, come quelle negli stati uniti (altezza di 4-5 m) e in Europa (altezza di 6-7 m) (Briggs et al.,2004). Le file di piante sono distanziate tra loro di 2,8- 3,2 m per consentire il passaggio dei trattori e le piante sono distanziate sulla fila di 0,8-1,1 metri (Fernandez-Pola,1996). Il luppolo ha una buona resistenza al gelo grazie al suo vasto e profondo sistema radicale (Verzele and De Keukeleire, 2013). La crescita della pianta richiede un notevole apporto di nutrienti del suolo che devono essere ripristinati. I trattamenti con i fertilizzanti dovrebbero essere basati sull'analisi del suolo (Briggs et al., 2004). Nel suo libro, Fernández-Pola (1996) suggerisce di applicare il seguente trattamento con i fertilizzanti: 500 kg/ha di solfato d'ammonio più 300 kg/ha di nitrato di sodio, 400 kg/ha di superfosfato di calcio (all'inizio della primavera) e 250-300 kg/ha di solfato di potassio (metà all'inizio della crescita vegetativa e metà all'inizio della fioritura). Il luppolo richiede un terreno fertile e ben drenato e non tollera l'umidità eccessiva (Fernández-Pola, 1996). La pianta richiede una buona profondità di terreno e un pH superiore a 6,5. Nell'Inghilterra e nell'Europa occidentale, le esigenze idriche del luppolo sono generalmente soddisfatte dalla pioggia naturale, ma altrove spesso è necessaria l'irrigazione. Ad esempio, negli Stati Uniti la coltura richiede da 400 a 500 mm di pioggia nella Willamette Valley e 760 mm nella Yakima Valley, che vengono forniti tramite l'irrigazione, mentre in Australia e in Serbia sono ampiamente utilizzati sistemi di irrigazione a spruzzo (Briggs et al., 2004). Considerando che lo stress idrico è uno dei principali problemi che influiscono sulla crescita e sulla produttività delle colture, il sistema di irrigazione e la selezione di varietà tolleranti alla siccità sono cruciali. Il luppolo è anche suscettibile all'attacco di molti patogeni e malattie (come afidi, acari, nematodi e virus), quindi la maggior parte dei coltivatori di luppolo deve utilizzare prodotti chimici per ottenere un buon prodotto commerciale (Briggs et al.,2004). Questi prodotti sono autorizzati da enti

nazionali o internazionali che stabiliscono anche una massima tolleranza di residui chimici nel prodotto finale, ma periodicamente devono essere sviluppati e approvati nuovi agenti (Briggs et al., 2004). A causa della limitata coltivazione di luppolo, in Italia non esistono agenti chimici approvati per questa coltura e i coltivatori di luppolo sono costretti ad utilizzare trattamenti biologici, ad eccezione di tre insetticidi commerciali caratterizzati dalla presenza di lambda-cialotrina (sistema informativo agricolo nazionale; www.sian.it). Per quanto riguarda altre piante, la fioritura del luppolo è fortemente influenzata dalla durata dal tasso di luce diurna ed è indotta dopo la produzione di un certo numero di nodi la pianta deve produrre prima 20 a 25 nodi prima di essere pronta per fiorire (Neve, 1991; Briggs et al., 2004). I fiori si sviluppano nei boccioli terminali dei rami laterali e i fiori femminili si trasformano in coni. Nell'emisfero settentrionale, la maturazione dei conidi luppolo avviene in agosto. In particolare, le prime tracce di resina possono essere rilevate all'inizio di agosto e la sintesi della resina è quasi completa alla fine del mese. La fioritura avviene tra fine aprile fino all'inizio di luglio, mentre il periodo di raccolta dei coni si ha da fine agosto a fine settembre. È importante capire bene quando è il periodo balsamico per la raccolta; ovvero quando le ghiandole resinose assumono un colore dorato scuro ben visibile ed i coni al tatto sembrano esser cartacei e la loro resina rimanere attaccata alla mano. Un'eventuale attesa può comportare un cambiamento, non solo visivo del colore dei coni che iniziano ad ingiallirsi ma anche nella concentrazione dei componenti e quindi dell'aroma nella birra. Una volta effettuata la raccolta, le radici e il rizoma rimarranno nel terreno per la nuova crescita negli anni successivi, mentre ogni autunno la parte vegetativa aerea della pianta muore. La pianta dovrà essere essiccata in forno fino ad ottenere un peso finale del 18-20% rispetto al peso del luppolo fresco. Il luppolo essiccato può resistere per più di un anno se conservata a riparo da fonti di luce, in ambiente fresco e ventilato (circa 5°). Dobbiamo prestare attenzione al processo di stoccaggio in quanto tutte le sostanze amare sono costituite da composti piuttosto labili che trasformano le loro resine da soft ad hard (processo di ossidazione). La conservazione avviene in un luogo buio, fresco (circa 5°C) e secco. (Prof. Ing. Václav Rybáček, Ph. D. Hop production. Developments in crop science; 16. 1991).

1.4 LO STRESS IDRICO NELLA COLTIVAZIONE DEL LUPPOLO

L'introduzione della coltivazione del luppolo in Italia ha portato a doversi confrontare con alcuni problemi, come ad esempio il clima. Uno dei principali problemi è proprio lo stress idrico. Infatti, nelle zone mediterranee, il ciclo fenologico del luppolo coincide con fattori che si suppone influiscano sulla coltivazione dello stesso e sulla produzione di alfa acidi: alte temperature dell'aria e, in generale, siccità (G. Bellaio, 2016). La siccità è una delle principali tensioni abiotiche che influiscono la crescita delle piante nelle aree a clima mediterraneo (Izurrealde et al., 2003). Per contrastare questo problema, una strategia primaria è la selezione di varietà di luppolo tolleranti a questo stress, studiando i meccanismi fisiologici e molecolari

attivati nel luppolo in risposta allo stress idrico. Tuttavia, le conoscenze scientifiche in questo campo sono ancora carenti (G. Bellaio, 2016).

Lo stress idrico è definito come una moderata perdita di acqua, che porta alla chiusura degli stomi e alla limitazione degli scambi gassosi (Physiological response of juvenile hop plants to water deficit, V. Hejnák, H. Hniličková, F. Hnilička). È uno dei principali stress abiotici che influenzano la crescita delle piante nelle aree a clima mediterraneo. L'aumento della temperatura, il numero di giorni caldi e i periodi di siccità hanno un impatto diretto sulla resa e sulla qualità delle colture (Izaurre et al., 2003).

In generale, una delle prime risposte delle piante alla diminuzione della disponibilità idrica del suolo è la riduzione della conduttanza stomatica e la regolazione dell'apertura e chiusura degli stomi, che viene guidata da segnali chimici e idraulici dalle radici ai germogli (Lawson, 2009).

L'acqua è fondamentale per la crescita e lo sviluppo delle piante. Lo stress da deficit idrico, permanente o temporaneo, limita la crescita e le prestazioni delle piante coltivate più di qualsiasi altro fattore ambientale. La riduzione delle precipitazioni totali negli ultimi anni e la loro distribuzione altamente irregolare durante la stagione vegetativa nell'Europa centrale hanno effetti negativi sulla resa del luppolo (Trnka et al., 2008; Hlavinka et al., 2009). Lo stress da deficit idrico può essere definito come una situazione in cui il potenziale idrico e il turgore della pianta sono sufficientemente ridotti da interferire con le normali funzioni (Hsiao 1973, Chaves et al. 2002, Hu et al. 2006).

