

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia, Alimenti, Risorse Naturali, Animali e Ambiente

Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie Viticole ed Enologiche

**“ONDATE DI CALORE IN VIGNETO: STRATEGIE AGRONOMICHE
PER IL MANTENIMENTO DELLA QUALITÀ DELL'UVA GLERA
NELL'AREA CONEGLIANO-VALDOBBIADENE”**

Relatore: Prof. Meggio Franco

Correlatori: Prof. Vincenzi Simone

Dott. Mirone Francesco

Laureanda: Merotto Diana

Matricola: 2034630

Anno accademico 2023-2024

*Rendi cosciente l'inconscio, altrimenti sarà l'inconscio a guidare la tua vita
e tu lo chiamerai destino.*

(Carl Gustav Jung)

1	INTRODUZIONE	10
2	SCOPO DEL LAVORO	14
3	MATERIALI E METODI	15
3.1	Sito sperimentale.....	15
3.2	Layout sperimentale.....	16
3.3	Protocollo delle misurazioni effettuate	20
3.3.1	Porometro.....	20
3.3.2	Point Quadrat	21
3.3.3	Monitoraggio della temperatura con termocoppie e sensori.....	22
3.4	Raccolta delle uve	26
3.5	Analisi chimiche delle uve in laboratorio	26
3.5.1	Rifrattometro.....	26
3.5.2	Acidità.....	27
3.5.3	pH.....	28
3.5.4	Contenuto di Calcio	29
3.5.5	Rame	29
3.5.6	Quercetina	29
3.6	Micro-vinificazione.....	30
3.6.1	Analisi del vino in laboratorio	30
3.7	Analisi statistica	30
4	RISULTATI E DISCUSSIONE	32
4.1	Fluttuazioni della temperatura durante la stagione estiva	32
4.2	Risultati point quadrat.....	34
4.3	Microclima della chioma	34
4.4	Conduttanza stomatica fogliare.....	37
4.5	Analisi per la raccolta delle uve	41
4.7	Analisi qualitative sul pigiato	44
4.7.1	Analisi su acidità.....	46
4.7.2	Analisi su calcio	48
4.7.3	Analisi su rame.....	49
4.8	Analisi su vino base	50
4.	CONCLUSIONI	52
5.	BIBLIOGRAFIA	54
6.	SITOGRAFIA.....	57
	RINGRAZIAMENTI.....	58

RIASSUNTO

In questa prova, effettuata presso l'azienda agricola "L'Antica Quercia", è stata valutata la possibilità di utilizzare in vigneto, come tecniche agronomiche a breve termine, due trattamenti con caolino e zeolite e l'applicazione delle reti ombreggianti per la difesa della vite e il mantenimento dei frutti a fronte dei cambiamenti climatici, in particolare delle ondate di calore. Il caolino è una roccia sedimentaria costituita principalmente da caolinite, un minerale silicato delle argille ed essendo in forma micronizzata è stato miscelato con acqua e applicato sulla chioma delle viti con un atomizzatore a spalla. Stessa cosa è stata fatta con la zeolite che è un minerale appartenente al gruppo dei silicati. Le reti invece, sono state applicate "a grembiule", fornendo alle colture una percentuale di ombreggiamento del 50%. Questi tre trattamenti, oltre che ad essere stati messi a confronto tra di loro sono stati comparati alla normale situazione verificatasi in assenza del nostro intervento. I risultati hanno dimostrato un effetto significativo della zeolite sulla conduttanza stomatica, permettendo un maggior raffreddamento della superficie fogliare, inoltre, assieme al caolino ha rivelato effetti maggiormente positivi sui parametri qualitativi, mentre la rete ha contribuito ad una maggiore produzione e alla mitigazione della temperatura all'interno del microclima della pianta.

ABSTRACT

In this test, carried out at the "L' Antica Quercia" holding, the possibility of using short-term agronomic techniques in vineyards was evaluated: two treatments with kaolin and zeolite and the application of shading nets for the protection of the vine and the maintenance of the fruits in the presence of climatic changes, in particular heat waves. Kaolin is a sedimentary rock consisting mainly of kaolinite, a silicate mineral of the clays and being in micronized form it was mixed with water and applied to the crown of the screws with a shoulder atomizer. The same was done for zeolite, a mineral belonging to the silicate group. The nets, on the other hand, were applied "in a apron", providing the crops with a shading percentage of 50%. These three treatments, besides being compared with each other, were compared with the normal situation that occurs in the absence of our intervention. The results showed that the nets treatment helped to increase production and reduce temperatures in the plant's microclimate. Zeolite, on the other hand, has found significant effects on stomatic conductivity, allowing a greater cooling of the leaf surface and together with kaolin showed more positive effects on quality parameters.

1 INTRODUZIONE

I cambiamenti climatici rappresentano una delle sfide più significative del nostro tempo, influenzando il pianeta in modi profondi e complessi. Si riferiscono a una serie di alterazioni strutturali del clima terrestre, principalmente causate dall'attività umana come la deforestazione, l'inquinamento e l'uso di combustibili fossili. In particolare, l'anidride carbonica e altri gas serra presenti naturalmente nell'atmosfera catturano il calore derivante dall'energia solare che viene irradiata dalla superficie terrestre, impedendo che parte di questo calore si disperda nello spazio (East-West Center, 2021). I risultati di tali cambiamenti causano diversi effetti a livello globale, infatti con questo aumento della quantità di gas serra in atmosfera, si stanno verificando un aumento della temperatura e cambiamenti nei *pattern* delle precipitazioni (Marin et al., 2021), che a loro volta causano un incremento del numero di eventi meteorologici estremi, il riscaldamento degli oceani, l'innalzamento del livello dei mari e modifiche negli equilibri ecosistemici.

Molti di questi effetti, sono maggiormente riscontrabili in aree antropizzate, come in Europa, dove le temperature medie sono aumentate più rapidamente rispetto alla media globale generando spesso notevoli perdite economiche a seguito dei danni causati. In questo scenario, i paesi del Mediterraneo risultano particolarmente colpiti, come l'Italia, in cui è stato possibile osservare una forte alternanza di stagioni fortemente siccitose al Sud (2000-2001) e successivamente al Nord (2003), associate a eventi atmosferici estremi come grandinate, esondazioni e variazioni di temperatura repentine fuori dalle medie stagionali (Zucaro & Pontrandolfi, 2007). Tra le diverse attività umane, l'agricoltura è probabilmente la più esposta agli effetti negativi del cambiamento climatico poiché le condizioni meteorologiche durante i cicli biologici delle colture rappresentano il principale fattore in grado di influenzare la crescita delle piante, determinando la quantità e la qualità della produzione agricola e, in ultima analisi, la sostenibilità economica.

La vite (*Vitis vinifera* L.) è inclusa in questa categoria, poiché ampiamente riconosciuta come una delle più importanti colture coltivate in tutta Europa, e presente in particolar modo nei principali paesi produttori di vino del mondo: Italia, Francia e Spagna (Droulia & Charalampopoulos, 2021). In Italia, a causa dell'elevato grado di urbanizzazione delle aree collinari, costiere ma anche montane, la mitigazione (ove possibile) degli effetti del cambiamento climatico, risulta più complicata rispetto ad altri paesi (Zucaro & Pontrandolfi, 2007), sebbene la superficie vitata sia di 636 mila ettari.

Tabella 1 - Censimento ISTAT 2021.

Vite per la produzione di vino - aziende e superficie - censimento ISTAT 2021				
DATI 2021	e1		Superficie (ha)	
	Totale	DOP/IGT	Altri	Totale
Piemonte		39,334	3,254	42,588
Valle d'Aosta		362	57	419
Lombardia		23,055	1,395	24,450
Liguria		966	356	1,322
Trentino-Alto Adige		15,884	539	16,423
Veneto		89,986	10,340	100,326
Friuli-Venezia Giulia		23,597	2,123	25,720
Emilia-Romagna		36,504	17,521	54,025
Toscana		51,273	5,979	57,252
Umbria		6,407	2,693	9,100
Marche		10,851	3,060	13,911
Lazio		10,141	5,000	15,141
Abruzzo		21,644	7,342	28,986
Molise		934	2,705	3,639
Campania		11,506	9,659	21,165
Puglia		31,818	39,519	71,337
Basilicata		1,662	1,624	3,286
Calabria		3,234	3,313	6,547
Sicilia		64,756	12,754	77,510
Sardegna		9,035	7,388	16,423
ITALIA		452,949	136,621	589,570
Nord-ovest		63,717	5,062	68,779
Nord-est		181,855	31,062	212,917
Centro		78,672	16,732	95,404
Sud		70,798	64,162	134,960
Isole		73,791	20,142	93,933

Come riportato nell'ultimo censimento dell'ISTAT sulla produzione di vino in Italia (Tabella 1), le aree di produzione vitivinicola stanno cambiando in termini geografici e quantitativi, nello specifico, negli ultimi 10-11 anni è stato possibile osservare un incremento della superficie vitata di circa 35 mila ettari al Nord, per un totale di 269 mila ettari. Contrariamente a questo trend di crescita riscontrato al Nord, è stata registrata una decisa contrazione delle superfici vitate di 30 mila ettari al Centro-Sud e nelle isole, per un totale che è sceso nel 2021 a 367 mila ettari. In questo contesto regionale, è il Veneto, infatti, la principale regione italiana con 100 mila ettari adibiti a vino, mentre la seconda, è la Sicilia, con una superficie di 78 mila ettari.

L'evidente spostamento del baricentro della produzione verso Nord, soprattutto nel Nord-Est, è dovuto ad una forte crescita esponenziale dei vini spumanti degli ultimi anni, nello specifico grazie al Prosecco DOC e DOCG. Nel 2021, le vendite di Prosecco Superiore DOCG, rispetto al 2020, sono infatti cresciute del 14 % a circa 104.7 milioni di bottiglie per un valore di 621 milioni di euro (+18 %). A tale incremento contribuisce soprattutto il mercato italiano, +17 % di volume e +25 % di valore (volendo confrontare con il 2019, +19 % e +23 %) mentre all'estero, le vendite sono cresciute dell'11 % in volume e del 9% in valore (I numeri del vino, 2021). Nello stesso anno anche le vendite di Prosecco DOC sono aumentate rispetto all'anno precedente, toccando la quota di produzione di 627 milioni di bottiglie, per un valore stimato al consumo di 3 miliardi di euro (2.4 miliardi di euro nel

2020), a fronte di una vendemmia di 4.8 milioni di ettolitri, dunque molto vicina al 10% della produzione totale di vino italiana.

Il sistema Prosecco continua a crescere, non solo nel 2021 si sono stimati 28100 ettari di vigneto contro i 24450 del 2018, ma c'è stato anche un aumento delle aziende vitivinicole, delle aziende vinificatrici e delle case spumantistiche. Il 2020 è stato un anno di “pausa” nella crescita, influenzato dal Covid che ha interrotto una linea immaginaria di una crescita annua di circa il 13 % sui 10 anni. La crescita di produzione del 2021 è anche da assimilare all'introduzione della variante rosé, che ha superato il 10 % dei volumi nel 2021 (I numeri del vino, 2021).

I numeri del settore vitivinicolo in Italia esprimono chiaramente l'importanza economica di tale comparto agricolo, che a causa degli effetti del cambiamento climatico, è soggetto a diverse sfide, come l'incremento di fisiopatie derivate ad esempio, dall'aumento del numero di ondate di calore e le conseguenti scottature degli acini. Questo fenomeno è causato dalla combinazione di diversi fattori, rispettivamente: eccesso di radiazione fotosinteticamente attiva (PAR), radiazione UV e temperature elevate, che possono essere esacerbate da altri fattori di stress come il deficit idrico, provocando danni sulle bacche che nei casi più gravi risultano essere irreversibili, portando al completo disseccamento dell'acino (Gambetta et al., 2021). A seconda della gravità del danno causato alle bacche, nel caso di uve da vino, possono essere declassate da una qualità di grado superiore ad una qualità di grado inferiore con una conseguente perdita economica fino al 50 % del valore della coltura. A livello epidermico, le scottature portano alla distruzione della clorofilla provocando una perdita di compartimentazione cellulare, che espone i composti polifenolici a foto-ossidazioni, inoltre, esse agiscono danneggiando i diversi strati che compongono l'esocarpo della bacca, causando una maggiore permeabilità dell'acqua e conseguente disidratazione. A tal motivo, quando la bacca è soggetta a stress di tipo termico/luminoso, è in grado di attivare una cascata di reazioni di protezione del suo apparato fotosintetico, aumentando la produzione di composti antiossidanti, carotenoidi e polifenoli, compensando l'accumulo di specie tossiche dannose (Gambetta et al., 2021).

Le ondate di calore, definite secondo la WMO (World Meteorological Organization), come periodi consecutivi di almeno 6 giorni in cui la temperatura massima è superiore al 90° percentile di quel determinato giorno rispetto al periodo climatologico di riferimento (1981-2010 o se disponibile 1991-2020), si verificano principalmente durante i mesi estivi, in particolare dal mese di giugno al mese di agosto, periodo in cui si verificano le più delicate fasi fenologiche della vite, come l'allegagione e l'invaiaitura, da cui deriva la successiva formazione e maturazione dell'uva, motivo che rende tale fenomeno particolarmente problematico. Porre molta attenzione alle possibili avversità in questo periodo critico, è dunque fondamentale, poiché potrebbero comportare una diminuzione qualitativa e

quantitativa del prodotto. È stato possibile riscontrare già alcuni degli effetti causati dall'aumento delle temperature medie globali, che influenzano in particolar modo il processo di maturazione agendo sull'accumulo di zuccheri nelle bacche con conseguente anticipo della raccolta (Coombe, 1987). Parallelamente si è notata una diminuzione dell'acidità, in particolare del contenuto di acido malico (Coombe, 1987). Inoltre, il riscaldamento influisce aumentando la velocità dello sviluppo delle colture, che causa una diminuzione della produzione (Hedhly et al., 2009; Chen et al., 2020). Fisiologicamente, sebbene da un lato l'aumento della concentrazione di anidride carbonica (CO₂) atmosferica possa aumentare la fotosintesi, come fonte di carbonio e ridurre i tassi di traspirazione (Burkart et al., 2011; Deryng et al., 2016), dall'altro, le temperature più elevate influenzano anche la capacità delle piante di ottenere e utilizzare acqua (Viciedo et al., 2021). Sotto questo aspetto è stato registrato inoltre un calo della conduttanza stomatica (scambi gassosi tra la foglia e l'atmosfera), caratteristica di stress idrico crescente (Trahan e Schubert, 2016) che, combinato con le alte temperature (soprattutto nel periodo di maturazione delle bacche), può provocare la produzione di vini squilibrati, per l'effetto dell'elevato contenuto alcolico e della bassa complessità polifenolica a seguito dell'alterazione dei metaboliti secondari (ad esempio antociani) che influiscono sull'aroma e la colorazione (Santos et al., 2020; Savoi et al., 2020).

Le ondate di calore colpiscono sia le uve a bacca rossa che quelle a bacca bianca che, tradizionalmente vengono coltivate in zone geografiche in cui la temperatura media della stagione di crescita è compresa tra 12 e 22 °C, con una risposta vegetativa ottimale ai valori medi giornalieri da 20 °C a 35 °C. Al di sopra dei 35 °C, infatti, l'attività fotosintetica fogliare viene compromessa. Un'esposizione prolungata a temperature elevate (superiori a 35-40 °C) può avere effetti negativi anche sul sistema fotosintetico della pianta e provocare gravi danni alla buccia delle bacche sotto forma di scottature necrotiche che possono aumentare l'incidenza di infezioni fungine latenti nelle uve. Il momento in cui l'infiorescenza inizia a fiorire e poi le bacche a maturare (inizio della maturazione) è determinato dalla temperatura, che influisce quindi sulla data di vendemmia, la resa e la composizione. Le condizioni termiche determinano la durata delle diverse fasi fenologiche della crescita e, di conseguenza, la durata della stagione vegetativa.

2 SCOPO DEL LAVORO

In uno scenario futuro in cui le ondate di calore previste diverranno sempre più frequenti ed intense, ed in cui due dei più problematici effetti del cambiamento climatico riguardano l'aumento dell'irraggiamento e della frequenza di eventi meteorologici estremi (IPCC, 2014), la viticoltura si presta ad attraversare un periodo di grande trasformazione, dove la capacità di adattarsi a queste sfide sarà cruciale per il futuro dell'industria vitivinicola. Questo, richiederà un'adeguata pianificazione e l'attuazione di strategie di mitigazione adeguate e contestualizzate per diversi aspetti; varietali, pedologici e aziendali, per garantire il mantenimento di elevati standard qualitativi del vino.

