



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE AGRARIE E DEL TERRITORIO

USO DEL CAOLINO PER LA PROTEZIONE
DI VERDICCHIO DAGLI ECCESSI
TERMICI

USE OF KAOLIN TO PROTECT
VERDICCHIO FROM THERMAL
EXCESSES

TESI SPERIMENTALE

Studente:
PIERPAOLO NOCCHI

Relatore:
PROF.SSA ORIANA SILVESTRONI

Correlatore:
PROF.SSA VANIA LANARI

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

SOMMARIO

ELENCO DELLE TABELLE.....	3
ELENCO DELLE FIGURE	5
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI	7
INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI	9
CAPITOLO 1 MATERIALI E METODI.....	19
1.1 Campo sperimentale e materiale vegetale.....	19
1.2 Disegno sperimentale.....	20
1.3 Analisi della vigoria.....	22
1.4 Fotosintesi, scambi gassosi e stato termico delle lamine fogliari	23
1.5 Componenti della resa e composizione delle uve	23
1.6 Decorso meteorologico	24
1.7 Analisi statistica.....	25
CAPITOLO 2 RISULTATI E DISCUSSIONE	26
2.1 Decorso meteorologico	26
2.2 Analisi della vigoria.....	31
2.3 Aspetti fisiologici.....	32
2.3.1 Fotosintesi netta.....	32
2.3.2 Conduttanza stomatica.....	35
2.3.3 Evapotraspirazione.....	37
2.3.4 Temperatura superficiale delle lamine fogliari	38
2.4 Aspetti produttivi	42
2.4.1 Decorso della maturazione delle uve	42
2.4.2 Effetti sulle componenti della resa, sulla composizione dell’uva alla vendemmia e sulla preferenza del vino	50
2.4.3 Comportamento vegetativo delle viti.....	53
CONCLUSIONI	54
BIBLIOGRAFIA	55

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 0.1 - Condizioni operative delle pubblicazioni consultate: PI = PortaInnesto; NI = Non Irrigato; I = Irrigato; CSP = Cordone Speronato; G = Guyot.....	16
Tabella 0.2 - Modalità di applicazione e principali risultati delle pubblicazioni consultate.	17
Tabella 1.1- Informazioni sui corpi vitati interessati dalla prova di campo.....	20
Tabella 2.1- Temperature minime (Tmin.) medie (Tmed.) e massime (Tmax.) mensili e giorni di eccesso termico della stagione di crescita 2022, rilevate dalla Stazione Meteorologica di Colle di Montecarotto.	27
Tabella 2.2- Precipitazioni cumulate mensili e numero di giorni di pioggia (>0,1mm), di pioggia utile (>0,5mm) e di pioggia intensa (>20mm), registrati durante la stagione di crescita 2022 dalla Stazione Meteorologica di Colle di Montecarotto.....	28
Tabella 2.3- Temperature minime (Tmin.) medie (Tmed.) e massime (Tmax.) mensili e giorni di eccesso termico della stagione di crescita 2023 rilevate dalla Stazione Meteorologica di Colle di Montecarotto.	30
Tabella 2.4- Precipitazioni cumulate mensili e numero di giorni di pioggia (>0,1mm), di pioggia utile (>0,5mm) e di pioggia intensa (>20mm), registrati durante la stagione di crescita 2023 dalla Stazione Meteorologica di Colle di Montecarotto.....	30
Tabella 2.5- Risultati dell'analisi di vigoria eseguita mediante l'App. "VitiCanopy". "Porosity" indica la presenza di spazi vuoti all'interno della chioma, riportata con E.S.M.; "Cover" indica la copertura vegetale dell'intera chioma, riportata con E.S.M.....	31
Tabella 2.6- Parametri produttivi alla vendemmia (6 settembre 2022) di Verdicchio su filari trattati con caolino (K) o non trattati (Ctrl). I valori contrassegnati dalla stessa lettera non mostrano differenze significative per $P < 0,05$. PMG = Peso Medio Grappolo; PMA = Peso Medio Acino.	51
Tabella 2.7- Parametri produttivi alla vendemmia (13 settembre 2023) di Verdicchio su filari trattati con caolino (K) o non trattati (Ctrl). I valori contrassegnati dalla stessa lettera non mostrano differenze significative per $P < 0,05$. PMG = Peso Medio Grappolo; PMA = Peso Medio Acino.	51

Tabella 2.8-Composizione del mosto alla vendemmia 2022 (6 settembre) di Verdicchio su filari trattati con caolino (K) e filari non trattati (Ctrl). I valori contrassegnati dalla stessa lettera non mostrano differenze significative per $P < 0,05$. AT = Acidità Titolabile; APA = Azoto Prontamente Assimilabile. 52

Tabella 2.9- Composizione del mosto alla vendemmia 2023 (13 settembre) di Verdicchio su filari trattati con caolino (K) e filari non trattati (Ctrl). I valori contrassegnati dalla stessa lettera non mostrano differenze significative per $P < 0,05$ 52

Tabella 2.10-Parametri vegetativi rilevati durante la potatura invernale 2023 sulle viti di Verdicchio vendemmate il 6 settembre 2022. I valori contrassegnati dalla stessa lettera non mostrano differenze significative per $P < 0,05$. PMT = Peso Medio Tralci; U/L = Uva/Legno. 53

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1.1-Dislocazione delle parcelle in cui sono state svolte le prove elaborata con il software QGIS 3.28 su una mappa estratta da Google Satellite.....	20
Figura 1.2-Foglie di Verdicchio in seguito all'irrorazione con caolino avvenuta il 18 luglio 2023.....	21
Figura 1.3-Esempio di immagine di chioma di vite utilizzabile per l'analisi con VitiCanopy.	22
Figura 2.1- Andamento delle Temperature dell'aria rilevate dalla Stazione Meteorologica di Colle di Montecarotto nei giorni di esecuzione dei rilievi fisiologici nel 2022 e nel 2023.	33
Figura 2.2-Andamento della Fotosintesi Netta (Pn) di foglie di Verdicchio in filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nei due vigneti esaminati nell'anno 2022.	34
Figura 2.3-Andamento della Fotosintesi Netta (Pn) di foglie di Verdicchio in filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nei due vigneti esaminati nell'anno 2023.	34
Figura 2.4-Andamento della Conduttanza stomatica (g_s) di foglie di Verdicchio in filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nei due vigneti esaminati nell'anno 2022.....	36
Figura 2.5-Andamento della Conduttanza stomatica (g_s) di foglie di Verdicchio in filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nei due vigneti esaminati nell'anno 2023.....	36
Figura 2.6- Andamento del tasso di Evapotraspirazione (E) di foglie di Verdicchio in filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nei due vigneti esaminati nell'anno 2022.....	40
Figura 2.7- Andamento del tasso di Evapotraspirazione (E) di foglie di Verdicchio in filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nei due vigneti esaminati nell'anno 2023.....	40
Figura 2.8-Andamento delle Temperature superficiali di lamine fogliari (T_{foglia}) di Verdicchio misurate con ADC in filari trattati con caolino (K-ADC) e filari non trattati (Ctrl-ADC) e misurate con termometro ad infrarossi in filari trattati con caolino (K) e in filari non trattati (Ctrl), nei vigneti di Querce e di Moro nel 2022.	41
Figura 2.9- Andamento delle Temperature superficiali di lamine fogliari (T_{foglia}) di Verdicchio misurate con ADC in filari trattati con caolino(K-ADC) e filari non trattati (Ctrl-	

ADC) e misurate con termometro ad infrarossi in filari trattati con caolino (K) e in filari non trattati (Ctrl), nei vigneti di Querce e di Moro nel 2022.	41
Figura 2.10-Decorso del Peso Medio Acino (PMA) di Verdicchio su filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nel 2022 e 2023 nei due vigneti esaminati.....	44
Figura 2.11-Decorso della concentrazione zuccherina negli acini di Verdicchio su filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nel 2022 e 2023 nei due vigneti esaminati.....	45
Figura 2.12-Decorso della concentrazione di Azoto Prontamente Assimilabile (APA) negli acini di Verdicchio su filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nel 2022 e 2023 nei due vigneti esaminati.	46
Figura 2.13-Decorso dell'Acidità Titolabile (AT) negli acini di Verdicchio su filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nel 2022 e 2023 nei due vigneti esaminati.	47
Figura 2.14-Decorso della concentrazione di Acido Malico negli acini di Verdicchio su filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nel 2022 e 2023 nei due vigneti esaminati.	48
Figura 2.15-Decorso del pH negli acini di Verdicchio su filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nel 2022 e 2023 nei due vigneti esaminati.....	49

ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

ABA	Acido Abscissico
APA	Azoto Prontamente Assimilabile
APx	Ascorbato Perossidasi
AT	Acidità Titolabile
CAT	Catalasi
Ci	Concentrazione di CO ₂ Intracellulare Netta
Ctrl	Tesi di controllo non trattata
D3A	Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali
DNA	Acido Desossiribonucleico
DPS	Depossidazione
E	Tasso di Traspirazione
EFSA	European Food Safety Authority
ESM	Errore Standard Media
ETR	Velocità di Trasporto degli Elettroni
FPC	Film di Particelle di Caolino
F _v /F _m	Efficienza Quantica Massima del PSII
GPx	Glutazione Perossidasi
GR	Glutazione Reduttasi
g _s	Conduttanza Stomatica
GURI	Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana
I	Irrigato
IAA	Acido Indolacetico
IPCC	Intergovernment Panel on Climate Change
K	Tesi trattata con caolinio
MDA	Malondialdeide
MISE	Ministero delle Imprese e del Made in Italy
n.r.	Non Rilevato
NCER	Tasso di Scambio Netto Giornaliero di CO ₂
NI	Non Irrigato
NPQ	Quencing Non Fotochimico
P _{acino}	Peso Acino

PAR	Radiazione Fotosinteticamente Attiva
PMA	Peso Medio Acino
PMG	Peso medio grappolo
PMT	Peso Medio Tralcio
Pn	Tasso di Fotosintesi Fogliare Netta
RDCBP	Research and Development Center of Biorational Pesticide
s.s.	Solidi Solubili
SIRMIP	Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico
SOD	Superossido Dismutasi
TAC	Contenuto Totale di Antociani
TBARS	Acido Tiobarbiturico
T _{foglia}	Temperatura Fogliare
U/L	Uva/Legno
UNIVPM	Università Politecnica delle Marche
VCR	Vivai Cooperativi Rauscedo
WUE _i	Efficienza Intrinseca di Uso dell'Acqua
z.r.	Zuccheri Riducenti
Φ_{PSII}	Efficienza PSII
Ψ_{MD}	Potenziale Idrico Fogliare di Mezzogiorno
Ψ_{stem}	Potenziale Idrico del Fusto a Mezzogiorno Solare

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

Le attività umane, principalmente attraverso l'emissione di gas serra (GHG), stanno inequivocabilmente causando l'alterazione del clima terrestre (IPCC, 2023) portando a quello che in climatologia prende il nome di "Global Warming" ("Riscaldamento Globale") (Al-Ghussain, 2019). Questo fenomeno è generalmente rappresentato dall'incremento delle temperature medie globali e da un aumento in termini di frequenza, durata ed intensità di eventi meteorologici estremi come le ondate di calore (Cataldo, et al., 2022). Un'ondata di calore è una successione di giorni con temperatura dell'aria anormalmente elevata, con definizioni che variano sia nelle soglie di temperatura, che nella durata a seconda della giurisdizione e dell'applicazione (Garcia-Tejera, et al., 2023). Questi eventi, unitamente ad altri fattori climatici con implicazioni agronomiche (deficit idrico, carico di radiazione, velocità del vento) (Garcia-Tejera, et al., 2023), causano nella vite una serie di risposte fisiologiche che si possono riflettere negativamente nella produzione sia in termini di quantità che di qualità della stessa, nonché danni diretti a carico sia dei frutti che delle foglie. Infatti, le temperature estreme ($>35^{\circ}$) durante la stagione di crescita possono danneggiare gravemente l'efficienza fotosintetica delle foglie e il metabolismo degli acini (Dinis, et al., 2020), portando ad una rapida maturazione, con un eccessivo accumulo di zuccheri nel frutto e conseguentemente un alto contenuto di alcol nel vino (Palliotti, et al., 2014). Ciò è accompagnato da bassi livelli di acidità, elevati valori di pH (Palliotti, et al., 2014) e variazioni nell'accumulo di metaboliti secondari come i composti fenolici (Cataldo, et al., 2022). Le alte temperature, unitamente agli stress idrici determinano spesso una riduzione delle dimensioni degli acini e del loro peso; si verifica anche un innalzamento della temperatura degli stessi, che insieme agli elevati livelli di energia radiativa, innescano processi di degradazione delle clorofille e accumulo di Specie Reattive dell'Ossigeno (ROS), causando imbrunimenti e scottature degli acini, particolarmente dannosi nelle uve bianche (Rustioni, et al., 2015). Tutti questi fattori, specialmente se combinati, influiscono sulle rese dei vigneti delle aree viticole interessate da eccessi termici, con riduzioni che possono raggiungere il 35% (Fraga, et al., 2020) nonché sulla qualità della produzione e dei vini da essa derivanti, che si presentano con variazioni del profilo sensoriale dovute a variazioni nel metabolismo primario e secondario dell'uva.

Nell'area mediterranea, così come in molte altre importanti zone viticole a livello mondiale, lo spettro dello scadimento della qualità dei vini a causa dei cambiamenti climatici, soprattutto se si considerano le attuali previsioni per il futuro, secondo cui la temperatura è destinata (tra il 2000 e il 2049) ad aumentare in media di 0,42°C per decennio e di 2,04°C nel complesso, portando a riconsiderare l'adeguatezza della viticoltura per un certo numero di regioni viticole attuali (Gutierrez-Gamboa, et al., 2020). Appare chiaro che nel medio-lungo termine si potrà rivedere la distribuzione geografica della viticoltura e la scelta delle varietà e dei portinnesti (Palliotti, et al., 2014), ma risulta necessario mettere a punto soluzioni a breve termine, sostenibili ed in grado di garantire la qualità delle produzioni di uva e di vino (Garcia-Tejera, et al., 2023). Sono molti gli studi effettuati a tal riguardo, ad esempio l'uso dell'irrigazione risulta sempre efficace nel contrastare non solo gli stress idrici ma, attraverso il raffreddamento evaporativo, anche quelli termici (Garcia-Tejera, et al., 2023). Tuttavia, le infrastrutture e la disponibilità di acqua spesso limitano l'uso dell'irrigazione per gestire gli stress da caldo e anche in un'ottica di sostenibilità del vigneto, sarebbe preferibile orientarsi verso pratiche che consentano, a parità di input idrico, di migliorare l'efficienza di uso dell'acqua da parte della pianta, effetto che può essere ottenuto direttamente, riducendo la traspirazione, o indirettamente, con tecniche che mirano ad abbassare i valori di Radiazione Fotosinteticamente Attiva (PAR) e la temperatura di lamina fogliari e acini. Infatti, valori elevati di PAR sono collegati ad un maggiore tasso di traspirazione e di disidratazione dei frutti (Bergqvist, et al., 2021). L'applicazione di tecniche di potatura adeguate potrebbe essere utile al fine di ridurre il carico energetico e migliorare lo stato idrico delle piante. Una potatura invernale tardiva potrebbe sfalsare le fasi fenologiche critiche dai periodi più caldi, mentre è dimostrato che è possibile ridurre l'accumulo di zuccheri negli acini e ritardare la maturazione eseguendo delle cimature post-invaiaitura (Palliotti, et al., 2014). Sebbene queste tecniche risultino efficaci, potrebbero essere limitate laddove la disponibilità di risorse limita già le dimensioni delle chiome; inoltre, queste pratiche possono aumentare l'esposizione dei grappoli, con il conseguente rischio di scottature solari. Diverse ricerche riportano invece i risultati positivi ottenuti nel contrastare gli effetti degli eccessi termici, con l'uso di reti ombreggianti. Ad esempio, uno studio condotto nel Centro Italia su viti di varietà Sauvignon (*Vitis vinifera L.*) da Cataldo, et al., (2022) ha dimostrato che l'installazione di una rete ombreggiante in materiale plastico (in grado di intercettare il 70% della radiazione luminosa incidente) sulla zona dei grappoli, ha avuto un effetto benefico sullo stato idrico delle piante di vite e ha consentito il mantenimento della fotosintesi fogliare, portando ad una più elevata resa commerciabile (maggiore peso degli acini), rispetto alle piante di controllo. Infatti,