In letteratura sono stati condotti diversi studi sull'effetto dello stress idrico sul luppolo. In un lavoro di Mozny et al. (2009) gli autori hanno simulato l'impatto delle condizioni meteorologiche sulla resa e sulla qualità del luppolo Saaz, dimostrando che l'aumento della temperatura provocherebbe una diminuzione delle rese e avrebbe un impatto negativo sull'accumulo di α -acidi nel luppolo. Tuttavia, i coltivatori di luppolo possono potenzialmente rispondere agli impatti fisiologici dei cambiamenti climatici attraverso la selezione delle cultivar e le pratiche di gestione delle colture (Lawson, 2009).

Il lavoro di Mozny et al. (2009) valuta la risposta sul tasso di fotosintesi (P_n), sulla traspirazione (E), sulla conduttanza stomatica (g_s) e sull'efficienza d'uso dell'acqua (WUE) in 15 genotipi di giovani piante di luppolo coltivate in serra in condizioni di deficit idrico per un periodo di 9 giorni. I livelli di fotosintesi e conduttanza stomatica sono evidentemente diminuiti nelle specie monitorate a seguito del deficit idrico. La diminuzione di fotosintesi nelle piante sperimentali rispetto al gruppo di controllo è stata maggiore nelle varietà Saaz Os. cl. 72 (del 77,5%), Magnum (del 73,3%) e Columbus (del 62,3%). Al contrario, la diminuzione di fotosintesi più bassa è stata osservata nel caso dei genotipi Saaz Late (del 15,7%), Vital (del 23,9%) e Premiant (del 24,2%). Tutti i genotipi, tranne la cv. H16 hanno mostrato un'evidente diminuzione di traspirazione. A giudicare dai valori più alti di WUE , la gestione idrica più efficace è stata mostrata dai genotipi Premiant, Vital e Saaz Late. Una significativa limitazione stomatica della fotosintesi dovuta allo stress idrico è stata identificata

nella cultivar ceca più diffusa, Saaz Os. cl. 72, con bassi valori di conduttanza stomatica, tasso fotosintetico e traspirazione. In altre parole, questa cultivar ha avuto una risposta particolarmente negativa alla carenza d'acqua.

Questo lavoro indica, in sintesi, che diverse cultivar di luppolo rispondono in modo diverso allo stress idrico, con alcune che subiscono cali significativi nella fotosintesi e nella conduttanza stomatica, mentre altre mostrano una maggiore tolleranza. Queste informazioni possono essere utili per la selezione delle cultivar nelle coltivazioni di luppolo, tenendo conto della disponibilità di acqua nell'ambiente di crescita.

Uno studio condotto da V. Gloser et al. nel 2013 (the response of *Humulus lupulus* to drought; the contribution of structural and functional plant traits) si è concentrato sulla risposta del luppolo (*Humulus lupulus* L.) alla diminuzione della disponibilità di acqua nel suolo, esaminando diverse cultivar di luppolo, in particolare le cultivar slovene Aurora (AU) e Savinjski Golding (SG).

Le piante di luppolo esposte a condizioni di siccità hanno mostrato una significativa diminuzione nei tassi di traspirazione e nel potenziale idrico fogliare. Questi cambiamenti sono stati particolarmente evidenti quando le piante sono state sottoposte a stress idrico. Il potenziale idrico fogliare è diminuito durante il giorno, suggerendo che il luppolo è una pianta anisoidrica, cioè meno conservativa nell'uso dell'acqua (Tardieu e Simonneau, 1998).

L'analisi ha rivelato che il potenziale idrico fogliare delle piante di luppolo è rimasto stabile fino a quando il contenuto idrico del suolo (SWC) è sceso, per poi diminuire continuamente. Questo indica che la regolazione del potenziale idrico nelle piante di luppolo per mantenere stabile la forza motrice del trasporto dell'acqua nello xilema inizia dopo il raggiungimento del valore soglia del contenuto idrico del suolo (SWC). Le piante di luppolo sembrano essere in grado di abbassare il potenziale idrico fogliare in risposta alla siccità, il che facilita l'estrazione dell'acqua dal suolo secco.

Le piante di luppolo hanno mostrato una significativa variazione nella conduttanza stomatica in risposta ai diversi livelli di contenuto idrico del suolo. La conduttanza stomatica è rimasta elevata in condizioni di leggera deprivazione idrica (20-30% di SWC) ma è diminuita con il 10-20% di SWC e si è chiusa completamente al 10% di SWC.

La traspirazione è diminuita notevolmente con il 20-30% di SWC rispetto al 10-20% di SWC. La fotosintesi è risultata influenzata dalla classe di SWC, dalla conduttività stomatica e dalla loro interazione, con una diminuzione della fotosintesi al diminuire di SWC. L'efficienza fotochimica (F_v'/F_m') non ha mostrato un'influenza significativa.

In generale, all'aumentare della siccità, la respirazione ha superato la fotosintesi nelle piante di entrambe le cultivar, il che rende più complessi i calcoli e dimostra l'effetto negativo della siccità sulla capacità fotosintetica delle piante di luppolo.

Questo studio ha dimostrato come il luppolo reagisca in modo differente alla siccità, con notevoli variazioni nella traspirazione, nella conduttività stomatica e nella fotosintesi in base al contenuto idrico del suolo. Queste risposte sono importanti per comprendere la

sopravvivenza e la produttività delle piante di luppolo in ambienti con disponibilità idrica variabile.

Inoltre, la ricerca suggerisce che i segnali di stress idrico viaggiano dal sistema radicale allo xilema fino alle parti aeree delle piante, influenzando l'apertura stomatica. Questi risultati forniscono informazioni preziose per la coltivazione e la gestione delle piante di luppolo, specialmente in condizioni di siccità.

Anche Giulia Bellaio, Dottoranda dell'Università degli studi di Padova, nel suo lavoro (Characterization of different hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars: response to drought stress, chemical composition and sensory profile, 2016) ha analizzato inizialmente la traspirazione di 11 cultivars sottoposte a stress idrico, per poi focalizzarsi sugli effetti dello stress idrico su dei parametri di crescita selezionati. Lo scopo del suo lavoro è stato quello di identificare le cultivar di luppolo più resistenti o tolleranti studiandone la risposta a periodi di condizioni di stress idrico prolungato. Le piante di luppolo sembrano non subire alcuna riduzione della disponibilità idrica fino a FTSW 0,7, al di sotto della quale si verifica un declino della traspirazione. Ciò concorda con il comportamento evidenziato in diverse altre specie come la vite (Bindi et al., 2005), il mais e il sorgo (Verhoef e Egea, 2014), dove la traspirazione delle piante rimane generalmente invariata fino alla perdita di una frazione dell'acqua disponibile, per poi diminuire fino all'esaurimento dell'acqua disponibile nel suolo. Il luppolo sembra quindi appartenere alle piante anisoidriche, come anche ipotizzato da Gloser et al. (2013), tuttavia il gran numero di cultivar di luppolo sottoposte a stress idrico nell'esperimento ha permesso di osservare risposte diverse allo stress idrico tra le diverse cultivar di luppolo. Eccezioni interessanti sono infatti le cultivar Cascade, Chinook e Columbus, che hanno mostrato un declino più lineare della traspirazione (NTR) durante lo stress idrico rispetto alle altre cultivar. Columbus, Chinook e Cascade sono risultate le varietà più sensibili alla siccità, mostrando una rapida diminuzione della traspirazione già ad alti livelli di FTSW. È interessante notare come il tasso di traspirazione delle diverse varietà di luppolo rispetto alla frazione di acqua traspirata del suolo, abbia evidenziato grandi differenze:

