



Istituto Statale di Istruzione Secondaria Superiore

G.B. CERLETTI

CORSO DI SPECIALIZZAZIONE ENOTECNICO

**SISTEMI PER LA GESTIONE IDRICA IN
VIGNETO: SENSORI PER IL MONITORAGGIO
DELLA RITENZIONE IDRICA SULLA PIANTA E
LORO APPLICAZIONE IN CAMPO**

Classe: 6[^]BEN

Prof.re: Sgorlon Enrico

Dott.ssa Gaiotti Federica

Dott. Cagnin Federico

Studente: Lorenzetto Ugo

ANNO SCOLASTICO 2022/2023

INDICE

1. ABSTRACT.....	4
2. INTRODUZIONE.....	5
2.1 Gli effetti dello stress idrico.....	6
2.2 Gli effetti dell'eccesso idrico.....	6
2.3 L'impiego dell'irrigazione in vigneto.....	6
2.4 Pratiche agronomiche a supporto della gestione idrica.....	9
2.5 Metodi per misurare il fabbisogno idrico.....	10
2.5.1 Metodi indiretti.....	10
2.5.2 Metodi Diretti.....	11
3. OBIETTIVO.....	16
4. MATERIALI E METODI.....	17
4.1.1 Caratteristiche climatiche dell'area di sperimentazione.....	17
4.1.2 Caratteristiche pedologiche dell'area di studio.....	19
4.1.3 Caratteristiche dell'impianto di irrigazione.....	21
4.1.4 Descrizione piano sperimentale.....	22
4.1.5 Il sistema multisensore dotato di Wcam.....	23
4.2 Descrizione delle misurazioni in campo	26
4.3 Analisi statistica.....	29
4.4 Approfondimento sulla misura della variazione dell'inclinazione fogliare tra giorno e notte...30	
5. RISULTATI E DISCUSSIONI.....	35
5.1 Caratteristiche climatiche del sito nel periodo di sperimentazione.....	35
5.2 Analisi degli interventi irrigui in relazione dei fenomeni precipitativi 2022.....	35
5.3 Elaborazione dei dati raccolti manualmente e comparazione tra le 2 tesi.....	36
5.4 Validazione delle funzionalità della stereo camera e confronto con i dati acquisiti in campo...39	
5.5 Valutazione dei risultati ottenuti dal confronto tra programmi Aurora WEB sull'individuazione dell'inclinazione fogliare.....	41
6. CONCLUSIONE.....	44
7. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	46

1. ABSTRACT

Nowadays water management is a key factor in agriculture. In the past years we've been facing hotter years and dryer summers. Viticulture is now dealing with such problems, and in the future they could get even worse. Adopting innovative water management strategies is the only way to accomplish higher efficiencies in water usage, and so to guarantee a more stable and sustainable future. Today we are able to reach irrigation efficiencies higher than 95% in water usage, but this is still not enough; we must strive to get more and more efficient day by day and to use less and less water, and to be able to maintain a stable production in terms of quantity and quality through the time.

In the past 3 years, from 2020 to 2022, the Conegliano Agricultural Research Center (CREA) has studied an innovative way to monitor water retention on vines and other plants, by merging multiple detection methods together, and by working with new technologies.

This essay focuses on the 2022 research year, in particular on 27th of July and the 29th of August, where I personally collected the data and had the possibility to participate to this project.

The vineyard is located in Spresiano, and the variety cultivated is Pinot Gris, originary of France, adapted to a cooler climate than ours, and a total of 24 plants has been researched, 12 normally irrigated, and other 12, that in year 2022 have only been watered on the last 10 days before the harvest. The combination of such factors, combined with the 2022 intense heat and the lowest precipitations of the last 28 years, has led to the detection of very different data, and after statistic elaboration, to the confirmation that the new sensor technology works and could be used to create new DSS systems.

2. INTRODUZIONE

Gli effetti del clima influiscono in modo determinante nel mondo agricolo, spesso con scarsa prevedibilità, portando ad avere delle situazioni climatiche completamente diverse in un lasso di tempo molto breve. Nel 2019, si sono verificate copiose precipitazioni costanti in tutto il mese di Maggio (ARPAV, 2019; 1). Il 2022, si è presentato come uno degli anni, più caldi, ma soprattutto il più siccitoso degli ultimi 28 anni (ARPAV, 2022; 2). Nonostante l'estrema variabilità climatica, si ipotizza comunque, che i prossimi anni saranno caratterizzati da un continuo innalzamento della temperatura, con conseguenze molto simili a quelle viste nel 2022 (ARPAV, 2022; 3). Le cause sono ovvie, e nonostante si spinga a una gestione più sostenibile delle risorse e della loro trasformazione, l'applicazione di queste strategie su larga scala risulta molto costoso ed inefficiente.

Tra le varie conseguenze legate al cambiamento climatico, il problema "acqua" è uno tra i principali, e in agricoltura si sta facendo sentire sempre di più. Sono innumerevoli i video online, che testimoniano i gravi effetti sull'agricoltura dovuti alla siccità (Fanpage, 2022; 4). togliendo l'acqua al settore primario creerebbe delle grosse problematiche a livello globale, per cui risulta necessario adottare strategie per far sì che la produzione rimanga costante anche in situazioni di scarsità o totale assenza di precipitazioni, in combinazione con temperature elevate.

Charles Darwin, illustre studioso del secolo XX in uno dei suoi molteplici studi evidenzia come di fronte a cambiamenti nel clima e nella biodiversità, la capacità di adattarsi al nuovo ambiente sia la chiave del successo di una specie (Darwin, 1859; 5), lo stesso vale per il settore agricolo e a maggior ragione in quello viticolo. Lo sviluppo dal punto di vista tecnologico che abbiamo raggiunto è molto avanzato: nuove ricerche continuano a portare sul mercato soluzioni versatili ed economiche, ma nonostante questo, l'irrigazione in ambito viticolo è molto volentieri una zona grigia per diverse ragioni. Un primo motivo è che data l'enorme diversità microclimatica, non sempre risulta necessario irrigare, anzi alle volte si può sfruttare uno stress idrico lieve per indurre la pianta a concentrarsi sullo sviluppo di carboidrati a discapito degli acidi organici, o addirittura, in condizioni già di per se ideali, andare ad irrigare potrebbe portare a squilibrare lo stato vegeto-produttivo della pianta. Questi sono solo alcuni esempi, ma mostrano come ci sia ancora molto da ricercare, soprattutto sul creare delle soluzioni semplici ed adattabili a situazioni molto diverse tra loro (es: pianura con collina, terreni ristagnanti con terreni ricchi di scheletro, sesti d'impianto e metodi di allevamento diversi tra loro ecc..). Questo studio, mira a cercare la migliore soluzione, analizzando a fondo il contesto idrico in viticoltura.

2.1 Gli effetti dello stress idrico

In ambito vitivinicolo, l'irrigazione permette di controllare la produzione, sia qualitativamente che quantitativamente, in base alla fase fenologica. In fase di pianto e pre-germogliamento, lo stress idrico è deleterio per la vite, perché comporta un ritardo nel germogliamento e un rallentamento dello sviluppo della pianta, dato che le radici non riescono ad assorbire acqua (Zurro et al., 2008; 6), portando a un conseguente sviluppo delle gemme stentato (Lebhon et al., 2006; 7; Pellegrino et al., 2005; 8), con foglie piccole e internodi corti, e compromettendo l'efficienza fotosintetica (Charrier et al., 2018; 9). Queste problematiche, vanno a protrarsi poi verso l'infiorescenza, comportando la colatura dei fiori e in casi estremi, la compromissione dell'intera infiorescenza. L'operazione di lasciare la pianta in stress idrico già in questa fase però, può portare ad un diradamento naturale, portando a risultati in termini di qualità dell'uva simile al vitigno Picolit, ovvero concentrando energie e risorse in meno sugli acini. In fase di maturazione, gli effetti dello stress idrico portano a benefici dal punto di vista qualitativo. La ridotta efficienza fotosintetica, rende i carboidrati maggiormente disponibili per essere allocati nell'uva (Van Leeuwen et al., 2009; 10), portando a produzione maggiore di composti aromatici, zuccherini e coloranti. Inoltre, l'accrescimento ridotto, porta ad un rapporto uva/bucce maggiore e di conseguenza possibilità di migliore estrazione di aromi e di colore (Munitz et al., 2020; 11).

2.2 Gli effetti dell'eccesso idrico

Dall'altro lato, bisogna considerare anche gli effetti del surplus idrico. Portando oppositamente alla ritenzione idrica, la vite si presenta con grande vigoria, ma questo comporta comunque aspetti simili in fasi di stress prolungati, ovvero colatura dei fiori in primavera e difficoltà nella differenziazione delle gemme (Zurro et al, 2008; 6). Infatti, lo stress idrico, va a rendere il terreno asfittico, e non avendo ossigeno a livello radicale, la pianta produce acetaldeide ed etanolo, trasformati poi in etile ed ABA (acido abscissico), che regolano l'apertura degli stomi, limitando l'attività fotosintetica della pianta, portando in alcuni casi anche alla morte (Luise, 2019; 12). Le bacche si presentano diluite negli aromi e nel colore, con alte concentrazioni di acidi, con incremento volumetrico, e conseguente assottigliamento delle pareti della buccia, nonché in varietà fragili, con il disseccamento del rachide (Zurro et al, 2008; 6). L'alta vigoria della pianta, causa inoltre ombreggiamento e diminuzione del ricircolo d'aria, portando ad alte umidità nella parete vegetativa e che possono essere causa di maggior probabilità di insorgenza di malattie fungine.

2.3 L'impiego dell'irrigazione in vigneto

L'irrigazione ha come obiettivo finale coadiuvare l'interazione tra vite, suolo e atmosfera. E' perciò importante, definire in che modo si interviene in questo processo, mediante l'irrigazione. Normalmente, l'irrigazione può essere di soccorso e ausiliaria. La loro differenza è che nella prima, si interviene continuamente, mentre nella seconda, gli interventi sono

limitati solo in fasi fenologiche specifiche o in momenti di stress idrico. Va inoltre specificato, che per mezzo dell'irrigazione, si può intervenire in modi diversi, dal semplice apporto idrico, come ad esempio l'irrigazione antibrina, o la fertirrigazione, o addirittura l'ausilio irriguo per dilavare le alte concentrazioni di sale nel terreno. Si pensi soprattutto ai trattamenti fitosanitari, anch'essi una forma di irrigazione.

I diversi metodi di irrigazione, si distinguono per le modalità con cui l'acqua viene distribuita, i principali sono: a scorrimento superficiale o inondazione dell'appezzamento (ormai in disuso poiché poco efficienti) e metodi a pressione, comprendenti aspersione e micro-irrigazione (interrata e non).

Il metodo per aspersione, è contraddistinto da alta efficienza. In assenza di vento, si arriva a numeri come l'80 %, e i principali vantaggi sono in termini di volumi e dosaggi. Infatti, si può decidere il volume d'acqua, oltre che la polifunzionalità, dato che può essere usata per scopi termici e ausiliari. I principali svantaggi sono dovuti a un forte dispendio energetico e sprechi per derive o ruscellamenti, perciò in questi casi, la progettazione dell'impianto è fondamentale. La micro-irrigazione invece, differisce completamente da quest'ultima, sia per pressione d'esercizio più bassa, che per capacità di turnazioni frequenti. Questo, considerando anche la possibilità di scegliere l'uniformità di distribuzione, porta questi tipi di impianto a raggiungere livelli di efficienza anche del 95 %. Questo è possibile perché limita fortemente gli sprechi per evaporazione, per deriva, per ruscellamento e per percolazione profonda, ed elimina il problema dell'eccesso idrico, limitando l'insorgenza di malattie fungine. Oltretutto, pressioni basse, richiedono minore spreco energetico, e, per mezzo di ugelli auto compensanti, si riesce ad avere una portata costante, anche in pendenza e in presenza di file lunghe. Lo svantaggio in questo caso però, sono i costi di messa in opera dell'impianto e relativa manutenzione, data anche la costanza del funzionamento.

Infine, la micro-irrigazione interrata, o subirrigazione, è lo step finale in termini di evoluzione dell'impianto di irrigazione. Interrando l'ala gocciolante a 20/30 cm di profondità, si riesce a portare l'acqua direttamente a livello radicale, riducendo drasticamente fenomeni di evaporazione, ruscellamento e percolazione. Quest'ultima soluzione, oltre ad avere costi di applicazione maggiori della precedente, porta enormi difficoltà in termini di manutenzione, e non permette l'utilizzo di alcuni organi di lavorazione del terreno che potrebbero danneggiare di molto l'impianto.

Per garantire un'alta efficienza irrigua, diviene essenziale identificare i tempi e i volumi irrigui, allo scopo di ottimizzare la produzione, e questi due dati sono principalmente influenzati dalle condizioni pedoclimatiche, colturali, e dell'impianto irriguo presente. Il fabbisogno idrico, potrà essere quindi stimato, qualora si sappia la sostanza secca prodotta e il coefficiente di traspirazione della pianta (Zurro et al., 2008; 6). Questo coefficiente, è molto variabile in base alla specie e alla varietà. Molte piante, tendono a traspirare molto, mentre altre sono più

propense a trattenere l'acqua. Inoltre, la traspirazione viene pesantemente influenzato dal tipo di impianto presente, ma soprattutto dalla tessitura del terreno. I terreni sabbiosi drenano molto l'acqua, di conseguenza la disponibilità idrica è ridotta (36 mm per m³ di suolo), mentre nei terreni argillosi, l'acqua che può essere mantenuta a disposizione della pianta è nettamente maggiore (167 mm per m³ di suolo) (Sthockley, 1956; 13). È quindi chiaro, che con un impianto in subirrigazione a goccia, in terreni sabbiosi bisognerà irrigare a bassi volumi e alta frequenza, alle volte anche quotidianamente, mentre in terreni argillosi, la frequenza sarà più bassa (anche settimanalmente), e con volumi maggiori (10/12 mm ad adacquata) (Miravalle, 2013; 14).

Parlando ora di tempistiche in viticoltura, emerge da uno studio di un vigneto sottoposto a stress idrico, che le fasi critiche sono a 2 settimane prima della fioritura, o dopo 3-4 settimane da questa (Miravalle, 2013; 14). Lo studio di Munitz, conferma quanto riportato prima, infatti, irrigare in primavera nelle prime fasi di crescita vegetativa, comporta un'enfasi di ogni parametro sia vegetativo che fisiologico, sia sulla tesi irrigata, che sulla tesi dove non si è mai irrigato. Inoltre, in caso questo intervento venga ritardato, si nota una sostanziale differenza nella dimensione dei fusti di 7 anni, comparandoli con una tesi irrigata precocemente (3 volte inferiori), indicando che posporre l'intervento idrico, ha effetti negativi sulla produttività e sulle strutture vegetative della stagione corrente e successiva. causa inoltre, uno sviluppo limitato dei tessuti xilematici e una conseguente riduzione della produzione di nutrienti stoccabili (Munitz et al., 2020; 11).

È quindi necessario, irrigare seguendo le varie fasi fenologiche. Risulta quindi fondamentale irrigare fino al 60 % dello sviluppo vegetativo della vite, andando a coprire dal 75 % al 95 % della capacità idrica di campo (CIC).

La capacità idrica di campo, indica l'intervallo di bagnatura del substrato, entro il quale si deve mantenere la coltura se vogliamo che non soffra per eccesso o scarsità d'acqua, ovvero esprime la quantità d'acqua contenuta nel suolo dal momento in cui smette di percolare (Zurro et al., 2008; 6). La CIC di un suolo, è data dalle caratteristiche granulometriche dello stesso, che lo rendono più o meno propenso, tramite imbibizione, a contrastare la capillarità e la tensione superficiale, la naturale percolazione dell'acqua. In fioritura e invaiatura, gli interventi dovrebbero essere solo funzionali a mantenere l'umidità nel terreno, solo in caso questo sia indispensabile. Infatti, un lieve stress in fase di allegagione, potrebbe equilibrare il rapporto vegeto-produttivo della pianta. La condizione di stress, va mantenuta anche durante l'invaiatura, fino a raggiungere una capacità di campo del 50 % a 1-2 settimane prima della raccolta, in modo da non compromettere la turgidità degli acini. Dopo la raccolta, l'irrigazione dovrebbe essere gradualmente ridotta, al solo scopo di mantenere le funzionalità fogliari e radicali fino alla dormienza (Zurro et al., 2008; 6). In questa fase infatti, la vite accumula

amido nelle radici per la primavera successiva, per cui creare competizione tra parte ipogea ed epigea, sarebbe deleterio per lo sviluppo delle gemme l'anno successivo (Peretti, 2019; 15).