Questa tesi si propone, di valutare l'efficacia di alcune tecniche di adattamento agronomiche a breve termine, per contenere gli effetti delle ondate di calore in areali vitivinicoli come quelli del Nord-Est italiano, e che consentano di mantenere le caratteristiche e la qualità del prodotto finito. Per ogni singola tecnica utilizzata, non solo verranno valutati gli aspetti qualitativi ma anche quelli quantitativi. Verranno analizzate diverse temperature partendo dall'intera stagione estiva fino ad arrivare nello specifico alla temperatura registrata all'interno degli acini. Contemporaneamente nella sperimentazione si sono eseguiti anche dei campionamenti con degli strumenti come il point quadrat e il porometro. Le analisi del primo serviranno per avere un quadro generale sulla fittezza della chioma mentre tra i vari risultati che può offrire il secondo strumento verrà considerata la conduttanza stomatica. Al momento della raccolta, verranno esaminati i relativi parametri partendo dalla produzione media totale, alla quale susseguirà poi l'analisi sulla resa per pianta e infine anche sui pesi medi di 100 acini. Una volta terminata la vendemmia verranno rilevate ulteriori analisi sul pigiato delle uve relative alla composizione chimica delle bacche, e a seguito della micro-vinificazione le stesse analisi verranno riproposte sul vino base. In questo modo sarà possibile valutare l'effetto delle tecniche agronomiche a breve termine scelte per questa tesi contro le ondate di calore, sulla vite e di conseguenza sul prodotto vino.

3 MATERIALI E METODI

3.1 Sito sperimentale

L'esperimento è stato condotto presso l'azienda vitivinicola "L'antica Quercia", su piante di *Vitis vinifera* L. cv. Glera durante l'estate 2024. L'azienda ha sede tra le colline di Scomigo, una piccola frazione del comune di Conegliano, ed è costituita da un corpo unico di 25 ettari dove si alternano vigneti, ulivi e melograni. Il clima risulta più umido nel fondovalle mentre verso l'apice delle colline, grazie all'aria fresca proveniente dalle Dolomiti Bellunesi, l'umidità decresce. L'azienda è condotta in regime biologico nel quale viene attuata anche la pratica del sovescio che prevede il mantenimento di un cotico erboso sull'interfila, grazie alla coltivazione di varie specie come il pisello selvatico, il trifoglio, la senape, la colza, il ravizzone e l'avena, che vengono tagliate ed interrate nel momento in cui raggiungono il massimo del loro sviluppo; in questo modo conferiscono al terreno l'azoto e i nutrienti di cui le piante hanno bisogno per crescere meglio. Il sistema di allevamento utilizzato è il "doppio capovolto", secondo il quale vengono scelti i due tralci più giovani da archettare sui quali vengono lasciate otto gemme per ciascuno e uno/due speroni alla base per il rinnovo. Questa forma di allevamento deriva dal Guyot (criterio di potatura più storico), il quale si adatta molto bene a diverse tipologie di terreni, siano essi siccitosi o poco fertili, collinari o in pianura (Fregoni, 2013). La forma di allevamento a "doppio capovolto" necessita di sostegni: pali alti almeno 2 metri fuori terra e distanti tra loro 5-6 metri e 4 fili, uno teso all'altezza dei capi a frutto, uno più basso per poter legare i capi a frutto archettati e più in alto in modo sostenere la vegetazione che costituirà la chioma prodotta dalla pianta durante l'anno (Figura 1).

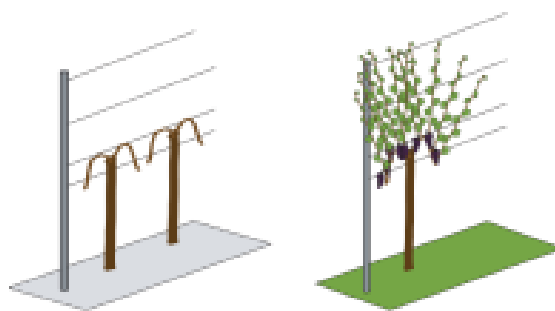


Figura 1 - Sistema di allevamento doppio capovolto (fonte Appunti lezione Meggio 2023).

Questa forma di allevamento prevede durante la fase di potatura che si operino tre tagli, rispettivamente: quello del 'passato', del 'presente' e del 'futuro'. Con il primo si elimina il tralcio che ha originato i germogli fruttiferi, con il secondo si taglia ad una lunghezza di 10 gemme il tralcio emesso dallo sperone e con il terzo si taglia alla lunghezza di 2 gemme un ulteriore tralcio emesso dallo sperone che diventerà lo sperone stesso che fornirà i tralci per la produzione dell'anno successivo (Fregoni, 2013). I sesti d'impianto variano a seconda della vigoria, della combinazione

d'innesto e della fertilità del terreno, da 1,2-2,2 metri tra i filari e 0,80-1,5 metri sulla fila. La densità di impianto invece, varia da 1200-2000 piante ad ettaro e la carica di gemme è di 80000-100000 gemme ad ettaro. Tra i vari vantaggi, questa forma di allevamento permette un'ottima espressione della carica produttiva e un'ottima vigoria. La vegetazione si spinge la massimo sui germogli basali, questo si tradurrà in una buona gradazione di zuccheri e quindi di alcol (Fregoni, 2013).

3.2 Layout sperimentale

La sperimentazione si è svolta suddividendo in blocchi randomizzati una porzione di vigneto per un totale di 3 blocchi, all'interno del quale ogni trattamento è stato replicato, ottenendo complessivamente 3 repliche (*Figura 2*). Per ogni blocco sono stati eseguiti 3 trattamenti diversi più un controllo non trattato:

- a) Caolino
- b) Zeolite
- c) Rete ombreggiante.

I trattamenti sono stati randomizzati su entrambe le pareti della porzione di filare preso in esame, lungo 20 metri. Al fine di evitare eventuali effetti deriva, i trattamenti sono stati separati l'uno dall'altro da un filare buffer, per un totale di 49 filari utilizzati di cui 36 trattati e 13 utilizzati come buffer.



Figura 2 – Divisione del vigneto sperimentale dell'Azienda Agricola L'Antica Quercia in blocchi randomizzati.

Nello specifico, i trattamenti utilizzati sono stati:

- a) **Caolino**: il caolino è un'argilla bianca composta principalmente da caolinite, che a sua volta è formata da alluminosilicati ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$), caratterizzato da assenza di tossicità per gli

animali e gli insetti utili, è chimicamente inerte, non abrasivo e si dissolve facilmente in acqua sebbene le applicazioni siano di 5kg/ha. Il tipo di caolino utilizzato per questa ricerca è stato utilizzato in forma micronizzata (diametro 4µm), aumentando l'adesione alla superficie delle foglie e del frutto, esplicando quindi al meglio le sue funzioni protettive da scottature solari e stress termico grazie alla capacità di riflessione della radiazione solare, di aumentare la protezione da insetti fitofagi, di raffreddamento delle foglie ed incremento dell'efficienza d'uso dell'acqua (WUE) (Dinis et al., 2022). L'applicazione del caolino (*Figura 3*) è stata effettuata attraverso irrorazione con atomizzatori a spalla durante tutto il periodo dell'esperimento, fino a 10 giorni prima dalla raccolta.



Figura 3 – Foto post-irrorazione con caolino su Vitis vinifera presso l'Azienda Agricola "L' Antica Quercia".

- b) **Zeolite:** Le zeoliti sono alluminosilicati idrati caratterizzati da una struttura tetraedrica di SiO_4 e AlO_4 , uniti dalla condivisione di tutti gli atomi di ossigeno. All'interno di questa struttura sono presenti anche dei cationi che servono per bilanciare le cariche come, ad esempio, calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+) o potassio (K^+). Le cavità e i canali all'interno della struttura dell'alluminosilicato generano una struttura a nido d'ape nanometrica (Constantinescu-Aruxandei et al., 2020). Come riportato nella scheda tecnica del prodotto, in viticoltura, viene utilizzata non solo per la sua capacità di ritenzione idrica intrappolando l'acqua e rilasciandola gradualmente permettendo così di regolare l'acqua disponibile nel

terreno. In commercio la si può trovare in forma granulare, la quale aumenta lo scambio cationico del terreno riducendo del 20 % l'uso di concime già dal primo anno di impiego e aumentando l'aerazione e l'ossigenazione del terreno, oppure la si può trovare in forma micronizzata. Quest'ultima è stata utilizzata per mitigare gli effetti negativi delle ondate di calore perché a differenza della zeolite granulare che viene cosparsa nel terreno, la zeolite micronizzata viene miscelata con acqua con dosi assimilabili al caolino, ed applicata sulla chioma creando un film protettivo su chioma e grappoli, contro gli attacchi di patogeni fungini ma soprattutto, in grado di ridurre i danni da eccessi di radiazione luminosa. Il trattamento con zeolite può essere suddiviso in base alla pratica agronomica attuata, come riportato nella tabella sottostante. Com'è possibile osservare in figura 4, rispetto al caolino, la copertura sulla chioma è meno bianca, suggerendo una minore riflessione della radiazione solare. L'applicazione della zeolite, come per il caolino, è stata effettuata attraverso irrorazione con atomizzatori a spalla durante tutto il periodo dell'esperimento, fino a dieci giorni prima dalla raccolta. In tabella 2 sono stati riportati i giorni in cui sono stati effettuati i trattamenti.

Tabella 2 - Date in cui sono stati effettuati i trattamenti con caolino e zeolite

Trattamenti	Date di esecuzione dei trattamenti
Caolino e Zeolite	16 /07
	17 /07
	18 /07
	22 /07
	22 /07
	23 /07
	26 /07
	30/07
	03/08
	06/08
	07/08
	10/08
	14/08
	21/08



Figura 4 - Foto post-irrorazione con zeolite su Vitis vinifera presso l'Azienda Agricola "L' Antica Quercia".

- c) **Reti ombreggianti:** le reti sono state applicate il 13 luglio utilizzando un sistema “a grembiule” su entrambe le pareti del filare trattato (*Figura 5*). Questo sistema consente l'applicazione indipendente su ogni singolo filare. La rete, a seconda delle dimensioni e della tipologia di vigneto, nonché dalla forma di allevamento, può avere un'altezza variabile, con coperture da 1 a-1,75 metri e una lunghezza anch'essa variabile in base alla lunghezza del filare. Nel caso specifico, la copertura della chioma è stata di 1 metro, consentendo ai nuovi tralci apicali di fuoriuscire dalla rete. Con questo sistema di applicazione, nel periodo invernale (qualora si volessero lasciare fisse per tutto l'anno) la rete può essere avvolta su sé stessa fino al filo superiore dove poi può essere bloccata con dei ganci (NET-FIX). Sebbene vi siano molte tipologie di reti in commercio, si è optato per una rete che offrisse una percentuale di ombreggiamento media per l'esperienza, del 50% e di colore nero, offrendo una buona schermatura delle radiazioni solari ed intervenendo sulla temperatura percepita da grappoli e chioma.
- d) **Controllo:** le viti appartenenti a questo gruppo non sono state trattate in nessun modo, al fine di valutare le differenze sulla maturazione delle uve tra le piante trattate e quelle esenti da alcun trattamento sopracitato.

I rilievi sono stati eseguiti in otto giorni diversi (*Tabella 3*) e hanno previsto la misurazione di un campione di 20 foglie per ogni trattamento, per un totale di 240 misurazioni.

Tabella 3 - Date di campionamento eseguito con porometro

Strumento utilizzato	Date di campionamento
Porometro	22/07
	26/07
	30/07
	03/08
	06/08
	10/08
	14/08
	21/08

Lo strumento consente di ottenere importanti dati sulla fisiologia della pianta e di capire come essa risponda ai diversi trattamenti. In particolare, si è deciso di valutare i dati relativi alla conduttanza stomatica, vale a dire il grado di apertura degli stomi per compiere traspirazione e fotosintesi, un parametro potenzialmente chiave per comprendere la migliore capacità di termoregolazione delle viti. Grazie a questo strumento, la traspirazione è stata quantificata misurando la portata e la frazione molare del vapore acqueo dell'aria che entra ed esce dalla camera sottostomatica, mentre la conduttanza totale al vapore acqueo è stata calcolata in funzione della traspirazione e della pressione del vapore nella foglia e nella cuvetta, infine, la conduttanza stomatica all'acqua viene calcolata in funzione della conduttanza totale del vapore acqueo e della conduttanza dello strato limite al vapore acqueo (*boundary layer*).

3.3.2 *Point Quadrat*

Per accertare l'omogeneità dei blocchi scegli per l'esecuzione dei diversi trattamenti, si è voluto verificare che anche la densità delle chiome non fosse differente. Per questo motivo è stata impiegata la tecnica del *point quadrat*. Il *point quadrat* viene calcolato utilizzando una sottile asta di metallo che viene inserita dall'esterno all'interno (come un raggio di sole) della chioma, in questo modo è possibile valutare l'esposizione alla luce solare e la posizione interna o esterna alla chioma di foglie (L = Leaf - foglia), grappoli (C = cluster - grappolo), germoglio (S = shoot - germoglio) e la presenza di spazi vuoti (G = canopy gaps – vuoti), in base al contatto sequenziale di quest'ultimi con l'asta che vengono poi registrati.

L'asta è stata inserita orizzontalmente e casualmente per un totale di 20 campionamenti sui tre filari di ogni trattamento e per un complessivo di 240 misurazioni.

Sulla base dei dati raccolti, è stato possibile calcolare facilmente i seguenti parametri:

- **% di spazi vuoti (G):** rapporto tra il numero totale di spazi vuoti (canopy gaps) e il numero delle inserzioni dell'asta, il tutto moltiplicato per 100 per ottenere il valore percentuale.

$$\% \text{ of gaps} = \frac{G_{tot}}{Insert_{tot}} * 100$$

- **Numero di strati fogliari (Leaf layer number, LLN):** rapporto tra il numero totale di contatti fogliari (L) e il numero di inserzioni.

$$LLN = \frac{L_{tot}}{Insert_{tot}}$$

- **% di foglie interne:** rapporto tra il numero di foglie interne, cioè non su entrambe le superfici, e il numero totale di foglie, il tutto moltiplicato per 100 per ottenere una percentuale.

$$\% \text{ of Interior leaves} = \frac{L_{int}}{L_{tot}} * 100$$

- **% di grappoli interni:** rapporto tra il numero di grappoli, cioè non su nessuna delle due superfici, e il numero totale di grappoli, il tutto moltiplicato per 100 per ottenere una percentuale.

$$\% \text{ of Interior clusters} = \frac{n^{\circ} C_{int}}{C_{tot}} * 100$$

3.3.3 Monitoraggio della temperatura con termocoppie e sensori

Per eseguire il monitoraggio della temperatura tra i quattro trattamenti applicati durante la stagione estiva, sono stati utilizzati due tipologie di datalogger, uno per il monitoraggio della temperatura interna della chioma, ed uno collegato a quattro termocoppie per il monitoraggio della temperatura degli acini. Questi, sono stati posizionati su una pianta rappresentativa nel filare centrale di ogni trattamento. Per evitarne il danneggiamento, i datalogger sono stati racchiusi in una scatola protettiva impermeabile (*Figura 7*) e legati al filo portante all'interno della chioma (*Figura 8*).



Figura 7 - Datalogger racchiusi nella scatola impermeabile.



Figura 8 - Scatola impermeabile contenente i due datalogger fissata sulla chioma della vite.

Il primo datalogger è stato utilizzato per la misurazione del microclima della chioma, consentendo di registrare per via bluetooth, attraverso due sensori, la temperatura dell'aria all'interno della chioma che costituisce il microclima. Al fine di contenere eventuali difformità nella misurazione della temperatura causate da irraggiamento diretto, una delle due termocoppie è stata inserita all'interno di piccoli schermi protettivi (Figura 9).



Figura 9 - Sensori per la registrazione del microclima della chioma.

Il secondo datalogger invece, è costituito dal corpo principale collegato a quattro termocoppie che servono per misurare la temperatura degli acini. Nello specifico, ogni termocoppia nell'estremità finale è costituita a sua volta da due elettrodi (*Figura 10*) che sono stati inseriti in quattro acini scelti casualmente (*Figura 11*), precedentemente forati con l'uso di uno spillo (*Figura 12*).

La frequenza di registrazione di entrambi i datalogger è stata impostata ogni 5 minuti.

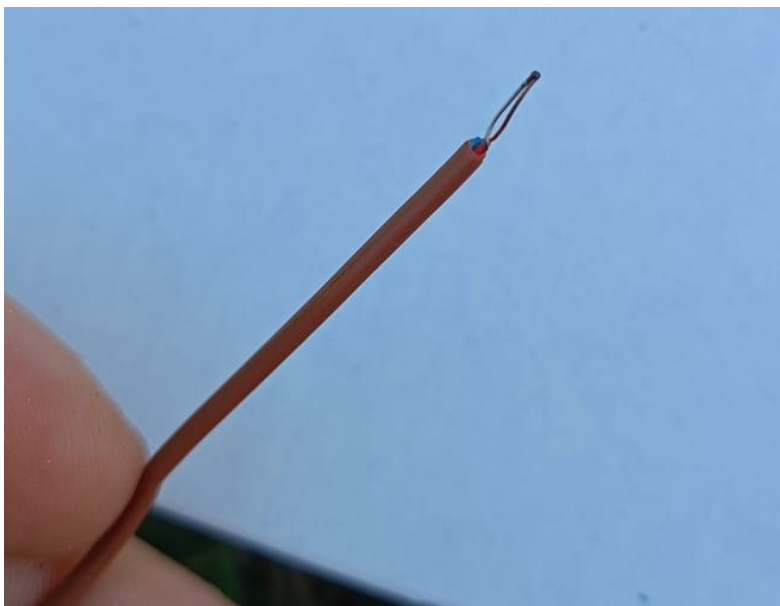


Figura 10 - Coppia di elettrodi di ogni termocoppia.