durante tutto il periodo della maturazione si è riscontrata una rilevante riduzione della temperatura fogliare, degli scambi gassosi (in termini di conduttanza stomatica ed evapotraspirazione) e parallelamente una diminuita suscettibilità alla fotoinibizione, dovuta all'aumento dell'efficienza del FotoSistema II (PSII) ed una maggiore efficienza del quencing fotochimico. Questi risultati potrebbero quindi incoraggiare i viticoltori a installare reti nei loro vigneti in situazioni in cui l'acqua è limitata, tuttavia, sono necessarie ulteriori ricerche per determinare la sostenibilità dell'ombreggiamento su più anni. Tra i sistemi per migliorare l'efficienza di uso dell'acqua da parte delle piante di vite ed avere quindi un ruolo nel contrastare le alte temperature, vi è l'applicazione di antitraspiranti alla chioma. Questa tecnica è stata ampiamente studiata già a partire dagli anni sessanta e consente di ridurre gli scambi gassosi grazie alla limitazione dell'apertura stomatica, portando ad un minor consumo di acqua, al rallentamento della maturazione e ad una riduzione dell'accumulo di zuccheri nei frutti (Brillante, et al., 2016). In viticoltura attualmente sono disponibili due classi di antitraspiranti di origine vegetale: la prima classe comprende composti biochimicamente attivi, come il chitosano (β -1,4-D-glucosamina), la cui azione di chiusura degli stomi è dovuta alla modificazione del metabolismo dell'Acido Abscissico (ABA) (Iriti, et al., 2009), mentre la seconda classe comprende polimeri filmogeni, inattivi dal punto di vista biochimico, che limitano meccanicamente l'apertura stomatica e quindi la traspirazione delle piante (Palliotti, et al., 2013). In uno studio condotto in Sud Italia da Brillante, et al. (2016) su viti di varietà Cabernet-Sauvignon (*Vitis vinifera L.*) si è testato l'uso del pinolene (di-1-p-mentene), un polimero derivante dalla resina di pino e appartenente alla seconda delle due classi di antitraspiranti sopra citati. Secondo i risultati ottenuti il pinolene ha più che altro limitato la fotosintesi netta che la conduttanza stomatica, influenzando scarsamente sull'efficienza di uso dell'acqua e portando ad una riduzione dell'accumulo di zuccheri nelle uve, ma anche ad una riduzione del contenuto di antociani rispetto al controllo. Attualmente sta emergendo una nuova tecnologia poco costosa, simile in linea di principio alla seconda categoria di antitraspiranti sopra elencati e quindi con un'azione meccanica sugli scambi gassosi, nota come tecnologia dei film di particelle (Brillante, et al., 2016). Questa tecnica consiste nella distribuzione di particelle minerali chimicamente inerti, come caolino o zeoliti, in grado oltre che di limitare la traspirazione, di riflettere le radiazioni infrarosse, PAR e ultraviolette, risulta pertanto uno strumento agronomico potenzialmente valido a contrastare gli stress abiotici nei vigneti commerciali (Petoumenou, 2023). Il caolino è un silicato di alluminio calcinato ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) di colore bianco e, secondo quanto riportato dall'Autorità Europea per la Sicurezza Alimentare (EFSA) in base alle conoscenze fin'ora disponibili, risulta essere

chimicamente inerte nel suolo ed in acqua, non si rende biodisponibile dopo l'ingestione, non è sistemico se applicato sui vegetali e presenta bassi rischi per operatori e per i consumatori (EFSA, 2022). Questo minerale trova ampio impiego nelle attività umane, essendo utilizzato nell'industria cartaria, nei farmaci come eccipiente, in cosmesi, nell'edilizia e nella produzione di porcellane. In agricoltura originariamente è stato sviluppato per il controllo dei parassiti di diverse colture arboree ed orticole, grazie all'effetto repellente dovuto alle modificazioni dei tessuti dei frutti e delle foglie dopo l'irrorazione (Petoumenou, 2023). Rispetto ad altre specie fruttifere, all'uso del caolino sulla vite è stata dedicata un'attenzione minore, ma considerando i risultati riportati dagli studi fin'ora condotti, potrebbe costituire un'importante strategia a breve termine per fronteggiare gli stress abiotici dovuti ai cambiamenti climatici in viticoltura; infatti gli effetti del caolino sono molteplici e la sua azione si esplica sia a livello delle lamine fogliari, con conseguenti ripercussioni sui parametri fisiologici, sia sulla produzione, in termini di qualità e quantità dei frutti. Studi condotti in condizioni di clima mediterraneo suggeriscono che i film particellari a base di caolino riflettono efficacemente le radiazioni solari potenzialmente dannose (UV e infrarosso) grazie al caratteristico colore bianco, portando ad una riduzione della temperatura superficiale degli organi irrorati. Tuttavia, lo studio condotto da Frioni et al. (2019) presso l'Università Cattolica del Sacro Cuore (Piacenza, Italia) su viti adulte di Sangiovese allevate in vaso, suggerisce che l'entità di questo effetto è funzione dello stato idrico delle foglie. Le foglie trattate con caolino hanno infatti mostrato temperature più basse rispetto al controllo non trattato solo per le piante allevate in condizioni di stress idrico, mentre per le piante ben irrigate non si sono riscontrate differenze significative. Questi risultati sono confermati anche da uno studio di tre anni condotto da Brillante et al. (2016) su Cabernet Sauvignon coltivato in un'area calda del Sud Italia, secondo cui l'applicazione di caolino ha causato un significativo raffreddamento delle foglie ($-1,3^{\circ}\text{C}$) solo nelle annate stressanti, mentre nelle annate dove lo stress idrico era ridotto, la temperatura delle foglie irrorate con caolino è risultata addirittura più elevata rispetto al controllo ($+1,4^{\circ}\text{C}$). La stessa correlazione tra effetto del caolino sulla temperatura e stato idrico delle piante, è da considerarsi valida non solo a livello di singola lamina fogliare, ma anche di intera chioma (Frioni, et al., 2019). Si può quindi affermare che l'applicazione di caolino, consente un raffreddamento crescente in presenza di una disponibilità idrica sempre più limitata per la vite e garantisce al contempo un certo raffreddamento evaporativo, contribuendo quindi a limitare la perdita di acqua e di efficienza fotosintetica delle foglie (Cataldo, et al., 2022). È noto che la temperatura esercita un controllo diretto sulla fisiologia della vite e che a temperature al di sopra dell'optimum (circa 30°C) è associato un calo dell'attività fotosintetica, dovuto all'aumento della

respirazione e ad interferenze nei meccanismi di trasporto degli elettroni e nei processi enzimatici (Palliotti, et al., 2021). Riducendo la temperatura fogliare e limitando gli eccessi luminosi, il caolino consente quindi di mantenere livelli più elevati di fotosintesi netta (Dinis, et al., 2018; Frioni, et al., 2019; Dinis, et al., 2020; Cataldo, et al., 2022), anche grazie ad una maggiore protezione della struttura e della funzionalità del PSII (Conde, et al., 2018). Secondo quanto riportato da Bernardo et al. (2022), l'applicazione di caolino sulle varietà portoghesi Touriga Franca e Touriga Nacional, ha portato all'ottimizzazione del metabolismo delle xantofille, ovvero del ciclo violaxantina-anteraxantina-zeaxantina in condizioni di stress estivo mediterraneo, migliorando il raffreddamento fotochimico e l'accumulo di pigmenti fotosintetici nelle lamine fogliari. Questi dati sono confermati anche da Frioni et al. (2020) che durante prove eseguite su piante di Sangiovese allevate in vaso in Italia Centrale, ha rilevato che il caolino aumenta l'attività del ciclo di epossidazione e de-epossidazione delle xantofille in condizioni di stress idrico e termico, favorendo l'accumulo di violaxantina, una più regolare dissipazione degli elettroni in eccesso ed un più rapido recupero della funzionalità fotosintetica allo scemare della condizione di stress. Dal medesimo studio è emerso che il caolino ha ridotto la conversione della zeaxantina in neoxantina, che è il precursore dell'Acido Abscissico (ABA) e che sostanzialmente ne ha seguito la dinamica. L'ABA è coinvolto nella trasduzione del segnale ormonale ed innesca nella vite una serie di risposte fisiologiche cellulari e adattative, tra cui la regolazione attiva della chiusura stomatica nelle foglie (Frioni, et al., 2020). Durante gli stress estivi l'accumulo di ABA, insieme ai processi passivi di regolazione stomatica, determina la chiusura degli stomi e quindi la riduzione della traspirazione (Dinis, et al., 2018) con conseguenze negative sul tasso giornaliero di scambio netto di CO₂ (Frioni, et al., 2020), e della fotosintesi netta di singole lamine fogliari (Dinis, et al., 2018). Con ciò si dimostra quindi che il caolino migliora gli scambi gassosi con conseguenze positive sulla capacità delle chiome di produrre carboidrati (Dinis, et al., 2018). L'irrorazione con caolino porta ad un aumento dell'efficienza intrinseca di uso dell'acqua, spesso per il duplice effetto esercitato sull'aumento della fotosintesi netta e sul calo della conduttanza stomatica (Dinis, et al., 2018; Dinis, et al., 2020; Frioni, et al., 2019). Tuttavia, secondo Brillante et al. (2016) il caolino migliora sì l'efficienza intrinseca di uso dell'acqua, ma questo è dovuto più che altro alla riduzione della conduttanza stomatica, che porta necessariamente ad un aumento del rapporto. Risultati simili risultati sono stati conseguiti da Cao et al. (2023) su viti di varietà Cabernet Sauvignon nella regione a clima semi-arido di Ningxia (Cina); l'analisi dei parametri fisiologici ha evidenziato una riduzione nelle piante trattate sia della fotosintesi netta che della conduttanza stomatica, ma essendo diminuita la seconda più della prima, l'efficienza d'uso

dell'acqua è risultata incrementata. Un altro fattore da considerare è come, nella vite, l'applicazione dei film particellari di caolino influenzerà lo stato idrico delle foglie. Lo studio condotto da Dinis et al. (2018) nella regione del Duoro in Portogallo, ha evidenziato che il trattamento con caolino ha portato ad un notevole miglioramento del potenziale idrico fogliare sia prima dell'alba che di mezzogiorno, con incrementi anche del 40,7% rispetto al controllo non trattato, risultato ottenuto anche da altri autori (Cataldo, et al., 2022). Invece uno studio condotto in Turchia sulla varietà di uva apirena "Sultan 7" (*Vitis vinifera L.*) allevata in condizioni irrigue, non mostra variazioni statisticamente significative del potenziale idrico fogliare di mezzogiorno dovute all'applicazione di caolino, anche se i valori giornalieri sono risultati sempre più elevati per le foglie che hanno subito il trattamento (Tekler, 2023). Le risposte fisiologiche riportate, sono state associate a ripercussioni positive sulla qualità della produzione: lo strato di particelle riflettenti, se irrorato sui frutti, consente di mantenere sotto controllo la temperatura degli acini, abbassando l'incidenza e la gravità delle scottature solari anche del 50% rispetto a grappoli esposti non irrorati (Coniberti, et al., 2013). L'applicazione di caolino potenzia i sistemi di difesa antiossidante nelle viti esposte allo stress estivo, aumentando le attività enzimatiche nelle foglie, ma soprattutto nei frutti e portando ad una diminuzione della produzione di ROS e del danno ossidativo; parallelamente sembrerebbe causare la demetilazione globale del DNA e di conseguenza la regolazione dei cambiamenti trascrizionali sui geni associati alla metilazione e demetilazione del DNA (Bernardo, et al., 2017). Le analisi condotte da Dinis et al. (2020) sulla cultivar a bacca bianca Cerceal (*Vitis vinifera L.*), nella regione dell'Alentejo in Portogallo, hanno evidenziato una diminuzione dell'8,9% nei gradi Brix dei frutti provenienti da piante trattate con caolino, caratteristica importante per ottenere vini con un grado alcolico più equilibrato ed in linea con le attuali tendenze (Palliotti, et al., 2014); questa diminuzione è accompagnata dall'aumento dell'acidità totale, più evidente durante le prime fasi della maturazione. Secondo diversi lavori di ricerca, il caolino ha effetti favorevoli anche su alcuni parametri del metabolismo primario e secondario, come un più elevato contenuto totale in fenoli e tannini (Luzio, et al., 2021) ed un maggior contenuto totale in antociani, portando sostanzialmente alla produzione di vini più gradevoli ed equilibrati (Wang, et al., 2020; Brillante, et al., 2016). Sebbene in letteratura si trovino risultati contrastanti, il caolino sembrerebbe portare anche a rese maggiori (Petoumenou, 2023) dovute all'ottenimento di acini più grandi (Luzio, et al., 2021) e di peso superiore (Petoumenou, 2023). Questi risultati sono però legati ad ambienti a clima mediterraneo, mentre le prove di campo condotte da Wang et al. (2020) nelle condizioni climatiche umide della regione cinese dello Shaanxi, hanno dato esito ben diverso, con un

minore peso medio degli acini. A quanto fin'ora riportato è necessario aggiungere l'azione repellente concertata nei confronti di alcuni insetti dannosi per la vite: Petoumenou (2023) afferma che una sospensione al 3% (p/v) di caolino applicata su piante della varietà a bacca bianca Roditis, ha limitato l'infestazione di *Lobesia botrana* sull'uva; risultati positivi sono stati conseguiti anche nei confronti di altri parassiti come *Drosophila suzukii* sulla varietà di uva da tavola Red Globe (*Vitis vinifera* L.) (Ibouh, et al., 2019), di cicaline della vite come *Empoasca vitis* (Tacoli, et al., 2017) e di *Scaphoideus titanus* (Linder, et al., 2023; Dinis, et al., 2020). Al contrario, l'applicazione di caolino risulta inefficace nella lotta contro la cocciniglia della vite (*Hemiptera: Pseudococcidae*). Per quanto riguarda invece lo stato sanitario delle uve, studi condotti in ambiente caratterizzato da clima umido, evidenziano la riduzione dell'incidenza di infezioni di peronospora (*Plasmopara viticola*), sia direttamente, che mediante l'attivazione dei meccanismi di risposta difensiva della pianta (Wang, et al., 2022) e in associazione con defogliazioni della fascia produttiva, la riduzione dell'incidenza di infezioni di marciume acido e muffa grigia (*Botrytis cinerea*) (Coniberti, et al., 2013).

Nelle tabelle di seguito è riportata una sintesi delle pubblicazioni analizzate nell'introduzione al presente elaborato di Tesi, con riferimenti alle differenti condizioni operative (Tabella 0.1) e alla modalità di applicazione della sospensione di caolino unitamente ai principali risultati ottenuti (Tabella 0.2).

Tabella 0.1 - Condizioni operative delle pubblicazioni consultate: PI = PortaInnesto; NI = Non Irrigato; I = Irrigato; CSP = Cordone Speronato; G = Guyot.

Autori	Cultivar	PI	Zona	Condizioni operative	Anni di prova
Bernardo, et al., 2017	Touriga-Nacional	110R	Portogallo, Duoro	Campo NI, CSP, 10-12 nodi/vite	1
Bernardo, et al., 2022	Touriga-Franca, Touriga-Nacional	1103P	Portogallo, Alentejo	Campo I, CSP, 2,2 x 1,0 m	1
Brillante, et al., 2016	Cabernet-Sauvignon	1103P	Sud Italia	Campo I, CSP, 2,2 x 0,9 m, 10-12 nodi/vite	3
Cao et al., 2023	Cabernet-Sauvignon	n.r.	Cina, Ningxia	Campo I, CSP, 4,0 x 0,5 m	2
Cataldo et al., 2022	Sauvignon blanc	SO4	Italia centrale	Campo NI, CSP, 1,8 x 1,0 m	2
Conde et al., 2018	Touriga-Nacional	110R	Portogallo, Duoro	Campo NI, CSP, 10-12 nodi/vite	2
Coniberti et al., 2013	Sauvignon blanc	SO4	Uruguay	Campo NI, CSP, 2,8 x 1,2 m, 16 nodi/vite	1
Dinis et al., 2020	Cerceal	1103P	Portogallo, Alentejo	Campo NI, CSP	2
Dinis et al., 2018	Touriga-Nacional	n.r.	Portogallo, Duoro	Campo NI, CSP, 10-12 nodi/vite	1
Frioni et al., 2019	Sangiovese	SO4	Italia centrale	Vaso 55l, G, 9 nodi/vite	1
Frioni et al., 2020	Sangiovese	SO4	Italia centrale	Vaso 55l, G, 9 nodi/vite	1
Ibouh et al., 2019	Red-Globe	n.r.	n.r.	Laboratorio	n.r.
Linder et al., 2023	Chasselas, Merlot, Pinot-Noir	n.r.	Svizzera	Campo, n.r.	4
Luzio et al., 2021	Touriga-Franca, Touriga-Nacional, Tinta-Francisca, Vinhão, Grenache, Borracal, Cornifesto	1103P	Portogallo, Alentejo	Campo I, CSP, 10-12 nodi/vite	1
Pentomenou, 2023	Roditis	110R	Grecia centrale	Campo NI, CSP, 2,6 x 1,15 m	2
Tacoli et al., 2018	Viognier, Cabernet-Sauvignon, Gewurztraminer	n.r.	Nuova Zelanda	Campo NI, G, CSP	1
Tacoli et al., 2017	Pinot-Grigio	n.r.	Italia settentrionale	Campo NI, G, 2,5 x 0,8 m, 2,8 x 1 m	1
Teker, 2023	Sultan 7	1103P	Turchia, Manisa	Campo I, Alberello, 3,0 x 2,0 m, 90 nodi/vite	2
Wang et al., 2022	Cabernet-Sauvignon	n.r.	Cina, Shaanxi	Laboratorio	1
Wang et al., 2020	Meili	n.r.	Cina, Shaanxi	Campo NI, Alberello, 2,5 x 1,0 m	2

Tabella 0.2 - Modalità di applicazione e principali risultati delle pubblicazioni consultate.