2.4 Pratiche agronomiche a supporto della gestione idrica

Per mantenere un'alta efficienza idrica, è necessario coadiuvare l'irrigazione con pratiche agronomiche adatte. Una tra queste, è la scelta del portinnesto, che influisce per più del 40 % sulla resa produttiva (Enoforum 2017; 16). Inizialmente, l'adozione del portinnesto è stata considerata, per far fronte a malattie come la fillossera, oggi invece, si spinge a cercare portinnesti che si adattano meglio alle caratteristiche pedoclimatiche del suolo, in particolare in climi siccitosi, in terreni salini e in calcarei, non solo per mantenere, ma addirittura incrementare la produzione. A tale scopo, i portinnesti possono essere usati anche per alterare la vigoria, la fertilità, il periodo di germogliamento e di raccolta della coltura scelta (Marín et al., 2021). Tra i più adatti a resistere alla siccità, troviamo Ruggeri 140, Richter 110, Paulsen e sebbene con minore efficacia il 420A, il 41B, e il Fercal selezionato dalla INRA (Institut national de la recherche agronomique). I geni che apportano resistenza alla siccità, escluso il 420, sono dati dall'incroci tra *Vitis berlandieri* e *Vitis rupestris*. La caratteristica principale di queste piante è l'angolo geotropico, che arriva addirittura a 20°-30°, portando l'80 % delle radici, a raggiungere profondità oltre i 60 cm, quindi rendendole capaci di assorbire l'acqua in profondità.

Inoltre, nel caso il rapporto tra acqua nel terreno e vitalità della pianta non sia ottimale, esistono delle pratiche agronomiche in grado di migliorare questo fattore. Un primo utilizzo efficace, è la pacciamatura con sarmenti trinciati, che tra i molteplici benefici, ha anche quello di riduzione dei consumi irrigui del 18 % (Lopez-Urrea et al., 2020; 17) e di una riduzione dell'evaporazione su terreni non irrigati del 13 % (Buesa et al., 2021; 18). Una seconda tecnica agronomica, è l'utilizzo di cover crops, che limitano i fenomeni di ruscellamento. Anche se c'è rischio di competizione con la pianta, col tempo si sono trovate specie e varietà sempre meno invadenti e più resistenti allo stress idrico. In pianura, sono consigliate ad interfile alternate, piante non perenni che non crescono durante l'estate. Invece in collina, è consigliato un mix di festuche, mentre in ambienti semi-aridi, un mix di graminacee e leguminose. In ambienti umidi, non è sconsigliato l'utilizzo di piante permanenti, anche in corso di germogliamento (Medrano et al., 2015; 19). Ulteriore accorgimento, è l'orientamento del vigneto in direzione Nord-Sud, che rispetto ad uno orientato Est-Ovest, ha consumi inferiori in termini di traspirazione, di conseguenza maggior efficienza idrica (Hunter et al., 2016; 20). Altre ricerche, affermano che esponendo il vigneto principalmente alle radiazioni mattutine, questo aumenti l'efficienza idrica (Buesa et al., 2020; 21). Infine, trovare un compromesso sulla densità di impianto, è un'alta importante pratica. Infatti, sesti d'impianto stretti, comportano una superficie irradiabile maggiore, con conseguente maggiore consumo idrico,

mentre sesti d'impianto allargati, anche se hanno minori consumi, comportano produzioni inferiori e maggiori costi marginali (Van Leeuwen C. et al., 2019; 22). Sta a discrezione del produttore, intervenire con defogliazioni per regolare l'equilibrio tra gli organi della vite e ridurre l'esigenza idrica.

2.5 Metodi per misurare il fabbisogno idrico

Le esigenze irrigue della coltura, variano in base alle necessità traspiratorie e dalla disponibilità idrica nel suolo (Phogat et al., 2020; 23). Più la coltura è vicina al punto di appassimento, più è necessario reintegrare la concentrazione idrica (Milella et al., 1996; 24). Il consumo idrico, viene dettato da fattori gravitazionali, evaporazione dal suolo e traspirazione per mezzo della pianta. Conoscere il momento in cui tali condizioni si presentano, è essenziale per un'efficiente gestione irrigua. Per misurare il fabbisogno idrico, possono essere usati diversi metodi, divisi tra diretti ed indiretti e dipendono dallo scopo per cui è necessario usarli. Infatti, conoscere il fabbisogno idrico, è essenziale per creare un calendario irriguo, e poter conoscere in anticipo l'esito in termini quantitativi e qualitativi dell'annata. I dati indiretti, potrebbero servire a intervenire fisicamente su eventuali lacune dal punto di vista idrico nel vigneto (ristagni, zone di percolazione) e comprendere la reazione fisiologica delle piante, al fine di scegliere il portinnesto ideale per resistere all'eventuale deficit idrico.

I metodi indiretti, si basano su dati atmosferici o del terreno, mentre quelli diretti, sulle risposte che la pianta manifesta in presenza di stress.

2.5.1 Metodi indiretti

I metodi indiretti si suddividono in:

1. Pedologici, a loro volta suddivisi in volumetrici e tensiometri
2. Atmosferici ed evapotraspirazione
3. Bilancio idrico

I metodi indiretti, prevedono la misura della concentrazione idrica nel suolo. Individuano l'entità degli scambi gassosi tra pianta ed atmosfera, basandosi su stime del bilancio idrico della pianta. Per questa metodologia, è indispensabile l'ausilio di sensori, per misurare il contenuto idrico del suolo e il suo potenziale idrico. Nel primo caso, i sensori sono definiti volumetrici, poiché rilevano la percentuale d'acqua in un dato volume di terreno. Nel secondo caso, invece, si misura la forza con cui l'acqua viene trattenuta dal suolo. Gli strumenti volumetrici più diffusi, sono i sensori capacitivi come le sonde TDR, che funzionano trasmettendo un impulso, che viene catturato e riflesso da una sonda nel terreno. Il tempo, che l'impulso impiega ad attraversare il terreno, varia in base alla quantità di acqua presente nel

suolo. Calibrando gli strumenti con attenzione, si riesce ad avere misure più accurate (Luise, 2019; 12). Gli strumenti più adatti a misurare il potenziale idrico, sono i tensiometri o gli psicrometri. Questi sensori ottengono dati elettrici, elettromagnetici, ottici, radiometrici, meccanici, acustici, pneumatici o elettrochimici, tramite processi di tipo chimico-fisico o meccanico (Miràs-Avalos et al., 2021; 25). Questo tipo di attrezzatura, è costante ed autonoma nella raccolta dati, oltre che comoda, data la possibilità di rilevamento da remoto, anche se richiedono regolare manutenzione e vanno posizionati in numero sufficiente da coprire l'intero appezzamento, che va mappato in precedenza. Infine, hanno azione limitata, non permettendo di coprire l'intero apparato radicale della pianta.

Il secondo metodo indiretto si basa, invece, sullo studio della traspirazione e dell'evaporazione mediante due metodi: il primo è la covarianza Eddy, la seconda è il rapporto di Bowen. La covarianza Eddy, è un metodo standard, che determina i flussi di energia e di materia, quindi misura direttamente il carbonio, l'acqua e il flusso di calore tra le piante e l'atmosfera, mentre il rapporto Bowen, è laborioso e come la covarianza, necessita di strumenti specifici e costosi. Tuttavia, esiste anche il metodo "SR", che compie un'analisi delle particelle d'aria che circondano ed interagiscono con la pianta. Questo metodo integrato con la covarianza, compensa i difetti intrinseci riducendo dati sovra e sottostimati in corso di stagione.

L'ultimo metodo analizzato, è quello del bilancio idrico. Per avere un dato di stima della concentrazione traspirabile di acqua contenuta nel suolo, vanno prima conosciuti i parametri come profondità di distribuzione delle radici nel suolo e la differenza tra input (pioggia e irrigazione), aggiungendo la riserva idrica già presente nel suolo e gli output (evaporazione, traspirazione e ruscellamenti).

2.5.2 Metodi diretti

I metodi indiretti invece, comprendono:

1. Osservazione diretta
2. Potenziale idrico, sia pre-alba, che foglia, che germoglio
3. Discriminazione del carbonio
4. Misurazione degli scambi gassosi
5. Flusso di linfa
6. Remote sensing (NDVI)
7. Termografia

Parallelamente ai metodi indiretti, vi sono quelli diretti, che possono basarsi unicamente sul monitoraggio di alcuni organi-spia della pianta, in modo da avere un'idea della situazione corrente ed eventualmente intervenire. Oppure, vanno ad aumentare la precisione, utilizzando metodi simili a quelli del potenziale idrico. Infatti, questi possono essere misurati su diversi

organi e con tempistiche diverse. Successivamente, si possono misurare gli isotopi del carbonio, gli scambi gassosi, oppure il flusso linfatico. Infine, si possono usare tecniche come il telerilevamento con specifico indicatore (NDVI), oppure sfruttare i dati della termocamera. Un primo metodo diretto molto semplice, è l'osservazione dei meristemi apicali, classificandoli in tre gruppi: 1, con apice ben eretto e prima foglia aperta che copre l'apice; 2, accrescimento ridotto ma prima foglia ricoprente l'apice; 3, germogli con crescita interrotta (Rodriguez-Lovelle et al., 2009; 26). Anche l'inclinazione della foglia, rientra tra i valori diretti. Infatti, la pianta per far fronte alla siccità, cambia l'angolo d'inclinazione delle foglie, andando a modificare il bilancio energetico, la temperatura, il tasso di fotosintesi e la traspirazione della foglia. Inclinando maggiormente la lamina, la pianta riduce la superficie esposta alla radiazione incidente, perciò, limita l'innalzamento della temperatura e di conseguenza abbassa le probabilità di danni da fotoinibizione. Nonostante questa relazione con lo stress idrico è evidente, ad oggi in letteratura si attestano poche referenze riguardo a questo comportamento, in risposta ad uno stress (Gamon et Pearcy, 1989; 27). La combinazione tra uno stress ossidativo, dovuto alle alte temperature, con uno stress idrico, può innescare la fotoinibizione, che si presenta con danni al fotosistema II (PSII) e alla capacità di fissaggio della CO₂. Per evitare il deperimento, la pianta adotta un meccanismo di adattamento, infatti, come spiega bene lo studio condotto da Paliotti et al. (2008), la vite Sangiovese, tramite fotoinibizione cronica, riesce ad isolare le foglie basali, in modo che non possano traspirare, mentre inclina verticalmente le foglie mediane per limitarne l'area colpita dalle radiazioni, evitando che l'attività fotosintetica si arresti completamente (Paliotti et al., 2008; 28).

La seconda metodologia, per misurare il fabbisogno idrico della pianta in modo diretto, è misurarne il potenziale, ovvero l'energia con cui la pianta sottrae acqua dal suolo e la fa circolare lungo i vasi linfatici. L'entità del potenziale idrico, si misura con "Ψ" (psi greco), in base all'organo della pianta, ed è proporzionale all'acqua presente nel suolo. Questo significa che, se la disponibilità idrica diminuisce, si abbassa anche Ψ. Di potenziali ne esistono diversi, in base all'organo da cui sono rilevati (esempio potenziale fogliare Ψ_f, potenziale del germoglio Ψ_g), o in base all'ora del giorno in cui vengono rilevati, generalmente si preferisce farlo prima dell'alba (Ψ_{pa}), e ognuno viene misurato per scopi precisi. Ψ_{pa} serve per comprendere al meglio lo stato di reperibilità idrica nel suolo, infatti, viene preso da una foglia che ha avuto un'intera notte di recupero del potenziale a stomi prevalentemente chiusi (Améglio et al., 1999; 29). I risultati ottenuti variano inoltre, da specie a specie, a seconda del metodo d'irrigazione adottato. Questo metodo essendo adattabile, risulta efficiente per l'ottimizzazione dell'uso irriguo. Ψ_f invece, si rifà al potenziale della foglia, dato che viene fatto su foglie ben esposte. Il fatto che venga svolto durante le ore calde del giorno, dove l'evaporazione è massima e sono presenti tutta una serie di fattori, come il deficit di pressione del vapore, reperibilità idrica del suolo, temperatura e radiazione, compromette il risultato

(Miràs-Alvalos et al., 2021; 25). Anche se, in casi di omogeneità climatica, questo rilevamento risulta ottimo per modellare il calendario degli interventi irrigui (Williams et Araujo, 2002; 30). L'ultima misura, Ψ_g , si rifà al potenziale del germoglio. La tempistica del rilevamento è la stessa di prima, solo che cambiano leggermente le dinamiche. Per eliminare i condizionamenti esterni, si riveste la foglia con un sacchetto oscurante, in modo che si blocchi la traspirazione e si riesca a regolare il potenziale idrico tra questa e il germoglio. Come si può intuire, questa metodica è più efficiente e accurata, difatti il potenziale del germoglio è più stabile rispetto a quello fogliare. In tutti e tre i metodi visti, si utilizza lo stesso strumento, la camera di Scholander, che misura la pressione necessaria ad estrarre dell'acqua dal picciolo della foglia per mezzo di depressione (o meglio pressione, ma al contrario). Lo sbalzo tra la pressione interna della camera e l'atmosfera, crea per così dire una situazione di minor pressione esterna, simulando una suzione dal picciolo. Questo fa sì che maggiore sia la pressione esercitata sulla foglia, minore sarà il contenuto dell'acqua al suo interno, di conseguenza sarà maggiore lo stato di stress in cui si trova la pianta. Unico svantaggio del rilevamento di Ψ è la durata, che necessita di costanza lungo tutto il periodo della stagione produttiva (Williams et Araujo, 2002; 30; Yuste et al., 2004; 31).

Un ulteriore metodo per apprendere lo stato idrico della vite è calcolare il rapporto $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ nello zucchero del frutto, che essendo applicabile solo a termine della stagione, risulta poco funzionale alla gestione irrigua in stagione e di solito si integra ad altre analisi eseguite precedentemente. In condizioni normali, gli enzimi della pianta preferiscono usare l'isotopo ^{12}C della CO_2 , invece del ^{13}C (Farquhar et al., 1980; 32). In condizioni di stress, questa preferenza viene meno e quindi a fine stagione si riscontrano maggiori presenze di ^{13}C negli zuccheri del frutto. Per individuare l'entità dello stress, ci si rifà all'indice calcolato per mezzo di uno spettrofotometro di massa a flusso continuo, per rapporti isotipici che in uno studio ha espresso valori tra il -20 ‰ e il -27 ‰, quando l'annata si è presentata particolarmente siccitosa e mite (Gaudillère et al., 2002; 33).

Esiste la possibilità di misurare gli scambi gassosi a livello stomatico mediante due strumenti, il porometro e l'IRGA (Infra-red gas analyzer). Il porometro misura la conduttanza stomatica, basandosi sull'intervallo di tempo impiegato dalla traspirazione a riportare ad un livello definito di umidità l'aria essiccata in un volume noto. Facendo questo, si può stabilire la velocità con cui la CO_2 entra ed esce dalla foglia, determinando valori di mmol di acqua/ m^2s , che possono indicare stress severo (<50), moderato (50-150) o di lieve entità (>250). L'IRGA invece, misura sia il vapore acqueo, che la CO_2 tramite lettura all'infrarosso. Questo strumento misura l'attenuazione dell'onda IR proveniente da una sorgente di concentrazione nota di CO_2 e H_2O , che sono direttamente proporzionali all'assorbimento. Dalla concentrazione dei due gas, si ricava il tasso di fotosintesi netta (espressa in μmol $\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{sec}$), ovvero la differenza di CO_2 tra l'aria che entra e quella che esce dalla camera e la conduttanza stomatica, misurata

in moli $\text{H}_2\text{O}/\text{m}_2/\text{sec}$, ottenuta facendo la differenza tra l'acqua in entrata e uscita dalla camera misurata come $\text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}_2\text{s}$ (Cogato et al., 2021; 34).

Altra modalità di analisi del potenziale idrico della pianta, prevede la misura del flusso della linfa. Questa pratica consiste nel misurare il movimento del flusso xilematico nei vasi conduttori della pianta, dalle radici alle foglie dove, per traspirazione viene emesso in atmosfera sotto forma di vapore. Esistono due metodi di misurazione. A tale proposito, il primo che consiste nel misurare la dispersione termica tra due aghi dei quali solo uno riscaldato, con conseguente abbassamento della temperatura e aumento del flusso. Metodo non particolarmente preciso, dato che facilmente influenzabile dalla posizione dei due aghi. Il secondo metodo, sfrutta lo stesso principio, ma utilizzando delle manichette avvolgenti, che si adattano meglio alla pianta e sono meno dispersive (Rienth et al., 2019; 35).