Figura 11 - Termocoppie applicate in maniera randomizzata agli acini per la rilevazione della temperatura delle bacche.



Figura 12 - Foratura degli acini con punteruolo per l'inserimento delle termocoppie.

3.4 Raccolta delle uve

Per la vendemmia è stato considerato come criterio per standardizzare il grado di maturazione raggiunto dalle viti sottoposte ai diversi trattamenti, il grado zuccherino espresso in °Brix. Il campionamento è stato eseguito:

- evitando le viti a bordo del filare all'interno del blocco in cui sono stati eseguiti i trattamenti;
- raccogliendo i campioni da entrambi i lati della vite;
- nei grappoli, raccogliendo uva sopra, in mezzo, sotto e in lati diversi, questo perché maturano prima gli acini che si trovano nella punta e nelle ali e poi quelli al centro per un totale di 40 acini per ogni tesi.

Successivamente una volta arrivati in laboratorio, è stato estratto il succo e si è misurato il grado zuccherino mediante rifrattometro. Sulla base dei risultati ottenuti poi si è valutata la data precisa della raccolta per ogni singola tesi.

3.5 Analisi chimiche delle uve in laboratorio

3.5.1 Rifrattometro

Gli zuccheri dell'uva sono un parametro (insieme agli acidi) fondamentale per stabilire il momento preciso della raccolta. Durante la maturazione si nota un aumento della concentrazione di zuccheri e una diminuzione dell'acidità.

In questo esperimento si è tenuto conto degli zuccheri come indice di maturità dell'uva, utilizzando il rifrattometro digitale come strumento di misurazione degli zuccheri (*Figura 13*). Dopo aver pigiato le uve ed estratto il succo, si è prelevata una piccola quantità di quest'ultimo per l'analisi. Questo strumento utilizza l'indice di rifrazione per misurare la concentrazione di zuccheri che viene espressa in gradi Brix.



Figura 13 - Foto rifrattometro di laboratorio.

3.5.2 Acidità

L'acidità è stata misurata mediante titolazione acido-base secondo i metodi ufficiali OIV. Dopo aver pigiato le uve ed estratto il succo, il mosto ottenuto viene filtrato utilizzando un filtro carta (*Figura 14*).



Figura 14 - Filtrazione del succo d'uva con l'uso del filtro carta.

Successivamente si sono prelevati 7,5 ml di filtrato e si aggiungono 3-4 gocce di blu di bromotimolo che a contatto con il mosto assume una colorazione gialla (*Figura 15*).

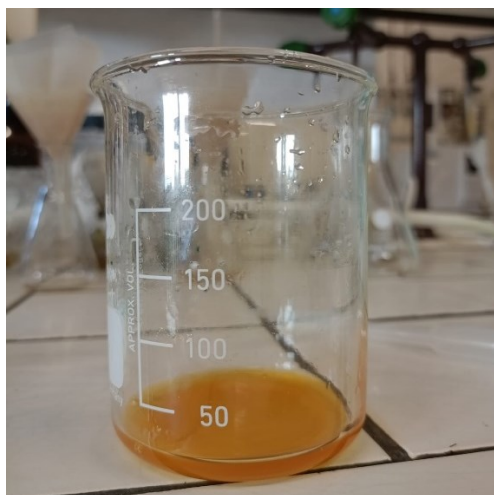


Figura 15 – Colorazione gialla del vino assunta dopo l'aggiunta delle gocce di blu di bromotimolo.

A questo punto la soluzione viene titolata con NaOH 0.1 N fino a quando la soluzione vira al blu (*Figura 16*).



Figura 16 – Colorazione blu assunta dalla soluzione mosto-blu di bromotimolo a seguito della titolazione con soda (NaOH 0.1 N).

I millilitri di soda utilizzati per virare dal colore giallo al colore blu corrispondono ai grammi per litro di acidità totale espressa in equivalenti di acido tartarico.

3.5.3 pH

Il pH del vino, indice dell'acidità reale, è legato al grado di dissociazione degli acidi presenti nel mosto o nel vino e alla loro salificazione. È molto importante per la stabilità del vino e il suo sapore acido. Il pH del vino varia da 2,80 a 3,70.

Per la misurazione del pH è stato utilizzato un pH-metro CRISON (Figura 17), precedentemente calibrato con le opportune soluzioni standard.



Figura 17 - pH-metro CRISON utilizzato per l'analisi del pH.

3.5.4 *Contenuto di Calcio*

L'analisi del calcio nei mosti è stata eseguita mediante analizzatore enzimatico Qubio (R-Biopharm) utilizzando il kit Calcium Enzytec, basato sulla reazione colorimetrica del calcio con il composto Arsenazo III.

3.5.5 *Rame*

L'analisi del rame è stata eseguita sul mosto filtrato (senza diluizione) mediante spettrometria ad assorbimento atomico. È stata usata una lampada a catodo cavo specifica per il rame, con una lunghezza d'onda di rilevazione di 324.8 nm. Lo strumento è stato precedentemente calibrato con soluzioni standard di rame a 0.5, 1 e 1,5 mg/L.

3.5.6 *Quercetina*

La quercetina è un composto fenolico che appartiene alla classe dei flavanoli e si trova principalmente sulla buccia degli acini in forma glicosilata (legata, cioè ad uno zucchero) (Castillo- Muñoz et al., 2007).

Per la determinazione della quercetina è stato prelevato un campione di circa 200 acini per ogni trattamento. Da questi, sono successivamente stati prelevati 20 acini (in triplicato) che sono stati pesati e congelati. Da ciascun gruppo di acini è stata separata manualmente la buccia che è stata a sua volta pesata per determinare il rapporto buccia/polpa (*Figura 18*).



Figura 18 - Separazione della buccia dalla polpa degli acini per l'analisi della quercetina.

L'estrazione dei polifenoli totali è stata eseguita da 1 g di bucce fresche secondo il metodo di Leng et al. (2024). In breve, 1 g di bucce è stato macinato con Ultraturrax in 12 ml di etanolo 70 % contenente 1 % di acido formico. Dopo 1 ora di agitazione, il campione è stato centrifugato, il supernatante è stato recuperato e il pellet è stato riestratto con altri 6 mL di solvente per un'altra ora. Il procedimento è stato ripetuto una terza volta e tutti i supernatanti sono stati riuniti e portati ad un volume totale di

25 mL. L'estratto è stato quindi filtrato (0.45 μ m) e caricato in HPLC. L'analisi è stata eseguita con HPLC Shimadzu Nexera XR dotata di detector SPD-M20A (lettura tra 220 e 750 nm). La separazione è avvenuta con colonna Kinetex C18 (Phenomenex) utilizzando un gradiente da 25mM ammonio formiato pH 4,5 ad acetonitrile. La quantificazione della quercetina è stata ottenuta mediante lettura a 350 nm sulla base di una retta di calibrazione con standard a concentrazione nota di quercetina aglicone, quercetina-3-glucoside e quercetina-3-glucuronide (Extrasynthese).

3.6 Micro-vinificazione

Le uve sono state raffreddate per una notte in cella frigo a 4 °C, quindi mediante una pigiadiraspatrice sono state processate e messe in bidoni di acciaio. I mosti sono stati solfitati con 4 g/hL di metabisolfito di potassio, è stato aggiunto enzima pectolitico Lysis Allegro (Oenofrance) 3 g/hL e sono stati messi in cella a 4 °C per la decantazione statica. Il giorno successivo è stato eseguito il travaso della frazione limpida cercando di mantenere una torbidità totale intorno al valore ottimale di 200 NTU. Le masse sono state lasciate a temperatura ambiente per riequilibrare la temperatura prima dell'inoculo dei lieviti. I mosti sono stati inoculati con lievito DV10 Lallemand (20 g/hL), precedentemente reidratato come da protocollo del produttore utilizzando un peso equivalente di Provital Yeast (Expert) come attivante di reidratazione. Sono stati aggiunti in contemporanea anche 20 g/hL di attivante complesso (Fermaid E, Lallemand). Per prevenire una possibile fermentazione malolattica sono stati aggiunti anche 200 mg/L di lisozima.

Durante tutta la fermentazione alcolica, condotta a 18 °C, è stata misurata la cinetica di fermentazione, misurando ogni giorno il calo in zuccheri mediante mostimetro di Babo. Terminata la fermentazione alcolica, le masse sono state spostate a 4 °C per facilitare la sedimentazione dei lieviti ed è stato eseguito un primo travaso delle fecce grossolane. I vini base così ottenuti sono stati messi in damigiane colme e protetti mediante una ulteriore aggiunta di 4 g/hL di metabisolfito di potassio.

3.6.1 Analisi del vino in laboratorio

Sui vini finiti sono state eseguite le analisi enologiche di base (titolo alcolometrico volumico, acidità titolabile e pH) secondo le metodiche ufficiali OIV e le analisi di acetaldeide, acido acetico, acido malico, acido lattico, calcio e zuccheri residui utilizzando l'analizzatore enzimatico Qubio (R-Biopharm) secondo le specifiche dei singoli kit di analisi.

3.7 Analisi statistica

Per le analisi statistiche è stato utilizzato il software "R Project for Statistical Computing", nello specifico, per ogni variabile è stato applicato un modello lineare misto (LMM) per valutare l'effetto dei quattro trattamenti su ogni singola variabile risposta oggetto di studio. Questa tipologia di modelli,

si adattano bene a dati che possiedono una struttura gerarchica, come nel nostro caso, dove ogni trattamento è stato replicato su più blocchi e osservato in giorni diversi. In esso, il trattamento è stato considerato come effetto fisso, contrariamente al giorno e la parcella in cui il trattamento è stato allocato (Plot), considerati come effetti casuali al fine di controllarne la variabilità. Nello studio di alcune variabili, la varianza derivante dai fattori casuali è risultata zero, in quei casi, per valutare l'effetto dei trattamenti sulla variabile di risposta, è stato utilizzato un modello lineare con un solo fattore fisso, il "Trattamento". Il modello è stato adattato utilizzando la funzione `lm` di R, specificando la variabile di risposta come funzione del trattamento ($\text{Risposta} \sim \text{Trattamento}$). Successivamente, è stata condotta un'ANOVA per verificare se vi fossero differenze significative tra i trattamenti. Una volta stabilita la significatività complessiva tramite l'ANOVA, sono stati eseguiti confronti post-hoc utilizzando le medie marginali stimate (`emmeans`). È stato applicato un aggiustamento di Tukey per controllare l'errore di tipo I nei confronti multipli. Le lettere di significatività sono state utilizzate per rappresentare le differenze tra i trattamenti, indicando con lettere diverse le coppie di trattamenti significativamente differenti ($p < 0,05$).

4 RISULTATI E DISCUSSIONE

Per ottenere e discutere i risultati sui parametri successivamente elencati, sono state eseguite delle analisi per dimostrare se ci fossero delle differenze tra i trattamenti utilizzati. Non tutti i risultati hanno portato a delle significatività, al momento della raccolta delle uve i valori degli zuccheri, del pH e della quercetina erano pressoché simili tra le varie tesi. Questo, per quanto riguarda il grado zuccherino, era un fattore atteso in quanto si è deciso di effettuare delle vendemmie scalari per alcuni trattamenti fino al raggiungimento della stessa soglia di grado zuccherino (17,5 °Brix). Al contrario, nonostante il grado zuccherino raggiunto fosse lo stesso, sono state riscontrate delle differenze statisticamente significative nell'analisi dell'acidità, nel calcio e nel rame analizzati sui mosti in laboratorio proprio per le diverse temperature vissute dalle viti durante la stagione estiva a causa dei trattamenti imposti.

4.1 Fluttuazioni della temperatura durante la stagione estiva

Nel corso della campagna di monitoraggio estiva, è stato possibile registrare i valori della temperatura dell'aria e delle precipitazioni attraverso la stazione meteorologica dell'azienda situata a pochi metri di distanza dal vigneto in cui è stata condotta la sperimentazione. Elaborando i dati raccolti su base giornaliera, è stato possibile determinare la temperatura dell'aria in termini di massima, media e minima e la quantità precipitazioni cadute nell'arco della stagione (Figura 19).

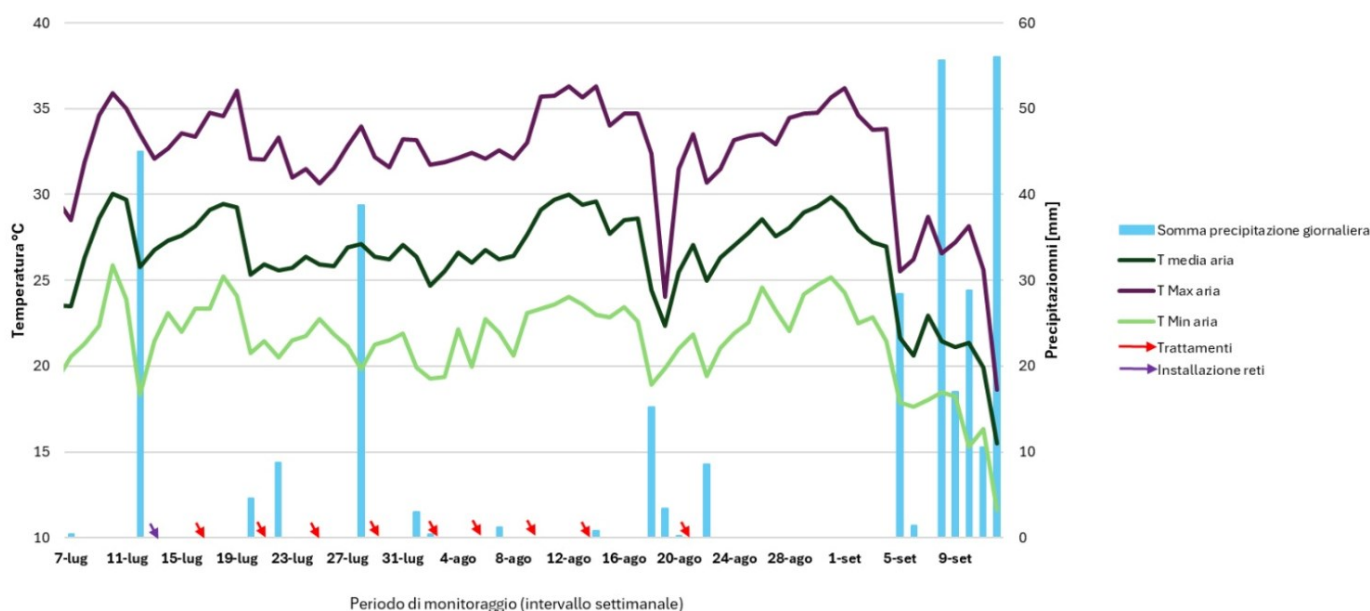


Figura 19 - Andamento della temperatura massima, media e minima dell'aria, delle precipitazioni registrate dalla stazione meteorologica presso l'Azienda Agricola "L'Antica Quercia" durante la campagna di monitoraggio. Le frecce indicano le date in cui sono stati effettuati i trattamenti con caolino, zeolite e il giorno in cui sono state applicate le reti.

Osservando il grafico 19 si possono notare quattro picchi di temperatura registrati durante la fase di invaiatura e di maturazione dell'uva, rispettivamente nei giorni: 11 luglio, 22 luglio, 14 agosto e 2

settembre con temperature massime intorno ai 37 °C. Dopo il terzo picco di calore, (14 agosto), il 19 agosto si è assistito ad una drastica diminuzione delle temperature, dove la massima ha sfiorato i 25 °C per poi riaumentare (2 settembre) e diminuire ancora una volta nel periodo prossimo alla raccolta delle uve (26 °C il 6 settembre). Contemporaneamente, nel grafico è possibile notare un'abbondanza di precipitazioni durante l'intera stagione estiva con 542,8 mm complessivi, registrati dal 7 luglio al 9 settembre.