Questi tipi di ricerca sono fondamentali per poter affrontare le sfide connesse alla coltivazione del luppolo in regioni con climi mediterranei e potrebbero contribuire allo sviluppo di strategie di gestione e selezione di varietà più adatte a queste condizioni ambientali.

CAPITOLO 2- OBIETTIVI

Lo scopo dell'esperimento è stato quello di sottoporre il luppolo (*Humulus lupulus* L.) 'Chinook' e 'Cascade' ad uno stress idrico graduale e severo, misurando la risposta delle piante in termini di traspirazione e fotosintesi in relazione alla frazione di acqua disponibile nel suolo. In aggiunta alla valutazione delle singole varietà di luppolo, si mira a sviluppare un confronto tra le risposte date dalle due varietà, al fine di verificare eventuali differenze in termini di resistenza allo stress.

CAPITOLO 3- MATERIALI E METODI

3.1 SVOLGIMENTO DELLA PROVA SPERIMENTALE

Il 15 giugno 2023 è cominciata la prova sperimentale su due diverse varietà di luppolo poste in condizione di stress idrico. L'esperimento è stato condotto in serra a Legnaro (PD), presso l'azienda sperimentale dell'Università degli Studi di Padova L. Toniolo. Le varietà che sono state scelte sono Chinook e Cascade, due varietà aromatiche molto utilizzate nell'industria della birra. Su queste varietà sono stati valutati gli effetti relativi allo stress idrico.

Ogni varietà consisteva in 20 piante che sono state testate: 5 testimoni e 15 sottoposte a carenza idrica. In totale, dunque, sono state testate 40 piante, ognuna di queste distribuite in un singolo vaso.

Il substrato che è stato scelto è composto dal 50% di sabbia e 50% di terriccio appositamente mescolato e disposto nei vasi. Le piante sono state trapiantate e fatte crescere in condizioni ottimali per due mesi prima dell'inizio della prova sperimentale.

L'esperimento è durato venticinque giorni, fino al 10 luglio 2023.

Prima dell'inizio della prova sono state fatte acclimatare le piante all'interno della serra. Tutte le piante sono state irrigate, al bisogno, ogni due giorni. Inoltre, sono state sottoposte a trattamenti per limitare l'attacco di Peronospora. Sono stati eseguiti regolarmente interventi di cimatura per far aumentare il vigore delle piante. A mano a mano che le piante crescevano, sono stati selezionati due germogli per ogni pianta guidati da dei sostegni in canna di bambù come mostrato in figura 1.



Figura 1- pianta di luppolo in prova

Fino all'inizio ufficiale della prova le piante sono state ripetutamente cimate in modo da portarle tutte alla stessa altezza di 80 centimetri. Il vigore e lo stato salutare delle piante all'inizio della prova vengono riportati in Tabella 1.

	STATO CASCADE			STATO CHINOOK	
	VIGORE	MALATTIA		VIGORE	MALATTIA
1	+	++	1	++	++
2	+	++	2	+	-
3	+	++	3	++	+
4	+	+	4	+	+
5	+	-	5	++	-
6	+	-	6	++	-
7	+	+	7	+	+
8	+	+	8	++	+
9	+	+	9	+	+
10	+	+	10	++	+
11	++	++	11	++	+
12	+	+	12	+	++
13	+	++	13	+	++
14	+	+	14	++	++
15	++	+	15	+	-
16	+	+	16	++	+
17	+	+	17	+	-
18	+	+	18	+	+
19	+	+	19	++	+
20	+	+	20	+	++

Tabella 1- stato di vigoria delle piante

Il giorno di inizio della prova sperimentale ad ogni pianta è stata somministrata acqua in abbondanza. L'acqua in eccesso è stata fatta sgondare nelle successive 1-2 ore, in modo tale che le piante arrivassero a capacità di campo. Successivamente ogni vaso è stato sigillato con un sacco di plastica in modo che l'acqua persa di giorno in giorno fosse relativa solo alla traspirazione fogliare e non dovuta all'evaporazione del substrato.



Fig.2 Disposizione piante di luppolo nella prova

Dopo il drenaggio, tutti i vasi sono stati chiusi in sacchetti di plastica trasparenti da 10 lt e pesati. Ogni pianta è stata numerata ed etichettata. Su ogni etichetta sono state messe informazioni sul trattamento ("controllo" o "stressato") e sulla cultivar di luppolo ("Chinook" o "Cascade").

Il mattino del secondo giorno, il 16 giugno, tutti i vasi sono stati nuovamente pesati. Questa misurazione ha costituito il "peso iniziale". A partire dal secondo giorno, quotidianamente tra le 8:00 e le 9:00, ciascun vaso è stato pesato su una bilancia posta su una superficie piana, prestando attenzione a riporre la bilancia nella stessa posizione ogni giorno.

Fino all'ultimo giorno dell'esperimento, per ogni cultivar, 15 piante "stressate" sono state sottoposte a un progressivo stress idrico del suolo e non hanno ricevuto alcuna quantità d'acqua per l'intero periodo sperimentale, mentre 5 piante "di controllo" sono state irrigate quotidianamente in base alla loro traspirazione giornaliera. Le piante sono state gradualmente escluse dall'esperimento non appena hanno raggiunto il punto di appassimento permanente.

La traspirazione giornaliera è stata calcolata giornalmente per ogni pianta, come differenza di peso di ogni vaso da un giorno al precedente.

Le variazioni di calore sono state applicate in linea con la naturale variabilità meteorologica, senza alcun controllo della temperatura all'interno della serra. Le temperature massime e minime giornaliere sono state rilevate e annotate ogni giorno.

Le temperature medie giornaliere sono state calcolate di conseguenza. Per una maggior precisione alle piante testimone ogni giorno veniva somministrata attraverso una siringa tanta acqua quanta ne avevano traspirata: lo scopo era di riportare a capacità di campo ogni giorno le suddette piante. Sulle piantine sottoposte a stress veniva riportato il peso giornalmente.

Per i vasi non testimoni è stato tenuto semplicemente il peso della pianta per calcolare la quantità d'acqua traspirata di giorno in giorno. Mentre le piante controllo sono state irrigate ogni giorno, le piante stressate sono state lasciate senza acqua fino al raggiungimento del coefficiente di avvizzimento permanente.