Il sesto metodo, l'NDVI, sfrutta il telerilevamento. Utilizzando specifiche camere installate su supporto aereo, è possibile stabilire in linea generale, lo stato di salute di un vigneto, che rielaborando delle immagini RGB e NIR, elabora un indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Questo è il rapporto tra la differenza dell'intensità della radiazione emessa dalla pianta, al netto di quella assorbita, rispetto alla somma delle due. Se l'indice esprime valori alti, la vegetazione è in stato ottimale, mentre valori bassi, indicano la presenza di stress. Indicativamente, una vegetazione sana assorbe luce tra i $0.6-0.7\mu\text{m}$ e riflette onde infrarosse tra $0.7-1.3\mu\text{m}$, mentre piante in stress assorbono nell'infrarosso e riflettono nel visibile nelle intensità viste precedentemente. Questo fenomeno, si basa sulla legge di Wein, che indica come il calore di un corpo aumenti qualora sia colpito da radiazioni di lunghezza d'onda minori, cioè più energetiche.

L'ultimo metodo, è l'utilizzo di una termocamera. Una pianta sana regola la temperatura in base alla disponibilità di acqua, quando questa viene a mancare, la pianta traspira di meno, di conseguenza aumenta la temperatura rispetto alla norma. Diversi studi confermano la correlazione tra questo fenomeno e la presenza di stress idrico, di conseguenza questo metodo risulta un efficace supporto decisionale sulla gestione idrica di campo, come afferma Costa et al. (2012), Belfiore et al. (2019). Sia che si tratti di tesi indotte ad uno stress controllato o ben irrigate, la temperatura fogliare, si mostra inversamente proporzionale alla conduttanza stomatica e al potenziale idrico della foglia (Costa et al., 2012; 36; Belfiore et al., 2019; 37).

Vi sono diversi metodi per monitorare lo stato idrico in vigneto. Sfortunatamente in letteratura vengono approfonditi separatamente, e quasi mai in combinazione. Infatti, combinare metodi diretti ed indiretti, permetterebbero di creare un quadro più ampio e dettagliato delle condizioni esterne ed interne alla pianta. Un controllo migliore di questi parametri, limita i rischi di stress idrici e aumenta notevolmente l'efficienza dell'utilizzo di una risorsa, l'acqua, che sta diventando sempre più preziosa.

Esiste già sul mercato, un sistema multi-sensoristico innovativo per l'irrigazione di precisione in vigneto e non solo. Questo sensore ideato da CET Electronics, oltre ai già conosciuti sensori per monitorare parametri climatici e umidità del suolo, dispone di una stereocamera, che grazie ad un software integrato, è in grado di elaborare in 3D le immagini acquisite, ricreando il volume fogliare, e calcolando l'inclinazione delle singole foglie. Questo sistema è anche disposto di termocamera integrata, che va ad aggiungere un ulteriore importante dato al calcolo finale dello stato idrico della pianta.

3. OBIETTIVO

Oggi è necessario sempre più prestare attenzione all'uso dell'acqua, specialmente nel far fronte alle conseguenze del cambiamento climatico. È quindi importante sviluppare sempre di più, sistemi tecnologici che supportino la gestione idrica in viticoltura, in modo da limitare sempre più gli sprechi, supportando da un punto di vista decisionale l'operatore. Per stimare al meglio il consumo idrico in vigneto, risulta fondamentale integrare misure dirette ed indirette per ottenere delle stime corrette e precise. L'obiettivo di questo studio, è stato quello di raccogliere dati utili alla calibrazione e alla validazione finale del sistema multi-sensore creato dalla CET Electronics, utilizzando in tandem sensori tradizionali, dall'efficacia già sperimentata, e sensori innovativi (in particolare stereo e termocamera). Agendo tramite metodi di rilevamento tradizionali in corso della stagione, è stato studiato il comportamento di piante ben irrigate o sottoposte a stress idrico, e sono stati confrontati i dati processati dal sensore (specialmente immagini termiche e parametri di inclinazione foglie), con quelli raccolti in campo (inclinazione fogliare, temperatura). Infine, è stato verificato lo stato idrico della pianta, con porometro e camera di Scholander, per vedere la correlazione tra i dati sensoristici, con il potenziale idrico della pianta.

4. MATERIALI E METODI

La sperimentazione è stata effettuata durante l'anno 2021, ed è continuata per l'anno 2022 presso l'azienda "S.AGRI.V.IT" in località Bosco (Spresiano, TV). Questa è una delle più grandi società italiane, e gestisce 14 aziende storiche in Veneto e Italia. In provincia di Treviso, troviamo le aziende di Spresiano, Chiarano, Giavera del Montello e Nervesa della Battaglia. L'appezzamento interessato è rappresentato da un appezzamento di nove ettari coltivati a vigneto.

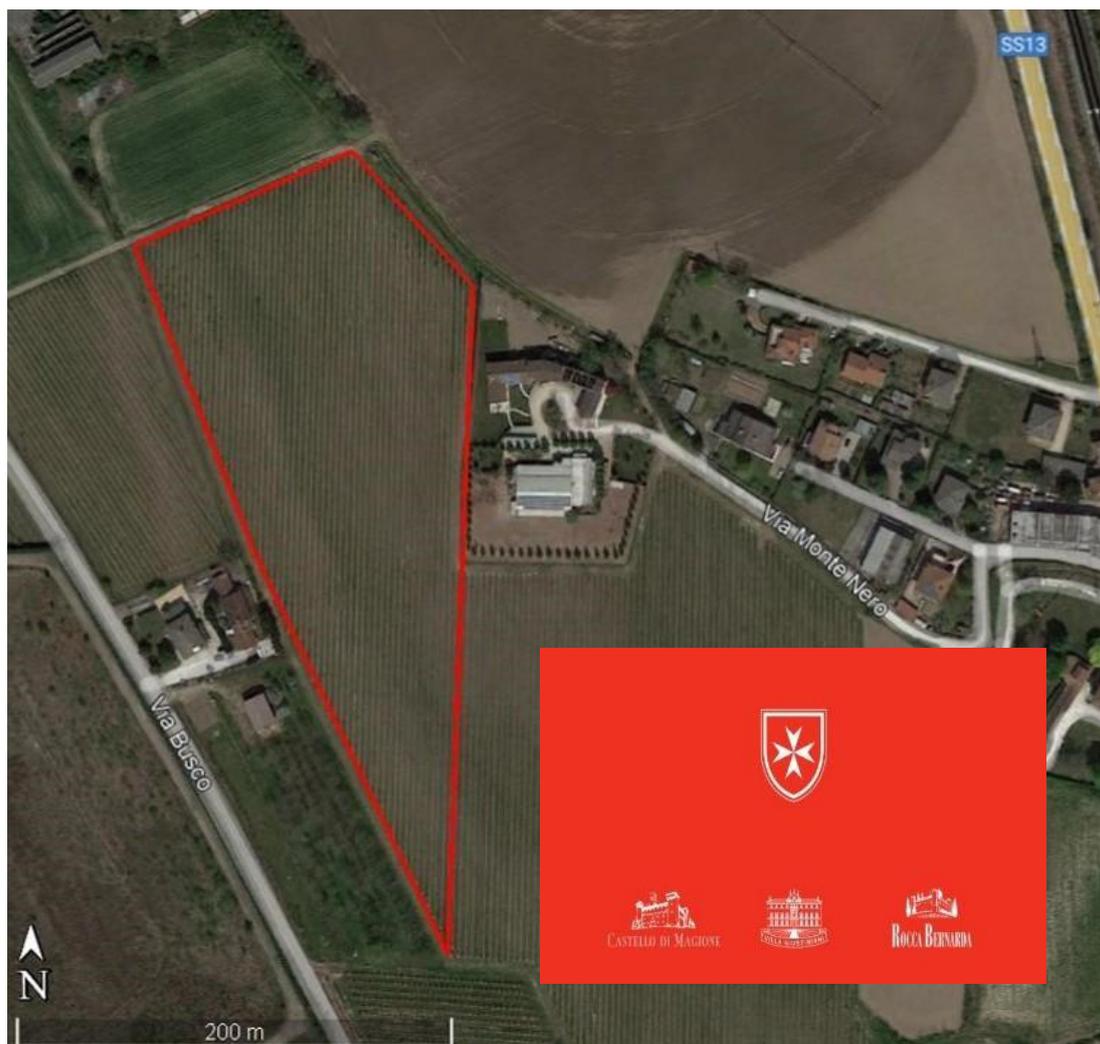


Figura 1: Mappa del sito sperimentale, Azienda S.AGRI.V.IT

4.1.1 Caratteristiche climatiche dell'area di sperimentazione

Il sito sperimentale, esprime il classico clima della Marca Trevigiana, nota per una condizione pedo-climatica particolarmente adatta alla coltivazione viticola. Infatti, le colline che si estendono su tutta la fascia Nord-Occidentale, permettono un'esposizione dei vigneti verso Sud, e proteggono dai venti del Nord, mantenendo comunque un ambiente ventilato e luminoso, favorendo l'espletamento di tutte le funzioni vegeto-produttive delle piante, e offrendo, un clima particolarmente adatto alla produzione viticola. I terreni sciolti di origine

detrítico-fluviale, sono particolarmente adatti alla coltivazione di vitigni internazionali, come il Pinot grigio. Infatti, questi terreni favoriscono un equilibrio tra le componenti aromatiche e di intensità di colore, in particolare nelle bucce di varietà a bacca rossa (D.M. 10.06.2014). Per riassumere, il clima può essere considerato sub-continentale temperato, grazie alla funzione di scudo dato dalle alpi a Nord, e dalle brezze marine provenienti da Sud.

Per quanto concerne invece, la temperatura, i dati storici sulle temperature sono stati acquisiti dalla stazione Arpav di Vazzola – Tezze a 40 m.s.l.m, a circa 5km in linea d'aria dal sito sperimentale. A riprova del fatto che il clima della zona è temperato, la temperatura media degli ultimi 28 anni è pari a 13.2 °C. Si identificano nel periodo dal 1994 al 2022 (fig. 2), gli andamenti delle temperature medie minime e massime, rilevate a 2 m di altezza dal suolo. I mesi più caldi sono Luglio con 23.5 °C di t. med., 30.1 °C t. max., e Agosto con 23 °C t. med., 29.9 °C temp. max.. I mesi più freddi, ovvero Dicembre e Gennaio, hanno fatto registrare nel periodo dal 1994 al 2022, come temperature medie massime 8 °C e 8.8 °C come temperatura massima. Nell'anno 2022, la temperatura media annua si è aggirata attorno ai 14.1 °C, mentre la temperatura media di Luglio ed Agosto, è stata rispettivamente di 26 °C e 24.5 °C, avendo raggiunto la temperatura massima annua di 37.4 °C il 22 Luglio 2022 (Arpav; 38).

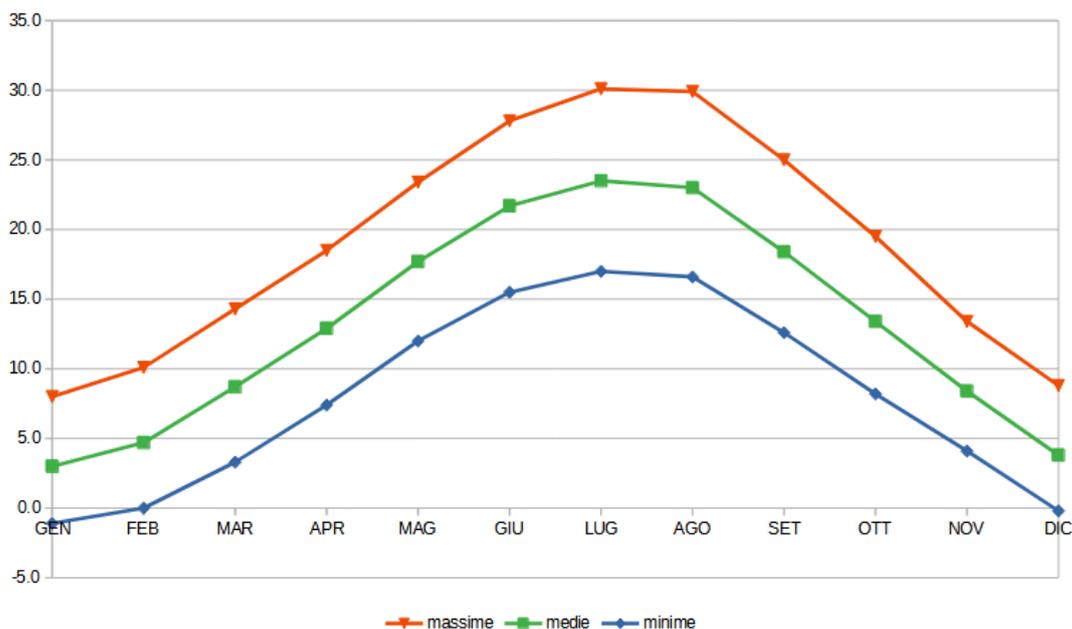


Figura 2: Medie delle temperature minime, medie e massime dal 1994 al 2022

Nella fig. 3, sono raccolti i dati relativi alle precipitazioni cumulative (mm) degli ultimi 28 anni (1994-2022). La media di tutto il periodo è di 1165.7 mm. Si è constatata un'incostanza in alcune annate con pluviometrie di molto differenti da questo valore. In blu scuro sono stati evidenziati quegli anni dove le precipitazioni hanno superato i 1500 mm, dove l'anno più piovoso è stato il 2014. In rosso invece, sono state evidenziate quegli anni dove le precipitazioni annue non hanno superato i 1000 mm. Tra tutti, l'anno più siccitoso è stato il 2022, che ha abbassato l'asticella del minimo storico a soli 650 mm (Arpav, 2022; 39).

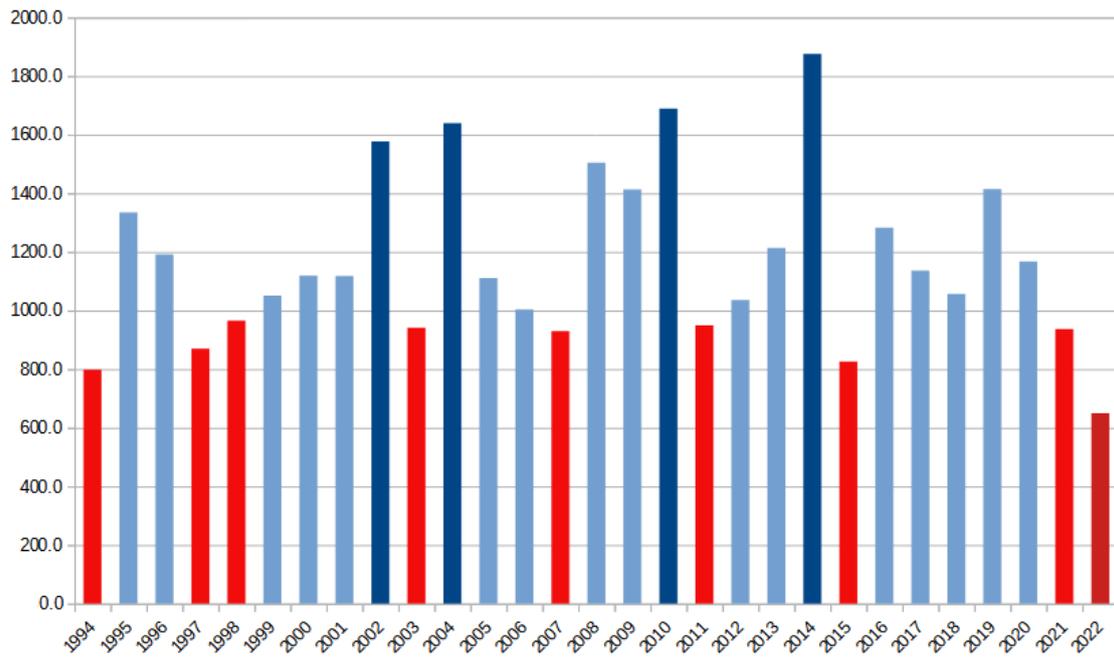


Figura 3: Precipitazioni totali annuali dal 1994 al 2022

4.1.2 Caratteristiche pedologiche dell'area di studio

Il vigneto è situato a Spresiano (TV), in località Busco, su una zona pianeggiante e ottimamente servita idraulicamente. Dalle analisi condotte nel 2020, si comprendono le caratteristiche del suolo. Il pH è sub-alcalino, con percentuali alte di carbonati totali, sostanza organica in percentuali medio-alte e alte quantità di azoto totale, fosforo assimilabile e magnesio scambiabile (tab. 1).