Autori	Epoca trattamento	N° trat.	Zona irrorata	Dose	Formulato	Principali risultati
Bernardo et al., 2017	Pre-invaiatura	1	Chioma	5% p/v	Surround WP	TBARS (-), H ₂ O ₂ (-), CAT (+), SOD (+), APx (+), GR (+), GPx (-), Demetilazione DNA
Bernardo et al., 2022	Pre-invaiatura	1	Chioma	5% p/v	Surround WP	Clorofille (+), Carotenoidi (+), Xantofille (+), NPQ (-)
Brillante et al., 2016	Chiusura grappolo, Invaiatura	2	Chioma	6% p/v	Surround WP	g _s (-), Ψ _{stem} (-), WUE _i (+), TAC (+), Gradimento vino (+)
Cao et al., 2023	Invaiatura	n.r.	Chioma	6% p/v	RDCBP, Yangling, Cina	WUE (+), E (-), T _{leaf} (-), g _s (-), P _n (-), s.s. (+), z.r. (+), TAC (+)
Cataldo et al., 2022	Invaiatura	3	Chioma	1,5%, 3% p/v	Caolino-Biosil Agri 2000 Italia SRL	Ψ _{leaf} (+), T _{leaf} (-), P _n (+)
Conde et al., 2018	Pre-invaiatura	2	Chioma	5% p/v	Surround WP	Ψ _{leaf} (+), Zuccheri foglia (+)
Coniberti et al., 2013	Invaiatura	2	Grappoli	10% p/v	Surround WP	T _{leaf} (-), <i>B. cinerea</i> (-), Scottature (-), Gradimento vino (+)
Dinis et al., 2020	Pre-invaiatura	1	Chioma	5% p/v	Surround WP	T _{leaf} (-), P _n (+), WUE _i (+), <i>S. titanus</i> (-), °Brix (-), TA (+), Gradimento vino (+)
Dinis et al., 2018	Invaiatura	1	Chioma	5% p/v	Surround WP	ABA (-), IAA (+), Ψ _{leaf} (+), g _s (+), P _n (+), WUE _i (+), Φ _{PSII} (+), ETR (+), F _v /F _m (+)
Frioni et al., 2019	Pre-invaiatura	1	Chioma	3% p/v	Baikal, Agrisnergie, Perigueux, France	T _{leaf} (-), P _n (+), NCER (+), WUE _{chioma} (+)
Frioni et al., 2020	Invaiatura	1	Chioma	3% p/v	n.r.	ABA (-), Xantofille (+), NCER/LA (+)
Ibouh et al., 2019	Maturazione	1	n.r.	3,5% p/v	n.r.	<i>Drosophila suzukii</i> (-)
Linder et al., 2023	Schiusa iniziale, Picco di schiusa*	1-3	Chioma	20-40 Kg/ha	Surround WP	<i>Scaphoideus titanus</i> (-)
Luzio et al., 2021	Pre-invaiatura	1	n.r.	5% p/v	Surround WP	Ø _{acino} (+), T _{leaf} (-), Fenoli tot (+), Tannini (+), Attività antiossidante (+)
Pentomenou, 2023	Invaiatura	2	Chioma	3% p/v	Surround WP	Ψ _{foglia} (+), T _{foglia} (-), P _n (+), P _{acino} (+), <i>Lobesia botrana</i> (-)
Tacoli et al., 2018	Pre-emergenza seconde generazioni*	3	Chioma	3% p/v	Surround WP	<i>Hemiptera: Pseudococcidae</i> (inefficace)

Tacoli et al., 2017	Fine sviluppo prima generazione*	2	Chioma/ Grappolo	2% p/v	Surround WP	<i>Hemiptera: Cicadellidae</i> (-)
Teker et al., 2023	Allegagione, Invaiaitura	3	Chioma	5% p/v, 2,5 p/v	Surround WP	Ψ_{md} (+), T_{leaf} (-), T_{acino} (-), Scottature (-parzialmente)
Wang et al., 2022	n.r.	1	n.r.	1% p/v, 2% p/v, 3% p/v	RDCBP, Yangling, Cina	<i>Plasmopara viticola</i> (-), Risposta di difesa (+), H_2O_2 (-), MDA (-)
Wang et al., 2020	Pre-invaiaitura	n.r.	Grappoli	6% p/v	n.r.	P_{acino} (-), TA (-), Fenoli tot (+), Tannini (+), TAC (+), °Brix (+), s.s. (+)

*In riferimento alla fase del ciclo vitale dell'insetto interessato dallo studio.

In questo contesto di crescente interesse nei confronti dell'uso del caolino come strategia a breve termine per contrastare gli stress termici estivi, va ad inserirsi il presente elaborato di Tesi, ponendosi il l'obbiettivo di valutarne gli effetti in pieno campo negli areali del Centro Italia, dove il cambiamento climatico sta determinando condizioni ambientali molto variabili di anno in anno, che rendono difficile intraprendere scelte di lungo periodo da parte dei viticoltori. Tale scopo verrà perseguito andando a valutare parametri fisiologici e produttivi di viti appartenenti alla più nota ed apprezzata varietà a bacca bianca della Regione Marche, il Verdicchio.

Capitolo 1

MATERIALI E METODI

La presente Tesi di Laurea è stata svolta nell'ambito del progetto di ricerca "Nuove tecnologie di prodotto per il Food & Wine tipico della tradizione italiana MADE IN ITALY, processo intelligente, integrato, ed interconnesso nella logica di agricoltura di precisione ed industria 4.0, tracciabilità della supply chain, metodi e servizi in ottica blockchain ed in accordo con i criteri del biologico, sostenibilità, sicurezza, design, competitività e globalizzazione", poi sintetizzato in MISE-Agrifood. Il progetto è stato avviato nel gennaio 2021 e riguarda diverse linee di ricerca, tra cui le tecniche agronomiche di gestione e protezione del vigneto (Silvestroni, Comunicazione Personale, 2023), in cui sono state inserite le strategie di adattamento al cambiamento climatico, come l'irrorazione delle chiome con prodotti capaci di riflettere la luce. Nella messa in opera del progetto sono stati coinvolti quattro partner, di cui tre aziende private quali "Terre Cortesi Moncaro Soc. Coop.", "APRA Srl" e "Prodotti Alimentari Brunori Srl." ed un ente di ricerca rappresentato dall'Università Politecnica delle Marche. La ricerca è stata finanziata mediante partecipazione al "Bando MISE", emanato con Decreto Ministeriale del 2 agosto 2019 (pubblicato nella GURI n. 221 del 20 settembre 2019) - Intervento a sostegno di progetti di ricerca e sviluppo nei settori applicativi della Strategia Nazionale di Specializzazione Intelligente, relativi a "Fabbrica Intelligente", "Agrifood", "Scienze della vita" e "Calcolo ad alte prestazioni", ai sensi del Capo II "Procedura Negoziabile" del Decreto del 5 marzo 2018.

1.1 Campo sperimentale e materiale vegetale

L'esperimento è stato condotto in due vigneti commerciali messi a disposizione dal partner Terre Cortesi Moncaro Soc. Coop. e situati in Località Fondiglie (43°29'09''N 13°02'47''E, 375 m s.l.m.), presso Rosora (AN), nelle Marche in Italia Centrale. In entrambi gli appezzamenti il materiale vegetale è costituito da viti di cultivar Verdicchio Bianco (Clone VCR 107), impiantate a 2,6 m di distanza tra i filari e a 1,0 m di distanza lungo la fila. Le viti sono allevate a contropalliera, con potatura lunga a Guyot unilaterale ed i filari sono orientati in senso NO-SE. I due vigneti presentano, sulla base di mappe satellitari del triennio 2019-

2021 (dati estratti da Terre Cortesi Moncaro Soc. Coop. da “Sentinel 2”) e di validazioni condotte in campo nel 2021, differenti livelli di vigore e risultano innestate su diversi portinnesti. Le informazioni di dettaglio sui due corpi vitati sono riportate in Tabella 1.1.

Tabella 1.1- Informazioni sui corpi vitati interessati dalla prova di campo.

Appezzamento	Anno di impianto	Portinnesto	Vigoria	Filari Trattati (K)	Filari di controllo (Ctrl)
Querce (Q)	2004	SO4	Bassa	41-47	48-54
Moro (M)	2005	Kober 5BB	Alta	91-94	98-101

1.2 Disegno sperimentale

Il disegno sperimentale è stato concordato con i tecnici di Terre Cortesi Moncaro Soc. Coop. secondo la logica della “On-Farm Research”, semplificandolo il più possibile a livello di grandi parcelle ed andando a confrontare direttamente piante di filari trattati con caolino (K) con piante testimoni non trattate (Ctrl), secondo lo schema riportato in Figura 1.1.

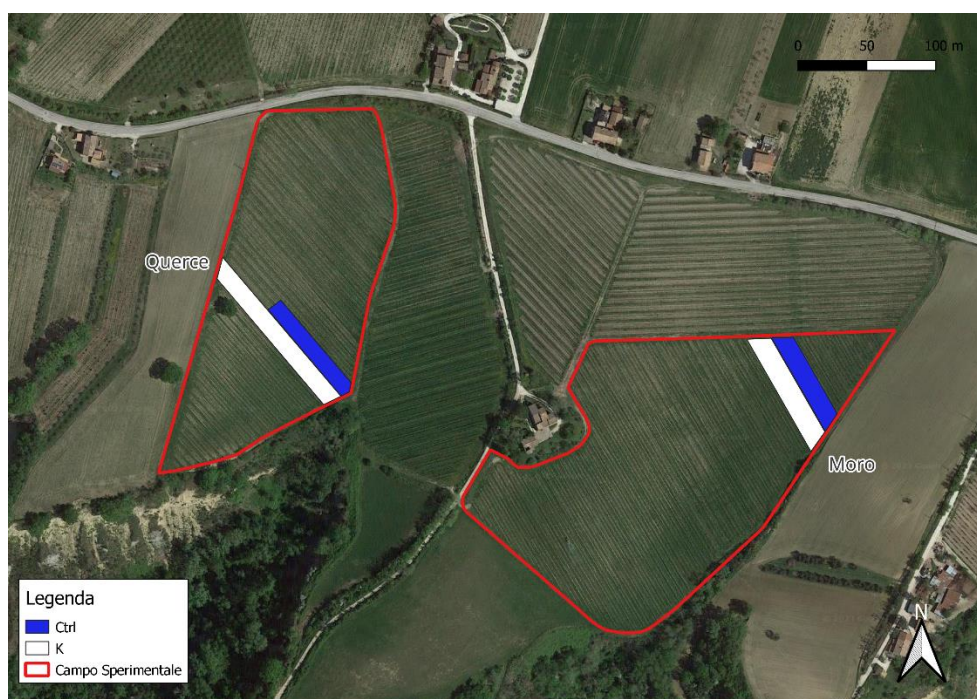


Figura 1.1-Dislocazione delle parcelle in cui sono state svolte le prove elaborata con il software QGIS 3.28 su una mappa estratta da Google Satellite.

In ciascuna delle due zone in cui è stata impostata la prova e per ognuna delle due tesi sono stati presi in considerazione sei filari, mentre i rilievi sono stati eseguiti su quattro di essi, escludendo i due filari esterni, per limitare il più possibile l'effetto bordo. Le irrorazioni sono state effettuate dall'azienda partner con Caolino Surround WP (prodotto da Tessenderlo Kerley Inc., Phoenix, Arizona, USA e distribuito in Italia da Serbios s.r.l., Badia Polesine, Rovigo) con un contenuto di caolino del 95%, ad un dosaggio di 30 Kg/ha. Il trattamento ha interessato l'intera chioma e non la sola fascia produttiva ed è stato eseguito con un atomizzatore a basso volume associato ad una trattrice. La prova ha avuto una durata di due anni: nel 2022 sono state eseguite due irrorazioni con caolino, la prima il Day Of the Year (DOY) 196 (15 luglio) e la seconda in seguito ad alcuni rovesci piovosi che avevano dilavato il film di particelle il DOY 223 (11 agosto), mentre nel 2023 è stata effettuato un solo trattamento il DOY 199 (18 luglio). In seguito all'irrorazione con caolino le lamine fogliari e i grappoli sono risultati avere una buona copertura di colore bianco, come è possibile verificare dall'immagine in Figura 1.2.



Figura 1.2-Foglie di Verdicchio in seguito all'irrorazione con caolino avvenuta il 18 luglio 2023.

1.3 Analisi della vigoria

Poiché osservando a confronto il vigneto di Querce e il vigneto di Moro risulta evidente una certa variabilità in termini di vigoria dovuta ad una diversa giacitura che determina anche una differente disponibilità idrica, in data 21 luglio 2022 (DOY 202) è stata effettuata una caratterizzazione della copertura vegetale dei due vigneti, utilizzando l'applicazione per smartphone, tablet e PC "VitiCanopy". Questa nuova applicazione è stata sviluppata da un gruppo di ricercatori dell'Università di Adelaide e dell'Università di Melbourne e consente di effettuare misurazioni non distruttive per stimare le dimensioni, la porosità (Porosity) e la copertura (Cover) della chioma della vite. VitiCanopy utilizza fotografie scattate con la fotocamera anteriore integrata per implementare automaticamente algoritmi di analisi delle immagini digitali di chiome rivolte verso l'alto, costituendo un'alternativa accurata e facile da usare rispetto alle altre tecniche attualmente utilizzate da scienziati e professionisti (De Bei, et al., 2016). Nel nostro caso è stato utilizzato un semplice smartphone per scattare foto sotto-chioma alle viti di due interpali per quattro filari di ogni tesi. Le fotografie sono state scattate con la fotocamera anteriore dello smartphone, posizionato al di sotto della chioma. È importante che il rilievo avvenga il mattino, quando vi è una buona luce ma il sole non si trova ancora allo zenith, per ottenere immagini più definite possibile. Successivamente è stata utilizzata l'app VitiCanopy per estrarre dalle foto i dati riguardanti la variabilità tra i due vigneti in termini di Porosity e di Cover, che hanno poi consentito di mettere in relazione i risultati relativi all'irrorazione con caolino con le differenti condizioni di crescita che caratterizzano il vigneto di Querce rispetto a quello di Moro.



Figura 1.3-Esempio di immagine di chioma di vite utilizzabile per l'analisi con VitiCanopy.

1.4 Fotosintesi, scambi gassosi e stato termico delle lamine fogliari

I parametri fisiologici rilevati dal personale del Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali (D3A) dell'UNIVPM sono stati il tasso di Fotosintesi netta (P_n), la Conduttanza Stomatica (g_s), l'Evapotraspirazione (E) e la temperatura della foglia nella camera di assimilazione. Le misure sono state condotte in tre momenti distinti della stagione di crescita: nello specifico per l'annata 2022 i rilievi sono stati eseguiti in data 21/07, 05/08 e 24/08 (DOY 202-217-236), mentre per l'annata 2023 in data 20/07, 10/08 e 07/09 (DOY 201-222-250). I rilievi sono stati eseguiti sempre al mattino, in orari compresi tra le 8:00 e le 12:00 ora solare. I dati sono stati ottenuti impiegando un Analizzatore di Gas a Infrarossi LCA3 a sistema aperto (ADC BioScientific, Hoddesdon, Inghilterra) su foglie adulte inserite in posizione mediana dell'asse principale del germoglio, ben esposte alla luce ed in condizione di luce saturante ($PAR > 1200 \mu\text{mol fotoni m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Il P_n è stato registrato al raggiungimento della stabilizzazione del differenziale di CO_2 . Al termine della misura di fotosintesi è stata determinata la temperatura superficiale della lamina fogliare, utilizzando un termometro ad infrarossi IRtec MicroRay PRO (E Instruments Group LLC, Langhorne, USA) eseguendo una misura sulla pagina superiore ed una sulla pagina inferiore. La temperatura media della foglia (T_{foglia}) è stata determinata come media dei dati registrati sulla pagina superiore e inferiore.

1.5 Componenti della resa e composizione delle uve

La crescita e la maturazione degli acini è stata monitorata dal personale di Terre Cortesi Moncaro Soc. Coop. a partire dalla seconda metà di luglio, fino alla vendemmia per entrambi gli anni interessati dalla prova, secondo un protocollo concordato con il D3A e già collaudato. La vendemmia è stata eseguita in data 6 settembre nel 2022 (DOY 249) e in data 13 settembre (DOY 256) nel 2023. La raccolta dei campioni ha riguardato quattro parcelle di quaranta viti ciascuna, distribuite su quattro filari contigui in ognuno dei due vigneti. I campioni di acini raccolti sono stati pesati e posti in appositi sacchetti di plastica codificati singolarmente, conservati in frigorifero portatile e poi trasportati presso i laboratori dell'azienda partner, dove sono stati accuratamente schiacciati ed il mosto ottenuto filtrato, al fine di eseguire le dovute analisi. Queste hanno interessato i principali parametri qualitativi delle uve, nello specifico grado zuccherino Brix, pH, Acidità Titolabile (AT), concentrazione di acido malico, azoto α -amminico e azoto ammoniacale. L'Azoto Prontamente Assimilabile (APA) è stato determinato come somma di azoto α -amminico e azoto ammoniacale. Le analisi sono state effettuate con lo strumento WineScan FOSS (FOSS Italia S.r.l.), dotato di tecnologia FTIR. Durante lo

svolgimento delle operazioni di vendemmia, sono stati prelevati anche circa 120 Kg di uva da ciascuna parcella, da destinare alla vinificazione su piccola scala, presso Terre Cortesi Moncaro Soc. Coop., che ha curato anche l'esecuzione delle analisi preliminari sulla composizione della massa di mosto ottenuta. I vini ottenuti sono stati sottoposti a valutazione sensoriale mediante panel test.