Fig.3 Pianta di luppolo sulla bilancia

3.2 ANALISI DEI DATI E ANALISI STATISTICA

Inizialmente è stata condotta un'analisi del tempo medio di mortalità al fine di valutare il numero di piante che deperivano quotidianamente per ciascuna delle due varietà monitorate, come si può osservare in Figura 4 e in Figura 5.

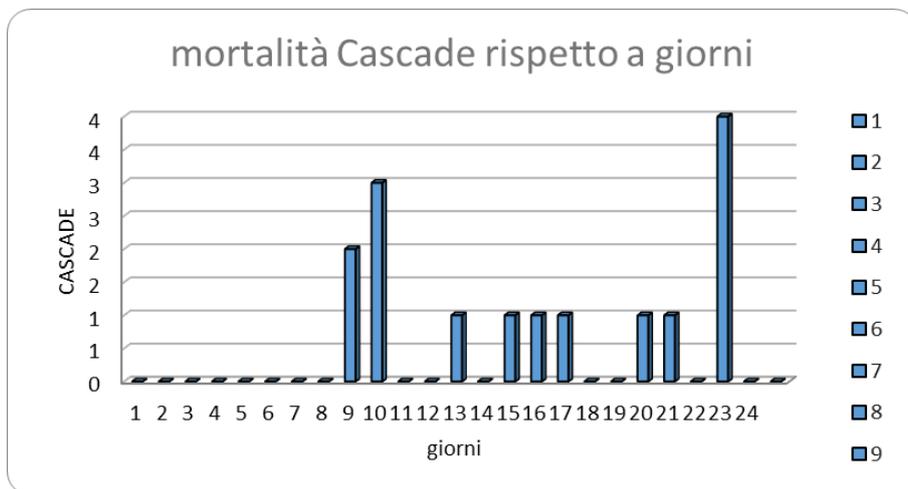


Fig.4 Numero di piante morte giornalmente per la varietà Cascade

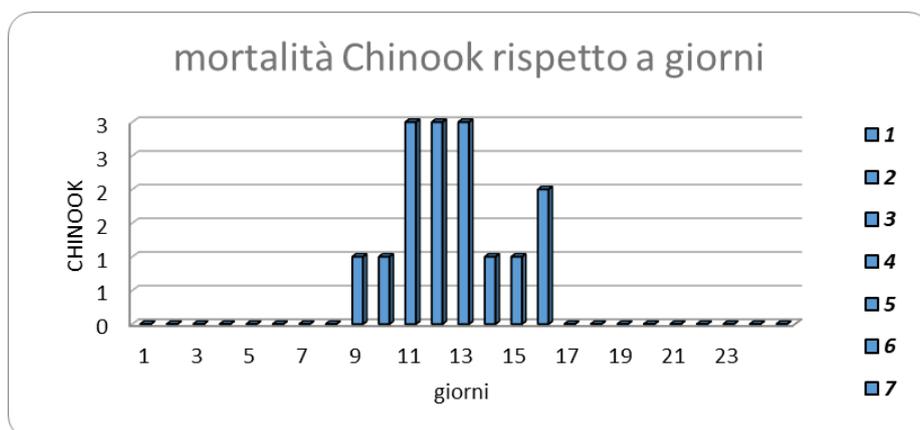


Fig.5 Numero di piante morte giornalmente per la varietà Chinook

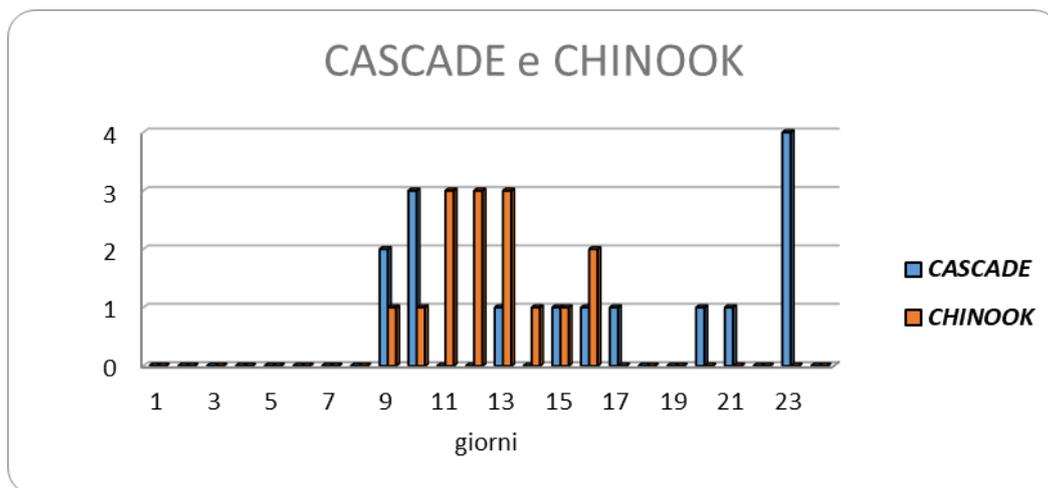


Fig.6 Numero di piante morte giornalmente per entrambe le varietà

Questo dato è stato utilizzato per determinare il tempo medio di sopravvivenza delle piante. Il tempo medio di sopravvivenza rappresenta un efficace indicatore della resistenza allo stress idrico. Dai calcoli è emerso che il tempo medio di sopravvivenza per la varietà Cascade è di circa 16,13 giorni, mentre per la varietà Chinook è di 12,53 giorni. Di conseguenza, in caso di stress idrico, l'intervento irriguo deve essere tempestivo per la varietà Chinook, con un anticipo di circa 4 giorni rispetto alla varietà Cascade.

Per le due varietà è stata valutata la variazione della traspirazione in relazione alla frazione di acqua disponibile. Per entrambe le varietà abbiamo calcolato due curve: nelle due tabelle in basso (Fig.7 e Fig.8) possiamo osservare la rappresentazione di come varia la traspirazione delle piante sottoposte a stress idrico per ogni pianta per le due varietà

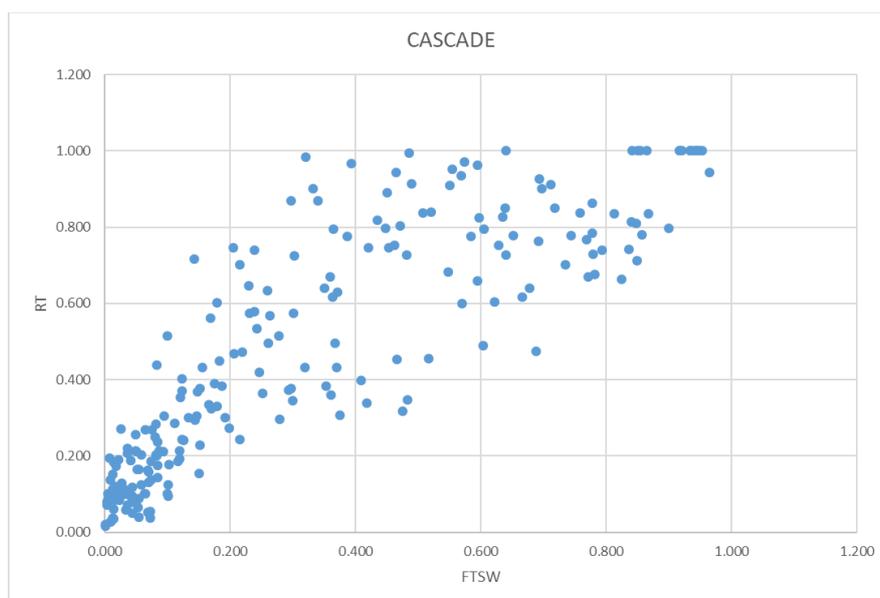


Fig.7: rappresentazione di come varia la traspirazione in funzione dell'acqua traspirabile per piante varietà Cascade