CARATTERISTICHE CHIMICHE		
DESCRIZIONE	RISULTATO	VALORE
pH in H ₂ O	7,83	
Carbonati totali (CaCO ₃)	45	%
Calcare attivo (CaCO ₃)	2,1	%
Sostanza organica	2,37	%
Azoto totale (N)	1,55	%
Fosforo assimilabile (P)	26	ppm
Fosforo assimilabile (P ₂ O ₅)	60	ppm
Potassio scambiabile (K)	124	ppm
Potassio scambiabile (K ₂ O)	149	ppm
Sodio scambiabile (Na)	38	ppm
Calcio scambiabile (Ca)	2542	ppm
Magnesio scambiabile (Mg)	372	ppm
CARATTERISTICHE FISICHE		
Sabbia (2.000-0.050 mm)	46	%
Limo (0.050-0.002 mm)	43	%
Argilla (< 0.002 mm)	11	%

Tabella 1: risultati delle analisi del terreno effettuate nel 2020

Anche rispetto alla C.S.C., il magnesio si presenta in percentuali elevate (372 ppm), al contrario del potassio (124 ppm). La tessitura è nel rapporto 46 % sabbia, 43 % limo e 11 % argilla, quindi il terreno è franco.



Figura 4: Grappoli e foglie di Pinot grigio

La varietà coltivata è il Pinot grigio (fig. 4), piantata nel 2017 con sesto d'impianto di 2.80 m x 1.10 m, portinnesto Kober 5BB e forma di allevamento a doppio capovolto.

4.1.3 Caratteristiche dell'impianto di irrigazione

L'impianto di irrigazione è strutturato con una mandata, che attinge dal condotto del Consorzio di Bonifica ad erogazione comandata per via di elettrovalvole, alle ali gocciolanti interrate di diametro esterno di 20 mm, munite di erogatori autocompensanti distanziati a 60 cm l'uno dall'altro, con una portata di 2.2 l/h. La durata media di un trattamento irriguo è di 2/3 ore dalle 5:00 alle 7:00/8:00 del mattino, e nel periodo dal 21 Maggio 2022 al 19 Agosto 2022, sono stati effettuati un totale di 72 interventi irrigui nella tesi aziendale, e di 10 in quella stressata (notale l'abbassamento di pressione nella figura 5 a termine stagione). In funzione, la pressione dell'impianto non ha mai superato i 2.2 bar di media in testata. Sulla base del sesto d'impianto e distanza dei gocciolatori, considerando la portata di 2.2 l/h degli ugelli, si è calcolata una pluviometria di 1.31 mm/h, che considerata un'efficienza di distribuzione del 95 %, diventano 1.25 mm/h. Di conseguenza, nei casi studiati, venivano somministrati a intervento dai 2.5 ai 3.75 mm di acqua, in base alla durata del trattamento (2 o 3 ore).

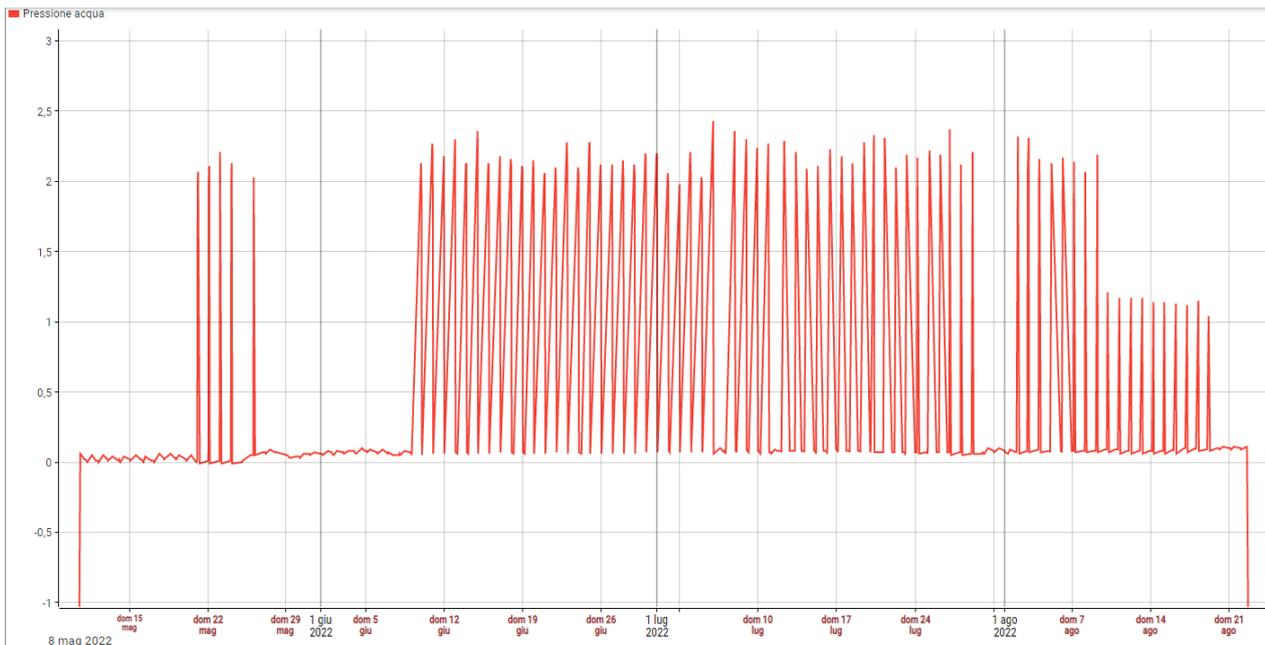


Figura 5: Foto dal portale Aurora WEB, illustrante i trattamenti irrigui eseguiti durante la stagione 2022

4.1.4 Descrizione piano sperimentale

Il piano ha previsto l'individuazione di due tesi in filari da 250 m di lunghezza circa, dai quali è stata selezionata una parcella di 24 piante, sulla quale effettuare le misurazioni sia manualmente, che con i sensori. Le tesi sono state sottoposte a due diversi trattamenti irrigui durante l'arco della stagione: la tesi aziendale (Az) è stata gestita seguendo un piano irriguo aziendale a calendario, saltando i giorni di pioggia, all'obiettivo di mantenere le piante in stato idrico ottimale; la tesi stressata, chiamata anche irrigazione ridotta (Ir), è stata irrigata solo a termine della stagione, per evitare di perdere completamente la produzione e per evitare danni irreversibili. Con queste impostazioni, è stato possibile creare due condizioni differenti di stato idrico, al fine di rilevare con la stereo/termocamera, le variazioni nei parametri vegetativi tra le due tesi. I sensori sono stati installati nei filari antistanti le 2 tesi, in modo da poterle inquadrare, e da poter scattare foto a 4 piante, per analizzare la loro evoluzione in corso dell'annata (Febbraio-Settembre 2022). Contemporaneamente all'installazione delle stereo camere, sono stati installati una coppia di sensori di umidità per tesi, di tipo FDR ad alta frequenza, con elettrodo a forchetta a tre punte in acciaio inox: SAM1 a 30 cm e SAM2 a 60 cm di profondità.

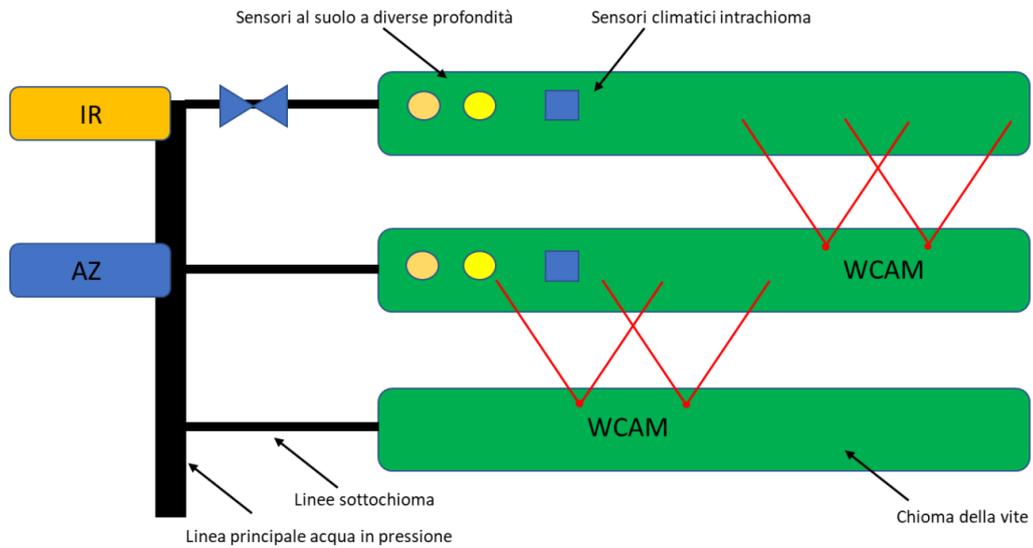


Figura 6: Schema descrittivo del piano sperimentale

4.1.5 Il sistema multisensore dotato di Wcam



Figura 7: Dettaglio della stereocamera installata nel sito sperimentale

WCam è costituita da un doppio sensore RGB, con distanza l'uno dall'altro di 15 cm circa, che permette, acquisendo foto da 2 punti di vista differenti, di elaborare le immagini, con particolari algoritmi in 3D. Inoltre, la stereocamera è integrata di sensore termico a infrarossi di risoluzione 8x8 pixel. A questi sensori di tipo ottico, sono stati anche integrati i sensori "classici" di tipo climatico. I dati registrati, vengono poi inviati via internet per mezzo di una SIM al portale "Aurora WEB", dove vengono poi visualizzati in tre sezioni. La prima sezione è "IRRI", il nodo di comando dell'elettrovalvola per la tesi Ir, dove vengono visualizzati:

- lo stato di apertura/chiusura dell'elettrovalvola (0-100) della tesi Ir (linea rossa figura 8).
- i dati dei sensori di pressione dovuti all'accensione della pompa, per capire quando e per quanto tempo l'impianto è stato messo in pressione. Il campionamento di questi dati, avviene ogni cinque minuti, perciò, bisogna sempre tenere conto che il dato può comprendere un ritardo di cinque minuti all'accensione e spegnimento della pompa (linea blu figura 8).

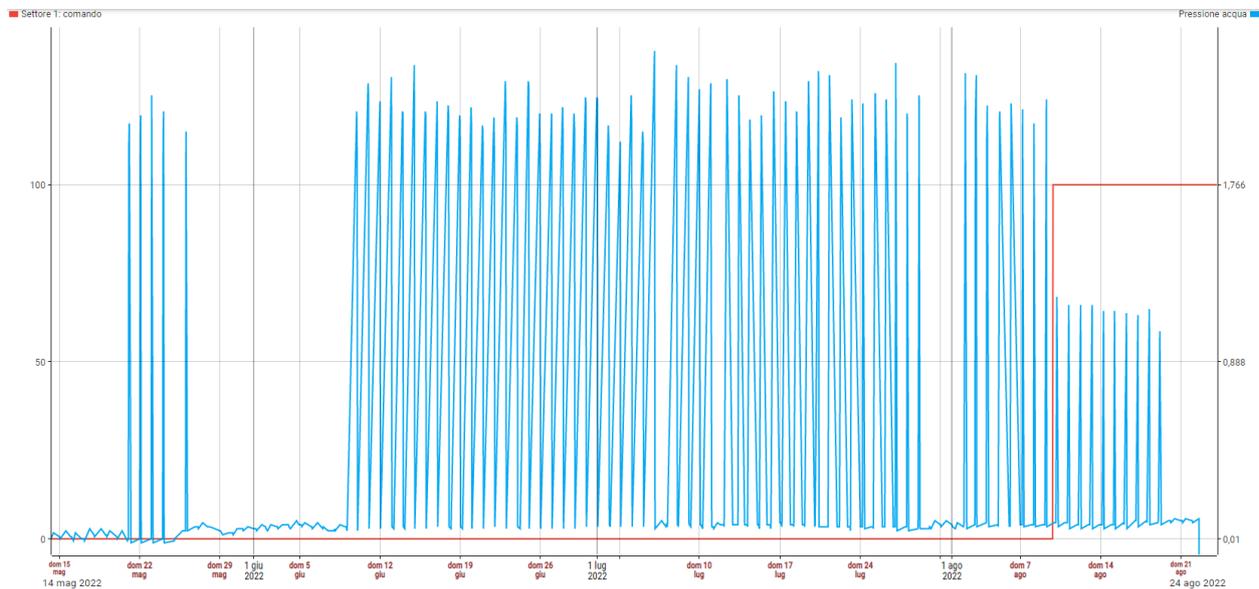


Figura 8: Funzionamento dell'impianto irriguo durante l'intera stagione 2022, fonte Aurora WEB

Nelle sezioni AZ e IR del programma, vengono visualizzate le immagini e i dati ricavati dalle loro elaborazioni per mezzo del software, rispettivamente della tesi Aziendale e Stressata. Nella sezione AZ, vengono visualizzati tutti i dati relativi a ciascuno strumento della stazione meteo e umidità del terreno (30 e 60 cm), compresi quelli relativi alla WCam. Il pluviometro è stato tarato a 0.2 mm di pioggia, per evitare che venga registrata la rugiada mattutina, e per essere sicuri che al di sopra di questa soglia, si sia verificato con certezza un evento precipitativo.

Nella sezione IR, invece sono visualizzabili solo i dati relativi a WCam e sensori di umidità del terreno, dato che sono gli unici dati che dovrebbero differire tra le due tesi, e che sono utili allo scopo finale di confrontarle.

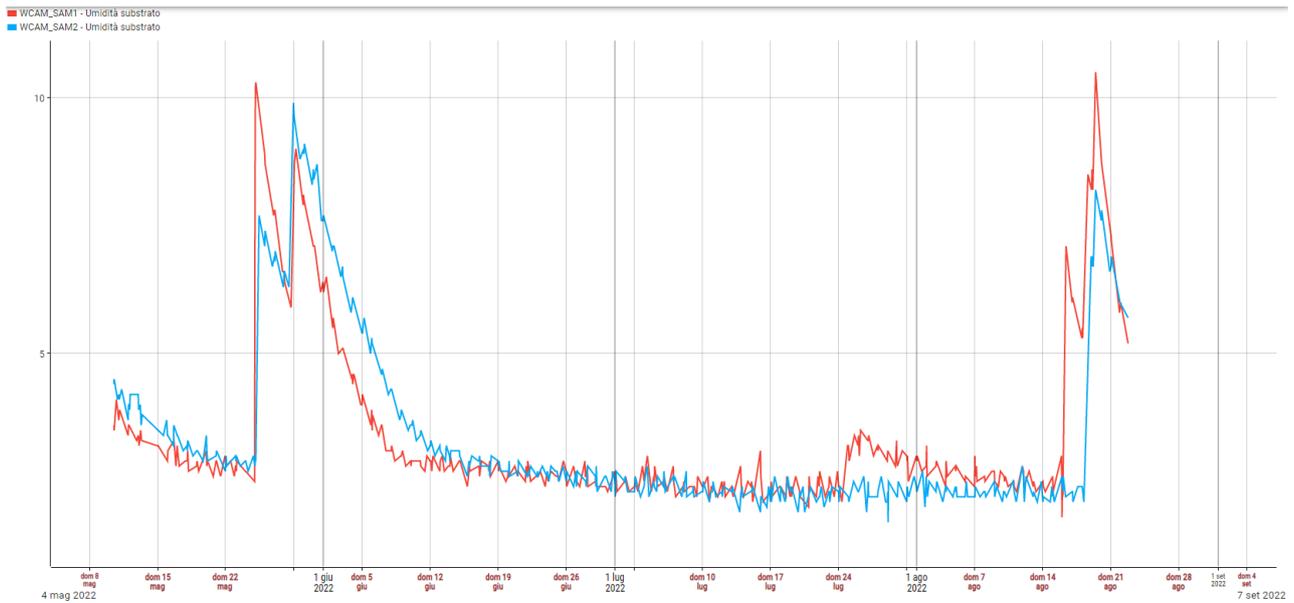


Figura 9: Umidità del terreno a 30cm (rosso) e 60cm (blu) di profondità nella tesi Aziendale