Al fine di determinare il comportamento vegetativo delle viti, sono stati eseguiti rilievi di potatura invernale (gennaio 2023) sulle stesse viti campione precedentemente vendemmiate a settembre. Si è proceduto selezionando uno o due tralci da lasciare come capi a frutto per la produzione 2023 ed asportando i restanti, che sono stati contati e pesati. Su tre tralci su ciascuna vite campione si è proceduto a misurare la lunghezza e a contare il numero di nodi per determinare la lunghezza media dei tralci e il numero medio di nodi per tralcio. Il peso medio dei tralci è stato ottenuto dividendo il peso totale degli stessi per il loro numero su ciascuna pianta. L'indice di equilibrio fisiologico Uva/Legno è stato infine calcolato come il rapporto tra il peso dell'uva raccolta e il peso dei tralci asportati con la potatura per ciascuna pianta campione.

1.6 Decorso meteorologico

In attesa della piena attivazione delle stazioni metereologiche installate dall'azienda partner, i dati climatici relativi alle stagioni di crescita 2022 e 2023 sono stati estratti dal Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico (SIRMIP) messo a disposizione online dal Servizio di Protezione Civile della Regione Marche. La stazione metereologica presa in considerazione è stata quella di Colle di Montecarotto (Codice stazione 119; 43°32'N, 13°3'E; Quota 350 m s.l.m.), da cui sono state ricavate le temperature minime, medie e massime giornaliere (Codice sensore 1272). Per le sei date di rilievi fisiologici sono stati estratti i valori puntuali delle temperature registrate tra le ore 8:00 e le ore 12:00, intervallo di tempo in cui sono state eseguite le attività in campo. I dati pluviometrici (Codice sensore 1270) sono stati estratti come precipitazioni cumulate giornaliere. Si è poi proceduto all'elaborazione dei dati al fine di ottenere, per ogni mese della stagione di interesse, il numero di giorni in cui la temperatura massima ha superato le soglie critiche di 30°C e 35°C ed i valori medi mensili delle temperature minime, medie e massime. È stata infine calcolata l'entità delle precipitazioni mensili cumulate, il numero di giorni di pioggia (Precipitazioni > 0,1 mm), il numero di giorni di pioggia utile (Precipitazioni > 0,5 mm) ed il numero di giorni di pioggia intensa (Precipitazioni > 20 mm).

1.7 Analisi statistica

I dati fisiologici ottenuti per ciascuna tesi in ogni data sono stati riportati come valore medio, indicando anche l'Errore Standard della Media. I dati relativi al comportamento produttivo e alla qualità delle uve alla vendemmia, così come quelli ottenuti durante la potatura invernale, sono stati invece sottoposti all'analisi della varianza.

Capitolo 2

RISULTATI E DISCUSSIONE

2.1 Decorso meteorologico

In Tabella 2.1 e Tabella 2.2 sono riportati i dati relativi alle temperature e alle precipitazioni della stagione vegetativa 2022, dal 1° maggio al 30 settembre. A maggio la temperatura media è stata di 18,8°C e nella seconda metà del mese ci sono stati ben 5 giorni con temperature massime sopra i 30°C e 2 giorni sopra i 35°C. Quindi, sostanzialmente, già a partire dal mese di maggio le temperature sono salite sopra la media stagionale, mantenendosi al di sopra di questa fino ad agosto. Nel mese di giugno la temperatura media si è attestata intorno ai 25°C, con temperature massime in media di 30,1°C, infatti per 18 giorni si sono raggiunti picchi superiori ai 30°C senza però mai toccare i 35°C. A luglio invece, le massime sono salite sopra i 30°C per ben 22 giorni e sopra i 35°C per 6 giorni, a testimonianza di una stagione estiva particolarmente calda per la zona di indagine. La temperatura media, dopo essere salita a 26,5°C a luglio, ad agosto è scesa leggermente, attestandosi attorno ai 24,7°C, ma 15 sono stati i giorni in cui la temperatura massima ha superato i 30°C. A settembre la temperatura media è scesa ulteriormente fino a 19,6°C, ma con 4 giorni in cui la massima ha superato i 30°C. Nel corso dell'estate 2022 il picco della temperatura è stato raggiunto il 23 luglio (DOY 204), con una media giornaliera di 32,8°C ed una massima che ha toccato i 40°C. A partire dalla data di esecuzione del primo trattamento a base di caolino il 15 luglio (DOY 196), fino alla vendemmia avvenuta il 6 settembre (DOY 249), le viti sono state sottoposte a temperature superiori ai 30°C per 178 ore complessive e a temperature superiori ai 35°C per 16 ore. Per meglio comprendere gli stress a cui le piante di vite sono state sottoposte durante la stagione estiva, al decorso termico stagionale è necessario affiancare quello pluviometrico (Tabella 2.2). A partire dalla fine di maggio, fino alla fine di agosto si è assistito ad un periodo di prolungata siccità, con una precipitazione cumulata di appena 82 mm. Nel mese di giugno sono caduti 22 mm di pioggia suddivisi in tre eventi, in cui solamente in due di essi si è raggiunta la soglia di 0,5 mm (pioggia utile). A luglio gli eventi piovosi sono stati invece 6, 5 dei quali di pioggia utile e sono risultati meglio distribuiti rispetto al mese precedente; in totale a luglio sono caduti 26 mm di pioggia, che, se messi in relazione alle elevate temperature

medie e massime precedentemente illustrate, evidenziano una situazione che può facilmente portare ad una condizione di stress idrico e termico. Un evento piovoso di 6,6 mm il 29 luglio (DOY 210) ed uno avvenuto l'8 agosto (DOY 220) di 2,2 mm hanno determinato il dilavamento del film di particelle di caolino dalle chiome delle viti, rendendo opportuno un secondo trattamento poi effettuato in data 11 agosto (DOY 223). Nel mese di agosto le precipitazioni cumulate sono state di 35 mm, concentrate principalmente verso la fine del mese con un evento di pioggia intensa (20,8 mm) il 27 agosto (DOY 239) ed altri di minore intensità sempre nella seconda metà del mese. Totalmente differente è invece la situazione di settembre, in cui sono caduti in totale 394 mm di pioggia, 293,8 mm dei quali caduti in due eventi di elevata intensità. Il primo evento, verificatosi il 1° settembre (DOY 244), ha apportato 89,8 mm ed il secondo, avvenuto a vendemmia effettuata in data 15 settembre (DOY 258), che ha fatto registrare ben 204 mm di pioggia caduti ed è tristemente associato all'alluvione che ha colpito l'entroterra marchigiano. Durante il periodo di esecuzione della prova (DOY 196-249) si è invece registrata una precipitazione cumulata di 136 mm, suddivisi in 13 eventi piovosi, di cui 10 in cui è stata superata la soglia di pioggia utile e 2 eventi piovosi intensi.

Tabella 2.1-Temperature minime (Tmin.) medie (Tmed.) e massime (Tmax.) mensili e giorni di eccesso termico della stagione di crescita 2022, rilevate dalla Stazione Meteorologica di Colle di Montecarotto.

Mesi	Valori medi [°C]			No Giorni	
	Tmin.	Tmed.	Tmax.	T>30°C	T>35°C
Maggio	14,1	18,8	24,5	5	2
Giugno	19,8	25,0	30,1	18	0
Luglio	21,0	26,5	31,7	22	6
Agosto	19,8	24,7	30,1	15	1
Settembre	15,4	19,6	25,2	4	0

Tabella 2.2-Precipitazioni cumulate mensili e numero di giorni di pioggia (>0,1mm), di pioggia utile (>0,5mm) e di pioggia intensa (>20mm), registrati durante la stagione di crescita 2022 dalla Stazione Meteorologica di Colle di Montecarotto.

Mesi	Pioggia [mm]	No Giorni		
		>0,1 mm	>0,5 mm	>20 mm
Maggio	64	8	8	1
Giugno	22	3	2	0
Luglio	26	6	5	0
Agosto	35	8	6	1
Settembre	394	13	12	4

Tabella 2.3 e Tabella 2.4 sono riportati i dati relativi alle temperature e alle precipitazioni della stagione vegetativa 2023, dal 1° maggio al 30 settembre. A maggio la temperatura media è stata di 16,4°C (-2,4°C rispetto al 2022), con temperature massime che hanno raggiunto in media 20,8°C e senza mai raggiungere la soglia dei 30°C. Nel mese di giugno la temperatura media si è attestata intorno ai 22,2°C (-2,8°C rispetto al 2022), con temperature massime in media di 27,9°C (-2,2°C rispetto al 2022). Nella seconda metà del mese si è poi avuto un aumento delle temperature massime, che hanno superato i 30°C per 8 giorni e raggiungendo un picco di 36,5°C il 22 giugno (DOY 173). A partire da questo momento in poi, per tutto il mese di luglio si è assistito ad un'ondata di calore di notevole intensità e durata, con una temperatura media di 26,9°C (+0,4°C rispetto al 2022) ed una massima in media di 32,9°C (+1,2°C rispetto al 2022). A luglio sono stati ben 25 i giorni in cui si è superata la soglia dei 30°C (+3 giorni rispetto al 2022) e 11 i giorni in cui si è superata quella dei 35°C (+5 giorni rispetto al 2022). Ad agosto invece, dopo un iniziale flessione, c'è stato nuovamente un graduale aumento delle temperature fino ai giorni 25-26-27 agosto (DOY 237-238-239), durante i quali la temperatura media non è mai scesa sotto i 30,4°C e la temperatura massima ha toccato punte di 37,9°C. In totale, durante questo mese, i giorni di calura sopra i 30°C sono stati 19 (+4 giorni rispetto al 2022) e in 3 di questi ha superato i 35°C (+2 giorni rispetto al 2022). Il mese di settembre è invece risultato più mite, ma comunque caldo, con una temperatura media mensile di 21,6°C (+2°C rispetto al 2022) e 4 giorni in cui la temperatura massima ha superato i 30°C, di cui 2 prima della vendemmia. Nel corso dell'estate 2023 il picco della temperatura è stato raggiunto il 19 luglio (DOY 200), con una media giornaliera di

31,6°C (-1,2°C rispetto al 2022) ed una massima di 39,1°C (-0,9°C rispetto al 2022). A partire dalla data di esecuzione del trattamento a base di caolino il 18 luglio (DOY 199), fino alla data di vendemmia il 13 settembre (DOY 256), le viti sono state sottoposte a temperature superiori ai 30°C per 235 ore complessive (+57 ore rispetto al 2022) e a temperature superiori ai 35°C per 40 ore (+24 ore rispetto al 2022). I dati appena illustrati indicano che l'estate 2023 ha avuto un decorso termico in linea con quello dell'estate 2022, ma al contrario, il decorso pluviometrico si differenzia notevolmente da quello dell'annata precedente, per un andamento tendenzialmente inverso. Infatti, il mese di maggio sono caduti 222 mm di pioggia (+158 mm rispetto al 2022), distribuiti in 16 giorni, di cui 14 nei quali si è superata la soglia di 0,5 mm e 4 eventi piovosi intensi. Anche a giugno le precipitazioni non sono mancate, con un cumulo mensile di 101 mm di pioggia (+79 mm rispetto al 2022), caduta in 12 giorni di cui 11 di pioggia utile e 2 eventi piovosi intensi. Il mese di luglio è stato invece caratterizzato da una condizione di maggiore siccità, con un decorso del tutto analogo a quello del 2022: vi è stato infatti un periodo di quindici giorni (DOY 187-202) di assenza di precipitazioni in concomitanza del periodo più caldo dell'estate 2023, verificatosi dopo un temporale avvenuto il 6 luglio (DOY 187) che ha accumulato 10,8 mm di pioggia; si è quindi venuta a creare una condizione di stress idrico e termico per le viti, proprio a ridosso della data del trattamento con caolino (DOY 199). Ad agosto le precipitazioni sono state più abbondanti, con 68 mm di pioggia totali (+33 mm rispetto al 2022), caduti in 8 giorni in cui si sono superati sempre i 0,5 mm ed un evento piovoso di 38,8 mm il 4 agosto (DOY 216). A differenza del settembre 2022, quello del 2023 è risultato particolarmente siccitoso, essendo caduti nell'arco di tutto il mese soltanto 8 mm di pioggia e tutti dopo la vendemmia, determinando un periodo di 14 giorni senza precipitazioni dopo i 10,6 mm caduti il 30 agosto (DOY 242). Durante il periodo di esecuzione della prova (DOY 199-256) si è registrata una precipitazione cumulata di 79 mm (-57 mm rispetto al 2022), suddivisi in 10 eventi piovosi tutti oltre la soglia della pioggia utile e 1 evento piovoso intenso. La frequenza delle precipitazioni, soprattutto nei mesi di maggio e giugno, hanno causato una elevata incidenza di attacco da parte della peronospora (*Plasmopara viticola*), che ha determinato danni a carico sia delle foglie che dei grappoli, con ingenti perdite di produzione in tutta la regione Marche.

Tabella 2.3- Temperature minime (Tmin.) medie (Tmed.) e massime (Tmax.) mensili e giorni di eccesso termico della stagione di crescita 2023 rilevate dalla Stazione Meteorologica di Colle di Montecarotto.

Mesi	Valori medi [°C]			No Giorni	
	Tmin	Tmed	Tmax	T>30°C	T>35°C
Maggio	12,5	16,4	20,8	0	0
Giugno	17,2	22,2	27,9	8	1
Luglio	21,5	26,9	32,9	25	11
Agosto	19,8	25,0	30,8	19	3
Settembre	17,8	21,6	26,8	4	0

Tabella 2.4- Precipitazioni cumulate mensili e numero di giorni di pioggia (>0,1mm), di pioggia utile (>0,5mm) e di pioggia intensa (>20mm), registrati durante la stagione di crescita 2023 dalla Stazione Meteorologica di Colle di Montecarotto.

Mesi	Pioggia [mm]	No Giorni		
		>0,1 mm	>0,5 mm	>20 mm
Maggio	222	16	14	4
Giugno	101	12	11	2
Luglio	25	4	4	0
Agosto	68	8	8	1
Settembre	8	3	2	0

2.2 Analisi della vigoria

L'analisi effettuata con l'applicazione per smartphone VitiCanopy, i cui risultati sono riportati di seguito in Tabella 2.5, ha confermato l'ipotesi iniziale di una differente vigoria tra i due vigneti in cui è stata eseguita la prova, dimostrando una situazione di minor vigore in zona Querce rispetto alla zona Moro. Nel primo caso, infatti, si ha un valore di porosità della chioma più elevato rispetto al secondo, indice di una maggior presenza di spazi vuoti all'interno della chioma e quindi di una minor presenza di foglie, accompagnato da un valore di copertura inferiore rispetto a Moro, sintomo invece di una chioma più contenuta. Al contrario la zona Moro presenta un valore di porosità della chioma inferiore ed una maggiore copertura vegetale, sintomo di una chioma più sviluppata e con una maggior quantità di foglie. Questi dati trovano spiegazione nel fatto che il vigneto di Querce è innestato su SO4, un portinnesto sensibile alla carenza idrica, e si trova in una situazione di maggiore pendenza ed esposizione ai venti, con un suolo di scarsa profondità e pertanto più esposto agli effetti della siccità. Diversamente, il vigneto di Moro, innestato su Kober5BB, un portinnesto meno sensibile di SO4 alla carenza idrica, risulta meno declive, in una zona più protetta e con un suolo più profondo, che determina molto probabilmente una maggior disponibilità idrica per le viti.

Tabella 2.5-Risultati dell'analisi di vigoria eseguita mediante l'App. "VitiCanopy". "Porosity" indica la presenza di spazi vuoti all'interno della chioma, riportata con E.S.M.; "Cover" indica la copertura vegetale dell'intera chioma, riportata con E.S.M.