A seguito delle precipitazioni, la copertura della chioma con i prodotti (caolino e zeolite) è stata conseguentemente influenzata, in quanto si è cercato di mantenerla il più costante possibile considerando che a volte, nel primo giorno utile dopo il verificarsi delle piogge sono stati prima effettuati i trattamenti fitosanitari da parte dell'azienda acconsentiti dal regime biologico. Analogamente, anche nel 2011 sono state registrati degli aumenti di temperatura particolarmente accentuate nei mesi di agosto e settembre durante i quali, in quest'ultimo, le temperature massime hanno raggiunto i 35,9 °C e 33,2 °C, rispettivamente, confermando i risultati dell'anno precedente (Guidoni et al., 2011). A fronte di questi incrementi delle temperature negli ultimi anni sono stati pubblicati numerosi lavori in letteratura sull'impatto del cambiamento climatico sulla viticoltura (Naulleau et al., 2021) da cui sono emersi diversi dati: un aumento del 50 % della produzione di biomassa in un ambiente con elevata anidride carbonica (CO₂), circa 3-4 giorni di avanzamento a decennio del ciclo vegetativo e riproduttivo della vite dovuto a temperature più elevate e un rischio maggiore di stress idrico che influisce sulla resa e sulla composizione delle bacche (Bindi et al, 1996; Caffarra ed Eccel, 2011; Van Leeuwen et al., 2019). Inoltre, i vigneti mediterranei sono esposti non solo a un'intensa radiazione solare, ma anche alla scarsità d'acqua soprattutto durante il periodo di maturazione (Di Carlo et al., 2019). In questo scenario di stress plurimo, la vite (*Vitis vinifera* L.) risponde attraverso meccanismi di regolazione stomatica attiva e passiva (Schultz, 1996; Greer e Weston, 2010). Questo significa che alcune cultivar anisoidriche, come il Sangiovese, mantengono una buona conduttanza stomatica, mentre altre, con comportamento meno anisoidrico (o isoidrico), chiudono completamente gli stomi, compromettendo la maturazione dell'uva e lo scambio gassoso (Tombesi et al., 2016; Palliotti et al., 2014; Valentini et al., 2022). In relazione a ciò, per avere uno scenario più specifico, similmente, è stata monitorata anche la temperatura dell'aria giornaliera massima, minima e media anche durante le otto date di misura con il porometro (*Figura 20*).

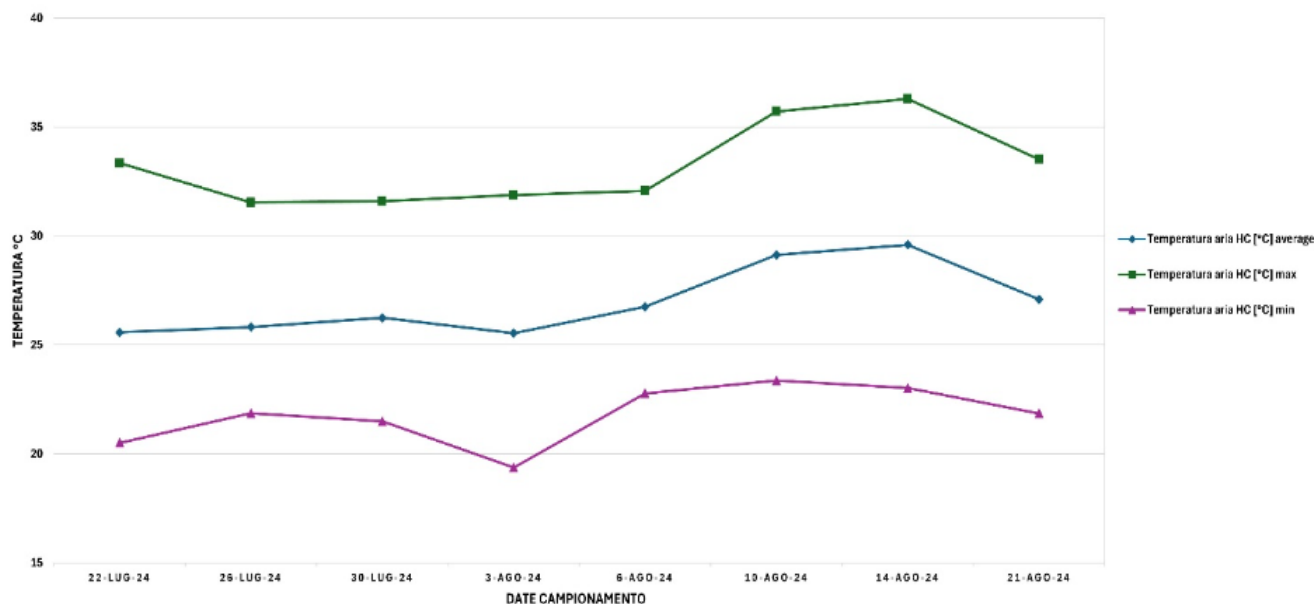


Figura 20 – Andamento della temperatura massima, media e minima dell'aria registrata dalla stazione meteorologica presso l'Azienda Agricola "L'Antica Quercia" durante le otto date di campionamento.

Com'è possibile osservare dal grafico, sulla base della temperatura massima, sono state registrate anche in questo caso quattro picchi di calore il 22 luglio, il 10 agosto, il 14 agosto e il 21 agosto con temperature dell'aria sopra la media, rispettivamente di: 34 °C, 36 °C, 37 °C e 34 °C.

4.2 Risultati point quadrat

L'analisi del point quadrat è stata effettuata per evidenziare eventuali differenze tra le percentuali degli spazi vuoti, di foglie interne, di grappoli interni e del numero di strati fogliari ma, dai risultati non sono state riscontrate delle differenze statisticamente significative tra i vari trattamenti distribuiti tra i vari blocchi. Presumibilmente gli effetti dei trattamenti non sono correlati a differenze preesistenti nella chioma e dalla sua densità.

4.3 Microclima della chioma

Per analizzare le temperature della chioma della vite sono state eseguite le medie delle medie di ogni trattamento per le rispettive temperature massime, medie e minime. Le temperature massime registrata durante le date di campionamento (Figura 21) tramite i datalogger, sembrano aver seguito all'incirca lo stesso andamento per tutte le tesi con un'evidente differenza il 14 agosto e 21 agosto che come riportato nella Figura 20, corrispondono al terzo e quarto picco di colore registrati, in cui sia nel caolino che nel controllo è stata registrata una condizione termica massima superiore (al di sopra dei 37 °C) rispetto alla zeolite e alla rete (appena sopra i 36 °C). Le differenti risposte tra i trattamenti alle ondate di calore, si evidenziano già nella seconda ondata di calore avvenuta il 10 agosto, mentre nella prima (22 luglio) il caolino è risultato essere più sensibile rispetto alle altre tesi.

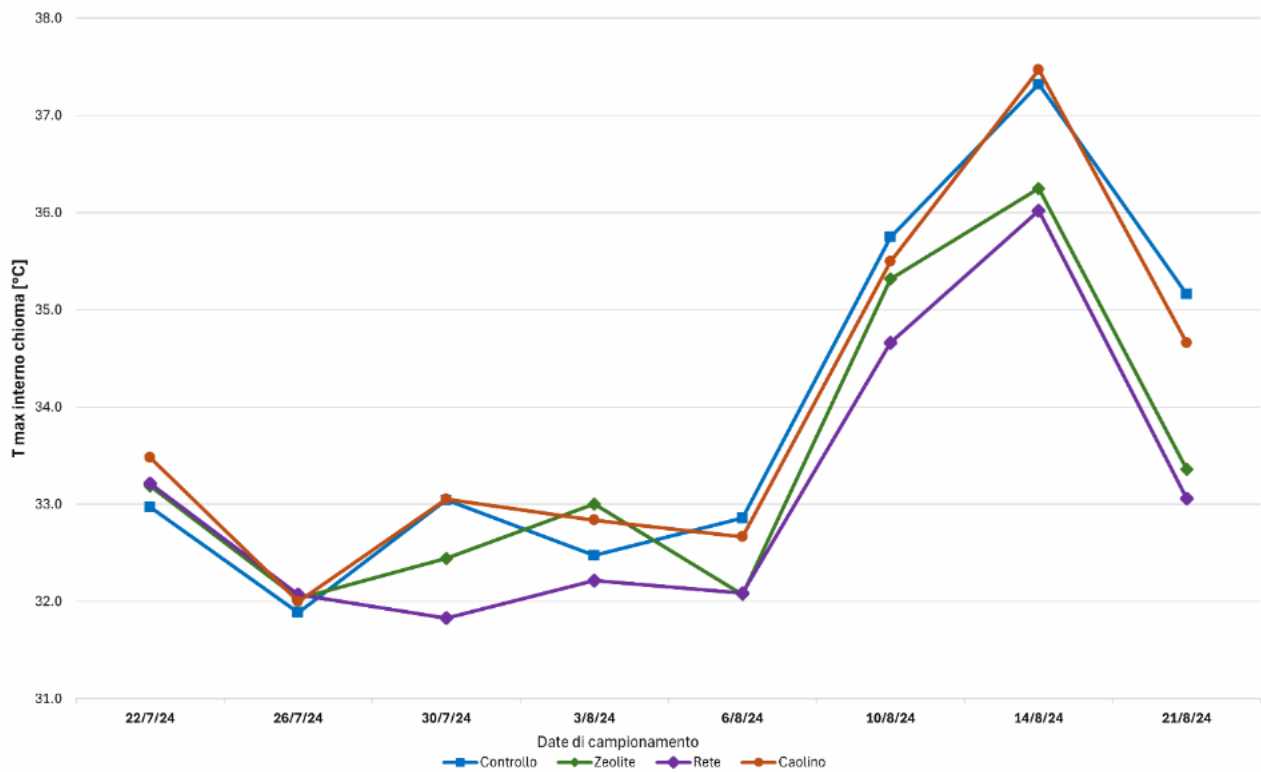


Figura 21 – Andamento della temperatura massima registrata tramite datalogger per ogni singolo trattamento durante le date di campionamento.

Le viti a cui è stata applicata la rete dimostrano di avere la temperatura massima più bassa, questo dato potrebbe essere il risultato di una maggior efficacia nello schermare le ondate di calore.

Oltre che alla temperatura massima che ha presentato delle differenze tra i vari trattamenti, allo stesso modo sono state registrate e riportate graficamente anche gli andamenti delle temperature medie (Figura 22) e minime (Figura 23) registrate durante le otto date di campionamento con il porometro.

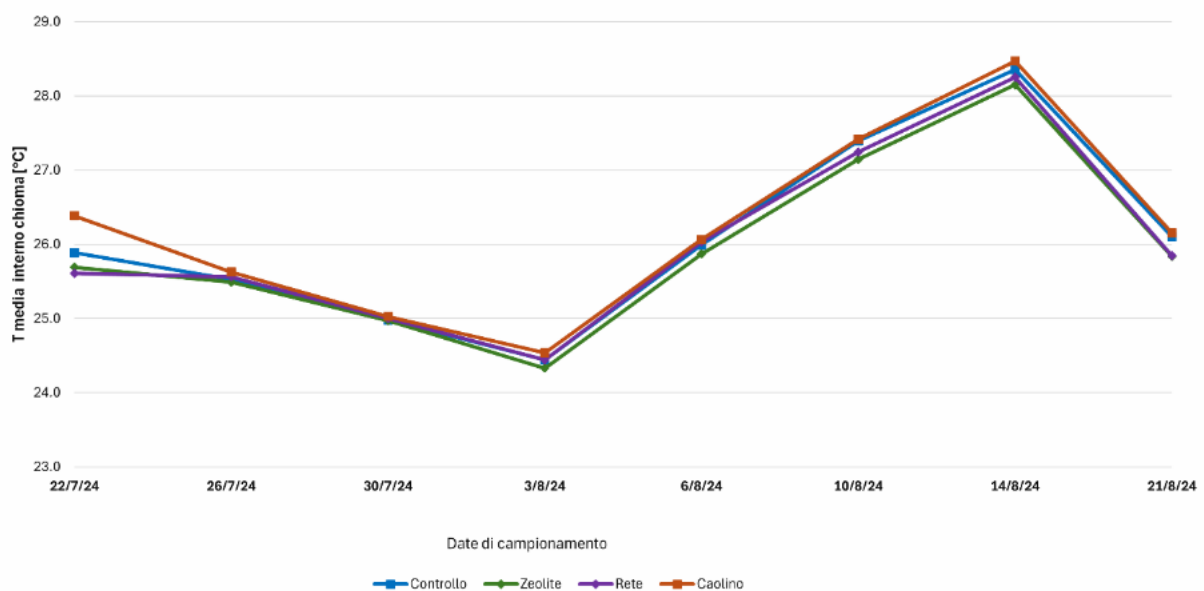


Figura 22 – Andamento della temperatura media registrata tramite datalogger per ogni singolo trattamento durante le date di campionamento.

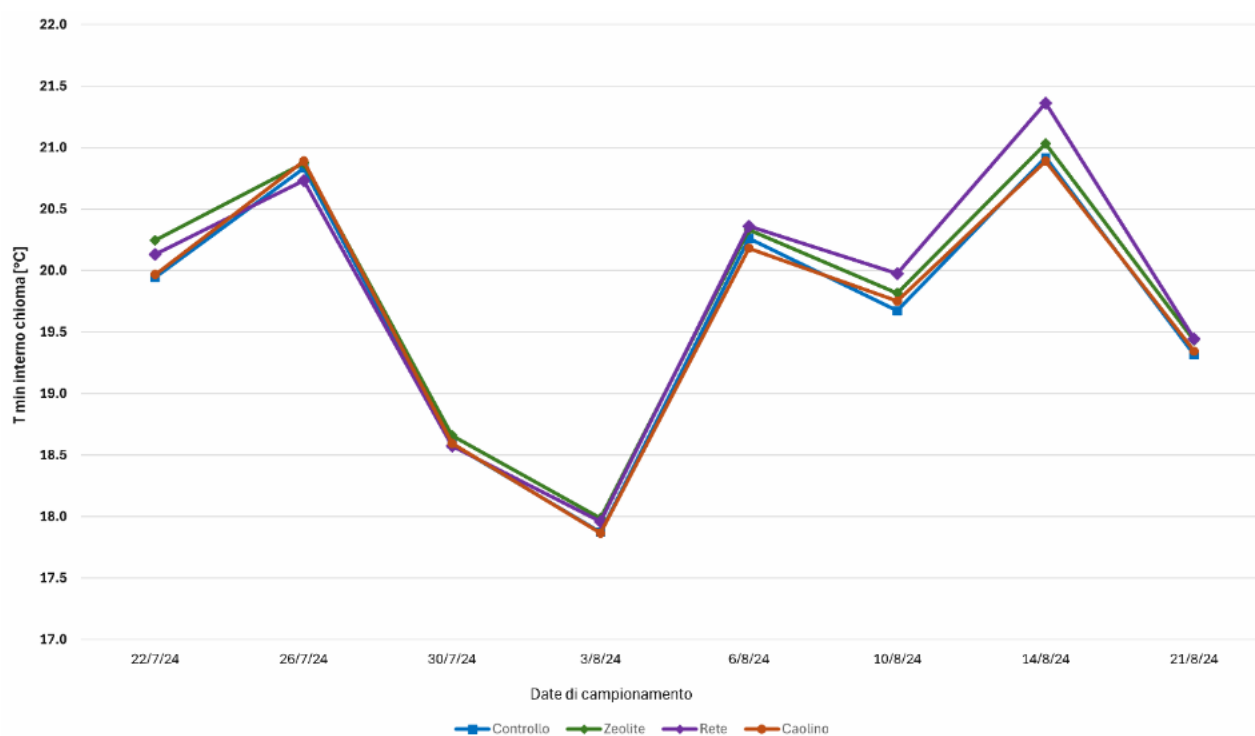


Figura 23 – Andamento della temperatura minima registrata tramite datalogger, per ogni singolo trattamento durante le date di campionamento.

Da entrambi i grafici non emergono differenze sulle temperature medie e minime monitorate tra i vari trattamenti. Dalla tesi con rete si trae un rapporto positivo tra il grafico in cui è riportata la temperatura massima (Figura 21) e in quello che fa riferimento alla temperatura minima (Figura 23), in quanto, avendo registrato una temperatura minima più elevata il 10 agosto e il 14 agosto, nel grafico della temperatura massima i valori riportati risultano inferiori, questo indica come la rete abbia schermato le ondate di calore ma abbia anche mantenuto un microclima più equilibrato. Gli altri valori delle temperature medie e minime invece confermano quanto detto per le temperature dell'aria registrate durante le otto date di campionamento, in particolare, facendo riferimento alla drastica diminuzione delle temperature registrate dal 30 luglio al 3 agosto in termini di temperature minime, alla quale corrisponde anche quella registrata per la temperatura dell'aria durante le otto date di campionamento (Figura 20).

Entrando ancora più nello specifico degli stress termici registrati nell'intera stagione estiva, nelle date di campionamento e nella chioma delle viti, i seguenti grafici (Figura 24) riportano le temperature registrate sugli acini dai datalogger tramite le termocoppie con riferimento sempre alle otto date in cui è stato eseguito il monitoraggio con porometro.