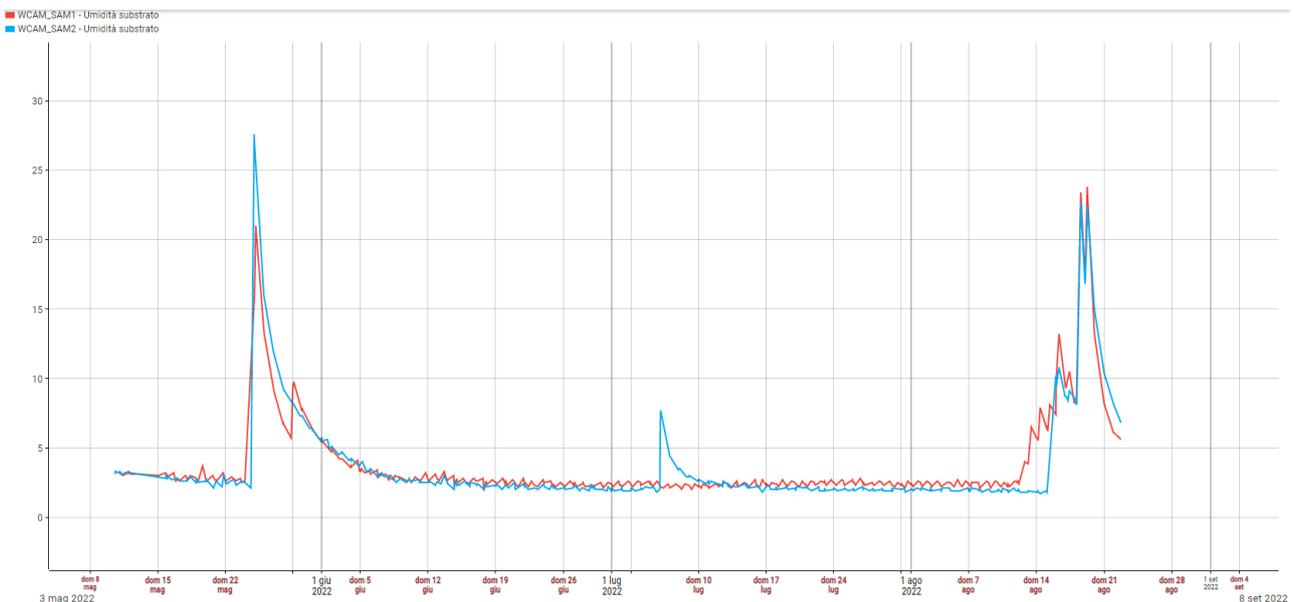


Figura 10: Umidità del terreno a 30cm (rosso) e 60cm (blu) di profondità nella tesi Stressata

Nelle fig. 9 e fig. 10, è stato riportato l'andamento dell'umidità del suolo durante tutta la stagione 2022, rispettivamente delle tesi AZ e IR a 30cm (SAM1 in rosso) e a 60 cm di profondità (SAM2 in blu), anche se per l'obiettivo finale sono sufficienti solamente i dati della tesi Stressata. Il dato di umidità del terreno, infatti, serve per monitorare la disponibilità dell'acqua e relativo comportamento della pianta a risposta di questo parametro. Le misure dei sensori possono avere delle disomogeneità tra di loro a causa della tessitura del terreno e la presenza di scheletro, che può creare interstizi d'aria o ruscellamenti d'acqua, rendendo la misura poco rappresentativa. Inoltre, anche la distanza dei gocciolatori in questi terreni, può andare a modificare il risultato, di conseguenza non è possibile fare un confronto tra tesi Stressata e Aziendale.

4.2 Descrizione delle misurazioni in campo

Nel corso della sperimentazione sono stati rilevati:

- Dati relativi allo stato idrico della pianta (potenziale idrico e conduttanza stomatica). Questi dati, hanno avuto l'obiettivo di valutare l'effetto della gestione irrigua (Aziendale e con Irrigazione ridotta) sull'effettivo stato idrico della pianta, verificando i momenti in cui la tesi Ir si è differenziata dalla tesi Aziendale e ha manifestato condizioni di stress idrico da lieve a severo.
- Dati relativi all'inclinazione fogliare e alla temperatura fogliare. Tali dati sono stati registrati sia dal sistema multisensore, che misurati manualmente. Le analisi sui dati raccolti hanno pertanto a) confrontato la corrispondenza tra misure strumentali e misure manuali, al fine di verificare la capacità del sistema di rilevare correttamente questi parametri in campo; b) verificato attraverso correlazioni se i dati di temperatura e inclinazione registrati, sia manualmente, che dallo strumento, risultavano correlati allo stato idrico della pianta.
- Dati relativi ai parametri produttivi e qualitativi, con l'obiettivo di verificare l'effetto delle due gestioni irrigue sulle produzioni.

Il potenziale idrico è stato rilevato ogni 2 settimane circa, dal 22 Giugno al 24 Agosto 2022. Nelle 2 tesi, si sono effettuate le misurazioni del potenziale idrico del germoglio. La misurazione avviene in 3 step: 1: bloccando gli scambi gassosi della foglia, per equivalere il potenziale idrico a quello del germoglio. Questo lo si fa chiudendo 6 foglie per tesi in una busta rifrangente di plastica (durante le prove si è scelto un orario attorno alle 12:00), per un intervallo di 2 ore, privilegiando le foglie intatte dal 3 nodo dopo il grappolo;



Figure 11 e 12: Chiusura delle foglie in buste di plastica per ottenere il potenziale del germoglio

2: taglio perpendicolare del picciolo, solitamente con un taglierino ben affilato, per avere una recisione netta; 3: misurazione per mezzo di camera di Scholander, facendo attenzione a non crepare la foglia e di sigillare bene il picciolo che fuoriesce.

La camera di Scholander in breve, è una camera a pressione al cui interno viene posizionata la foglia, della quale viene lasciato il picciolo reciso esternamente. Il funzionamento prevede che l'azoto in pressione, spinga attraverso gli stomi, l'acqua all'interno della foglia facendola fuoriuscire dal picciolo. L'esatto momento in cui questa fuoriesce si chiude la valvola di immissione e si legge il valore riportato dal manometro riportato in bar, che moltiplicato per 0.1 (negativo perché esprime la forza con cui la pianta assorbe acqua dal terreno), mi converte il risultato in Mpa (Cogato et al., 2021; 34). Maggiore sarà il valore (sul manometro), maggiore sarà lo stress idrico.



Figure 13,14 e 15: Rispettivamente camera di Scholander in corso di rilevamento, chiusura della foglia sul coperchio della camera che, come si nota nella figura 15 fuoriesce, e raggiunto il potenziale idrico lascia uscire una goccia d'acqua



L'inclinazione fogliare, a differenza dell'anno 2021, dove le foglie venivano selezionate e seguite in tutto il corso di stagione, e dato che il sensore misura foglie prese a random di default. Anche manualmente, si è andati a cercare 20 foglie rappresentative della media prese a caso, alle quali è stato misurato l'angolo dell'asse centrale della foglia rispetto allo zenith lungo il corso della stagione, per mezzo di un goniometro con asse 0 prolungato e filo a piombo, per prendere la misura. I dati raccolti, vengono poi confrontati con quelli del sensore a fine della sperimentazione.



Figura 16: Misurazione manuale dell'inclinazione delle foglie

Invece, per quanto concerne la validazione dei dati della termocamera, integrata dal sensore, sono stati raccolti dei dati manualmente per mezzo di una termocamera FLIR T-620, che ha la particolarità di scattare nello stesso momento foto nel visibile e all'infrarosso. Il metodo prevedeva di mettersi con le spalle rivolte al sensore, e di scattare 4 coppie di foto a destra e a sinistra per coprire meglio la tesi, e facendo attenzione a mantenere la fotocamera sempre alla stessa altezza. Si deve prestare anche attenzione a non puntare ad oggetti come pali, che assorbono e riflettono molto bene il calore e che potrebbero andare a compromettere il dato raccolto.

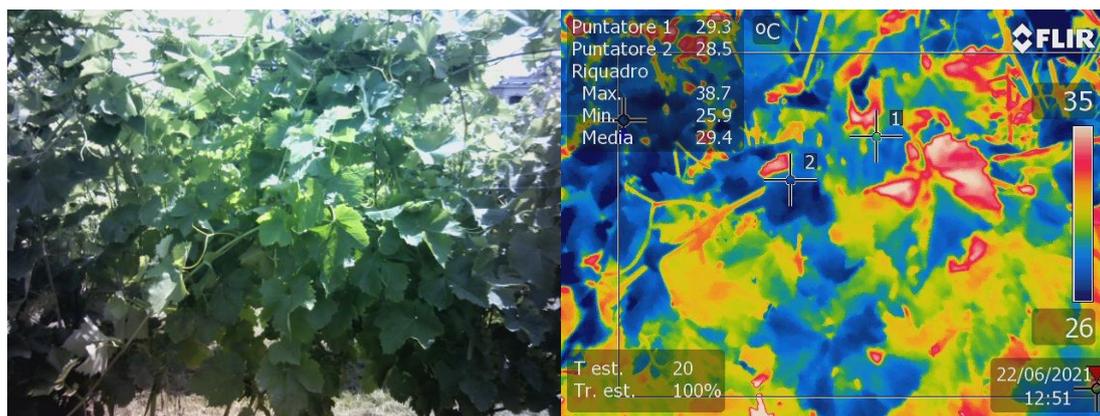


Figure 17 e 18: Foto raccolte dalla termocamera FLIR T-620

L'uva è stata raccolta dalle 12 piante di ciascuna tesi (24 tot.), dove ciascun grappolo è stato pesato con dinamometro KERN CH50K50, e a seguito di questa operazione alcuni acini sono stati asportati e sono state eseguite analisi di zuccheri ($^{\circ}$ BRIX) con rifrattometro "Atago co., LTD" e pH e acidità con piaccametro "Crison microTT2022".



Figura 19: Vendemmia delle tesi sperimentali

4.3 Analisi statistica

I dati raccolti, sono stati sottoposti ad analisi statistica, utilizzando il t-Student ($p \leq 0.05$). Per le elaborazioni, è stato utilizzato il software STATISTICA versione 8.0 (StatSoft Inc., 2007, Tulsa, USA). Per l'analisi delle correlazioni è stato utilizzato il Software GraphPad (GraphPad Software Inc., 1989, San Diego, California USA).

4.4 Approfondimento sulla misura della variazione dell'inclinazione fogliare tra giorno e notte

Nell'ambito delle attività eseguite in questa tesi, si è condotto un approfondimento per lo studio della variazione di inclinazione fogliare tra giorno e notte.

Si è analizzato il movimento che le foglie compiono dall'analisi di immagini acquisite con dispositivo WCam alle ore 11.00-15.00 del giorno e alle 23.00 della notte (con flash), il tutto permesso grazie all'autonomia e automazione del sensore, e per verificare questi dati, come visto prima, di giorno sono state misurate le inclinazioni delle foglie manualmente. Le prime osservazioni, hanno mostrato che le foglie di giorno e di notte cambiano la propria inclinazione, mentre i valori assoluti di inclinazione fogliare media non rispecchiano sempre fedelmente lo stato idrico della pianta, perciò si è deciso di approfondire il tutto per constatare le differenze nell'inclinazione fogliare giorno/notte tra la tesi stressata e la tesi aziendale durante la stagione. In letteratura, sono pochi gli studi che riportano di sperimentazioni in merito alla variazione di inclinazione giorno-notte, infatti si trovano molto più facilmente, studi sull'inclinazione basati su dati unicamente diurni in condizioni eterogenee che non permettono di estrarre correlazioni forti (Ehlering e Comstock, 1987; Gamon e Pearcy, 1989; 27; Briglia et al., 2020). In risposta agli stress idrici, la vite attua strategie diverse, tra le principali troviamo la regolazione osmotica, la cavitazione e l'inattivazione degli enzimi fotosintetici. La variazione di inclinazione fogliare, può essere considerata un'ulteriore strategia di adattamento a stress idrici, termici e radiativi. Secondo ciò che si evince dallo studio condotto da Silvestroni et al. (2005; 41), la varietà Sangiovese limita l'eccessivo assorbimento delle radiazioni e la traspirazione, soprattutto grazie ad un cambio di inclinazione fogliare. Lo studio però, non si impegna a verificare la variazione di inclinazione tra giorno e notte e di conseguenza non ne spiega i motivi, perciò, tale argomento resta una novità da indagare in campo sperimentale.

Le elaborazioni automatiche delle immagini, sono visualizzate nella piattaforma Aurora WEB, e sono frutto dell'implementazione di algoritmi di *Image analysis* e dello sviluppo di particolari reti neurali da parte dell'azienda costruttrice, per le quali nella tesi si è contribuito tramite l'annotazione manuale delle immagini tramite il programma GIMP 2.10.22 (GNU Image Manipulation Program., Kimball e Mattis, 1995; Berkeley, USA), tracciando il contorno della foglia e colorandone l'interno. Il sistema a seguito di questa programmazione, è stato in grado di differenziare autonomamente la parete fogliare da altri elementi come pali, grappoli e fusti delle piante, come si può ben notare dalle fig. 20 e 21.



Figure 20 e 21: Confronto tra immagine originale e la successiva elaborazione automatica del software, che riconosce ed evidenzia gli elementi principali, ovvero: foglie, grappoli, pali e fusti delle piante

Il software ha tra le varie funzioni, anche quella di calcolare la distanza pixel per pixel dalla telecamera ad ogni punto visibile della chioma, grazie alla tecnologia di stereo visione. Facendo ciò per l'intera fotografia, si determina una mappa tridimensionale della chioma, detta mappa di profondità. Da quest'ultima e dalla precedente segmentazione, vengono estratte due misure fondamentali della chioma: il volume della chioma e la proiezione della superficie fogliare, normalizzate per metro di filare.

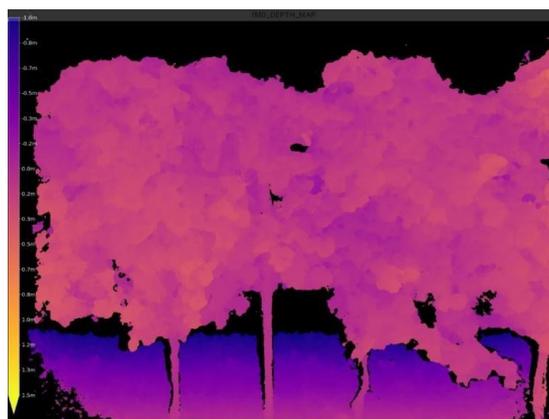


Figura 22: Mappatura della profondità: una scala di colori identifica con tonalità più scure (violetto) i pixel più lontani dalla stereo camera, al contrario, con i colori più tenui (giallo) le parti più vicine ad essa

L'inclinazione fogliare è calcolata dal sistema in due modi: Leaf detection e Depth profile segment. Entrambi si basano sul profilo tridimensionale della chioma, individuando l'orientamento delle foglie nello spazio tridimensionale.

Il primo metodo si basa sull'individuazione di un campione casuale di singole foglie tramite riconoscimento automatico da rete neurale. Per la progettazione del programma, è stato fondamentale il lavoro svolto con il programma GIMP, dove le foglie selezionate che superano determinati criteri di qualità, vengono utilizzate per il calcolo dell'inclinazione (esempio foglie accartocciate o deformi vengono scartate), misurando l'angolo della superficie piana della foglia rispetto allo zenit. Ogni foglia ha inclinazione diversa, perciò, i valori espressi si disperdono in una distribuzione, nella quale si identifica un valore medio (barra rossa), che rappresenta appunto la media pesata rispetto alla dimensione fogliare (per evitare che le foglie più grandi vadano a dare valori più alti), e questo viene calcolato per ogni fotografia scattata durante la stagione. A seguito di ciò, ogni dato medio, viene inserito in un grafico generale, che raffigura l'andamento dell'inclinazione di ogni giorno sia di giorno che di notte.