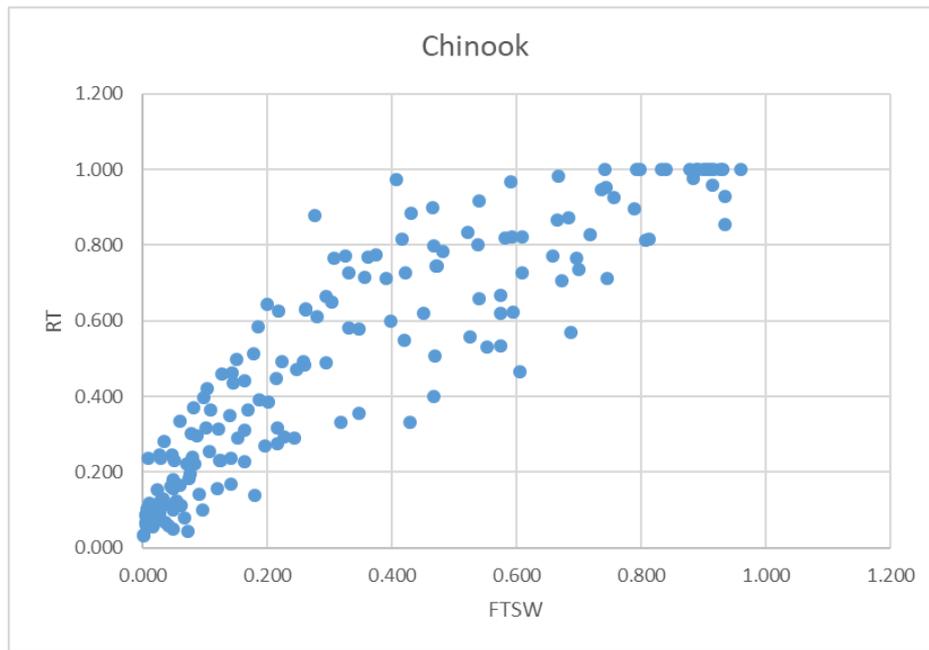


Fig.8: rappresentazione di come varia la traspirazione in funzione dell'acqua traspirabile per piante varietà Chinook

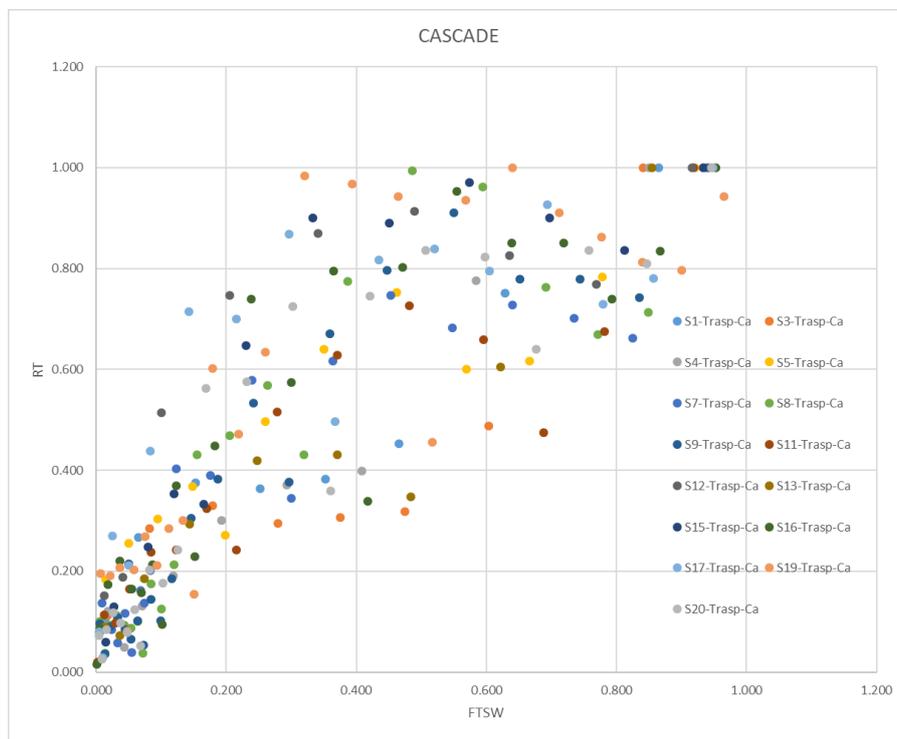


Fig.9: rappresentazione piante stressate varietà Cascade

Successivamente è stata calcolata la curva logistica (DR logistic) per interpolare i dati. Questa equazione ha permesso di calcolare la curva sia per Cascade che per Chinook. In figura 10 e in figura 11 sono rappresentate le due curve calcolate con l'equazione DR logistic.