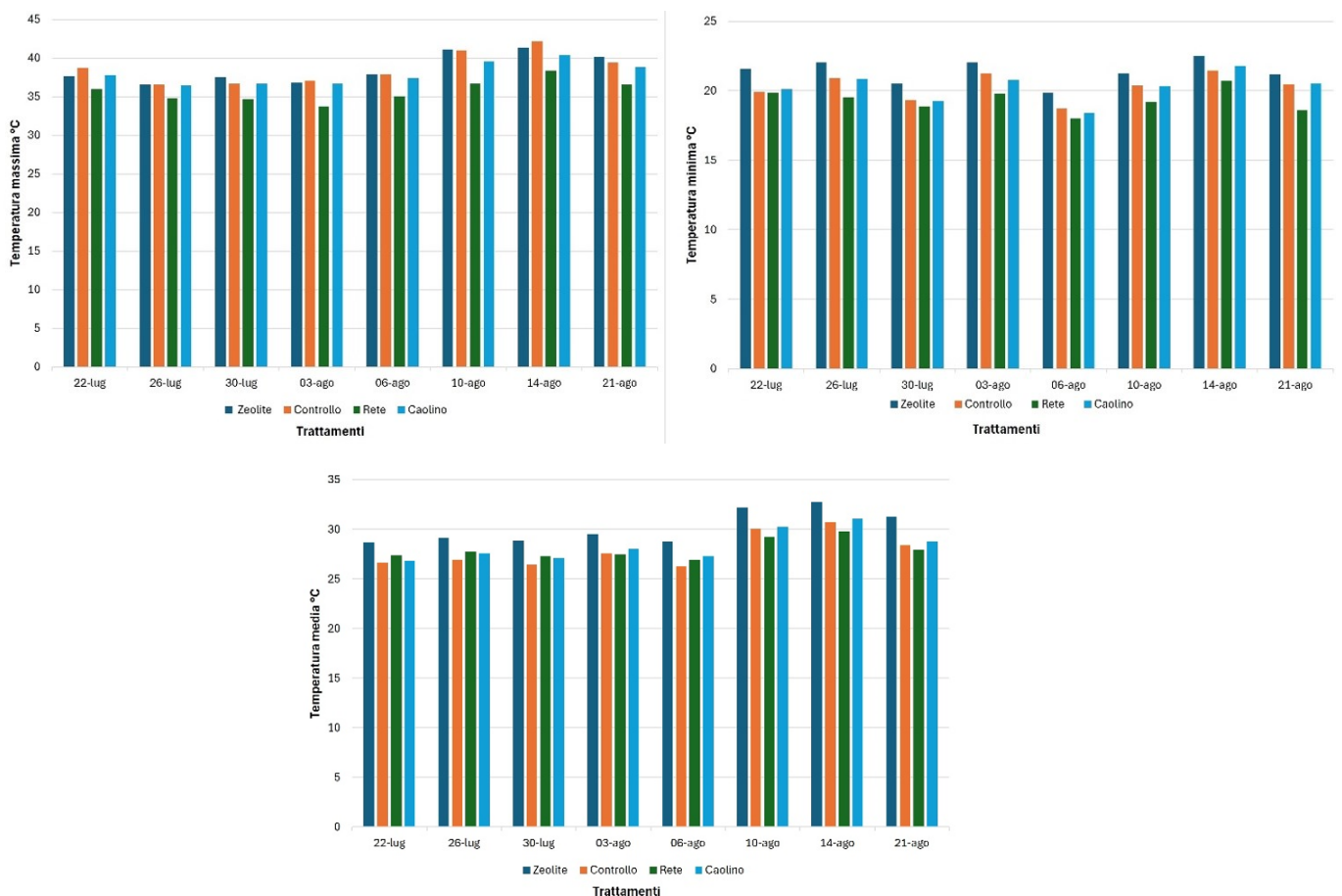


Figura 24 – Temperature massime (T_{Max}), minime (T_{Min}) e medie (T_{Avg}) registrate per ogni trattamento sugli acini dai datalogger tramite le termocoppie, usando come riferimento le otto date di campionamento.

In base ai valori ottenuti è possibile confermare nuovamente che tutte le uve, indipendentemente dal trattamento a cui erano sottoposte, hanno avuto una leggera maggior sensibilità nei confronti di tutte e tre le ondate di calore registrate ma in particolare nella seconda.

Sulla base di questo scenario, si è deciso quindi di analizzare la risposta della conduttanza stomatica tra i diversi trattamenti, tra tutte le date del campionamento e durante le tre ondate di calore di agosto.

4.4 Conduttanza stomatica fogliare

Nel presente studio è stato applicato un modello lineare misto (LMM) per valutare l'effetto dei quattro trattamenti sulla variabile risposta, in questo caso sulla conduttanza stomatica, tenendo in considerazione le possibili interazioni con il giorno di osservazione ed i blocchi sperimentali. Questa tipologia di modelli, si adatta bene a dati che possiedono una struttura gerarchica, come nel nostro caso, dove ogni trattamento è stato replicato su più blocchi e osservato in giorni diversi. In esso, il trattamento è stato considerato come effetto fisso, contrariamente al giorno e la parcella in cui il trattamento è stato allocato (Plot), considerati come effetti casuali al fine di controllarne la variabilità.

Sebbene non sia stato identificato nessun effetto significativo, si è deciso di valutare l'effetto medio di ogni trattamento distribuito tra i vari blocchi (*Figura 25*).

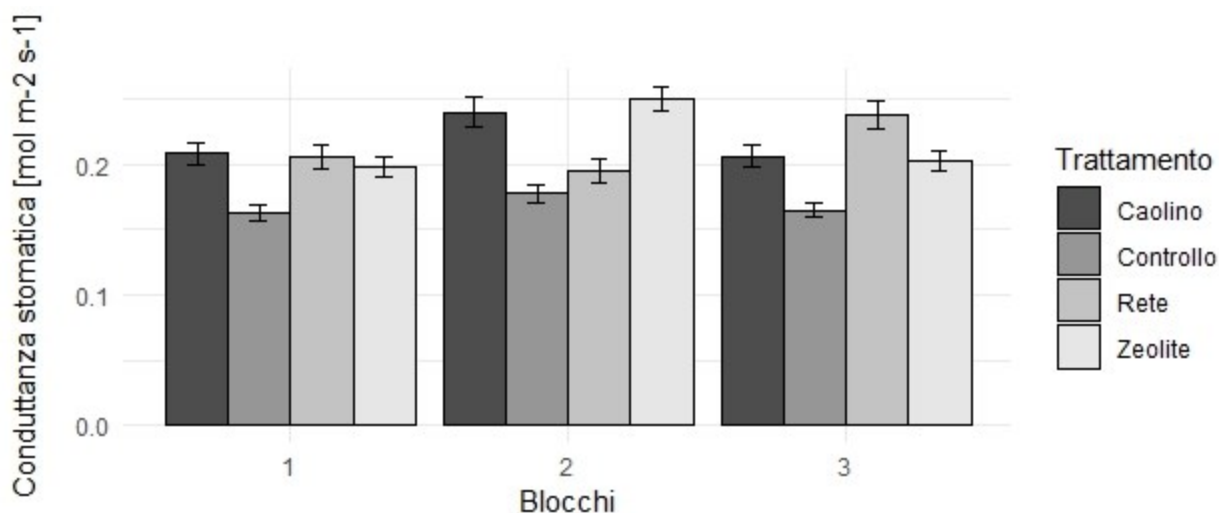


Figura 25 – Effetto medio di ogni trattamento tra i blocchi sulla conduttanza stomatica registrato nei giorni di campionamento.

In questo grafico si può notare come la zeolite sia stato il trattamento che ha influenzato maggiormente la conduttanza stomatica tra i vari giorni di campionamento. Questo parametro è stato riscontrato anche nello studio di Cataldo et al. (2023), dove l'esito del trattamento con Zeolite ha mostrato valori migliori rispetto ai trattamenti con Compost e Controllo, soprattutto durante i periodi più caldi. In generale, gli andamenti della fotosintesi e della conduttanza stomatica riflettono la situazione climatica evidenziando riduzioni nei periodi più secchi (Cataldo et al., 2023). Tuttavia, da questo grafico si può notare che non ci sono state delle differenze significative tra gli effetti medi dei trattamenti tra i vari blocchi in risposta alla conduttanza stomatica, quindi successivamente è stata effettuata l'analisi della varianza.

Dopo aver eseguito l'ANOVA e identificato l'assenza di un effetto significativo del trattamento complessivo, è stata condotta un'analisi post-hoc utilizzando il test di Tukey. Questo test è stato scelto per confrontare tra loro le medie dei trattamenti e identificare eventuali differenze significative tra coppie di trattamenti, il tutto rappresentato poi, in un grafico a punti (*Figura 26*).

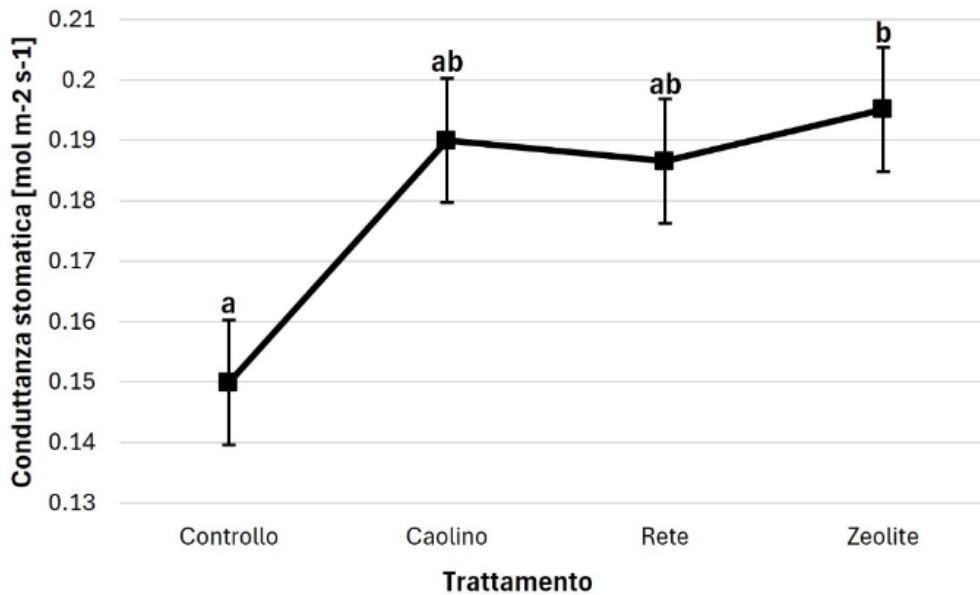


Figura 26 - Conduttanza stomatica tra i diversi trattamenti. Differenti lettere indicano differenze significative tra i gruppi ($p < 0.05$). Le barre rappresentano l'errore standard.

L'ANOVA ha mostrato che il giorno di osservazione ha un impatto significativo sulla variabile risposta, mentre il trattamento complessivo non ha raggiunto la significatività. I confronti post-hoc effettuati su tutte le giornate di campionamento, hanno rivelato un dato positivo riguardante il Controllo, il cui esito è significativamente diverso sulla base della media risultata più bassa rispetto a quella di Caolino, Rete e Zeolite. Il trattamento con Zeolite ha fornito una risposta media significativamente differente, suggerendo che anche i trattamenti con Rete e Caolino, avendo valori più alti in termini di variazione della conduttanza stomatica ed essendo essa in stretta associazione con la traspirazione, hanno causato un aumento del tasso di traspirazione con conseguente raffreddamento maggiore rispetto al Controllo e ciò che è stato riportato anche in altri studi (Bernardo et al., 2018; Calzarano et al., 2021).

Analizzando la risposta della conduttanza stomatica a fine agosto (Figura 27), in cui sono state registrate le ondate di calore, sono stati riscontrati risultati simili a ciò che è emerso nell'analisi degli otto giorni.

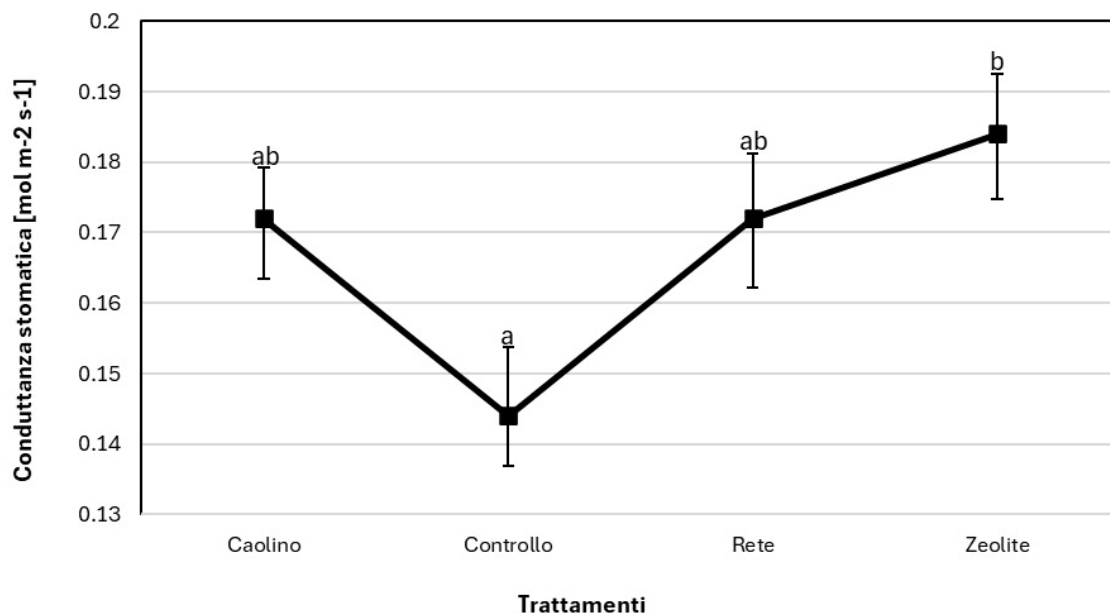


Figura 27– Risposta delle medie tra i trattamenti ai picchi di calore a fine agosto sulla base della conduttanza stomatica.

Come riportato anche nello studio di Conversa et al. (2024), è possibile notare una differenza relativa alla risposta più elevata del trattamento con Zeolite nelle giornate di calore che sta ad indicare come questo trattamento abbia favorito di più lo scambio gassoso tra l'ambiente esterno e il mesofillo fogliare della foglia e non abbia limitato la traspirazione perché, in relazione a quanto riportato anche da Araújo et al. (2019) e Sadok et al. (2021) la necessità di fuga del calore attraverso il raffreddamento avviene per traspirazione.

La Zeolite, seguita dal Caolino, secondo tutti i grafici riportati, sembra essere il trattamento che ha dato maggiori risposte significative rispetto a Rete e al Controllo. In quanto alle caratteristiche e a seguito dei risultati riportati dai due minerali, la nostra ricerca è stata confermata anche dallo studio condotto da Valentini et al. (2021) tra il 2019 e il 2020, i quali hanno confrontato gli effetti di Zeolite, Caolino e Controllo su viti di 7 anni di Sangiovese. Dai risultati ottenuti da entrambi gli esperimenti i due minerali hanno avuto un effetto significativo sulla temperatura delle foglie supportando l'ipotesi di Brillante et al. (2016) che ha riferito una significativa diminuzione della temperatura fogliare solo nelle annate calde in cui si verificano stress multipli estivi. A tal proposito, l'effetto positivo del trattamento con Caolino è stato dimostrato anche nel lavoro svolto da Shellie, et al. presso l'Università di Idaho Parma (Stati Uniti d'America) in viti di Malbec trattate con Caolino per tre anni, dove è stata studiata la riflettanza fogliare nei confronti della luce che permette alla radiazione fotosinteticamente attiva di arrivare alle cellule, mentre riflette radiazioni UV e infrarossi potenzialmente dannose, riducendo la temperatura della vegetazione (agendo sulla conduttanza stomatica) e il rischio di scottature solari a mano a mano che si aumentano il numero di volte in cui si applica il prodotto. Un'ulteriore ricerca riguardante le varie tecniche di adattamento alle ondate di calore è stata effettuata

da Cataldo et al, (2022), nel biennio 2020 e 2021, su viti di varietà Sauvignon Blanc di 5 anni a San Miniato, in Italia. Le viti trattate sempre con Caolino sono state confrontate ancora una volta con viti controllo e viti a cui sono state applicate reti fotoselettive con percentuale di ombreggiamento del 30% e 70%. Anche in questo esperimento, le viti trattate con Caolino hanno mostrato una minore suscettibilità alle ondate di calore grazie alla maggiore efficienza della fotosintesi, minore temperatura fogliare e minori perdite di acqua. Ciò sta ad evidenziare come anche il Caolino (assieme alla Zeolite) diano le maggiori risposte significativamente diverse rispetto alla Rete e al Controllo.