Figura 23: Inclinazioni fogliari rilevate dal sensore, si noti come i colori caldi si riferiscano a inclinazioni più vicine ai 90°, mentre quelli freddi a inclinazioni più vicine agli 0°

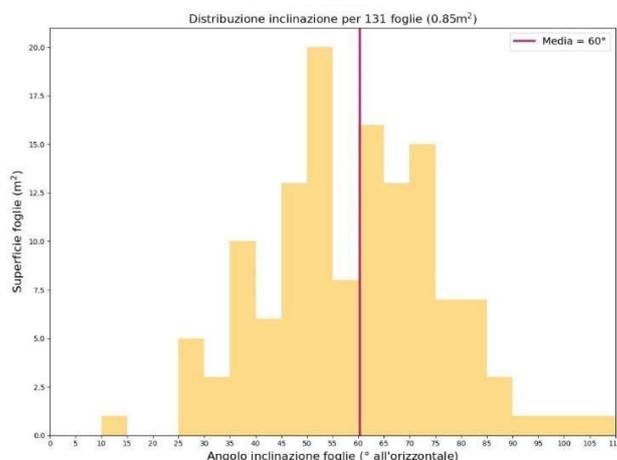


Figura 24: Elaborazione della media di inclinazione fogliare mediante dispersione su grafico a barre, si notino evidenziate in giallo le varie inclinazioni registrate dal sensore, e in rosso la linea che determina la media, che verrà esportata sul portale Aurora

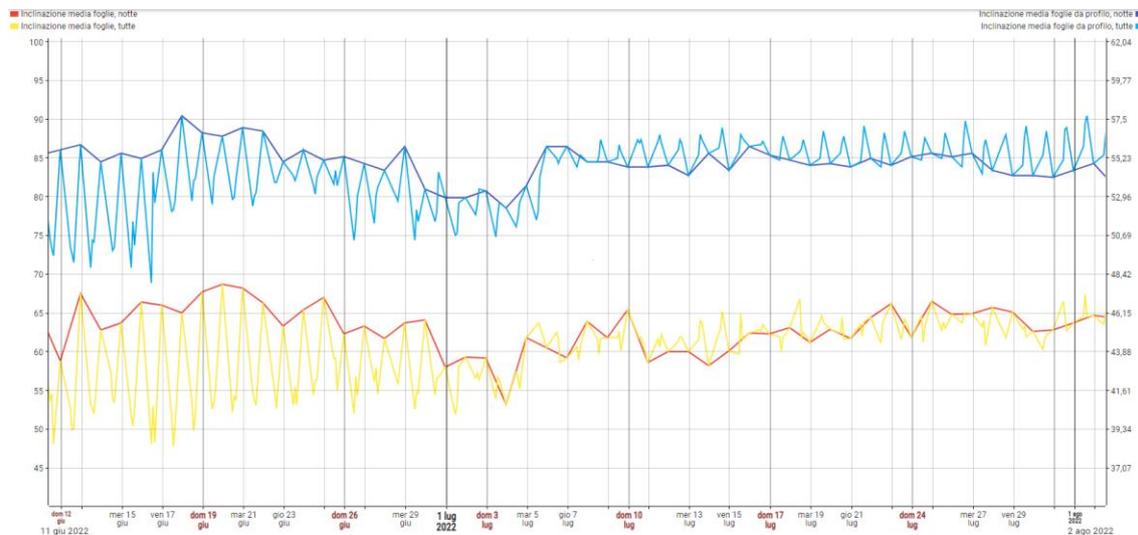


Figura 25: Grafico esemplificativo della rielaborazione del software delle misure medie giornaliere dell'inclinazione fogliare nel periodo 11 Giugno – 2 Agosto nella sezione AZ. Con i colori freddi si indica: l'andamento giorno /notte (in azzurro) e solo della notte (in blu) dell'inclinazione fogliare appreso tramite metodo Depth profile. Con i colori caldi si indica: l'andamento giorno / notte (in giallo) e solo della notte (in rosso) dell'inclinazione fogliare rilevato con il metodo Leaf detection.

Il secondo metodo con cui poter calcolare l'inclinazione fogliare è il depth profile, dove invece di riconoscere le singole foglie, il processore divide (riconoscendo la chioma) l'immagine in sezioni verticali e da ciascuna ne ricava una serie di segmenti orientati nello spazio 3D, che rappresentano tante sezioni verticali di ciascuna foglia, di cui si calcola l'inclinazione rispetto allo zenit. Le sezioni saranno continue quando si intercetta una foglia, discontinue quando si passa da una foglia all'altra. Sull'immagine vengono poi individuati i segmenti con buona continuità (che rappresentano verosimilmente la foglia nel dato punto) e differenziati con colori diversi a seconda dell'inclinazione. Rispetto al primo metodo vengono raccolti più dati, ma allo stesso tempo, questi sono maggiormente disturbati e quindi il calcolo della media risulta poco preciso. Anche con questo metodo, si individuano valori per singola fotografia, che formano un istogramma di cui si può calcolare la media da poter inserire nel grafico generale.



Figure 26 e 27: Si noti il sistema di suddivisione verticale del metodo Depth profile e istogramma relativo della distribuzione della media dell'inclinazione dei singoli segmenti individuati nella fotografia

5. RISULTATI E DISCUSSIONI

5.1 Caratteristiche climatiche del sito nel periodo di sperimentazione

Per quanto concerne la temperatura, i dati climatici riportati, sono stati acquisiti tramite piattaforma “Aurora WEB”. Questa accorpa tutte le informazioni dei sensori installati sul dispositivo messo a disposizione da CET Electronics. Per quanto riguarda il clima, la stagione 2022, si è presentata con un clima tendente quasi al tropicale. Le temperature medie mensili minime, che non hanno mai raggiunto temperature sotto zero nel periodo di rilevamento. Durante i mesi più caldi della stagione, le temperature medie massime hanno sempre superato i 27 °C. Infine, le temperature misurate, sono state confrontate con quelle rilevate a 2 m dal suolo, dalla capannina Arpav di Nervesa della Battaglia a pochi chilometri dal sito sperimentale.

Il 4 Agosto, la temperatura massima rilevata in campo è stata di 36.1 °C, dato quasi in linea con quello della capannina Arpav di Vazzola-Tezze di 35.5 °C, mentre la temperatura minima, registrata lo stesso giorno, è stata di 19.5 °C, dato riconfermato dalla capannina meteo di Arpav a 19.1°C.

Se confrontati con i dati del vigneto dell’azienda Villa Sandi (Nervesa), a 7 km in linea d’aria, registrati negli stessi giorni, ovvero 36.3 °C max e 18.1 °C min, si riscontra che l’andamento climatico della zona è lo stesso, e che in periodo estivo il vigneto è sottoposto a temperature molto alte, che richiedono una notevole regolazione da parte della pianta mediante traspirazione.

Per quanto concerne le precipitazioni, la stagione 2022 è stata la più seccata degli ultimi 28 anni, e quindi durante le giornate di rilevamento manuale, non si sono verificate precipitazioni, anche se il sensore ha rilevato 0.4 mm di pioggia il 27 Luglio. L’ultimo evento si è verificato il 2 Agosto, con un’entità di 3 mm di pioggia (probabilmente notturna), che porta l’accumulazione delle precipitazioni verificatesi prima del 4 Agosto a 252.8 mm totali, concentrati nei primi mesi dell’anno, ovvero quando la pianta è in dormienza, rendendo gli interventi irrigui necessari per garantire una produzione.

5.2 Analisi degli interventi irrigui in relazione dei fenomeni precipitativi 2022

Come si è già potuto notare dai punti 4.1.3 e 4.1.5 e relative figure 5 e 8, la tesi con irrigazione aziendale ha beneficiato di un’irrigazione quasi costante lungo tutto il periodo sperimentale, ricevendo, nei periodi più caldi, quotidianamente 2.5 mm di acqua. La tesi stressata invece, non ha ricevuto nessun tipo di irrigazione fino al 10 Agosto, e l’unico evento precipitativo di entità considerevoli, si è verificato il 24 Maggio, permettendo di avere delle condizioni

favorevoli al verificarsi di condizioni di stress acuto durante i mesi estivi. Di conseguenza, nei dati che verranno esposti come risultato, sarà evidente la differenza tra le 2 tesi. (riformula la frase, non è chiara)

5.3 Elaborazione dei dati raccolti manualmente e comparazione tra le 2 tesi

Analizzando l'andamento del potenziale idrico del germoglio nelle due tesi, misurato tramite camera di Scholander durante la stagione, si evince che tra le due tesi, quella con irrigazione ridotta (Ir) ha fatto registrare sempre valori minori (più negativi) rispetto a quella aziendale (riporta i valori). Questo comportamento della pianta anche durante la stagione 2021, ha messo in evidenza diverse fasi. Tra la fine di Giugno e l'inizio di Luglio, i valori assoluti della tesi aziendale tendevano a rimanere costanti, quelli della Ir invece, a decrescere a riprova dello stress idrico a cui la tesi è stata sottoposta. A seguito delle irrigazioni e delle piogge di fine Luglio, era incrementato il potenziale idrico in entrambe le tesi, e nel mese di agosto, il potenziale si era ridotto nuovamente in entrambe le tesi, con valori significativamente più negativi per la tesi Ir. Riguardo all'annata 2022 Dai singoli dati raccolti dalle 2 giornate del 27 Luglio e il 4 Agosto, non è chiaro l'andamento della stagione intera, ma si riesce a dedurre l'andamento climatico dell'annata, confrontandola anche con quello del 2021. Considerando la costanza nell'innalzamento delle temperature e le precipitazioni quasi assenti lungo tutto il periodo, è deducibile che entrambe le tesi abbiano sofferto lo stress idrico. Nel caso di quella AZ di lieve entità e con andamento esponenziale negativo (quindi si abbassa nelle prime fasi di caldo, per poi rimanere costante grazie all'irrigazione), mentre nel caso della tesi IR con entità forte o addirittura grave, e andamento lineare tendente verso il basso (ovvero peggiorando di giorno in giorno).

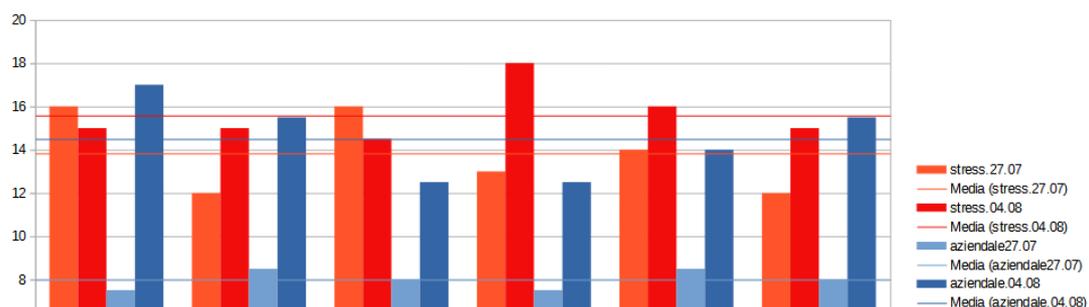


Figura 28: Potenziale idrico delle foglie raccolte il 27/07 e 04/08, si noti come la media della tesi stressata sia sempre superiore a quella della tesi Aziendale ciascun giorno, e come andando avanti nel tempo lo stress delle 2 tesi cresca (dato grezzo non convertito in MPa).

La vite reagisce in modi diversi alla siccità, infatti, è una pianta che regola il proprio potenziale idrico in risposta alle crescenti richieste atmosferiche, legate soprattutto all'evapotraspirazione, e alle ridotte disponibilità idriche nel terreno, dovute alla capacità di ritenzione idrica del suolo. Di conseguenza, misurando il potenziale idrico del germoglio, si ottiene un quadro dettagliato del livello di stress idrico della pianta. A seconda delle pressioni rilevate lo stress può essere assente ($> -0,6$ MPa), debole (da $-0,6$ a $-0,9$ MPa), lieve (da $-0,9$ a $-1,1$ MPa), moderato (da $-1,1$ a $-1,4$ MPa) fino a severo ($< -1,4$ MPa) (Mirás-Avalos et Araujo, 2021). Osservando le medie dei 2 dati di tesi stressata e irrigata, si nota come la prima si trova in una condizione di stress severo tendente al moderato, mentre la seconda in una fase di stress moderato tendente al lieve.

Dato che trova riscontro, anche nella varietà Glera dell'azienda Villa Sandi di Nervesa, con parametri leggermente diversi ma più costanti, che confermano la differenza sostanziale del potenziale idrico tra tesi aziendale -0.85 MPa (stress debole) e tesi stressata: -1.33 MPa (stress moderato).

L'andamento dei valori di inclinazione fogliare raccolti manualmente, segue l'andamento del potenziale idrico del germoglio. Nel 2021, per la maggior parte del periodo di rilevamenti, la tesi Ir ha sempre evidenziato foglie più inclinate verso il basso, rispetto a quelle della tesi AZ, dato accertato con la sperimentazione 2022, dove la tesi IR è stata sottoposta a stress nettamente superiori, andando ad accentuare la differenza d'inclinazione fogliare tra le due tesi. In generale, le foglie assumono inclinazioni verso il basso maggiori, in corrispondenza di un crescente stress idrico rilevato dalla camera a pressione. Infatti, più negativi sono i valori di potenziale, maggiore è l'angolo di inclinazione rilevato manualmente. Ciò spiega perché sia la differenza tra i valori di potenziale sia di quelli dell'inclinazione tra le due tesi (vedi fig. 29 e 30), è stata massima il 4 Agosto 2022.

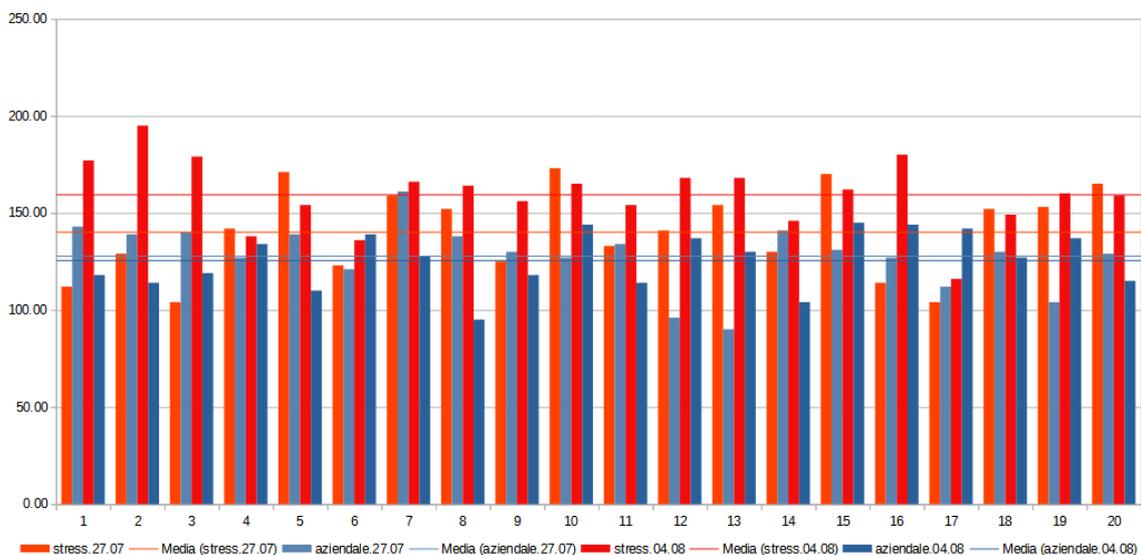


Figura 29: Inclinazione di 20 foglie (a tesi), raccolte nei giorni di 27 Luglio e 4 Agosto, con relativa inclinazione media; notare la differenza netta tra tesi stressata e irrigata

Per quanto concerne la termografia, si evince che, per tutta la stagione la tesi sottoposta a deficit idrico controllato, ha manifestato sempre le temperature più alte. La temperatura media delle due giornate di rilevamento nella tesi AZ è stata di 30.7 °C, mentre nella tesi Ir è stata di 35.1 °C. Rivelando una differenza significativa di quasi 5 °C, tra le due tesi ($p = 0.003169$). Questa differenza è stata appurata dall'analisi statistica e conferma la corrispondenza tra i risultati ottenuti con quelli registrati dalle misurazioni del potenziale idrico (fig. 31). Anche Belfiore (2019; 37), ha studiato l'efficacia della termocamera nel rilevare lo stress idrico in relazione sia della conduttanza stomatica sia al potenziale idrico. I risultati dello studio, dimostrano che la termocamera è risultata in grado di discriminare efficacemente il diverso trattamento irriguo a cui le tre tesi sono state sottoposte (controllo irrigato, stress moderato, stress severo).