Zona	Tesi	Porosity	Cover
Querce	K	0,255 ± 0,004	0,547 ± 0,022
Querce	Ctrl	0,252 ± 0,010	0,557 ± 0,021
Moro	K	0,244 ± 0,008	0,580 ± 0,006
Moro	Ctrl	0,251 ± 0,014	0,545 ± 0,024

2.3 Aspetti fisiologici

2.3.1 Fotosintesi netta

Osservando il grafico in Figura 2.2 relativo all'andamento della Fotosintesi netta (Pn) del vigneto in zona Querce, appare evidente che l'attività fotosintetica delle viti di Verdicchio è stata fortemente influenzata dall'applicazione del Film di Particelle di Caolino (FPC), mostrando valori di assimilazione netta sempre maggiori durante tutta la stagione. Nello specifico, durante il rilievo del DOY 217 (5 agosto) si sono misurati valori di Pn di 9,10 $\mu\text{mol di CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, decisamente più elevati rispetto ai 5,51 $\mu\text{mol di CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ misurati nel Ctrl non trattato, dimostrando che il caolino ha consentito il mantenimento dell'attività fotosintetica durante le condizioni di stress termico e idrico che hanno caratterizzato l'estate 2022 e che vi erano al momento del rilievo, come è possibile verificare dall'osservazione del grafico in Figura 2.1, dove sono riportate le temperature orarie dell'aria (T_{aria}) durante l'esecuzione dei tre rilievi. Diversa è invece stata la situazione nel vigneto di Moro, dove le differenze sono di scarso rilievo tra le due tesi, con un Pn lievemente inferiore delle piante trattate rispetto a quelle non trattate nel rilievo del DOY 236 (24 agosto), con valori rispettivamente di 8,37 $\mu\text{mol di CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e 9,31 $\mu\text{mol di CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Questa differenza trova spiegazione nel fatto che il vigneto di Moro si trova in una condizione di maggiore disponibilità idrica e quindi di minore stress rispetto al vigneto di Querce. Questi dati sono in accordo con quanto emerso anche nel 2023 (Figura 2.3), infatti nel vigneto di Querce le piante trattate con caolino hanno mantenuto, durante tutta l'estate, valori più elevati a prescindere dal livello di stress termico in atto. Nel vigneto di Moro invece, fatta eccezione per il primo rilievo (DOY 201), il testimone non trattato risulta avere una maggiore attività fotosintetica, con valori più elevati rispetto alla tesi K, sia nel DOY 222, che soprattutto nel DOY 250, in cui il Ctrl aveva una Pn di 11,17 $\mu\text{mol di CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ contro i 10,06 $\mu\text{mol di CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ della tesi K. Tali risultati, tuttavia, confermano quanto asserito in precedenza se messi in relazione con le T_{aria} al momento dei rilievi nella stagione 2023; il grafico in Figura 2.3 mostra che il DOY 201, in cui K ha una Pn più elevata rispetto al Ctrl, le T_{aria} erano molto elevate, con valori superiori ai 35°C, mentre nei due rilievi successivi le T_{aria} erano meno stressanti e non costituivano un fattore limitante dell'attività fotosintetica. In una situazione del genere è probabile che il film particellare costituito dal caolino sulle lamine fogliari, schermando parte delle radiazioni solari incidenti, induca un abbassamento della Pn rispetto a foglie non trattate che non trovandosi in una situazione di stress, possono svolgere la propria funzione a pieno ritmo. I dati relativi al vigneto di Querce in entrambi gli anni di studio sono in linea con quanto riportato da Dinis et al. (2018) e da Petoumenou (2023) a livello di singola lamina fogliare e anche da Frioni et al. (2019) a

livello dell'intera chioma delle viti, confermando il caolino come un utile strumento per ridurre la fotoinibizione e mantenere anche durante gli stress idrici e termici buoni livelli di fotosintesi. I differenti risultati che emergono invece dal vigneto di Moro risultano analoghi a quelli riportati da Cao et al. (2023) in condizioni di buona irrigazione, inducendo a pensare che se il livello di stress è limitato l'uso del caolino possa essere di scarsa utilità.

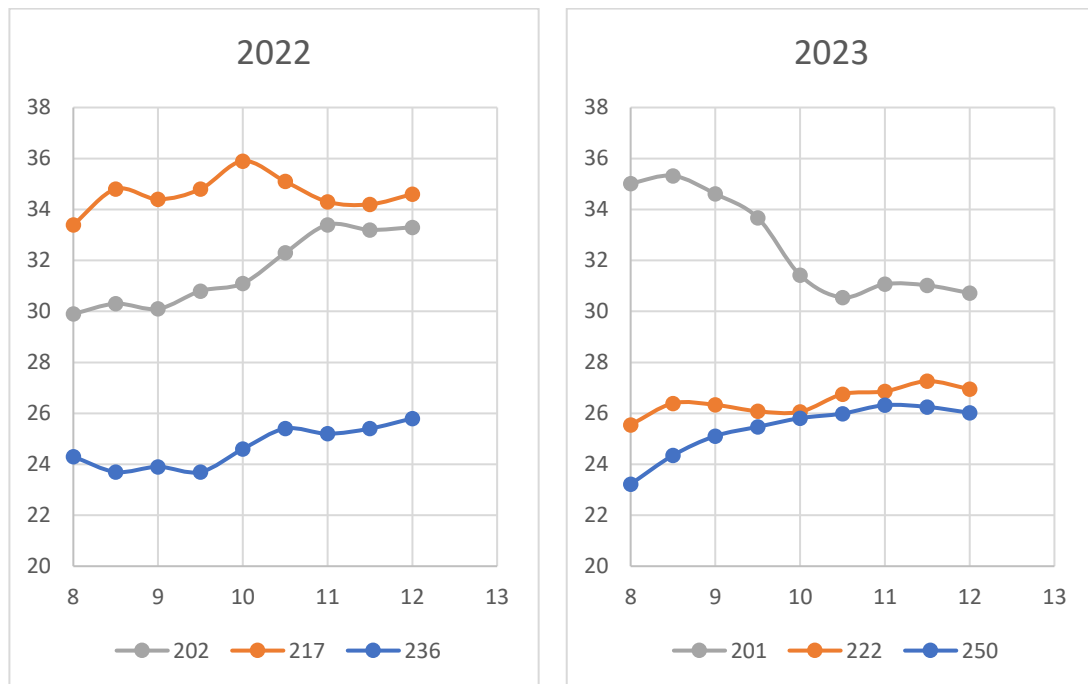


Figura 2.1- Andamento delle Temperature dell'aria rilevate dalla Stazione Meteorologica di Colle di Montecarotto nei giorni di esecuzione dei rilievi fisiologici nel 2022 e nel 2023.

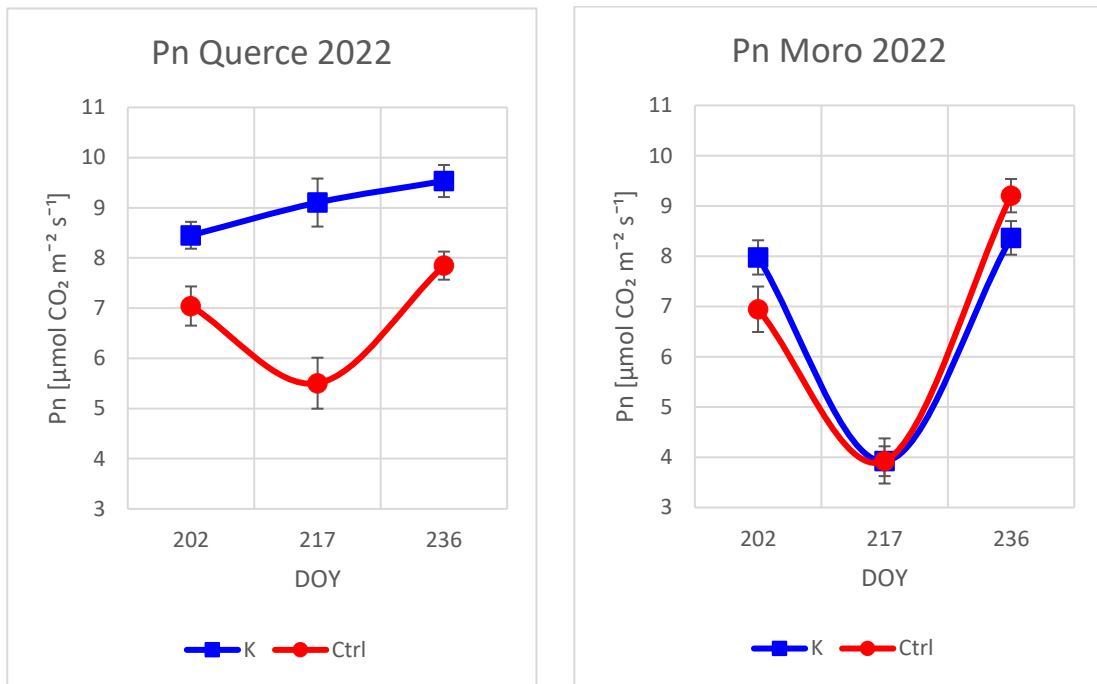


Figura 2.2-Andamento della Fotosintesi Netta (Pn) di foglie di Verdicchio in filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nei due vigneti esaminati nell'anno 2022.

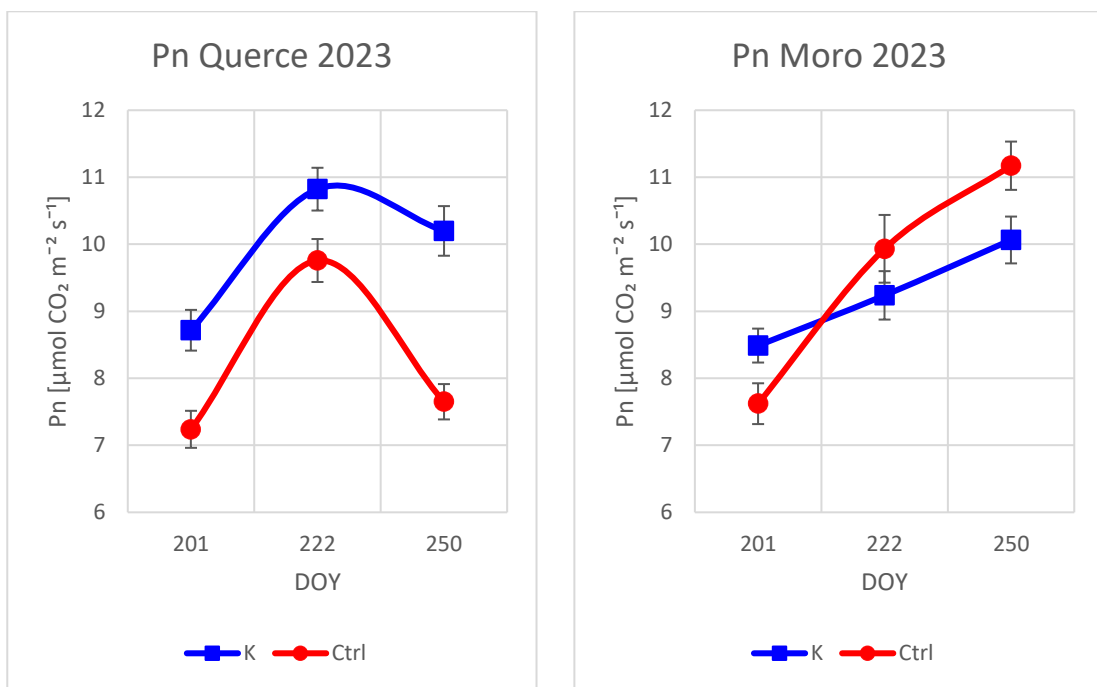


Figura 2.3-Andamento della Fotosintesi Netta (Pn) di foglie di Verdicchio in filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nei due vigneti esaminati nell'anno 2023.

2.3.2 Conduttanza stomatica

Analogamente alla Pn, osservando il grafico in Figura 2.4 relativo all'andamento della Conduttanza stomatica (g_s) del vigneto in zona Querce, appare evidente che gli scambi gassosi delle viti di Verdicchio sono stati fortemente influenzati dall'applicazione del KPF, mostrando valori sempre maggiori durante tutta la stagione. Nello specifico, durante il rilievo del DOY 217 (5 agosto) si sono misurati valori di g_s di $0,032 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ più elevati rispetto al Ctrl non trattato, dimostrando che il caolino ha non solo garantito il mantenimento di un buon livello di conduttanza stomatica durante le condizioni di stress termico e idrico che hanno caratterizzato l'estate 2022, ma che ne ha addirittura consentito un miglioramento laddove lo stress termico era particolarmente forte (Figura 2.1). Diversa è stata invece la situazione nel vigneto di Moro, dove non ci sono differenze rilevanti tra le due tesi durante tutta la stagione, confermando quanto asserito riguardo alle diverse caratteristiche delle due zone. L'andamento della curva K (Figura 2.4) ci suggerisce comunque che, durante il rilievo eseguito nel DOY 217 in cui come precedentemente illustrato vi erano temperature particolarmente elevate (Figura 2.1), il caolino ha favorito il mantenimento di una g_s leggermente più alta, con valori pari a $0,46 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, mentre quando sono stati eseguiti gli altri due rilievi l'effetto del caolino è stato praticamente nullo non essendoci condizioni di particolare stress. Questi dati non hanno trovato completa conferma nel 2023 (Figura 2.5), infatti anche nel vigneto di Querce che aveva sempre presentato differenze positive tra le due tesi, sono stati registrati valori di g_s simili tra le due tesi nei due rilievi iniziali e solo i dati raccolti nell'ultimo rilievo (DOY 250) si sono diversificati significativamente, con valori rispettivamente di $0,070 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ per K e di $0,060 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ per Ctrl. Ciò può essere spiegato con la differente distribuzione delle precipitazioni tra le due annate: dato che nel 2023 le piogge sono cadute abbondantemente all'inizio dell'estate è possibile che al momento del primo rilievo (DOY 201) la dotazione idrica del suolo fosse ancora buona, non spingendo le piante a limitare i propri scambi gassosi per conservare acqua e rendendo quindi di scarso rilievo l'effetto del KPF sulle lamine fogliari. I dati rilevati nel vigneto di Moro confermano quanto appena ipotizzato, in quanto non solo non si evidenziano differenze significative tra le due tesi, ma come è possibile osservare dal grafico in Figura 2.5, le due curve sono praticamente sovrapponibili, come era possibile immaginare considerando che in questa zona la disponibilità idrica non è un problema anche in situazioni di forte siccità.

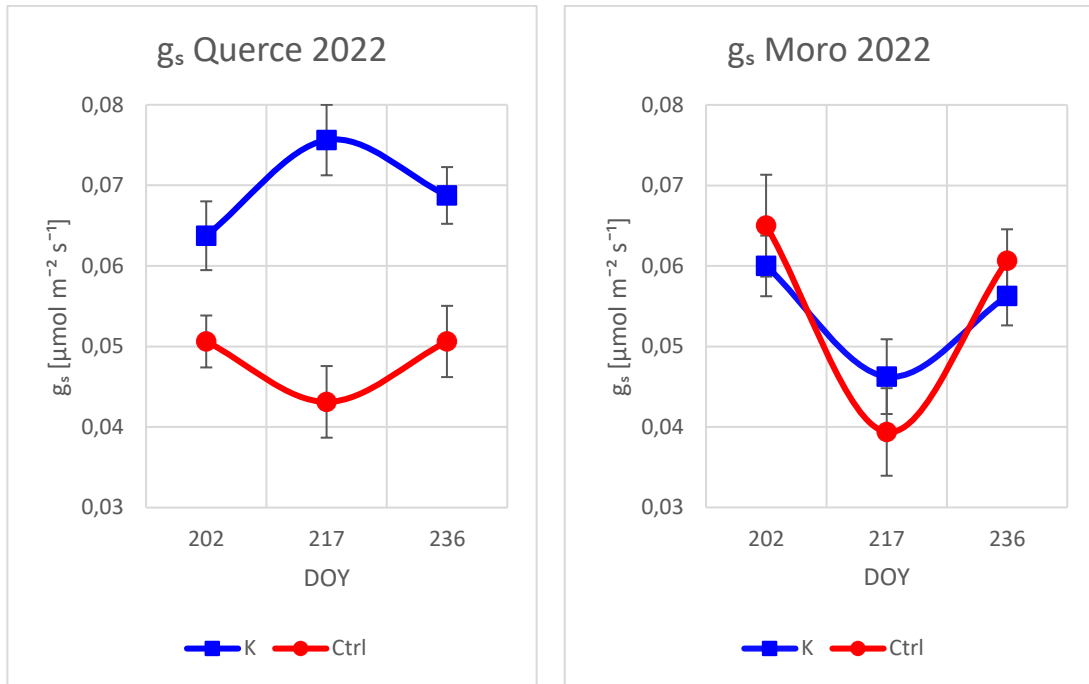


Figura 2.4-Andamento della Conduttanza stomatica (g_s) di foglie di Verdicchio in filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nei due vigneti esaminati nell'anno 2022.