4.5 Analisi per la raccolta delle uve

Come riportato sul paragrafo della raccolta delle uve, prima della vendemmia sono stati eseguiti più campionamenti per far in modo che al momento della raccolta tutte le uve con i diversi trattamenti fossero tarate sullo stesso grado zuccherino necessario per la vinificazione della varietà Glera. Il primo campionamento è stato eseguito il 28 agosto (*Tabella 4*).

Tabella 4 – Valore del grado zuccherino per ogni trattamento di ogni blocco misurati in data 28/08/2024.

Trattamento	Numero del Blocco	Grado zuccherino (°Brix)
Caolino	1	14.4
	2	16.4
	3	16.6
Controllo	1	16.0
	2	16.0
	3	15.0
Rete	1	15.7
	2	15.4
	3	16.2
Zeolite	1	17.4
	2	17.5
	3	15.5

Sulla base di questi primi dati ottenuti, la raccolta è stata scalare. Già da questa prima tabella si può notare come la maturità tecnologica delle uve di rete e caolino fossero più arretrate rispetto al controllo e al caolino. Questo campionamento è stato ripetuto in secondo luogo il 4 settembre ottenendo nuovamente differenze riportate nella tabella successiva (*Tabella 5*).

Tabella 5 – Valore del grado zuccherino per ogni trattamento di ogni blocco misurati in data 04/09.

Trattamento	Numero del Blocco	Grado zuccherino (°Brix)
Caolino	1	17.8
	2	18.4
	3	18.1
Controllo	1	17.9
	2	18.2
	3	18.8
Rete	1	17.6
	2	16.7
	3	17.2
Zeolite	1	18.6
	2	18.4
	3	18.3

Ancora una volta il trattamento con rete è risultato avere valori più bassi, in questo modo è stata ritardata la raccolta di questa tesi mentre le uve dei trattamenti restanti hanno dimostrato dei valori simili per poter essere raccolte il giorno successivo, il 5 settembre. Con una differenza di 6 giorni rispetto alla vendemmia eseguita su caolino, controllo e zeolite, l'11 settembre si è proceduti con la raccolta dell'uva a cui sono state applicate le reti, che rispettivamente riportavano i valori del grado zuccherino di: 17,40 °Brix (blocco 1), 17,00 °Brix (blocco 2) e 17,60 °Brix (blocco 3). Anche se i valori risultano essere più bassi rispetto al resto, hanno comunque evidenziato un ritardo positivo della maturazione, contrariamente alle uve degli altri trattamenti. Questo effetto di posticipo della maturazione risulta positivo perché si sincronizza perfettamente con il ciclo tecnologico e fisiologico della maturazione delle uve che negli ultimi anni invece, a causa degli aumenti delle temperature sta subendo delle anticipazioni con conseguente preludio della raccolta (Greer e Weston, 2010; Labbé et al, 2019).

4.6 Resa

In questo paragrafo vengono dimostrati i parametri produttivi relativi alla vendemmia, dove per ogni trattamento sono state analizzate: la produzione media totale, la resa media per pianta e il peso medio di cento acini. Il grafico sottostante (*Figura 28*) mostra come alla raccolta, la rete abbia avuto una produzione media totale maggiore rispetto alle altre tesi.

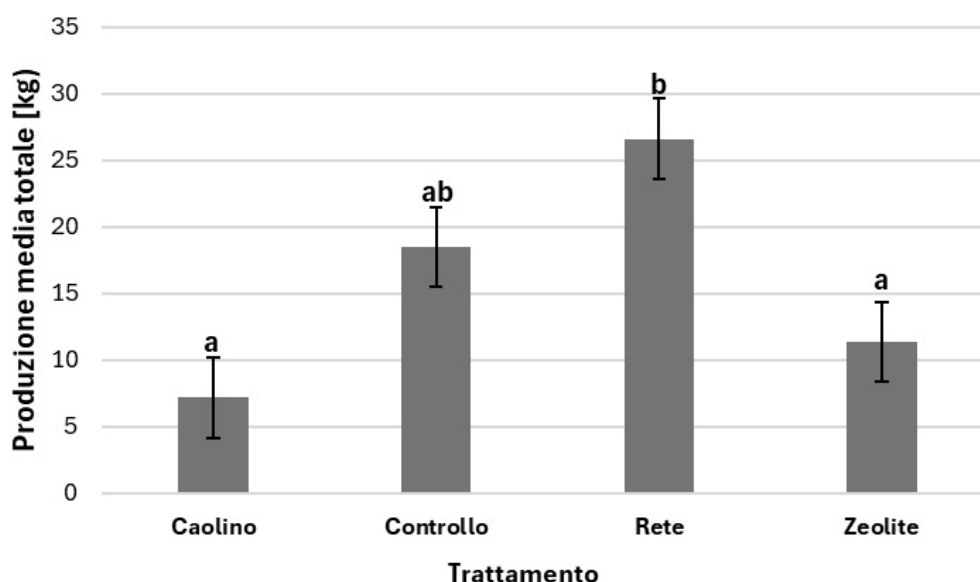


Figura 28 – Produzione media totale per ogni trattamento.

La resa della rete così elevata rispetto al caolino e alla zeolite potrebbe essere dovuta oltre alla schermatura che offre contro le ondate di calore, al fatto che con la rete si protegge la coltura dagli uccelli, dal vento e in taluni casi dalla pioggia e dagli abbassamenti termici. Sotto la rete si crea ombra, quindi diminuisce l'intensità di luce diretta e si aumenta l'intensità di quella diffusa che penetra meglio all'interno della vegetazione con conseguenze positive sulla sua crescita complessiva. Sebbene questo dato sia un risultato positivo, di contro però ci si potrebbe aspettare di avere delle caratteristiche qualitative inferiori rispetto alle altre tesi. Questo dato è stato confermato anche dalla resa media per pianta (Tabella 6) e dal peso medio di 100 acini (Figura 29) sul quale sono emerse anche delle differenze statisticamente significativi rispetto al resto delle tesi.

Tabella 6 - Risultati della resa media per pianta di ogni trattamento.

	BLOCCO1				BLOCCO2				BLOCCO3			
	CTRL1	ZEO1	CAOL1	RETE1	CTRL2	ZEO2	CAOL2	RETE2	CTRL3	ZEO3	CAOL3	RETE3
Resa media singola pianta (g)	709,7	770,1	541,4	1952,1	1779,7	1126,1	603,6	1646,6	1208	377,1	286,7	1726,9

Nella resa per pianta oltre alla rete, anche il controllo risulta avere una media più alta rispetto ai trattamenti con caolino e zeolite. Anche in questo caso però, come nella rete, ci si potrebbe aspettare che le caratteristiche chimiche delle uve risultino con qualità inferiore, in quanto, come dimostrato

da nuove analisi condotte da Hunter (1998), nel rapporto tra produzione per ceppo e gradazione zuccherina, a quantità di uva maggiori corrispondono qualità inferiori.

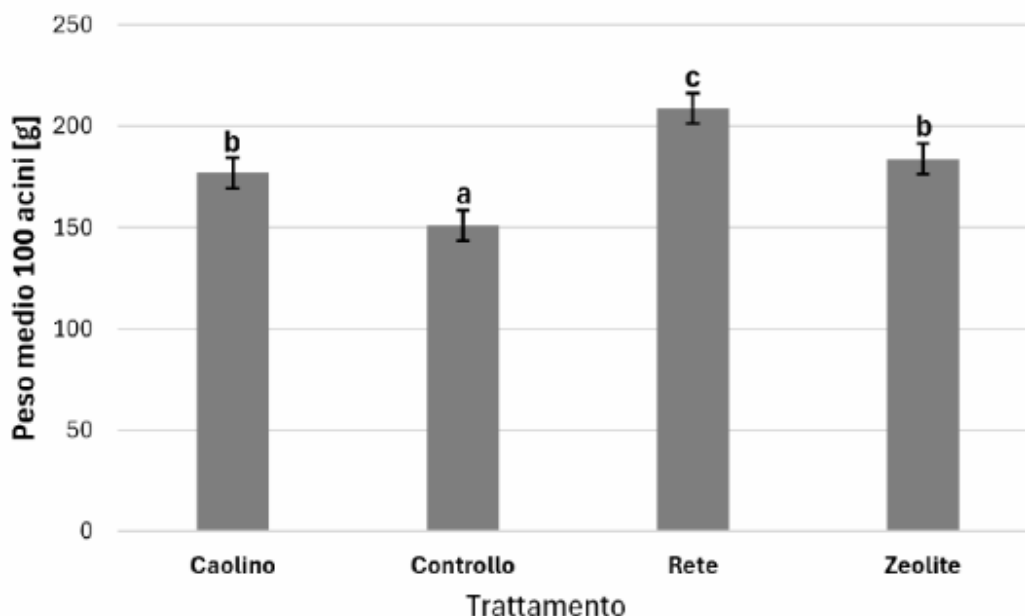


Figura 29 - Peso medio di 100 acini per ogni trattamento effettuato con caolino, controllo, rete e zeolite.

Il peso medio di cento acini trattati con caolino e zeolite risultano avere valori più elevati rispetto al controllo. Probabilmente, sulle uve trattate con caolino, zeolite e controllo, a parità di resa c'è stata una differenza tra la dimensione degli acini stessi. Il controllo potrebbe aver avuto una resa più elevata ma con dimensioni degli acini molto variabile mentre le uve trattate con caolino e zeolite potrebbero aver avuto dimensioni degli acini maggiori ma con una produzione inferiore. Sebbene la rete invece abbia dimostrato di avere i valori più alti in termini di produzione media totale, resa media per pianta e peso medio di cento acini, questo dato seppur positivo, confermato negativamente dalle analisi chimiche.

4.7 Analisi qualitative sul pigiato

Dalle analisi eseguite in laboratorio è emerso che i parametri relativi agli zuccheri, pH e quercetina, non hanno dimostrato delle differenze statisticamente significative tra i trattamenti.

Nel caso degli zuccheri, nell'uva, si presentano come una miscela di monosaccaridi in cui i principali sono il fruttosio e il glucosio e una piccola parte restante è composta da pentosi, esosi e polialcoli dolci. Sia il glucosio che il fruttosio sono due zuccheri fermentescibili, per cui se il mosto viene destinato alla vinificazione, tanto più ricco è in zuccheri e maggiore sarà il grado alcolico. In questo caso era prevedibile di non avere differenze significative tra i trattamenti proprio considerando che la vendemmia è stata eseguita in maniera scalare nelle diverse tesi tenendo come parametro di riferimento il grado zuccherino.

Dallo studio di Allegro et al. (2021), con l'aumento delle temperature e con le ondate di calore, oltre ad avere degli squilibri tra le componenti principali delle uve (zuccheri e acidità), anche il pH viene modificato presentando dei valori più elevati. Infatti, a mosti e vini con pH elevati, superiori a 3,5, (che corrisponde in generale ad un'acidità totale bassa), corrisponde una maggiore sensibilità alle malattie, poiché in essi è favorito lo sviluppo di batteri. Generalmente invece, se basso, sotto valori di 3, rafforza la stabilità dei mosti e dei vini sia sul piano biologico (attacchi batterici) che chimico (casse metalliche). Dalle analisi i valori di pH riscontrati nelle varie tesi non hanno dimostrato delle differenze significative, con valori compresi tra 3,25 e 3,4.

La quercetina negli ultimi anni è stata oggetto di discussione perché viene sintetizzata dalla pianta in risposta all'aumento delle temperature e della radiazione solare incidente sui grappoli ma, in condizioni di temperature molto elevate le reazioni di degradazione possono superare quelle di sintesi dei flavonoli (Keller e Hrazdina, 1998). Il problema della quercetina è di tipo tecnologico in quanto la sua migrazione nei vini, soprattutto nei rossi, può causare problemi di precipitazione portando a danni qualitativi per il vino ed economici per le cantine. In questo caso, anche se si tratta di una varietà a bacca bianca che non prevede la macerazione in fase fermentativa, il meccanismo di accumulo della quercetina dovrebbe essere lo stesso e l'analisi è stata eseguita sulle bucce. A tal proposito ci saremmo aspettati di ottenere delle differenze significative tra i trattamenti con Caolino, Zeolite, Rete e il Controllo. Invece, a causa della elevata variabilità nei risultati le differenze non sono risultate significative. È comunque possibile osservare un trend, dove i campioni trattati con caolino e zeolite hanno generalmente un minor contenuto in tutti i derivati della quercetina (Figura 30-31-32), suggerendo quindi un possibile effetto della schermatura sulla sintesi di questa molecola.

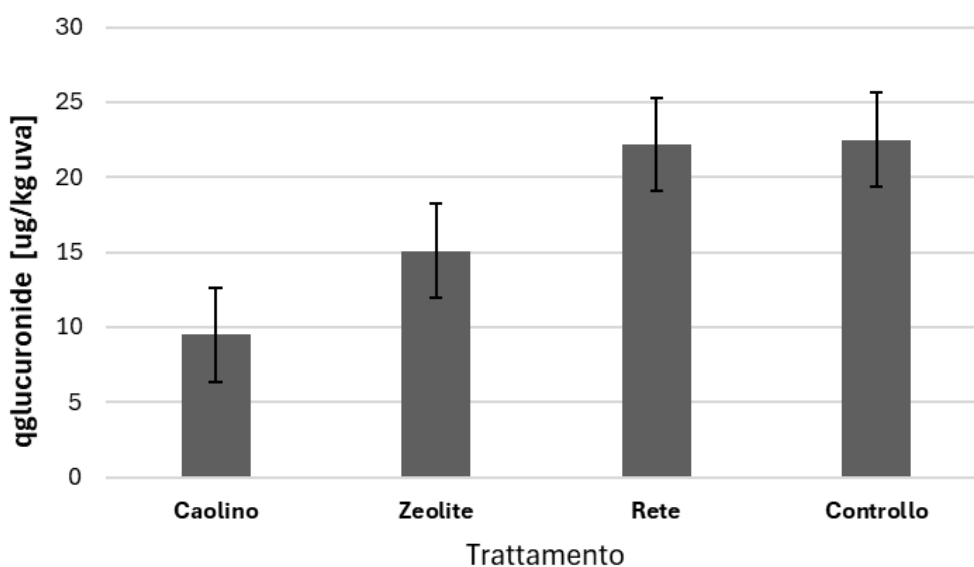


Figura 30 – Quantità di qglucuronide a seconda dei trattamenti eseguiti

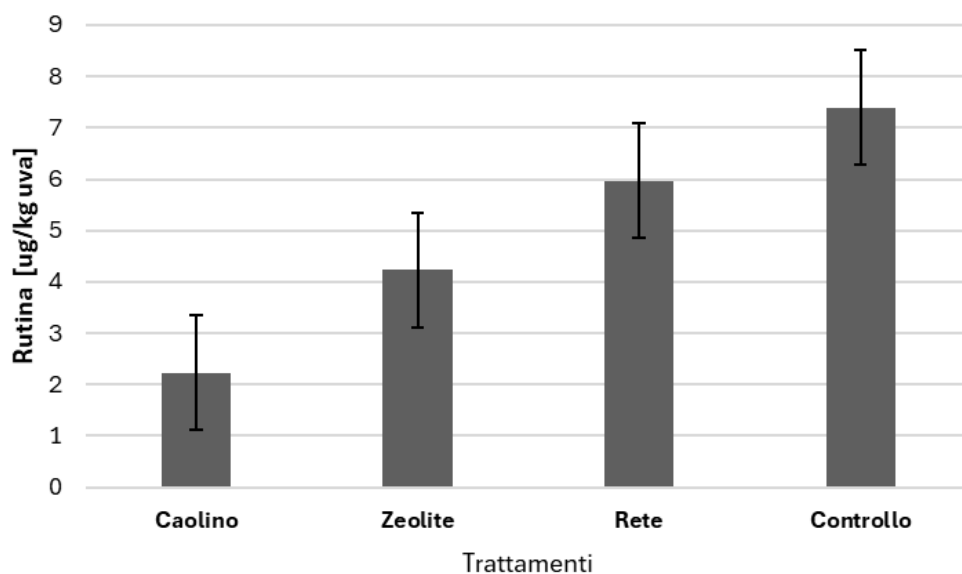


Figura 31- Quantità di rutina in risposta ai trattamenti eseguiti

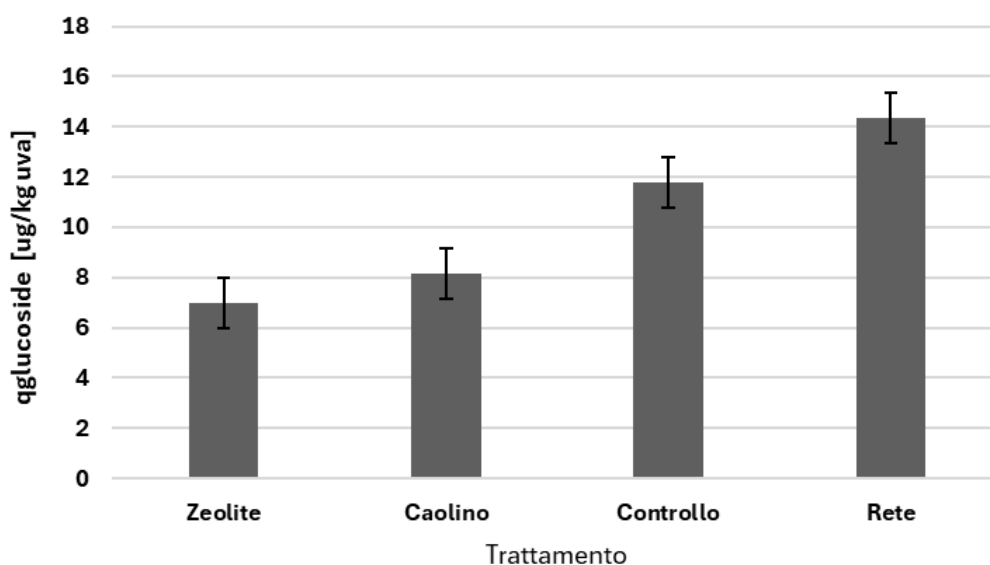


Figura 32 - Quantità di qglucoside presente nelle uve Glera a seguito dei trattamenti effettuati

4.7.1 Analisi su acidità

L'acidità rappresenta un elemento fondamentale nei mosti e nei vini in particolare per quelli che dovranno subire un processo di spumantizzazione contribuendo a caratterizzarne sia la struttura che l'aspetto gustativo. L'acidità del vino si riferisce alla quantità di acidi organici presenti nel vino ed è espressa solitamente in grammi per litro (g/L) o in percentuale di acido tartarico. L'acidità totale è composta da diversi tipi di acidi che vengono distinti in: primari, che sono presenti nelle uve e che si ritrovano successivamente nel vino, e secondari che sono presenti in minore quantità e vengono prodotti durante la fermentazione. Gli acidi primari, con cui è stata calcolata l'acidità nelle uve sono:

1. Acido tartarico: è l'acido presente in maggior quantità nelle uve e costituisce la maggior parte dell'acidità totale nel vino
2. Acido malico: questo acido è abbondante nelle uve non ancora mature ed è responsabile del gusto fresco e fruttato di molti vini.
3. Acido citrico: presente in quantità minori rispetto al tartarico e al malico, l'acido citrico contribuisce a dare al vino una nota di freschezza e vivacità.