Equazione DR LOGISTIC: $y = \gamma + \frac{1-\gamma}{1+e^{-\alpha-\beta x}}$

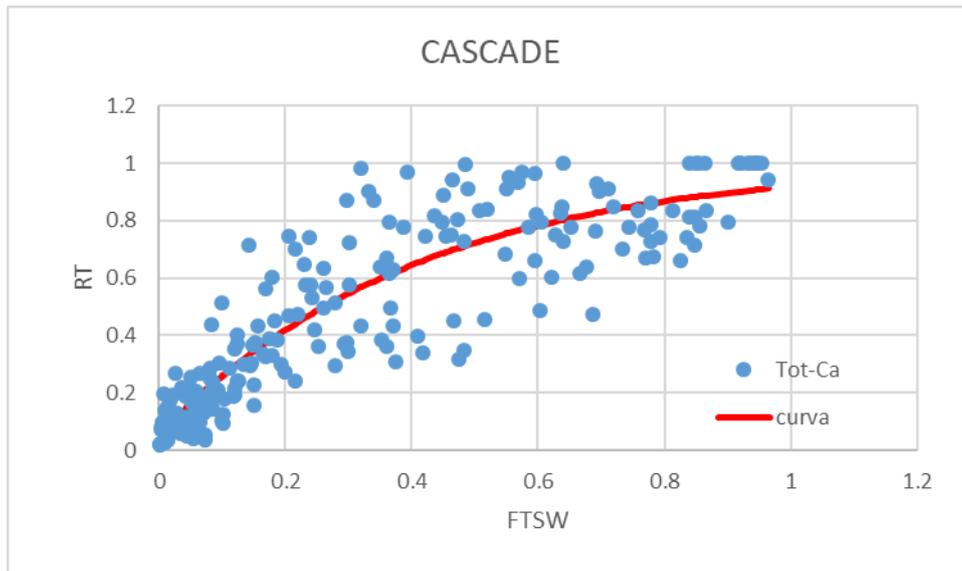


Fig.10 curva di traspirazione per varietà Cascade

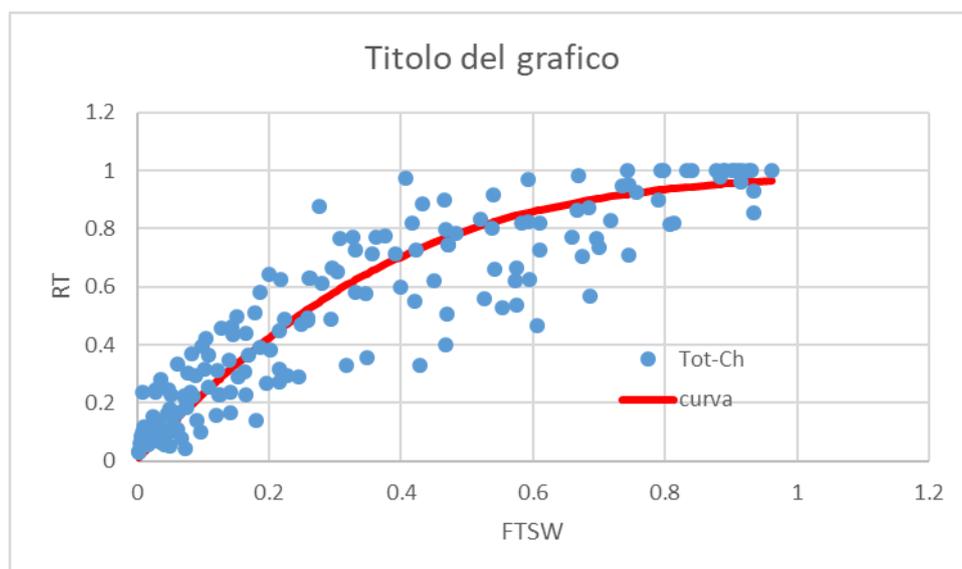


Fig.11 Curva di traspirazione varietà Chinook

Dall'osservazione di questi grafici è stato notato che sulla varietà Cascade alcuni punti erano di molto al di sotto della curva (come raffigurato in Figura 10). È stato quindi verificato quali piante fossero troppo al di sotto di tale curva ed è risultato che erano le piante che presentavano sintomi di malattia. Si è quindi proceduto a dividere le piante malate dalle non malate per entrambe le varietà al fine di ottenere curve diverse e vedere come variavano. Alla fine, ne sono risultate 3 curve: due per Cascade e una per Chinook.

Abbiamo diviso quindi le piante malate e quelle non malate sia per la varietà Cascade che per la varietà Chinook, come rappresentato in Figura 12 e in Figura 13, in cui in rosso sono state espresse le piante malate, e in verde le piante non malate.

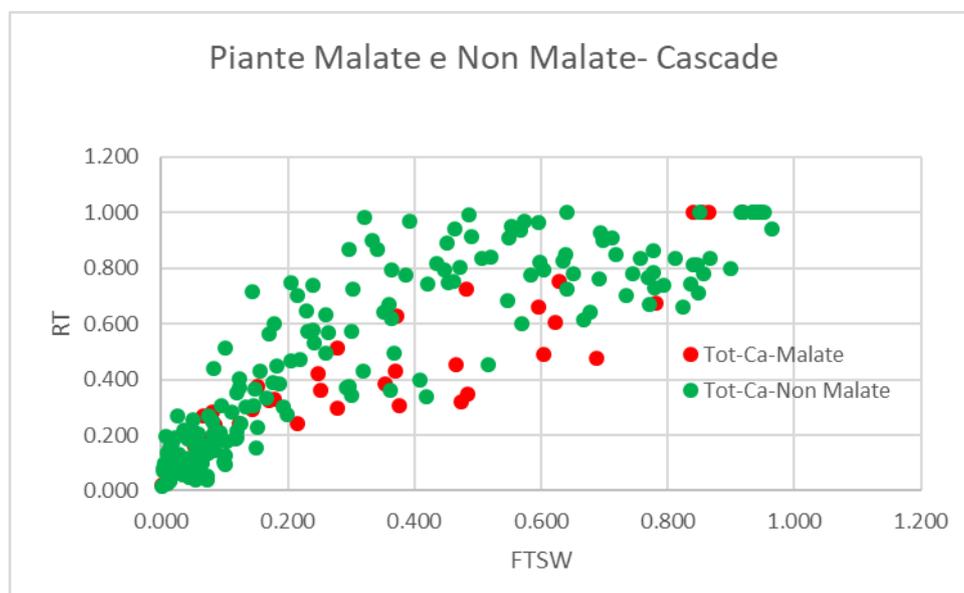


Fig.12 Rappresentazione piante malate (in rosso) e non malate (in verde) per varietà Cascade

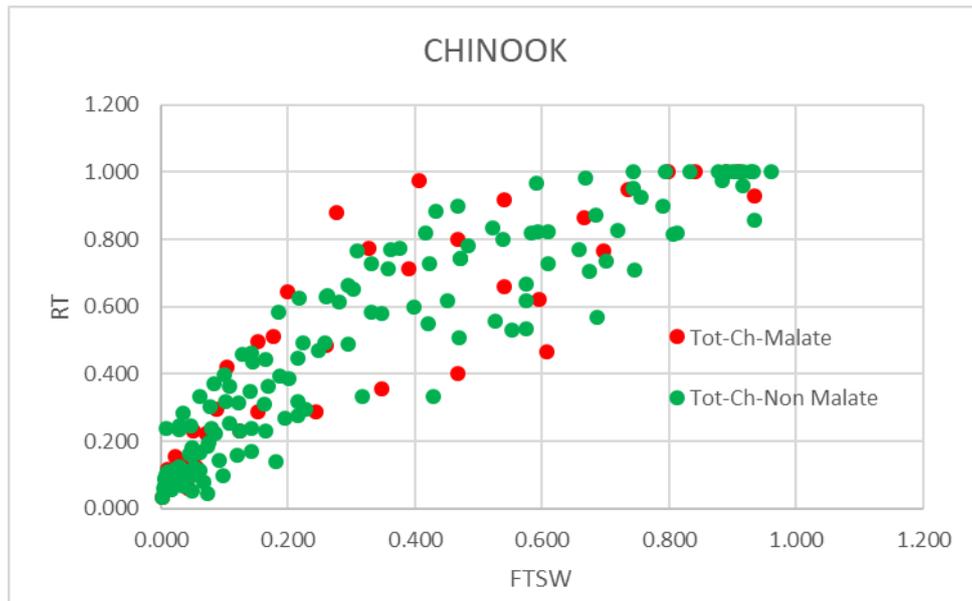


Fig.13 Rappresentazione piante malate (in rosso) e non malate (in verde) per varietà Chinook

Mentre per la varietà Cascade possiamo osservare in Figura 12 che c'è una differenza di posizione tra piante malate (posizionate più in basso) e non malate (parte alta del grafico), per Chinook non si è notata la medesima differenza (Figura 13).