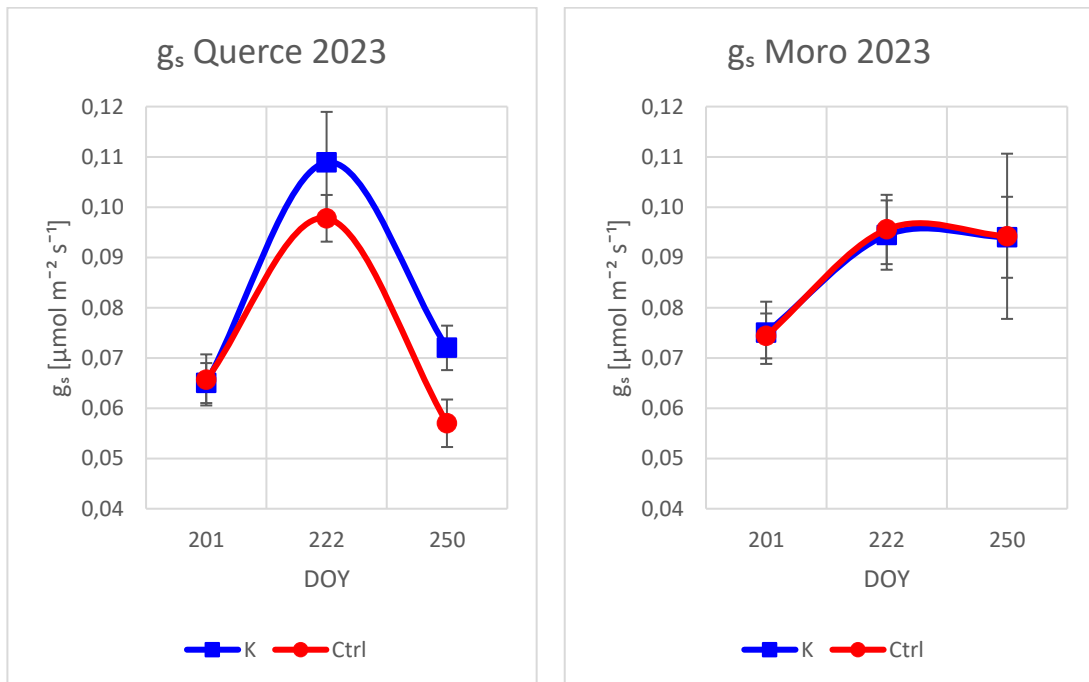


Figura 2.5-Andamento della Conduttanza stomatica (g_s) di foglie di Verdicchio in filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nei due vigneti esaminati nell'anno 2023.

2.3.3 Evapotraspirazione

Il grafico in Figura 2.6 riporta l'andamento del tasso di Evapotraspirazione (E) nel corso della stagione di crescita 2022. In accordo con la g_s , nel vigneto di Querce l'applicazione di caolino sulle lamine fogliari di vite ha determinato un sensibile aumento del tasso di E, mostrando valori sempre maggiori durante tutta la stagione. Nello specifico, è interessante mettere in evidenza che l'incremento di E è stato tanto maggiore, quanto maggiore era la temperatura dell'aria al momento del rilievo. Infatti, il DOY 202 in cui la T_{aria} al momento del rilievo era compresa tra i 30°C e i 32°C (Figura 2.1), E si attestava per la tesi K su valori di 0,31 $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ superiori rispetto alla tesi Ctrl; nel DOY 217 in cui le T_{aria} erano comprese tra i 34°C e i 36°C la E della tesi K ha raggiunto valori di 0,61 $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ superiori rispetto a Ctrl e nell'ultimo rilievo in cui la T_{aria} era compresa tra i 24°C e i 26°C, la E di K ha avuto un incremento rispetto a Ctrl di 0,25 $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Questo andamento del tasso di evapotraspirazione è sicuramente correlato al fatto che, sulla base di quanto precedentemente esposto, il caolino ha garantito il mantenimento di buoni livelli di Pn e soprattutto di g_s , tanto maggiori al controllo non trattato, quanto più intensa era la condizione di stress e come si vedrà in seguito, ha abbassato la temperatura delle lamine fogliari non inducendo le viti alla chiusura degli stomi per ridurre la dispersione di acqua. I nostri risultati non concordano con quanto riportato da altri studi (Cao, et al., 2023) condotti comunque in zone a clima semiarido e secondo cui il FPC ha ridotto notevolmente E e g_s di foglie di Cabernet sauvignon rispetto a prima dell'irrorazione. Nel vigneto di Moro (Figura 2.6) non si evidenziano invece differenze apprezzabili tra le due tesi, fatta eccezione per il primo rilievo (DOY 202), in cui la E del Ctrl risulta di 0,25 $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ superiore rispetto a K, anche se solo di poco. Ciò risulta in accordo con quanto precedentemente ipotizzato riguardo al limitato effetto del FPC in condizioni di debole stress termico e idrico ed in linea con l'andamento della g_s dello stesso vigneto nello stesso anno (Figura 2.4). Diametralmente opposto è l'andamento del tasso di evapotraspirazione delle foglie di vite nella zona Querce del 2023 (Figura 2.7), risultando i valori della tesi trattata con caolino sempre inferiori a quelli del controllo non trattato durante tutta la stagione, seppur le differenze non risultino significative per i dati rilevati nei DOY 222 e 250. Quanto rilevato nel 2023 è quindi in accordo con i risultati riportati da Cao et al. (2023) e su quanto riscontrato anche da altri studi effettuati su colture diverse dalla vite, ma in condizioni di buona irrigazione (Boari, et al., 2015). Da tenere in considerazione è anche il fatto che, a prescindere dal diverso andamento, i valori di E misurati nel 2023 sono sempre più elevati rispetto al 2022, probabilmente a dimostrazione della maggiore disponibilità idrica rispetto all'anno precedente. Anche nel vigneto di Moro i valori di E risultano maggiori o

uguali per Ctrl rispetto a K, ma anche in questo caso senza evidenziare differenze degne di nota. Si può quindi ritenere che, non costituendo la dotazione idrica del suolo nel 2023 un fattore limitante per l'attività delle viti, il caolino abbassando la temperatura delle lamine fogliari e riducendo la radiazione luminosa incidente con le stesse, abbia limitato la necessità delle foglie di Verdicchio di mettere in atto meccanismi volti a dissipare l'energia in eccesso come la traspirazione. L'errore standard elevato è probabilmente da attribuire alla maggiore variabilità dei dati raccolti nel 2023, dovuta ai danni subiti dalle chiome per l'elevata incidenza di peronospora che in questo anno ha colpito i vigneti oggetto di studio, fatto che rende i dati fisiologici raccolti nel 2022 più robusti da un punto di vista statistico.

2.3.4 Temperatura superficiale delle lamine fogliari

Nei grafici in Figura 2.8 e in Figura 2.9 sono riportate le temperature delle lamine fogliari (T_{foglia}) di Verdicchio rilevate nel 2022 e 2023. Le curve tracciate con linea tratteggiata indicano la temperatura fogliare fornita dall'ADC utilizzato per l'esecuzione dei rilievi fisiologici, che è calcolata dallo strumento sulla base degli altri parametri rilevati, mentre le curve tracciate con linea continua riportano le misurazioni effettuate sulla medesima foglia con un termometro ad infrarossi. I valori molto più elevati forniti dall'ADC sono molto probabilmente da imputare al surriscaldamento della camera di assimilazione, causata dalle elevate temperature e dall'elevato livello di energia radiativa durante le misurazioni. Il termometro ad infrarossi d'altro canto, ci fornisce valori della temperatura superficiale delle lamine fogliari, che sono influenzati dall'emissività (ϵ) della foglia, che nel nostro caso è stata posta pari a quella di un corpo nero, ma il film di particelle di caolino riflettenti che in questo caso le ricopre, potrebbe apportare modifiche dell'emissività. Detto ciò, se osserviamo il grafico in Figura 2.8 emerge che in generale nel 2022 il KPF ha influito positivamente sulla T_{foglia} , sia nella zona Querce che in quella di Moro. Analizzando le curve K e Ctrl è evidente che nel DOY 202 il caolino ha limitato notevolmente il surriscaldamento delle lamine fogliari, con T_{foglia} più basse rispetto alle foglie non irrorate rispettivamente di 4,5°C nella zona Querce e di 2,4°C nella zona Moro. Questa differenza è particolarmente interessante se si tiene in considerazione che le temperature dell'aria durante il rilievo erano di 30-34°C (Figura 2.1) e che il caolino ha mantenuto la T_{foglia} tra i 29°C e i 32°C. Nel DOY 217 l'effetto è stato più contenuto, ma questo è forse da imputare ad un dilavamento del film particellare avvenuto a causa di rovesci piovosi (DOY 210-211) che hanno reso poi necessario ripetere l'irrorazione il DOY 223. Se osserviamo invece le curve K-ADC e Ctrl-ADC, nello stesso giorno le foglie trattate risultano avere T_{foglia} rispettivamente di 2,4°C per Querce e 0,6°C per Moro; poiché la temperatura fogliare in questo caso è derivata dal tasso di evapotraspirazione, è probabile che

la differenza rispetto alla T_f misurata con il termometro sia dovuta agli elevati tassi di E registrati nelle tesi K quel giorno (Figura 2.6). Nel terzo rilievo (DOY 236) si è invece registrata un abbassamento delle temperature in entrambe le tesi in esame, mostrando valori simili tra loro anche per quanto riguarda le T_{foglia} fornite dall'ADC, legate all'abbassamento delle temperature dell'aria che hanno caratterizzato quel giorno. Anche nel 2023 il caolino ha consentito una riduzione della T_{Foglia} , soprattutto per quanto riguarda la zona di Querce dove ciò è avvenuto durante tutto il periodo di rilevamento. Diversamente dal 2022, in cui le due zone presentano un andamento simile, nel 2023 nel vigneto di Moro il trattamento ha sortito un effetto molto contenuto, che emerge solo se si osservano le curve dell'ADC, mentre la T_{foglia} misurata con il termometro non presenta differenze tra le due tesi. Quanto riportato riguardo alle temperature delle lamine fogliari di Verdicchio risulta coerente con i risultati delle pubblicazioni esaminate per il presente elaborato di Tesi, sia quelle riguardanti studi condotti in condizioni di disponibilità idrica o irrigazione (Brillante, et al., 2016; Cao, et al., 2023; Frioni, et al., 2019; Luzio, et al., 2021; Teker, 2023) che in condizioni di stress idrico da moderato a severo (Cataldo, et al., 2022; Coniberti, et al., 2013; Dinis, et al., 2020; Petoumenou, 2023), lasciando dedurre che il caolino costituisce un utile strumento per la riduzione della T_{foglia} durante il periodo estivo a prescindere dalle condizioni di coltivazione.

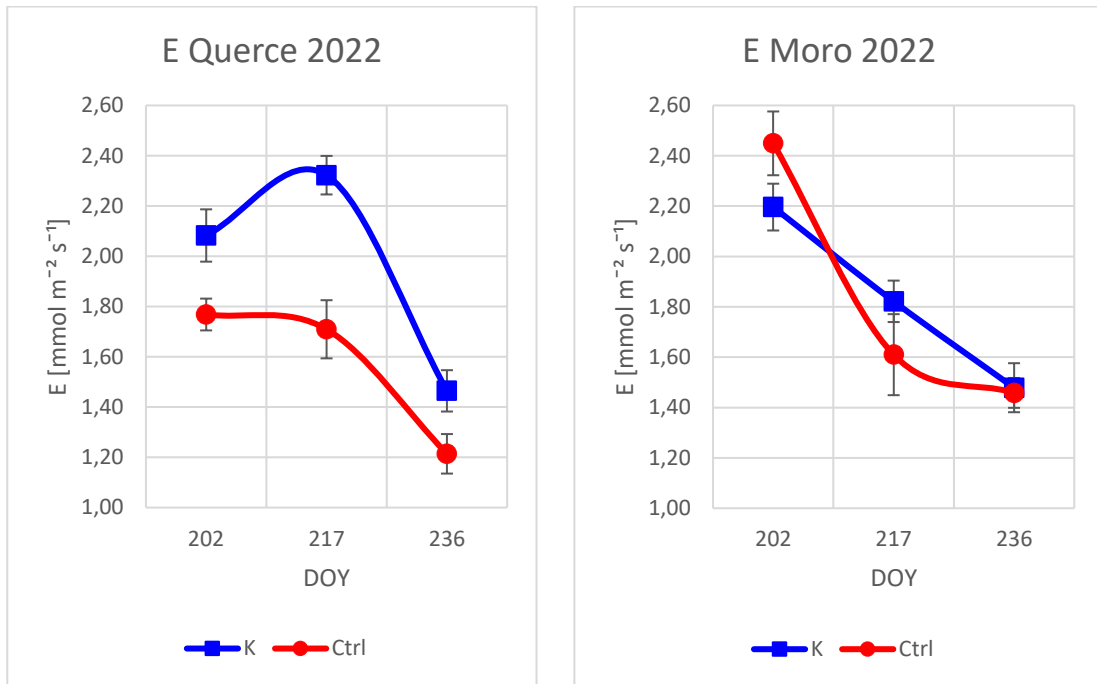


Figura 2.6- Andamento del tasso di Evapotraspirazione (E) di foglie di Verdicchio in filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nei due vigneti esaminati nell'anno 2022.

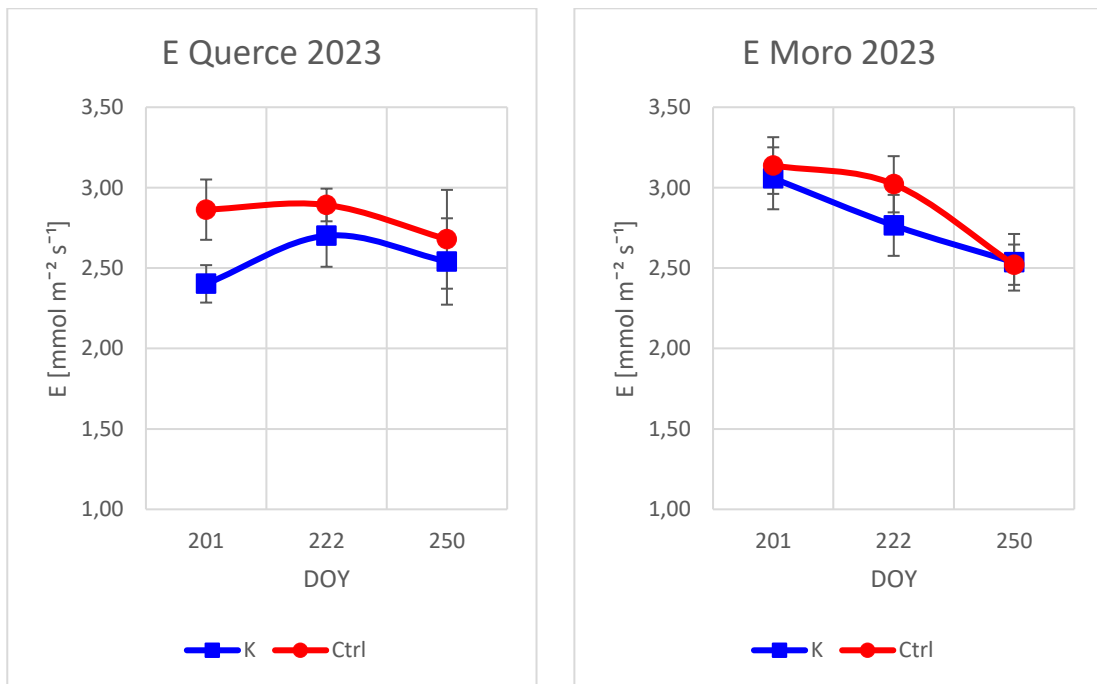


Figura 2.7- Andamento del tasso di Evapotraspirazione (E) di foglie di Verdicchio in filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nei due vigneti esaminati nell'anno 2023.

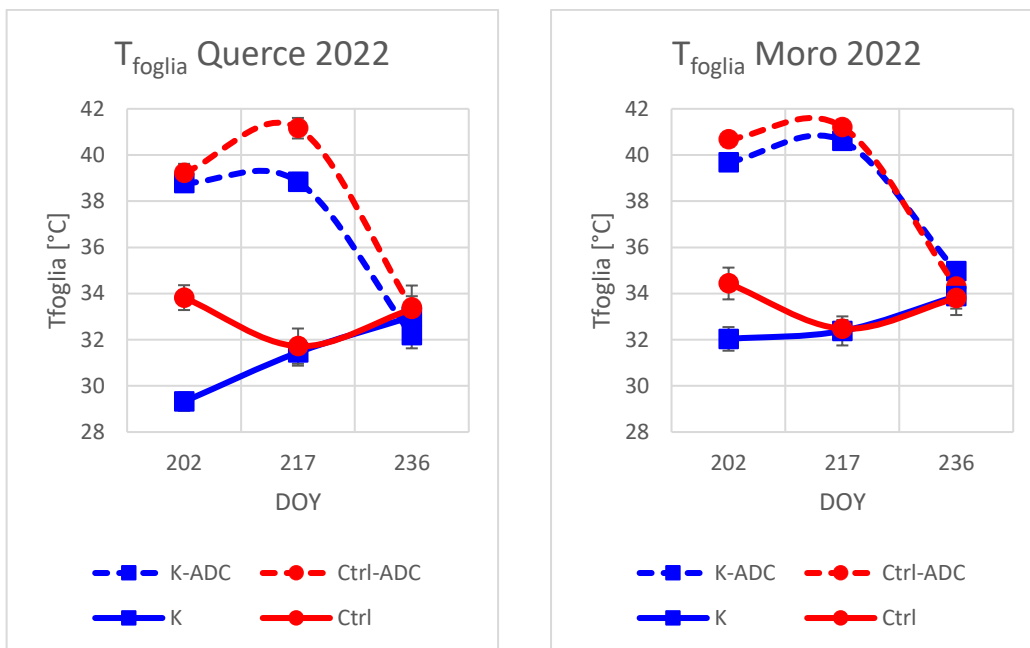


Figura 2.8- Andamento delle Temperature superficiali di lamine fogliari (T_{foglia}) di Verdicchio misurate con ADC in filari trattati con caolino (K-ADC) e filari non trattati (Ctrl-ADC) e misurate con termometro ad infrarossi in filari trattati con caolino (K) e in filari non trattati (Ctrl), nei vigneti di Querce e di Moro nel 2022.