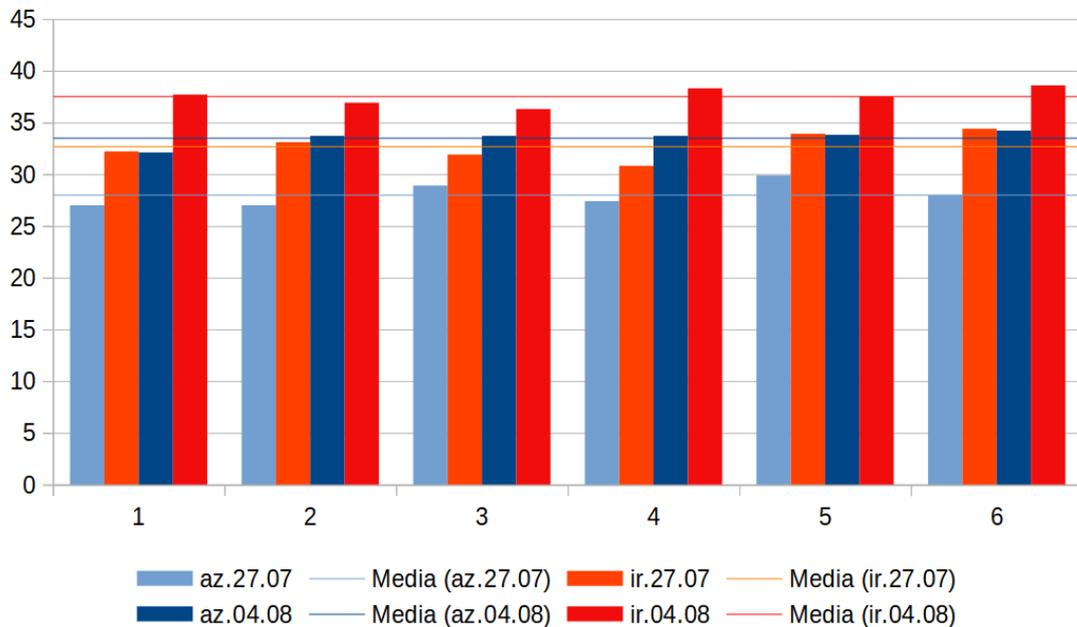


Figura 30: Temperature medie ir raccolte il 27 luglio e il 4 agosto con relative medie; notare come per ciascun giorno la temperatura della tesi stressata è sempre maggiore di quella aziendale

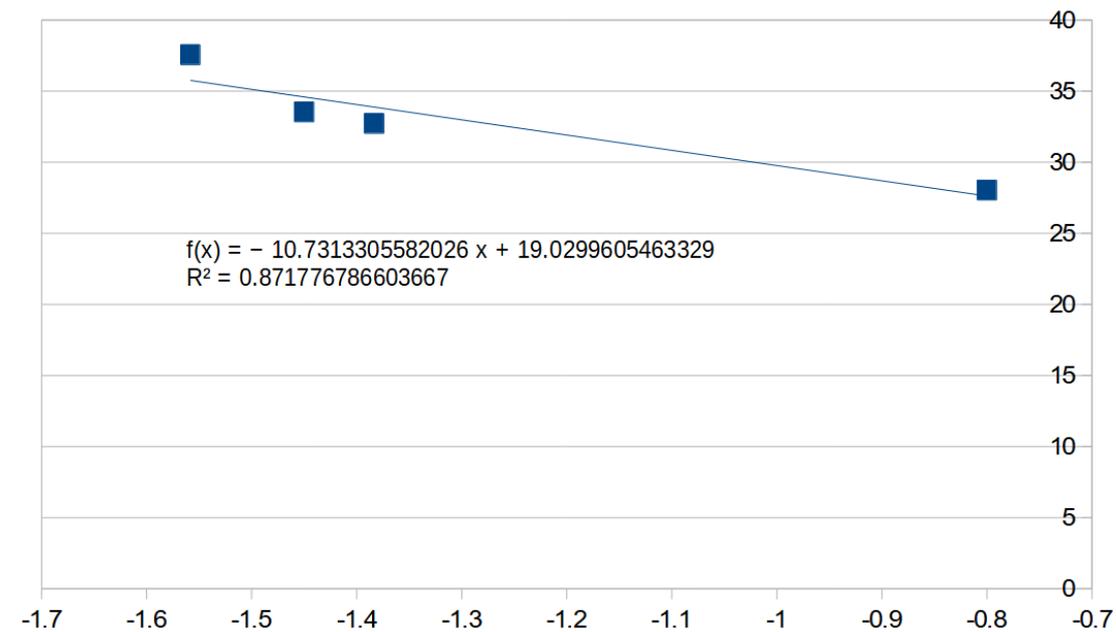


Figura 31: Correlazione tra temperatura fogliare e potenziale idrico, dimostrante l'efficacia della temperatura fogliare come indicatore di stress idrico

5.4 Validazione delle funzionalità della stereo camera e confronto con i dati acquisiti in campo

I dati sono stati analizzati statisticamente, per vedere se vi siano delle correlazioni effettive. Per calcolare i dati di R^2 , è stato usato il programma di calcolo Libre Office Calc, mentre per ottenere il grado di libertà p , è stato applicato il test statistico "t-student" della Social sciences statistics (40), che elabora il grado di libertà tra 2 serie di dati, dimostrando se sono statisticamente diversi (quindi precisi), o se non c'è una reale differenza tra i dati (quindi la correlazione non è precisa), prendendo come soglia massima 0.05.

Per quanto concerne il confronto delle inclinazioni fogliari, si è condotta un'ulteriore analisi delle inclinazioni fogliari, comparando i dati rilevati manualmente, con quelli registrati dalla WCam e rielaborati nel portale "Aurora WEB" dai programmi leaf detection e depth profile. Il sensore, misurando l'angolo del piano fogliare rispetto allo zenith, da risultati da 0° a 90° , mentre le misure manuali col goniometro, misurano direttamente lo zenith, fornendo misure da 90° a 180° . Sapendo che la differenza tra i dati registrati con i due metodi è di 90° , si è sommato tale valore a tutti gli angoli misurati dalla stereo camera per renderli comparabili. Da come si può vedere nella fig. 33, la stereo camera è stata in grado di riconoscere la differenza di inclinazione fogliare in rapporto allo stato idrico della pianta, parimenti a quanto fatto con misurazione manuale dell'inclinazione, nonostante la WCam tenda a sovrastimare le misurazioni rispetto a quelle registrate dall'inclinometro. Si conferma, che ad una crescente condizione di stress (potenziali più negativi), è corrisposto un incremento dei valori di inclinazione fogliare registrati anche dalla WCam.

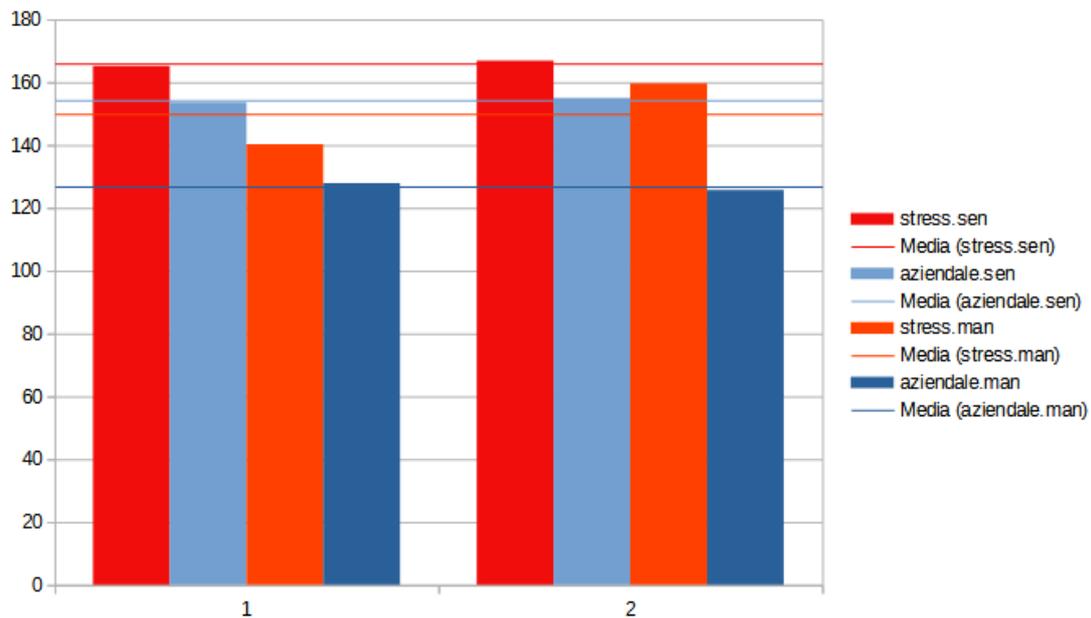


Figura 32: Comparazione dei dati relativi alle inclinazioni fogliari rilevati manualmente e con sensore, nelle giornate del 27/07 (1) e 04/08 (2), notare come la tesi stressata ha inclinazioni maggiori rispetto a quella aziendale sia nel rilevamento manuale che con sensore

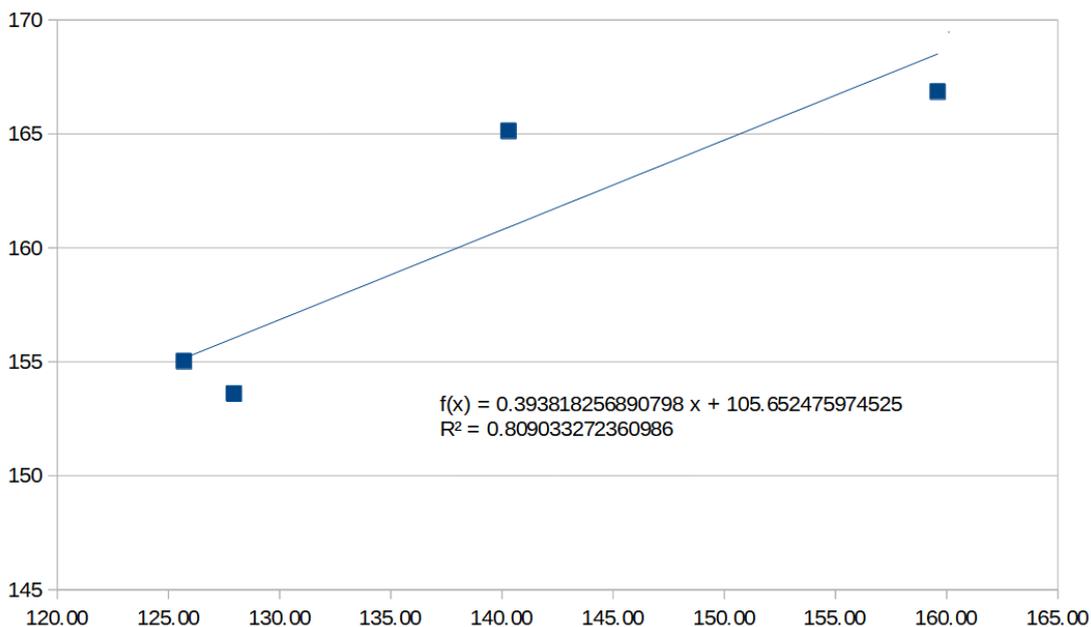


Figura 33: Correlazione tra angolo fogliare preso manualmente (x) e angolo fogliare rilevato da sensore (y): nonostante la scarsa quantità di dati la correlazione è già molto buona

Dal confronto tra le temperature registrate manualmente e dal sistema multisensore, si è compiuta un'analisi comparata tra i dati raccolti dalla termocamera integrata al sistema multisensore e quelli individuati manualmente con la termocamera. Tale indagine, è stata

effettuata per verificare se la tecnologia è in grado di individuare differenti temperature in relazione allo stato idrico della pianta. Si è pertanto confrontato l'andamento delle temperature medie diurne della chioma, acquisite tramite termocamera, con quelle collezionate dalla WCam nella fascia mediana dell'obiettivo fotografato, omettendo quegli spazi che possono condizionare il dato (cielo e suolo). Nonostante molto spesso le temperature del multisensore tendano a sovrastimare leggermente il dato rispetto a quello ottenuto manualmente dalla termocamera, la termocamera del sistema multisensore è risultata capace di individuare differenze di temperatura tra le tesi. Durante la stagione, la tesi Ir ha sempre fatto rilevare temperature più alte rispetto a quelle della Az (fig. 28). A conferma delle capacità di identificazione delle temperature della chioma da parte del sistema multisensore, si riporta il grafico (fig. 32), che attesta come vi sia una forte correlazione tra i dati di temperatura della chioma rilevati manualmente e quelli ottenuti tramite WCam, anche se statisticamente non sono certi ($p=0.381253$), di conseguenza sarebbero necessari ulteriori dati per verificare.

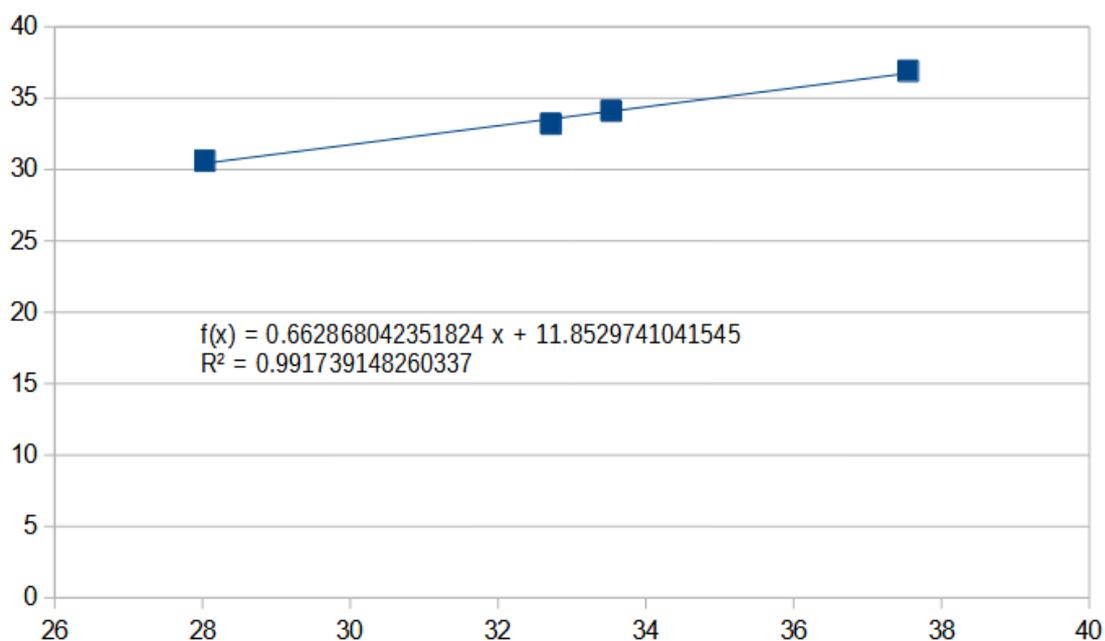


Figura 34: Relazione tra i dati rilevati a mano (x) e quelli rilevati mediante sensore (y), come si evince da R^2 i dati tra di loro hanno una corrispondenza quasi totale

5.5 Valutazione dei risultati ottenuti dal confronto tra programmi Aurora WEB sull'individuazione dell'inclinazione fogliare

Nell'anno di sperimentazione 2021, si era notato che tra i due sistemi di rilevamento dell'inclinazione fogliare, il sistema Leaf Detection, risultava più preciso rispetto al sistema Depth profile, anche se quest'ultimo era in grado di elaborare molti più dati a partire dalla stessa immagine, quindi teoricamente elaborando una media più precisa. Nell'annata 2022, si è continuato a testare entrambi i metodi, e dalle due giornate di rilevamento, è stato confermato quanto concluso nel 2021, ovvero che il sistema depth profile ($R^2 0.69435$), riesce ad ottenere

una media più precisa rispetto a leaf detection (R^2 0.683435), ma quest'ultimo metodo riesce ad ottenere dei dati molto più precisi se comparati con quelli manuali ($p=0.021237$), rispetto al metodo depth profile ($p=0.133069$).