Dividendo così le due tipologie di piante sono state riscontrate delle curve differenti.

Per quanto riguarda Cascade, per le piante non malate, la curva segue l'andamento previsto (Figura 14): la traspirazione diminuisce all'aumentare della scarsità d'acqua, crescendo fino a 0.8 di acqua disponibile e poi rimane costante.

L'equazione utilizzata è stata la Richards, molto utilizzata sull'analisi dell'accrescimento.

$$\text{Equazione Richards: } y = \frac{\alpha}{(1 + e^{b-cx})^{1/d}}$$

Di seguito le due curve per le piante non malate (Fig.14) e per le piante malate (Fig.15) per la varietà Cascade:

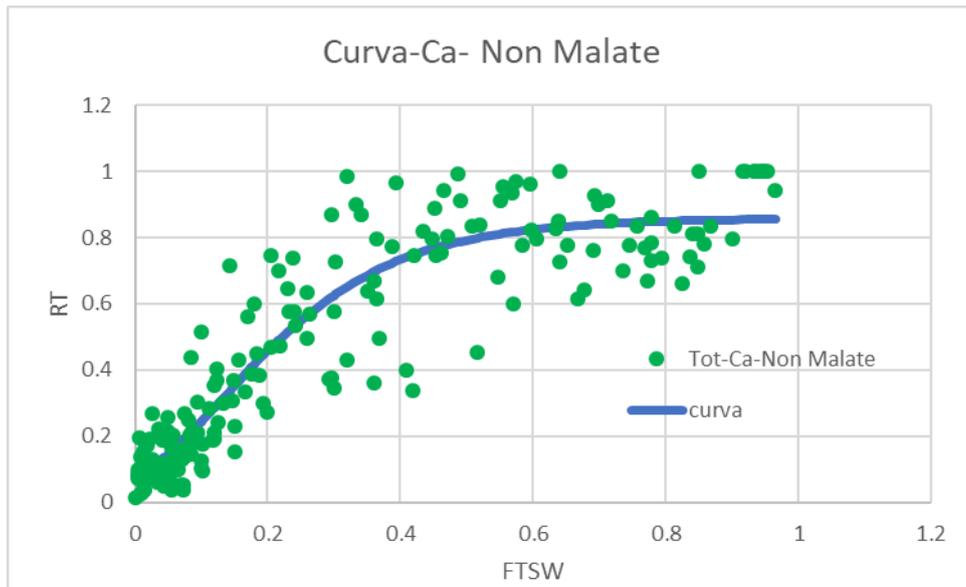


Fig.14 Curva di traspirazione piante non malate varietà Cascade

Per le piante malate, è stata invece utilizzata l'equazione DR-Multistage 4:

$Y = \gamma + (1 - \gamma)(1 - e^{\beta_1 x - \beta_2 x^2 - \beta_3 x^3 - \beta_4 x^4})$ Qui la situazione è differente (Figura 15). La cosa interessante è proprio questa: è come se ci fossero due stadi.

La traspirazione è comunque a metà rispetto alle piante non malate: possiamo notare che è 0.45 mentre le non malate sono a 0.8, ovvero quasi il doppio.

Le piante malate arrivano fino a 0.4, le non malate a 0.8 di traspirazione.

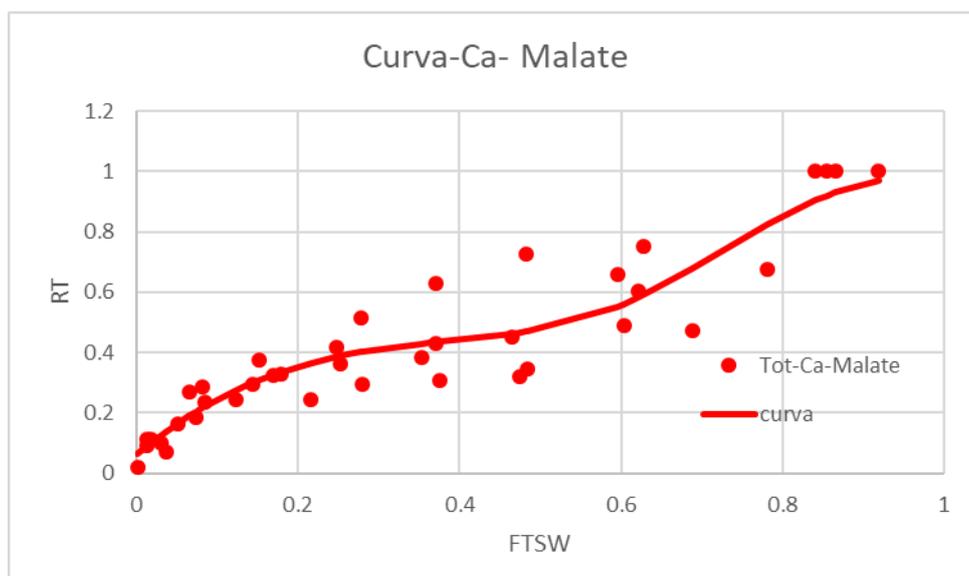


Fig.15 Curva traspirazione piante malate varietà Cascade

Per quanto riguarda Chinook è stata utilizzata direttamente la regressione logistica: $y = \gamma + \frac{1-\gamma}{1+e^{-\alpha-\beta x}}$ per interpolare i punti e far passare la curva attraverso i punti in Figura 16. Questo approccio è stato adottato poiché, a differenza di Cascade, la divisione tra piante malate e non malate per Chinook, come mostrato nella Tabella 8, non ha fatto notare una netta divisione tra piante malate e non malate e quindi prodotto due curve con andamenti distinti.