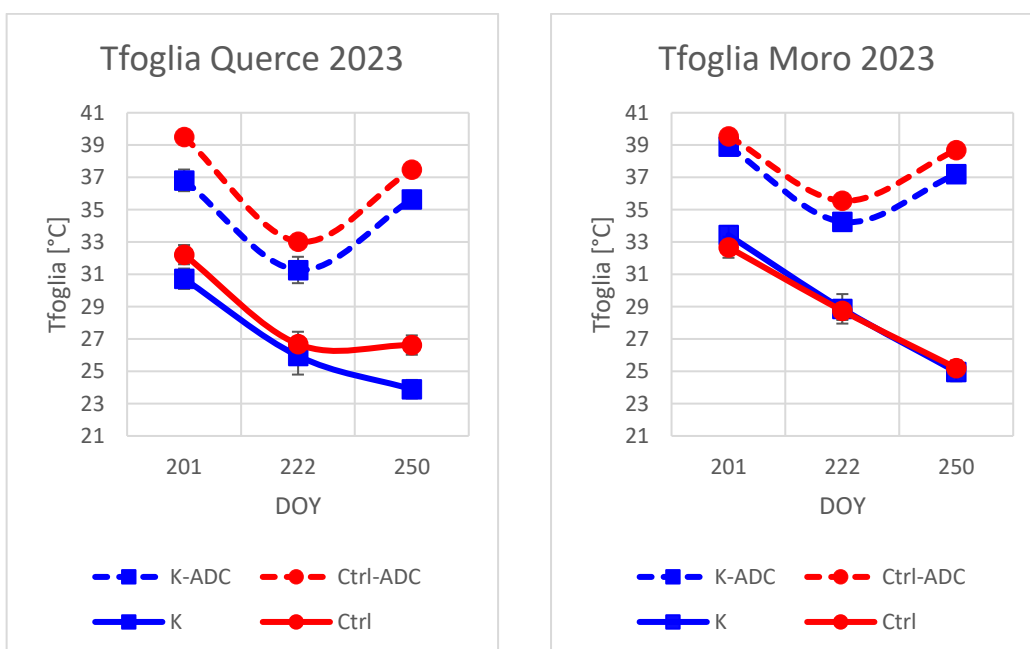


Figura 2.9- Andamento delle Temperature superficiali di lamine fogliari (T_{foglia}) di Verdicchio misurate con ADC in filari trattati con caolino(K-ADC) e filari non trattati (Ctrl-ADC) e misurate con termometro ad infrarossi in filari trattati con caolino (K) e in filari non trattati (Ctrl), nei vigneti di Querce e di Moro nel 2022.

2.4 Aspetti produttivi

2.4.1 *Decorso della maturazione delle uve*

L'evoluzione del Peso Medio degli Acini (PMA) di Verdicchio nel corso della maturazione negli anni 2022 e 2023 è riportata in Figura 2.10. Osservando i dati relativi al 2022 emerge che nel vigneto di Querce, gli acini irrorati con caolino hanno avuto un peso medio maggiore durante tutto il periodo in cui sono stati effettuati i rilievi (DOY 199-249), consentendo di arrivare alla vendemmia con un incremento del 25% e valori rispettivamente di 1,98 g per la tesi K e 1,59 g per la tesi Ctrl. Nel vigneto Moro, invece, gli acini raccolti nei filari della tesi K risultano avere un PMA lievemente inferiore rispetto a quelli raccolti nei filari di controllo durante tutto il periodo della maturazione, mostrando alla vendemmia un calo del PMA di 0,08 g. Anche nel 2023 si rilevano modeste differenze tra le due tesi in ambe due i vigneti durante il decorso della maturazione; alla vendemmia, tuttavia, i filari trattati presentano acini con un peso medio superiore sia nel vigneto di Querce che in quello di Moro, con valori superiori al controllo non trattato rispettivamente di 0,21 g e di 0,15 g. Il caolino ha quindi un effetto positivo sul PMA di Verdicchio, portando a rese produttive complessivamente maggiori, soprattutto in condizioni di scarsa disponibilità idrica, come testimoniato dal maggiore effetto sortito nel vigneto di Querce nel 2022 rispetto a Moro nello stesso anno, o ad entrambe le zone nel 2023. Altri studi condotti in zone caratterizzate da clima semiarido, confermano quanto rilevato nel presente elaborato di Tesi, evidenziando sia maggiori PMA (Petoumenou, 2023), che una maggiore dimensione degli acini (Luzio, et al., 2021), spesso correlati ai più elevati tassi di assimilazione netta, ma anche ad una probabile riduzione della disidratazione e dell'incidenza di scottature degli stessi. I risultati ottenuti in condizioni di stress idrico moderato o assente (Moro) possono essere comparati con quelli ottenuti da Wang et al. (2020) in uno studio condotto in ambiente a clima umido; il suddetto studio, infatti, evidenzia un PMA inferiore per gli acini trattati con caolino rispetto a quelli non trattati, legato probabilmente ai minori tassi di assimilazione netta rilevati in questi casi. Se si osserva l'andamento del contenuto zuccherino degli acini di Verdicchio (Figura 2.11), non risultano differenze rilevanti tra K e Ctrl in nessuno dei due anni di prova. Fa eccezione quanto registrato nel vigneto di Querce nel 2023, in cui a partire dal DOY 228 fino alla vendemmia la concentrazione zuccherina in °Brix degli acini di piante irrorate con caolino risulta inferiore anche del 38% (DOY 234). Una riduzione dell'accumulo di zuccheri negli acini di vite è stata riscontrata anche da Dinis et al. (2020), dimostrando quindi che il caolino potrebbe essere un utile strumento per limitare o in alcuni casi ridurre l'eccessivo accumulo di zuccheri nelle uve, portando all'ottenimento di vini con un tenore alcolico più equilibrato. Altri studi condotti in

ambiente umido hanno però ottenuto risultati contrastanti (Wang, et al., 2020), rilevando un incremento dell'accumulo di zuccheri negli acini di vite dopo l'irrorazione con caolino, probabilmente correlati al minore PMA rilevato rispetto al controllo non trattato in tale ambiente di coltivazione e dunque ad una minor diluizione dei solidi solubili all'interno delle uve. Nei grafici in Figura 2.12 è invece riportato l'andamento del contenuto in APA degli acini, che presenta valori notevolmente variabili, soprattutto nel 2023. Osservando le curve relative al 2022, possiamo affermare che nel vigneto di Querce la concentrazione in APA degli acini su cui è stato applicato il FPC è risultata inferiore durante tutto il decorso della maturazione, con un valore alla vendemmia inferiore di 20 mg/l rispetto al Ctrl. Considerando che anche nel 2023 nel vigneto di Querce si rileva per buona parte della stagione una concentrazione in APA inferiore per K rispetto a Ctrl, è possibile che il trattamento con caolino influisca negativamente sulla quantità in azoto prontamente assimilabile e sulle sue componenti, ma l'elevata variabilità tra i dati rilevati e l'assenza di dati certi provenienti da altri studi, impedisce di trarre conclusioni al riguardo, suggerendo che potrebbe essere utile approfondire tale aspetto, prestando maggiore attenzione al protocollo di campionamento adottato. Se si osserva l'andamento dell'Acidità Titolabile (AT) degli acini di Verdicchio (Figura 2.13), non risultano differenze rilevanti tra K e Ctrl in nessuno dei due anni di prova. Fa eccezione quanto registrato nel vigneto di Querce nel 2023, in cui a partire dal DOY 214 fino alla vendemmia, l'AT misurata negli acini irrorati con caolino presenta valori leggermente superiori al controllo. Ciò è particolarmente evidente nel periodo compreso tra i DOY 228 e 234, in cui in concomitanza di un rialzo delle temperature, il caolino ha forse consentito una minore degradazione della componente acidica delle uve Verdicchio. Questa ipotesi è confermata dall'andamento 2023 della concentrazione di acido malico nella zona di Querce (Figura 2.14), dato che essa risulta maggiore nelle uve della tesi K rispetto a quelle della tesi Ctrl per buona parte della maturazione e presenta un picco proprio in corrispondenza dei DOY 228 e 234. Poiché l'AT degli acini trattati presenta un valore superiore rispetto a quelli di controllo anche alla vendemmia (DOY 256), pari ad un incremento di 2,1 g/l e considerando che ciò non è altrettanto vero per la concentrazione di acido malico, è possibile che il caolino consenta anche una minore salificazione dell'acido tartarico. Dati simili sono stati riscontrati anche da Dinis et al. (2020), secondo cui l'applicazione di caolino ha protetto gli acini di uve bianche dalla degradazione dell'acido malico e del calo dell'acido tartarico probabilmente grazie all'effetto schermante offerto nei confronti dell'irraggiamento solare. Le considerazioni fatte sull'andamento delle componenti acidiche, non trovano invece riscontro nell'andamento

del pH (Figura 2.15), dalla cui osservazione non si rilevano differenze apprezzabili tra K e Ctrl, sia nel 2022 che nel 2023.

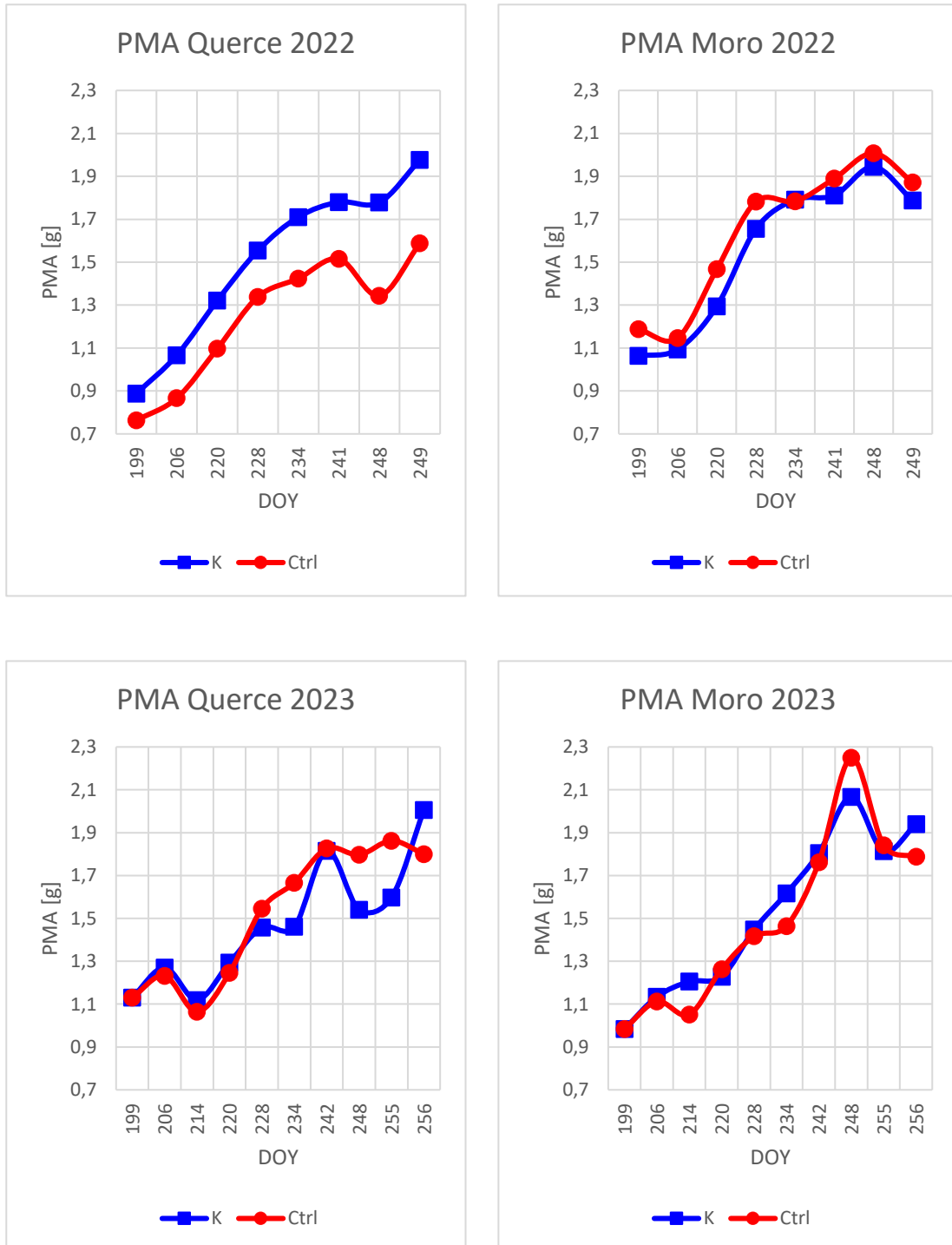


Figura 2.10-Decorso del Peso Medio Acino (PMA) di Verdicchio su filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nel 2022 e 2023 nei due vigneti esaminati.

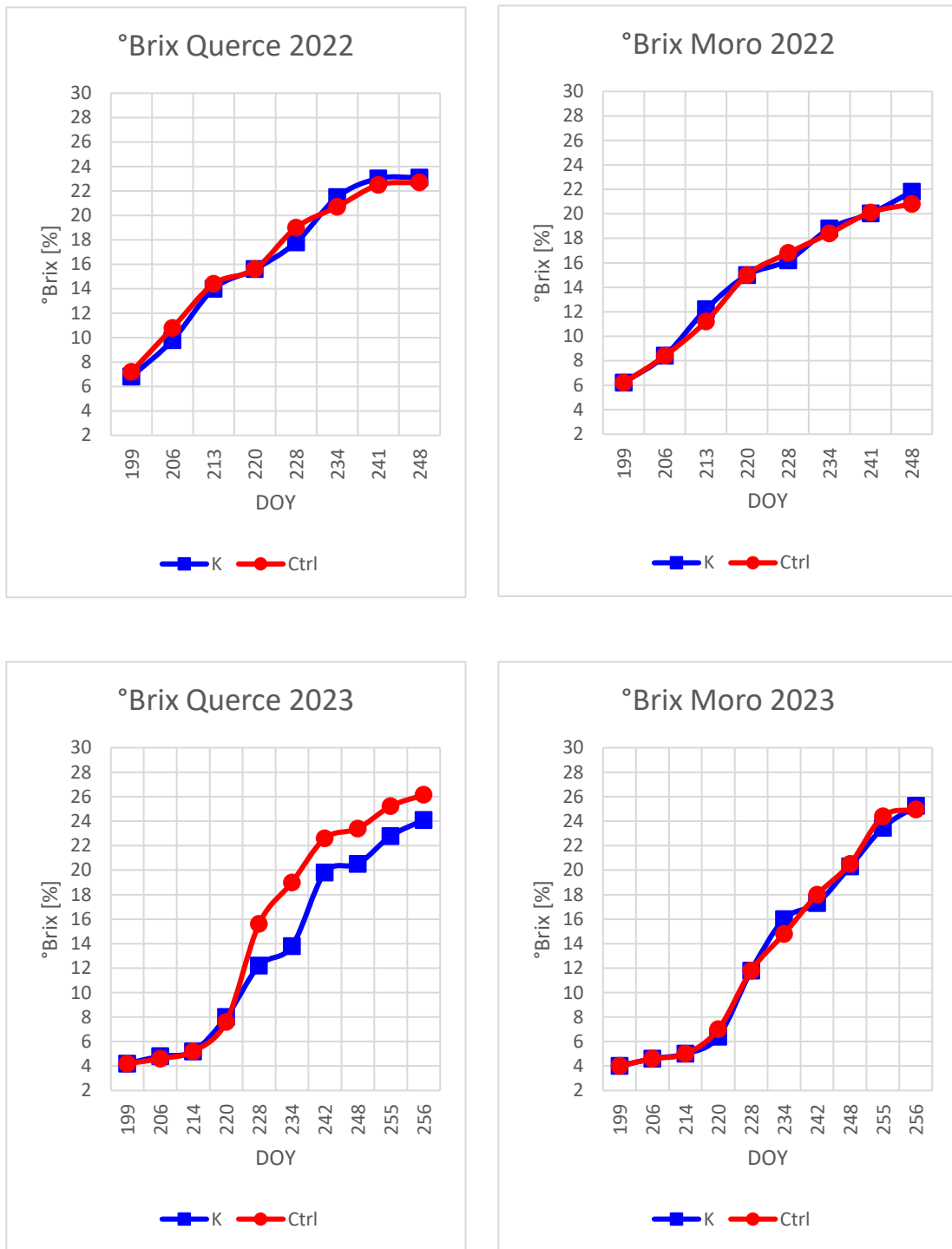


Figura 2.11-Decorso della concentrazione zuccherina negli acini di Verdicchio su filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nel 2022 e 2023 nei due vigneti esaminati.