Analizzando il grafico (*Figura 33*), nessun trattamento ha mostrato una differenza significativa rispetto al Controllo, anche se si può osservare un trend, con i trattamenti di Zeolite e Caolino con la maggiore acidità rispetto all'ombreggiamento con sola Rete.

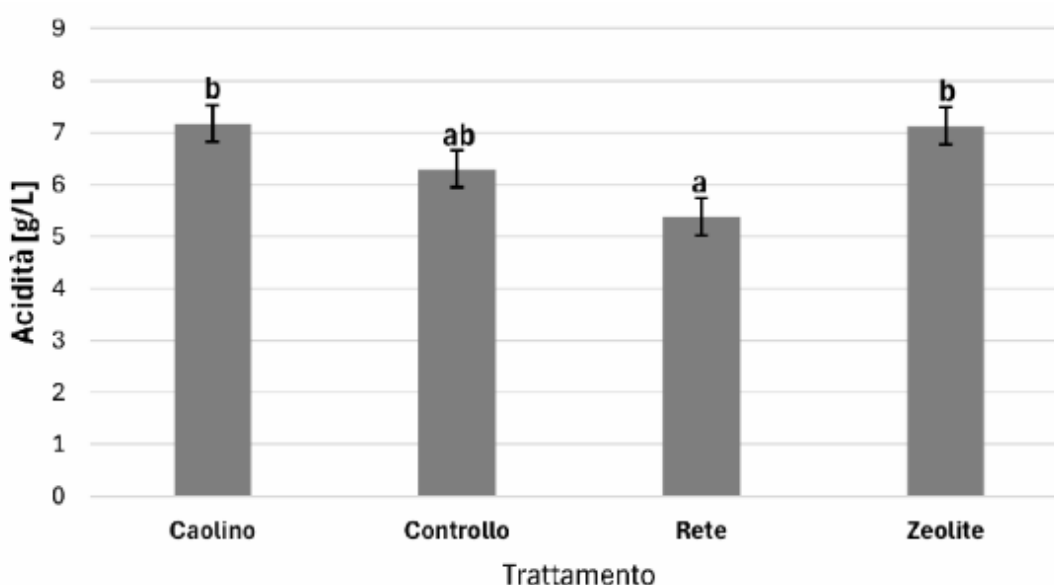


Figura 33 – Effetto dei trattamenti sull'acidità dei mosti derivanti dalle uve delle diverse tesi.

In questo caso la minore acidità nel campione Rete potrebbe essere legata alla maggiore resa con una conseguente diluizione dei componenti del mosto, oppure all'applicazione delle reti in fase di invaiatura che potrebbe aver rallentato la sintesi degli acidi all'interno della bacca facendone risultare una quantità inferiore alla raccolta. In generale, i risultati di questo grafico sono stati parzialmente confermati anche da uno studio eseguito da Valentini et al. (2021) dove sono stati messi a confronto gli effetti del trattamento con Caolino e Zeolite, rispetto al Controllo anche in termini di acidità. Da quanto emerso, anche da questo studio il Caolino e la Zeolite hanno avuto un effetto maggiore sull'acidità rispetto al Controllo, ma secondo questo studio il Caolino avrebbe dovuto dare come esito un'acidità più elevata anche rispetto alla Zeolite oltre che al Controllo, cosa che invece, non è accaduta nella nostra ricerca perché Caolino e Zeolite hanno avuto la stessa risposta. L'ipotesi stipulata da Valentini et al. (2021), sembra che riguardi la diversa persistenza di questi prodotti sulle superfici fogliari perché il Caolino è risultato più persistente rispetto alla Zeolite, e ciò ha comportato

ad un più prolungato effetto “rinfrescante” nei confronti di foglie e grappoli. È probabilmente grazie alla sua maggiore persistenza che le uve trattate con Caolino alla vendemmia avevano un’acidità maggiore rispetto alla Zeolite, poiché l’efficacia dello ‘schermo solare’ è stata più duratura (Valentini et al., 2021). Questo però non è stato possibile confermarlo anche delle nostre analisi.

4.7.2 Analisi su calcio

Il contenuto di calcio nei campioni è in linea con i valori riscontrati mediamente in letteratura (Figura 34).

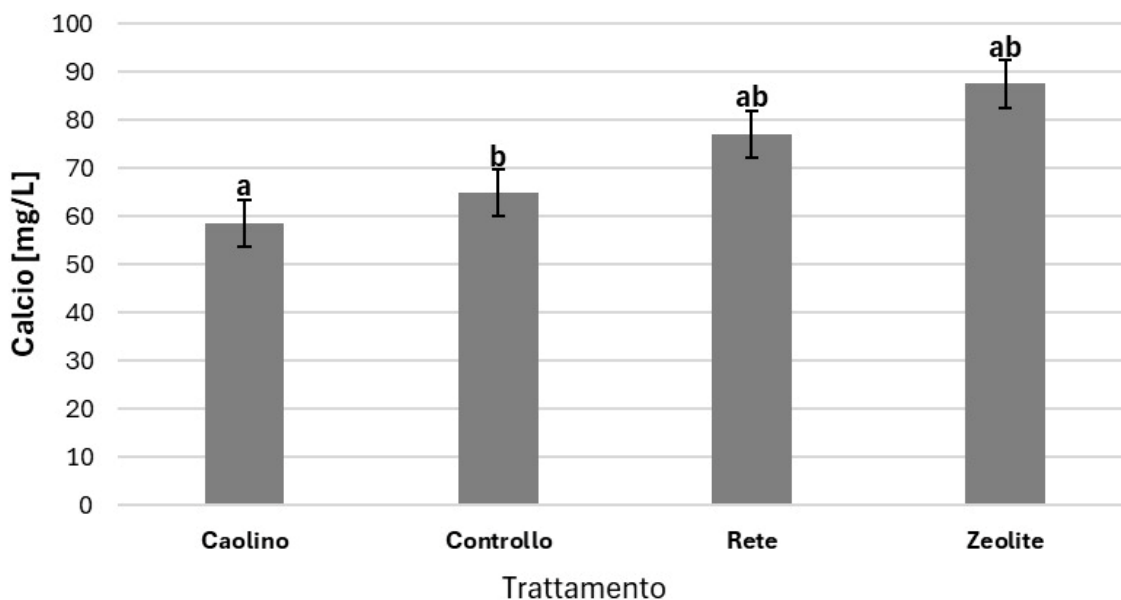


Figura 34 – Quantità di calcio analizzato sui mosti in risposta ai trattamenti svolti in vigneto.

Il diverso contenuto di calcio negli acini non può essere attribuito solo ad una diversa diluizione dei componenti dell’uva, inoltre, considerando che la Zeolite è un alluminio-silicato idrato di elementi alcalini (essenzialmente Na e K) e alcalino-terrosi (essenzialmente Ca e Mg), ci si sarebbe aspettati un maggiore contenuto di calcio, anche solo per dilavamento della zeolite depositata sulla buccia, mentre il maggiore contenuto di calcio è stato riscontrato nel campione di Controllo.

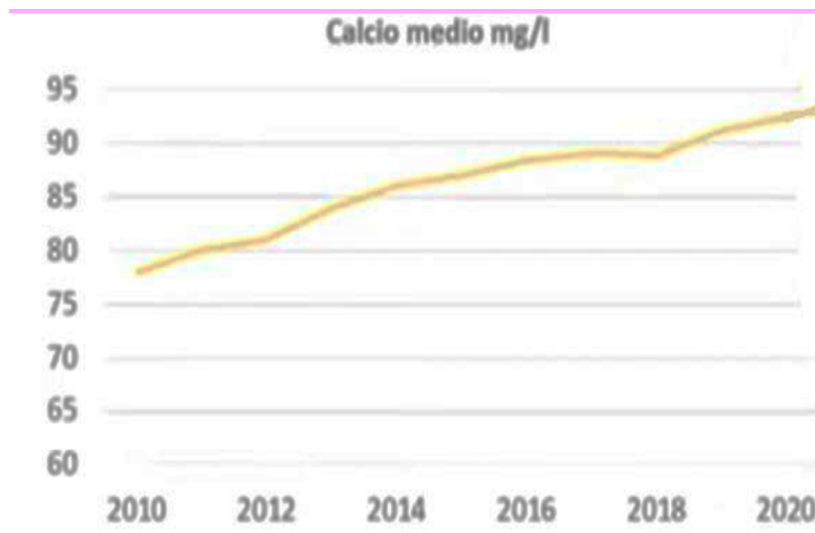


Figura 35 - Concentrazione di calcio nei vini tra il 2010 e il 2020, Exacta labcenter.

Una ipotesi sull'aumento del calcio nei mosti osservato negli ultimi anni (Figura 35) è legata al cambiamento climatico e al fatto che il calcio è uno dei fattori coinvolti nella chiusura degli stomi in condizioni di stress idrico. I dati in questa tesi sembrerebbero confermare questa ipotesi, con un maggiore contenuto di calcio nelle viti di controllo, e un contenuto significativamente inferiore almeno nelle tesi Caolino e Rete.

4.7.3 Analisi su rame

Anche per quanto riguarda il rame sono state trovate delle differenze significative (Figura 36). In questo caso considerando che tutti gli altri trattamenti, oltre a quelli di caolino e zeolite, sono stati applicati allo stesso modo su tutte le tesi, ci saremmo aspettati di trovare lo stesso contenuto di rame.

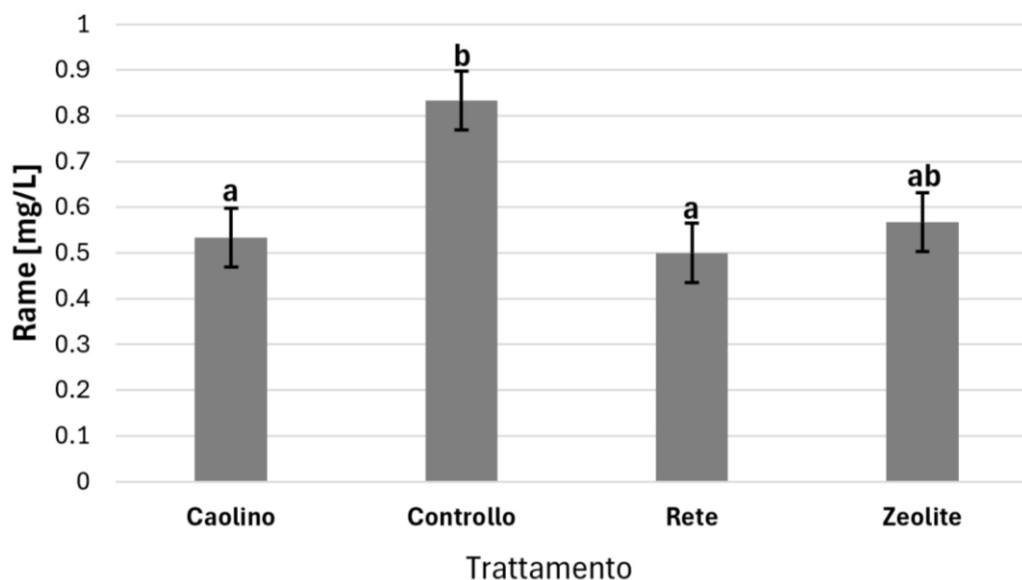


Figura 36 - risultato della quantità di rame in relazione ai trattamenti utilizzati.

Una possibile spiegazione per il minor contenuto di rame nei campioni trattati potrebbe essere l'effetto dilavamento dei trattamenti con caolino e zeolite nei confronti del rame oppure la conseguenza della schermatura dei due prodotti che hanno diminuito la penetrazione del rame sulla buccia e sulla polpa degli acini. Nel caso della rete, che è stata posizionata il 13 luglio, essa potrebbe invece aver avuto un effetto schermante nei confronti di tutti i trattamenti con rame eseguiti nel periodo successivo. Quanto detto non è stato però oggetto di ricerca, quindi, sarà necessario effettuare ulteriori studi più approfonditi per valutare questa ipotesi.

4.8 Analisi su vino base

Dopo aver eseguito la vinificazione separata delle uve dei vari trattamenti, le analisi eseguite su vino base (*Tabella 7*) confermano i risultati trovati nel succo d'uva.

Tabella 7 – Analisi generali del vino base sulle componenti chimiche.

Campione	pH	Acidità totale (g/L)	Titolo alcolometrico (vol %)	Acetaldeide (mg/L)	Acido acetico (g/L)	Acido L-lattico (g/L)	Acido L-malico (g/L)	Zuccheri (g/L)
Controllo	3,130	7,800	9,430	27,000	0,176	0,008	2,974	0,639
Caolino	3,310	7,800	9,325	24,000	0,171	0,000	3,186	0,638
Zeolite	3,160	7,900	9,830	30,000	0,179	0,000	2,917	0,699
Rete	3,170	7,500	9,475	28,000	0,155	0,300	2,322	0,613

Questa tabella dimostra come i trattamenti non abbiano causato alcun problema nel corso della prima fermentazione e della vinificazione in generale. In un vino come il nostro, destinato a diventare prosecco spumante, in generale, sono risultati tutti parametri ottimali. I valori del pH sono compresi nei limiti di legge tra 3 e 3,5. L'acidità totale che riporta dei valori adeguati ad una spumantizzazione, perché poi subiranno una diminuzione in seguito alla seconda fermentazione ma il limite di legge dell'acidità totale per i vini spumanti è fissato a minimo 4,5 g/L che si presuppone di superare (questo dipenderà anche dal lievito che si utilizzerà). Il titolo alcolometrico a seguito dell'arricchimento, essendo in Italia, non potrà aumentare più del 1,5% vol di alcol. I parametri in questo caso risultano positivi perché avendo nel vino base il titolo alcolometrico totale naturale superiore a 9% (limite di legge) e con l'aggiunta dell'1,5% in più, si otterrebbe un vino con almeno il 10,5 % vol di alcool totale che corrisponde al valore minimo consentito nei limiti di legge al momento del consumo.

L'acido L-malico nel prosecco è indice di freschezza del vino quindi il fatto che ce ne sia di più rispetto all'acido L-lattico (che risulta quasi del tutto assente) e dell'acido acetico (il quale può

generare odori erbacei e pungenti (non gradevoli) ma la soglia di percezione è di almeno 0,3 g/L) è anch'esso un parametro positivo. Infine, i valori dell'acetaldeide risultano decisamente al di sotto della media dei vini bianchi che presenta valori all'incirca di 40 mg/L e il risultato degli zuccheri confermano che la fermentazione si è conclusa nei migliori dei modi trasformando il mosto di partenza in un vino di base secco adatto per una spumantizzazione, senza aver dovuto affrontare problematiche dovute ai trattamenti utilizzati in campo.