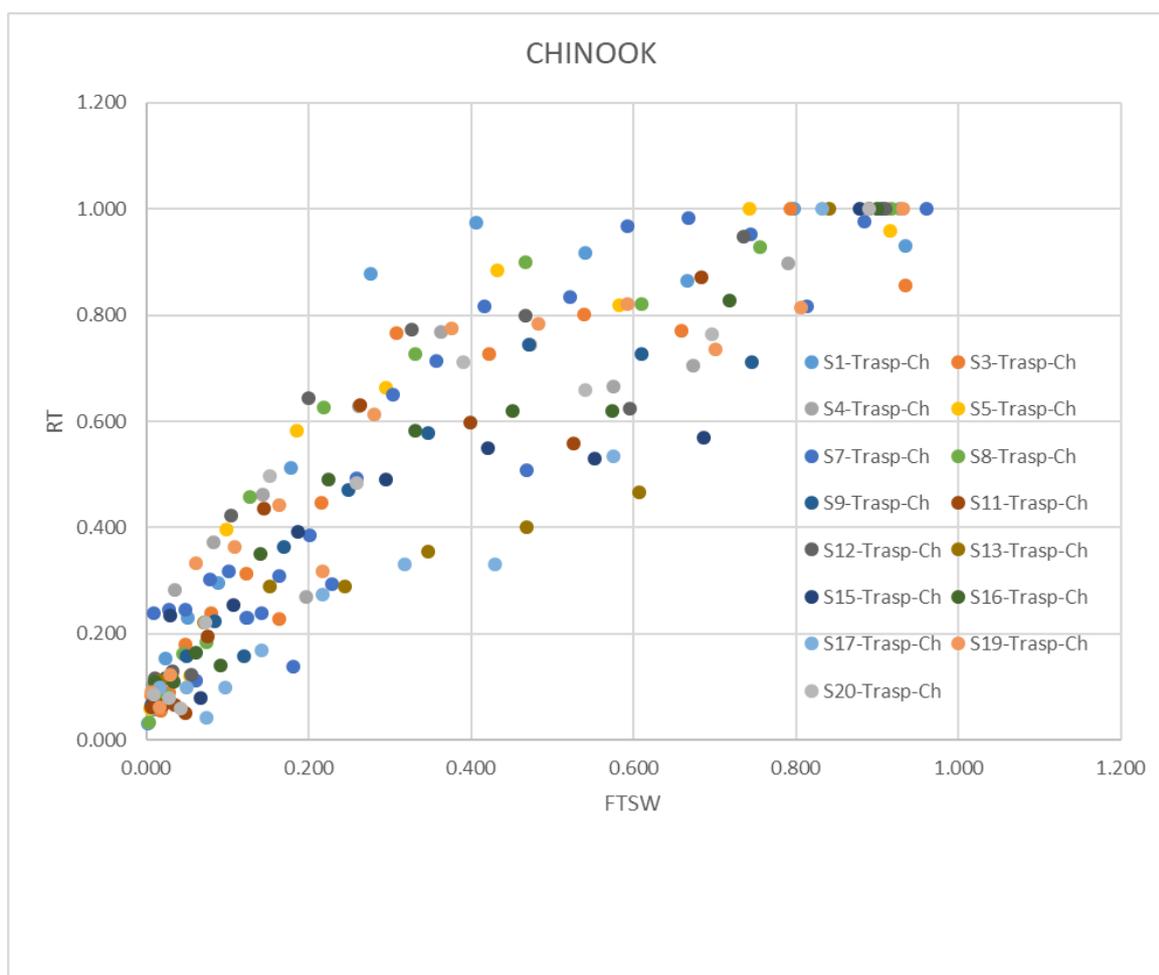


Fig.16 Rappresentazione di come varia la traspirazione per le piante stressate varietà Chinook

CAPITOLO 4- RISULTATI E DISCUSSIONE

È stato notato che il comportamento delle due varietà relativo allo stress idrico era molto simile.

Le due varietà hanno mostrato curve simili in termine di traspirazione, reagendo in modo analogo allo stress idrico: a mano a mano che diminuisce la frazione dell'acqua traspirabile, diminuisce la traspirazione. La principale differenza osservata è legata al tempo medio di sopravvivenza, con una differenza di circa 4 giorni tra le due varietà. Chinook ha dimostrato di deperire prima, il che implica una finestra di intervento irriguo più stretta.

In sintesi, è emerso che le differenze tra le due varietà non sono sostanziali, ad eccezione del tempo medio di mortalità.

Dal punto di vista fisiologico, è rilevante sottolineare che per le piante non malate, la traspirazione può essere equiparata a una retta. Immaginando la pianta, è possibile capire che man mano che la disponibilità idrica diminuisce, la traspirazione comincia a ridursi. Questo comportamento è interessante dal punto di vista fisiologico, poiché la pianta mantiene un'attività significativa fino a quando la disponibilità idrica scende al di sotto dello 0.4, dopodiché si verifica una diminuzione della traspirazione.

Le piante malate, al contrario, si trovano già in condizioni di stress. Pertanto, iniziano a risparmiare acqua fin da subito, segnalando una situazione critica e avviando un risparmio idrico immediato. Questo suggerisce che la pianta è già sotto stress, e quindi una diminuzione dell'approvvigionamento idrico rappresenta un altro stress.

Questa dinamica però, non si manifesta nel caso di Chinook. Questa varietà, infatti, mostra un andamento abbastanza conservativo, curvandosi abbastanza presto rispetto a Cascade. Cascade ha il vantaggio di mantenere un'elevata traspirazione anche a bassi livelli di disponibilità idrica prima di subire un crollo. In sintesi, Chinook risulta essere una varietà più conservativa in termini idrici evidenziando un adattamento più precoce allo stress idrico, mentre Cascade, pur rimanendo attiva a bassi livelli d'acqua, subisce una diminuzione precipitosa successivamente.

Le nostre ipotesi suggeriscono che la varietà Cascade sembra essere significativamente influenzata dalle condizioni di salute della pianta, mentre la varietà Chinook, indipendentemente dal grado di malattia, manifesta un comportamento uniforme. La differenza di quattro giorni per il tempo medio di sopravvivenza potrebbe essere sufficiente per accentuare ulteriormente gli effetti della malattia, poiché le piante malate di cascade hanno mediamente quattro giorni in più di sopravvivenza rispetto alle malate di Chinook. Nel caso di Chinook, la variazione tra piante malate e non malate è meno evidente poiché il periodo più breve di sopravvivenza impedisce alla malattia di sommarsi in modo significativo allo stress idrico.

Questi risultati possono fornire le basi per eventuali studi futuri.

BIBLIOGRAFIA:

1. admin. (2023a, May 23). *Lo sviluppo di nuove varietà di luppolo HOPSTORE*. HOPSTORE. <https://www.hopstore.fr/it/la-creation-de-nouvelles-varietes-de-houblons>
2. Bellaio, G. (2016). *Characterization of different hop (Humulus lupulus L.) cultivars: response to drought stress, chemical composition and sensory profile*.
3. Čerenak, A., Ranzinger, J., Drinovec, L., Čremontik, B., Šustar- Volsic, J., & Meglic, V. (2010). *1. Physiological response of hop (Humulus lupulus L.) plants to drought stress*.
4. *Chinook*. (2014, March 1). Hopslight. <https://www.hopslight.com/hops/dual-purpose-hops/chinook/>
5. *Chinook Hops - Substitution, Flavor, Aroma [2023]*. (n.d.). Beer Maverick. Retrieved November 26, 2023, from <https://beermaverick.com/hop/chinook/>
6. Donner, P., Pokorný, J., Ježek, J., Krofta, K., Patzak, J., & Pulkrábek, J. (2019). *1. Influence of weather conditions, irrigation and plant age on yield and alpha-acids content of Czech hop (Humulus lupulus L.) cultivars*.
7. Gloser, V., Baláž, M., Jupa, R., Korovetska, H., & Svoboda, P. (2014). *1. The response of Humulus lupulus to drought: the contribution of structural and functional plant traits*.
8. Hejnák, V., Hniličková, H., & Hnilička, F. (2015). *1. Physiological response of juvenile hop plants to water deficit*.
9. Jupa, R., Plavcováb, L., Flamikováa, B., & Glosera, V. (2016). *1. Effects of limited water availability on xylem transport in liana Humulus lupulus L.*
10. Kolenc, Z., Vodnik, D., Mandelc, S., Javornik, B., Kastelec, D., & Čerenak, A. (2015). *1. Hop (Humulus lupulus L.) response mechanisms in drought stress: Proteomic analysis with physiology*.
11. *Luppolo Chinook*. (2013, June 2). <https://www.birradegliamici.com/luppolo/chinook/>