Al termine della stagione, al momento della vendemmia, sono stati misurati i parametri quantitativi e qualitativi delle due tesi, al fine di valutare quale sia stato l'effetto che la grande differenza di apporto idrico ha avuto su di esse. Il numero dei grappoli in media per singola pianta, è risultato significativamente diverso ($p=0.008153$). Infatti, nella tesi Az, si sono contati in media 35 grappoli, nella stressata 20.87. Anche per quanto riguarda il peso la differenza è significativa ($p=0.000254$), ciascuna pianta in media ha prodotto grappoli dal peso di 134,6 g nella tesi Az e di soli 86.6 g in quella stressata. Questa tendenza è confermata da innumerevoli studi e si basa sul comportamento naturale della vite nei confronti dello stress idrico. Laddove tale condizione si presenta, la pianta, per gestire al meglio le proprie risorse è forzata a limitare la crescita degli organi riproduttivi. Una condizione di stress idrico reiterato, altera i normali processi fisiologici della pianta a partire dalla circolazione della linfa grezza (xilema). Si è già parlato dell'effetto che può avere sulla traspirazione, perciò, non è fuori luogo affermare che possa esserci un nesso anche con l'alterazione dell'attività fotosintetica e di stoccaggio degli zuccheri. Tale fenomeno, viene evidenziato anche da Silvestroni et al. (2020), nella varietà Moltepulciano, varietà anisoidrica (come lo è pure il Pinot grigio). La tesi non irrigata, rispetto a quella irrigata (nei limiti della ristorazione del 70 % della evapotraspirazione dell'impianto), ha mostrato un calo del peso del grappolo del 13 %, del 36 % e del 16 %, nei rispettivi tre anni di sperimentazione (Silvestroni et al., 2020; 42). L'assenza di pioggia lungo quasi tutto lo stadio vegetativo della pianta, comprese le fasi delicate come fioritura, allegagione e invaiatura, ha influenzato pesantemente la crescita e di conseguenza il peso dei frutti alla vendemmia, Per ciò che concerne la composizione del grappolo, è stata rilevata una buona differenza statistica tra le due tesi nella concentrazione di solidi solubili ($^{\circ}$ Brix) ($p=0.01678$), mentre per il pH la differenza tra le tesi non risulta significativa, come anche l'acidità titolabile (g/l HTH).

MEDIA	AZ	IR
Kg pianta	4.7	1.8
N° grappoli	35	20.9
Peso medio grappolo	134.6	86.6
°Brix	19.9	17.8
Acidità (HTH)	5.7	5.8
pH	3.2	3.25

Figura 33: tabella con i dati inerenti alle vendemmie del 2022, si noti la differenza sostanziale tra tesi stressata ed irrigata

6. CONCLUSIONE

L'obiettivo di questo studio è stato quello di testare in vigneto una nuova tecnologia, per il monitoraggio dello stato idrico della vite.

Allo scopo di determinare lo stato idrico in modo differenziale, sono stati eseguiti rilevamenti su due tesi diverse: aziendale (irrigata in modo ottimale) e irrigazione ridotta (in cui si è operato in modo da indurre uno stato di stress).

Già solo dai dati dei rilievi compiuti il 27 Luglio e il 4 Agosto, si riesce ad intuire che la gestione irrigua ha effettivamente determinato differenze sia nello stato idrico che nelle risposte fisiologiche delle tesi, molto spesso con dati dimostrati statisticamente. In questi due giorni, la tesi Ir si è differenziata dalla tesi AZ, manifestando condizioni di stress idrico da moderato a severo, come evidenziato dai dati di potenziale (-1.145 MPa della tesi AZ, rispetto alla tesi IR con -1.47083 MPa).

I risultati relativi ai parametri produttivi e qualitativi, hanno permesso di verificare ulteriormente l'effetto delle due gestioni irrigue sulle produzioni. I dati confermano quanto già riportato da altri studi relativamente agli effetti negativi dello stress idrico su produzioni e qualità (biblio). Infatti, dai risultati, si evince una riduzione di entrambi i parametri nella tesi stressata (valori).

Una volta verificata la presenza di condizioni di stato idrico differenziate, si è iniziato a testare la capacità del sistema sensoristico di monitorare parametri relativi alla chioma (inclinazione fogliare e temperatura fogliare), relazionati allo stato idrico della pianta. Tali dati sono stati misurati sia dal sistema multisensore, che misurati manualmente per un successivo confronto. Le buone correlazioni individuate tra angolo fogliare e il potenziale idrico, e tra temperatura fogliare e il potenziale idrico, confermano che questi parametri rispondono alle condizioni idriche della pianta. In condizioni idriche ottimali, sulla base dei dati, le temperature fogliari sono oscillate da 28 °C a 32 °C e le inclinazioni fogliari giornaliere da 125° a 127°. Viceversa, ad uno stato di stress crescente, la pianta ha risposto incrementando le temperature della chioma, con valori tra 32 °C e 37 °C, e incrementando l'inclinazione fogliare, con angoli compresi tra 140° e 159°, nelle ore centrali della giornata.

Un primo importante risultato di questa tesi, è pertanto la conferma che, nella varietà Pinot grigio, la temperatura e l'inclinazione fogliare possono essere utilizzati quali parametri predittori dello stato idrico della pianta.

Un'ulteriore importante obiettivo di questo studio, è stata la verifica della capacità del sistema multisensore WCam, di rilevare correttamente i parametri di ...e... della chioma in campo. Le analisi comparative tra dati raccolti manualmente e registrati dalla WCam, hanno dimostrato una buona corrispondenza tra misure strumentali e misure manuali, validando la capacità del

sistema di rilevare correttamente questi parametri, anche se con così pochi rilevamenti non è possibile trarre conclusioni statisticamente corrette.

In quanto alle misure digitali, si è valutata l'affidabilità dei metodi di calcolo dell'inclinazione fogliare e dalle analisi svolte. Si è appurato che il metodo con maggior precisione tra interpretazione visiva delle inclinazioni e calcolo virtuale degli angoli delle foglie, è stato il Leaf Detection.

I risultati ottenuti in questa tesi, offrono l'opportunità di dare il via a nuovi studi che possano spiegare meglio i meccanismi che regolano le variazioni di inclinazione fogliare giorno-notte della vite, e aprono la strada allo sviluppo di nuovi sistemi di supporto decisionali, più innovativi ed efficienti, in grado di abbinare i classici parametri climatici con parametri rilevati direttamente sulla pianta. Infatti, se il parametro più importante per impostare una gestione dell'irrigazione è il contenuto idrico del suolo, è anche vero che i sensori di umidità, seppur restituendo dati precisi, non sempre sono comparabili tra loro a causa di fattori come tessitura del terreno, e capacità idrica di questo. L'analisi di immagini sullo stato fisico di più piante, rilevate in vari punti di un vigneto permette di aumentare i parametri a disposizione per costruire un DSS (decision Support System) sempre più affidabile. Inoltre, riscontrando la costanza tra anno 2021 e 2022 in termini di precisione nel rilevamento dei dati, è molto probabile che in futuro si possa agire con particolari algoritmi che permettano l'automazione dal punto di vista decisionale, permettendo un'irrigazione ad attivazione controllata per così dire dalla pianta, sfruttando questa nuova tecnologia.

7. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- 1) ARPAV, agrometeo mese maggio 2019 (<https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agrometeo/file-e-allegati/bollettino-mese/2019/Maggio%202019.pdf/view>)
- 2) ARPAV, agrometeo estate giugno-agosto 2022 (<https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agrometeo/file-e-allegati/bollettino-mese/2022/sintesi-2022/Estate%202022.pdf>)
- 3) ARPAV
https://www.arpa.veneto.it/arpavinforma/indicatori-ambientali/indicatori_ambientali/clima-e-rischi-naturali/clima/temperatura/view
- 4) Fanpage
(https://www.youtube.com/results?search_query=fanpage+siccit%C3%A0)
sceglietevne pure uno a caso
- 5) On the origin of species, Charles Darwin 1852 (https://www.vliz.be/docs/Zeecijfers/Origin_of_Species.pdf)
- 6) Zurro R., Piras F., Mulas M., L'irrigazione AGRIS Sardegna, Agenzia per la ricerca in agricoltura. (2008) – 'L'irrigazione'. In: La coltivazione dell'uva da tavola in ambiente mediterraneo. 9, Pp.139-156
- 7) Lebon e., Pellegrino A., Louarn G., Jeremie L., (2006) 'Branch Development Controls Leaf Area Dynamics in Grapevine (*Vitis vinifera*) Growing in Dryng Soil'. In: Annals of Botany, 98, Pp 175-185.
- 8) Pellegrino A., Lebon E., Simonneau T., Wery J., (2005) – 'Towards a simple indicator of water stress in grapevines (*Vitis vinifera* L.) based on the differential sensitivities of vegetative growth components'. In: Australian journal of Grape and Wine Research, <https://doi:10.1111/j.17550238.2005.tb00030.x> (?). 11(3), Pp. 306-315.
- 9) Charrier G. Delzon (Delaon? È sfocata la scansione e non si capisce) S., Domec, J.-C., Zhang L., Delmas C. E. L., Merlin I., Corso D., King A., Ojeda H., Ollat N., Prieto J. A., Scholach T., Skinner P., van Leeuwen C., Gambetta G. A. (2018)- 'Drought will not leave your glass empty: Low risk of hydraulic failure revealed by long-term drought observations in world's top wine regions'. In: Science Advances, <https://doi:10.1126/sciadv.aao6969>. 4(1), eao6969.
- 10) van Leeuwen C., Tregoat O., Choné X., Bois B., Pernet D., Gaudillère J.-P. (2009) – 'Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes?'. In: journal international des Sciences de la Vigne et du Vin, <https://doi:10.20870/oeno-one.2009.43.3.798>, 43, Pp. 121-134.

- 11) Munitz S., Schwartz A., Netzer Y. (2020) – *‘Effect of trimming of irrigation initiation on vegetative growth, physiology and yield parameters in Cabernet Sauvignon grapevines’*. In: Australian Journal of Grape and Wine Research, 26, Pp. 220-232.
- 12) Luise N. (2019) – *‘Ottimizzazione dell’uso di parametri visivi della chioma per la stima dello stato idrico della vite’*. Relatore Prof. Andrea Pitacco, Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali e Ambiente, Corso di laurea in Scienze e Tecnologie Viticole ed Enologiche. A. A. 2018/2019..
- 13) Sthockley (1956) *‘Amount of water in the soil’*
- 14) Miravalle R. (2013) – *‘il punto sull’irrigazione del vigneto in Italia’*. In: L’Informatore Agrario, 18/2013. P. 41.
- 15) Peretti C., (2019) – *‘Gestione dell’equilibrio vegeto-produttivo in giovani impianti di vite’* Relatore Prof. Andrea Pitacco, Correlatore Dott.ssa Federica Gaiotti. Università degli studi di padova, Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali e Ambiente, Corso di laurea in Scienze e Tecnologie Viticole ed Enologiche. A. A. 2018/2019.
- 16) Enoforum 2017- *‘I nuovi portinnesti “Serie M”* presentato dal Prof. Attilio Scienza <https://www.youtube.com/watch?v=xq4fRfCNIBU>
- 17) Lopez-Urrea, R., Sánchez, J.M., Montoro, A., Mañas, F., Intrigliolo, D.S. (2020) *‘Effect of using pruning waste as an organic mulching on a drip-irrigated vineyard evapotranspiration under a semi-arid climate’*. In: Agricultural and Forest Meteorology, 291, 108064.
- 18) Buesa, I., Miràs-Avalos, J.M., De Paz, J.M., Visconti, F., Sanz, F., Yeves, A., Guerra, D., Intrigliolo, D.S. (2021) – *‘Soil management in semi-arid vineyards: Combined effects of organic mulching and no-tillage under different water regimes’*. In: European Journal of Agronomy. 123, 126198.
- 19) Medrano H., Tomàs M., Martorell S., Escalona, J.M., Pou A., Fuentes S., Flexas J., Bota J. (2015) – *‘Improving water use efficiency of vineyards in semi-arid regions’*. In: Agronomy for Sustainable Development, 35, Pp.499-517.
- 20) Hunter J.J., Volschenk C.G., Zorer R. (2016) – *‘Vineyards row orientation of Vitis vinifera L. cv. Shiraz/101-14 M-gt: Climatic profiles and vine physiological status’*. In: Agricultural And Forest Meteorology, 228-229. Pp. 104-119.
- 21) Buesa I., Miràs-Avalos J.M., Intrigliolo D.S. (2020) - *‘Row orientation effects on potted- vines performance and water-use efficiency’*. In: Agricultural and Forest Meteorology, 294, 108148
- 22) van Leeuwen C., Pieri P., Gowdy M., Ollat N., Roby J.P. (2019)- *‘Reduced density is an environmental friendly and cost effective solution to increase resilience to drought in vineyards in a context of climate change’*. In: OENO One, 53, Pp. 129-146.

- 23) Phogat V., Cox J.W., Mallants D., Petrie P.R., Oliver D.P., Pitt T.R. (2020) '*Historical and future trends in evapotranspiration components and irrigation requirement of wine grapes*'. In: Australian Journal of Grape and Wine Research 26, Pp. 312-324.
- 24) Milella A., Duce P., Fiori M., Spanu D. (1996) - '*La razionale gestione dell'intervento irriguo in Sardegna*' - Nota Tecnica N° 1.
- 25) Mirás-Avalos, J.M.; Araujo, E.S. (2021)- '*Optimization of Vineyard Water Management: Challenges, Strategies, and Perspectives*'. In: Water 2021, 13, 746,
- 26) Rodriguez Lovelle B., Trambouze W., Jacquet O. (2009) - '*Évaluation de l'état de croissance végétative de la vigne par la méthode des apex*'. In: Progrès Agric. Vitic., 126, Pp. 77-88.
- 27) Gamon J.A., Pearcy R. W. (1989) - '*Leaf movement, stress avoidance and photosynthesis in Vitis californica*'. In: Oecologia, 79, Pp. 475-481.
- 28) Palliotti A., Silvestroni O., Petoumenou D., Vignaroli S., Berrios J.G. (2008) - '*Evaluation of low-energy demand adaptive mechanisms in Sangiovese grapevine during drought*'. In: Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 42, n°1, Pp. 41-47.
- 29) Améglio T., Archer P., Cohen M., Valancogne C., Daudet F.A., Dayan S., Cruiziat P. (1999) - '*Significance and limits in the use of predawn leaf water potential for tree irrigation*'. In: Plant and Soil, 207. Pp. 155-167.
- 30) Williams L. E., Araujo F. J. (2002) - '*Correlations among Predawn Leaf, Midday Leaf, and Midday Stem Water Potential and their Correlations with other Measures of Soil and Plant Water Status in Vitis vinifera*'. In: Journal of the American Society for Horticultural Science, 127(3), Pp. 448-454.
- 31) Yuste J., Gutiérrez I., Rubio J., Albuquerque M. d. V. (2004) - '*Leaf and stem water potential as vine water status indicators, in Tempranillo grapevine, under different water regimes in the Duero valley*'. In: Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 38(1), Pp. 21-26.
- 32) Farquhar G. D., von Caemmerer S., Berry J. A. (1980) - '*A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species*'. In: Planta, 149(1), Pp. 78-90. <https://doi:10.1007/bf00386231>.
- 33) Gaudillère J-P., Van Leeuwen C., Ollat N. (2002) - '*Carbon isotope composition of sugar in grapevine, an integrated indicator of vineyard water status*'. In: Journal of Experimental Botany, 53, 369, Pp. 757-763.
- 34) Cogato A., Marinello F., Meggio F. (2021) - '*Rilevare il deficit idrico della vite per irrigare al meglio*'. In: L'Informatore Agrario 12/2021, Pp. 53-57.
- 35) Rienth M., Scholasch T. (2019) - '*State-of-the-art of tools and methods to assess vine water status*'. In: OENO One, 4, Pp.619-637.

- 36) Costa J.M., Ortuño M. F., Lopes C. M., Chaves M. M. (2012) – ‘Grapevine varieties exhibiting differences in stomatal response to water deficit’. In: Functional Plant Biology, <http://dx.doi.org/10.1071/FP11156>.
- 37) Belfiore N., Vinti R. Lovat L., Chitarra W., Tomasi D., de Bei R., Meggio F., Gaiotti F. (2019)- ‘*Infrared Thermography to Estimate Vine Water Status: Optimizing Canopy Measurements and Thermal Indices for the Varieties Merlot and Moscato in Northern Italy*’. In: Agronomy: <https://doi:10.3390/agronomy9120821>, 9, 821 Pp. 1-20.
- 38) https://wwwold.arpa.veneto.it/bollettini/storico/2022/0185_2022_TEMP.htm
- 39) https://wwwold.arpa.veneto.it/bollettini/storico/2022/0185_2022_PREC.htm
- 40) <https://www.socscistatistics.com/tests/studentttest/default2.aspx>
- 41) Silvestroni, O., Mattioli, S., Neri, D., Palliotti, A. e Cartechini, A. (2005) – “Down-regulation of photosynthetic activity for field-grown grapevines”. In: Acta Hort. 689, Pp. 285-292. DOI:10.17660/ActaHortic.2005.689.33.
- 42) Silvestroni O., Palliotti A., di Lena B., Nuzzo V., Sabbatini P., Lattanzi T., Lanari V. (2020) – “Effects of limited irrigation water volumes on near-isohydric ‘Montepulciano’ vines trained to overhead trellis system”. In: Acta Physiologie Plantarum 42:147).