4. CONCLUSIONI

Alla luce di quanto emerso e riportato dalla letteratura scientifica, il cambiamento climatico sta avendo un impatto significativo sulla viticoltura, in particolare con il continuo aumento delle temperature associato a molteplici ondate di calore che si verificano durante la stagione estiva. Durante questa ricerca è risultato interessante stimare anche gli effetti che ne derivano e come influenzano il ciclo fisiologico e tecnologico della vite. A tal proposito l'obiettivo di questa tesi è stato quello di mettere a confronto tre pratiche agronomiche diverse a breve termine (trattamento con caolino, zeolite e rete) tra di loro e in condizioni normali, senza cioè aver effettuato alcun trattamento (controllo). In questo modo si sono ottenuti dei dati che presentano una certa variabilità. Nel caso della resa (in generale) il trattamento con rete e controllo sono risultati avere i dati più elevati mentre il caolino e la zeolite hanno avuto una produzione inferiore ma, al contrario, nelle analisi chimiche, in particolare nei risultati dell'acidità che è uno dei parametri chimici più importanti, sia il caolino che la zeolite hanno mantenuto dei valori di acidità più elevati. Le tre diverse tecniche agronomiche hanno dimostrato in tutti i casi delle differenze con il controllo e sulla base di questo si possono considerare in tutti e tre i casi un valido aiuto in tutte le zone dove la coltivazione della vite è tradizione, ma che a causa delle condizioni di stress imposte dal clima, sta diventando sempre più complicata e meno remunerativa a causa della diminuzione delle rese produttive e squilibri chimici nelle componenti delle bacche. I trattamenti proposti da questa tesi sono utilizzabili senza controindicazioni e sono permessi anche nei regimi di agricoltura biologica e sono accessibili ad ogni tipo di agricoltore grazie dalle diverse possibilità di scelta.

L'applicazione di rete ombreggianti è quella meno studiata ancora, ma la sua efficacia, come dimostrato in questa ricerca risulta essere la più elevata in termini di produzione. Le viti, inoltre, mostrano minor sintomi di stress termico perché, se da un lato la sua schermatura fa sì che il contenuto del rame, calcio e acidità sia inferiore, dall'altro, risulta meno suscettibile alle ondate di calore e crea un microclima più equilibrato all'interno della chioma.

Per quanto riguarda i due minerali, il caolino è quello che riflette maggiormente le radiazioni UV e infrarosse evitando scottature nelle bacche e nelle foglie, mentre la zeolite influisce positivamente sulla conduttività stomatica delle foglie per raffreddare la pianta. Inoltre, è stato condotto uno studio da diversi studiosi in cui è emerso che la zeolite a differenza del caolino in condizioni di mancato stress idrico non sembra diminuire il tasso di assimilazione della CO₂, che si mantiene alto (Shellie et al., 2013; Dinis et al., 2018; Frioni et al., 2019; Cataldo et al., 2022). Sia il caolino che la zeolite hanno avuto un peso medio degli acini e un'acidità significativamente uguale tra di loro ma diversi dalla rete e il controllo.

In conclusione, di fronte a questi cambiamenti climatici si può sicuramente confermare l'efficacia di questi trattamenti. Tenendo però conto sia dei parametri quantitativi che dei parametri qualitativi, il caolino ma ancora di più la zeolite, risultano essere i più equilibrati.

5. BIBLIOGRAFIA

- Allegro, G., Pastore, C., Valentini, G., & Filippetti, I. (2021). The evolution of phenolic compounds in *Vitis vinifera* L. red berries during ripening: Analysis and role on wine sensory—A review. *Agronomy*, *11*(5), 999.
- Araújo, M., Ferreira de Oliveira, J. M. P., Santos, C., Moutinho-Pereira, J., Correia, C., & Dias, M. C. (2019). Responses of olive plants exposed to different irrigation treatments in combination with heat shock: physiological and molecular mechanisms during exposure and recovery. *Planta*, *249*(5), 1583-1598.
- Bernardo, S., Dinis, L. T., Machado, N., & Moutinho-Pereira, J. (2018). Grapevine abiotic stress assessment and search for sustainable adaptation strategies in Mediterranean-like climates. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *38*(6), 66.
- Bindi, M., Fibbi, L., Gozzini, B., Orlandini, S., & Miglietta, F. (1996). Modelling the impact of future climate scenarios on yield and yield variability of grapevine. *Climate research*, *7*(3), 213-224.
- Brillante, L., Belfiore, N., Gaiotti, F., Lovat, L., Sansone, L., Poni, S., & Tomasi, D. (2016). Comparing kaolin and pinolene to improve sustainable grapevine production during drought. *PLoS One*, *11*(6), e0156631.
- Burkart, S., Manderscheid, R., Wittich, K. P., Löpmeier, F. J., & Weigel, H. J. (2011). Elevated CO₂ effects on canopy and soil water flux parameters measured using a large chamber in crops grown with free-air CO₂ enrichment. *Plant Biology*, *13*(2), 258-269.
- Caffarra, A., & Eccel, E. (2011). Projecting the impacts of climate change on the phenology of grapevine in a mountain area. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, *17*(1), 52-61.
- Calzarano, F., Seghetti, L., Pagnani, G., & Di Marco, S. (2020). Italian zeolites in the control of grey mould and sour rot and their effect on leaf reflectance, grape and wine. *Agriculture*, *10*(12), 580.
- Castillo-Muñoz, N., Gómez-Alonso, S., García-Romero, E., & Hermosín-Gutiérrez, I. (2007). Flavonol profiles of *Vitis vinifera* red grapes and their single-cultivar wines. *Journal of agricultural and food chemistry*, *55*(3), 992-1002.
- Cataldo, E., Fucile, M., & Mattii, G. B. (2022). Effects of kaolin and shading net on the ecophysiology and berry composition of sauvignon blanc grapevines. *Agriculture*, *12*(4), 491.
- Cataldo, E., Fucile, M., Manzi, D., Peruzzi, E., & Mattii, G. B. (2023). Effects of Zeowine and compost on leaf functionality and berry composition in Sangiovese grapevines. *The Journal of Agricultural Science*, *161*(3), 412-427.
- Chen, C., van Groenigen, K. J., Yang, H., Hungate, B. A., Yang, B., Tian, Y., ... & Zhang, W. (2020). Global warming and shifts in cropping systems together reduce China's rice production. *Global Food Security*, *24*, 100359.
- Constantinescu-Aruxandei, D., Lupu, C., & Oancea, F. (2020). Siliceous natural nanomaterials as biorationals—plant protectants and plant health strengtheners. *Agronomy*, *10*(11), 1791.
- Coombe, B.G. (1987). Dipartimento di Fisiologia vegetale, Waite Agricultural Research Institute, Università di Adelaide, Glen Osmond, SA 5064, Australia.

- Conversa, G., Pacifico, S., La Rotonda, P., Lazzizzera, C., Bonasia, A., & Elia, A. (2024). Foliar application of natural zeolites affects the growth and productivity of processing tomato. *European Journal of Agronomy*, *154*, 127100.
- Deryng, D., Elliott, J., Folberth, C., Müller, C., Pugh, T. A., Boote, K. J., ... & Rosenzweig, C. (2016). Regional disparities in the beneficial effects of rising CO₂ concentrations on crop water productivity. *Nature Climate Change*, *6*(8), 786-790.
- Di Carlo, P., Aruffo, E., & Brune, W. H. (2019). Precipitation intensity under a warming climate is threatening some Italian premium wines. *Science of the Total Environment*, *685*, 508-513.
- Dinis, L. T., Malheiro, A. C., Luzio, A., Fraga, H., Ferreira, H., Gonçalves, I., ... & Moutinho-Pereira, J. (2018). Improvement of grapevine physiology and yield under summer stress by kaolin-foliar application: Water relations, photosynthesis and oxidative damage. *Photosynthetica*, *56*, 641-651.
- Dinis, L. T., Frioni, T., Bernardo, S., Correia, C., & Moutinho-Pereira, J. (2022). Processed kaolin particles film, an environment friendly and climate change mitigation strategy tool for Mediterranean vineyards. *Improving sustainable viticulture and winemaking practices*, 165-185.
- East-West Center, (2021). Global Climate Change: Causes and Indicators. In *Climate Change: in the Commonwealth of the Northern Mariana Islands* (pp. 11–13). East-West Center.
- Fregoni, M. (2013). *Viticultura di qualità: trattato dell'eccellenza da terroir*. Tecniche nuove.
- Frioni, T., Saracino, S., Squeri, C., Tombesi, S., Palliotti, A., Sabbatini, P., ... & Poni, S. (2019). Understanding kaolin effects on grapevine leaf and whole-canopy physiology during water stress and re-watering. *Journal of Plant Physiology*, *242*, 153020.
- Gambetta, J. M., Holzapfel, B. P., Stoll, M., & Friedel, M. (2021). Sunburn in grapes: A review. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 604691.
- Greer, D. H., & Weston, C. (2010). Heat stress affects flowering, berry growth, sugar accumulation and photosynthesis of *Vitis vinifera* cv. Semillon grapevines grown in a controlled environment. *Functional Plant Biology*, *37*(3), 206-214.
- Guidoni, S., Cavalletto, S., Bartolomei, S., Mania, E., & Gangemi, L. (2011). Microclimatic aspects in vineyards with different vigour and exposure. *Progrès Agricole et Viticole*, 547-550.
- Hedhly, A., Hormaza, J. I., & Herrero, M. (2009). Global warming and sexual plant reproduction. *Trends in plant science*, *14*(1), 30-36.
- Hunter, J. J. (1998). Plant spacing implications for grafted grapevine II Soil water, plant water relations, canopy physiology, vegetative and reproductive characteristics, grape composition, wine quality and labour requirements. *South African Journal of Enology and Viticulture*, *19*(2), 35-51.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.

- Keller, M., & Hrazdina, G. (1998). Interaction of nitrogen availability during bloom and light intensity during veraison. II. Effects on anthocyanin and phenolic development during grape ripening. *American Journal of Enology and Viticulture*, 49(3), 341-349.
- Labbé, T., Pfister, C., Brönnimann, S., Rousseau, D., Franke, J., & Bois, B. (2019). The longest homogeneous series of grape harvest dates, Beaune 1354–2018, and its significance for the understanding of past and present climate. *Climate of the Past*, 15(4), 1485-1501.
- Leng, F., Huo, J., Sun, L., Li, C., Wang, L., Xie, Z., ... & Zhang, X. (2024). Diversity of physicochemical profiles of grape (*Vitis vinifera* L.) and their antioxidant properties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1-12.
- Naulleau, A., Gary, C., Prévot, L., & Hossard, L. (2021). Evaluating strategies for adaptation to climate change in grapevine production—A systematic review. *Frontiers in plant science*, 11, 607859.
- Marín, D., Armengol, J., Carbonell-Bejerano, P., Escalona, J. M., Gramaje, D., Hernández-Montes, E., ... & De Herralde, F. (2021). Challenges of viticulture adaptation to global change: tackling the issue from the roots. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 27(1), 8-25.
- Palliotti, A., Tombesi, S., Frioni, T., Famiani, F., Silvestroni, O., Zamboni, M., & Poni, S. (2014). Morpho-structural and physiological response of container-grown Sangiovese and Montepulciano cvv. (*Vitis vinifera*) to re-watering after a pre-veraison limiting water deficit. *Functional Plant Biology*, 41(6), 634-647.
- Poni, S., Bernizzoni, F., Civardi, S., Gatti, M., Porro, D., & Camin, F. (2009). Performance and water-use efficiency (single-leaf vs. whole-canopy) of well-watered and half-stressed split-root Lambrusco grapevines grown in Po Valley (Italy). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129(1-3), 97-106.
- Sadok, W., Lopez, J. R., & Smith, K. P. (2021). Transpiration increases under high-temperature stress: Potential mechanisms, trade-offs and prospects for crop resilience in a warming world. *Plant, Cell & Environment*, 44(7), 2102-2116.
- Santos, J. A., Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., Dinis, L. T., Correia, C., ... & Schultz, H. R. (2020). A review of the potential climate change impacts and adaptation options for European viticulture. *Applied Sciences*, 10(9), 3092.
- Savoi, S., Herrera, J. C., Carlin, S., Lotti, C., Bucchetti, B., Peterlunger, E., ... & Mattivi, F. (2020). From grape berries to wines: Drought impacts on key secondary metabolites. *Oeno One*, 54(3), 569-582.
- Schultz, H. R. (1995). Water relations and photosynthetic responses of two grapevine cultivars of different geographical origin during water stress. *Strategies to Optimize Wine Grape Quality* 427, 251-266.
- Shellie, K. C., & King, B. A. (2013). Kaolin particle film and water deficit influence Malbec leaf and berry temperature, pigments, and photosynthesis. *American journal of enology and viticulture*, 64(2), 223-230.

- Tombesi, S., Poni, S., & Palliotti, A. (2016). Water stress in *Vitis vinifera*: variability in intraspecific physiological behaviours and their potential exploiting in the mitigation of climate change effects.
- Trahan, M. W., & Schubert, B. A. (2016). Temperature-induced water stress in high-latitude forests in response to natural and anthropogenic warming. *Global Change Biology*, 22(2), 782-791.
- Olivera Viciado, D., de Mello Prado, R., Martinez, C. A., Habermann, E., Branco, R. B. F., de Cássia Piccolo, M., ... & Lata Tenesaca, L. F. (2021). Water stress and warming impact nutrient use efficiency of Mombasa grass (*Megathyrsus maximus*) in tropical conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 207(1), 128-138.
- 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: This article is published in cooperation with the 21th GIESCO International Meeting, June 23-28 2019, Thessaloniki, Greece. Guests editors: Stefanos Koundouras and Laurent Torregrosa. *Oeno One*, 53(2), 129-146.
- Valentini, G., Pastore, C., Allegro, G., Muzzi, E., Seghetti, L., & Filippetti, I. (2021). Application of kaolin and Italian natural chabasite-rich zeolitite to mitigate the effect of global warming in *Vitis vinifera* L. cv. Sangiovese. *Agronomy*, 11(6), 1035.
- Valentini, G., Pastore, C., Allegro, G., Mazzoleni, R., Chinnici, F., & Filippetti, I. (2022). Vine physiology, yield parameters and berry composition of sangiovese grape under two different canopy shapes and irrigation regimes. *Agronomy*, 12(8), 1967.
- Zucaro, R., & Pontrandolfi, A. (2007). Agricoltura irrigua e scenari di cambiamento climatico. *Stagione irrigua 2006 nel Centro Nord. Istituto Nazionale di Economia Agraria*.

6. SITOGRAFIA

- “Conegliano Valdobbiadene DOCG Prosecco Superiore – vendite e esportazioni 2019”, Baccaglio M., 2021, <https://www.inumeridelvino.it/2021/01/conegliano-valdobbiadene-docg-prosecco-superiore-vendite-e-esportazioni-2019.html>
- “Prosecco DOC e DOCG dati di produzione e vendita 2019/20”, Baccaglio M., 2021, <https://www.inumeridelvino.it/2021/02/prosecco-doc-dati-di-produzione-e-vendita-2019-20.html>
- “Censimento terreni ISTAT”, ISTAT, 2021 - <https://www.istat.it>

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare il Professore Franco Meggio per la disponibilità come Relatore, per la proposta dell'argomento di tesi, per i consigli e le conoscenze trasmesse durante tutto il percorso di ricerca.

Inoltre, desidero ringraziare il Professore Simone Vincenzi per la disponibilità nella parte enologica e il Dott. Francesco Mirone per avermi aiutato nella raccolta e nell'elaborazione dei dati.

Un grazie immenso alla mia famiglia, ai miei genitori, mamma Lorena e papà Daniele che mi hanno permesso di studiare e farmi diventare ciò che voglio essere. Questa laurea è anche vostra, che avete in più occasioni stretto i denti al mio fianco, e che spero oggi possiate essere felici.

Ai miei fratelli Erika e Sebastiano che mi sopportano sempre e in più occasioni difficili non hanno esitato a farmi tornare il sorriso.

Ai miei nonni Giselda ed Erminio che considererò per sempre i miei secondi genitori e che mi hanno sempre incoraggiato nel continuare a studiare.

Al mio fidanzato Marco che ha amorevolmente sopportato i miei scleri e frustrazioni, ansie e paure, tergiversazioni e rimandi ma, che mi è sempre stato vicino, supportandomi senza mai abbandonarmi.

A tutte le persone che ho conosciuto durante questo percorso e alle nuove amicizie che hanno contribuito a farmi vivere momenti ed esperienze che non dimenticherò mai.

Infine, last but not least, un ringraziamento speciale a chi ha sempre creduto in me prima di me, ma soprattutto a chi mi ha augurato di non farcela.

Non avrei mai potuto darvela vinta.