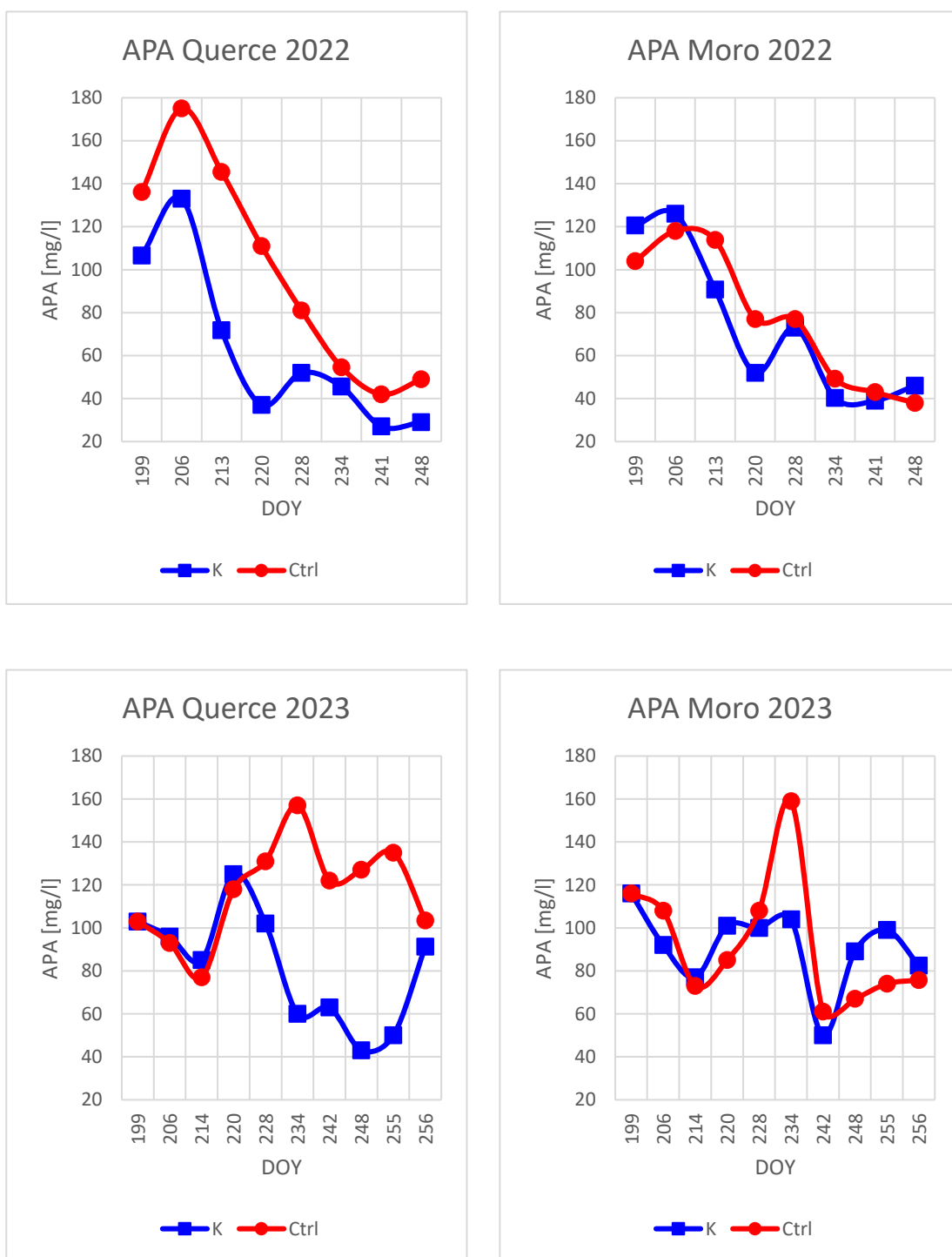


Figura 2.12-Decorso della concentrazione di Azoto Prontamente Assimilabile (APA) negli acini di Verdicchio su filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nel 2022 e 2023 nei due vigneti esaminati.

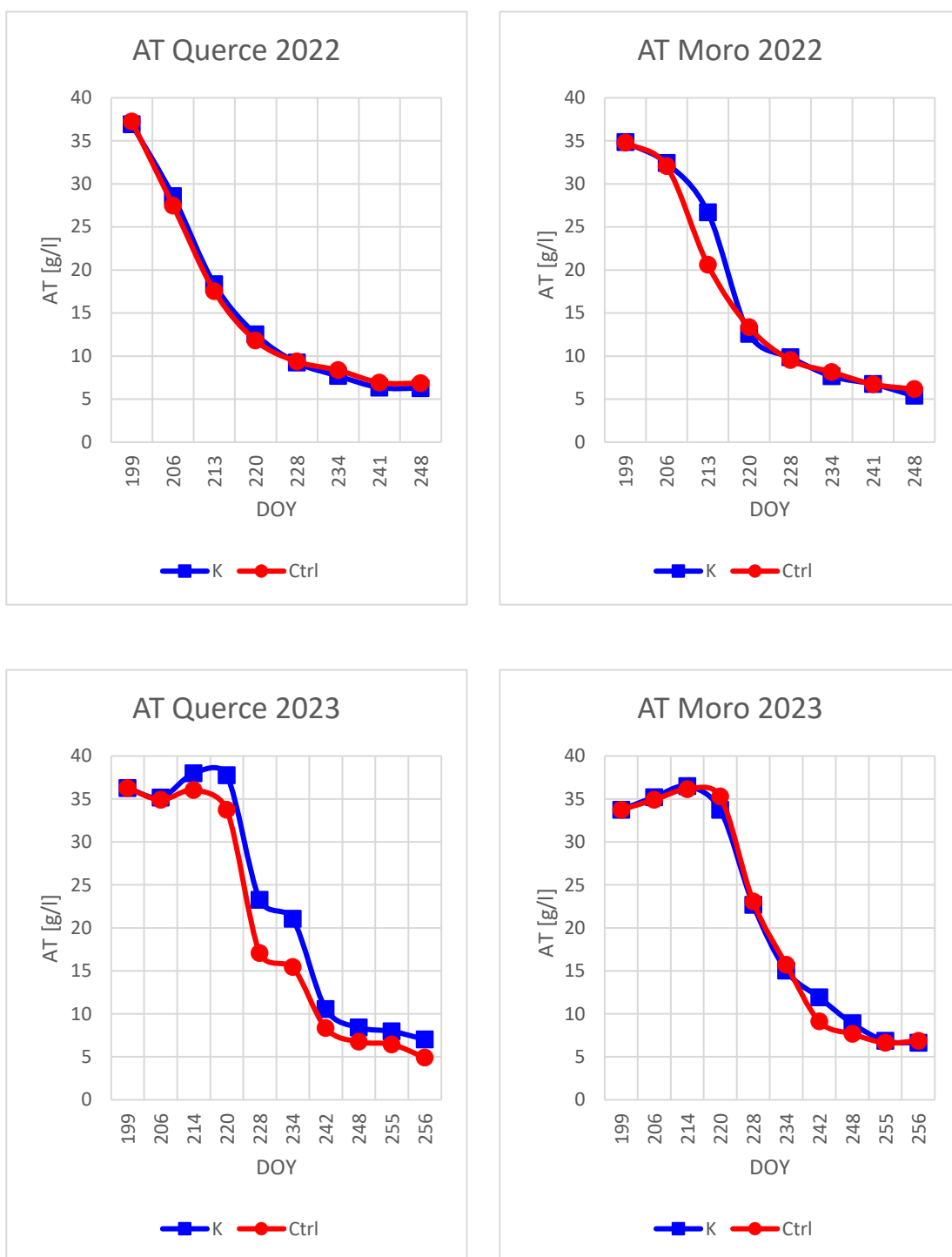


Figura 2.13-Decorso dell'Acidità Titolabile (AT) negli acini di Verdicchio su filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nel 2022 e 2023 nei due vigneti esaminati.

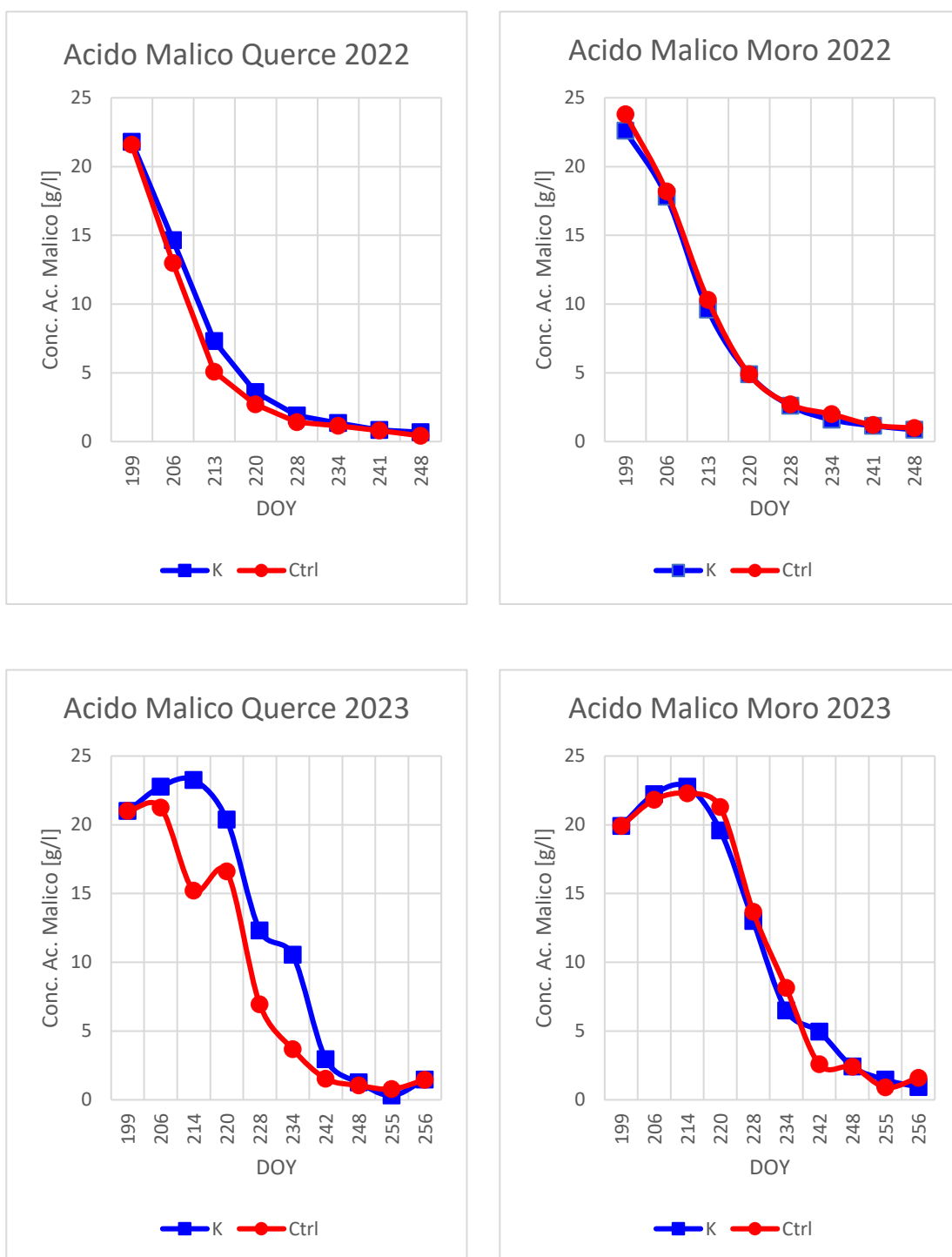


Figura 2.14-Decorso della concentrazione di Acido Malico negli acini di Verdicchio su filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nel 2022 e 2023 nei due vigneti esaminati.

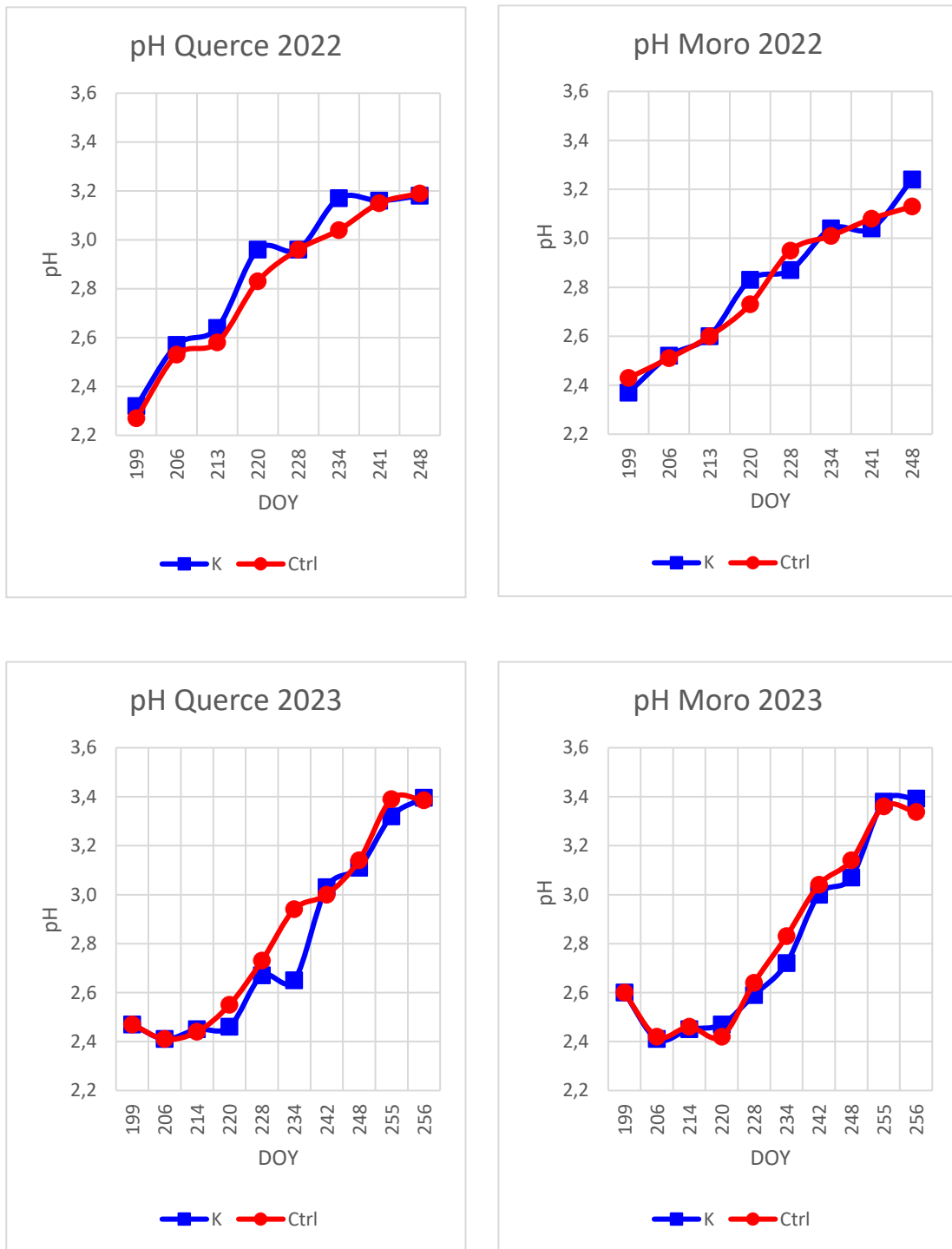


Figura 2.15-Decorso del pH negli acini di Verdicchio su filari trattati con caolino (K) e non trattati (Ctrl) nel 2022 e 2023 nei due vigneti esaminati.

2.4.2 Effetti sulle componenti della resa, sulla composizione dell'uva alla vendemmia e sulla preferenza del vino

In Tabella 2.6 e Tabella 2.7 sono riportati i dati relativi alla produzione valutata alla vendemmia rispettivamente nel 2022 e nel 2023. Nel 2022 si osservano differenze significative nella produzione per vite, che in entrambi i vigneti esaminati risulta superiore di 1 Kg nella tesi K rispetto al Ctrl e nel Peso Medio del Grappolo (PMG), con un incremento per i grappoli trattati del 16,5% nel vigneto di Querce e del 19,4% nel vigneto di Moro. Nello stesso anno non si rilevano differenze significative per quanto riguarda invece il numero di grappoli per vite ed il PMA, che risulta tuttavia sempre più elevato per le tesi K di entrambi i vigneti. Una situazione analoga si riscontra nei dati relativi al 2023, in particolare per quanto riguarda il vigneto di Querce, in cui la produzione per vite risulta raddoppiata nelle piante su cui è stato applicato il FPC, rispetto a quelle non trattate. Anche il PMG presenta un notevole incremento nelle piante trattate del vigneto di Querce, pari al 78% e sicuramente correlato all'incremento del PMA che in questo caso presenta differenza significativa tra le due tesi. Da quanto riscontrato, è possibile affermare che il caolino ha influenzato positivamente la resa delle viti di Verdicchio irrorate, in particolare nel 2023 in cui non è da escludere che la tecnologia del FPC abbia limitato l'incidenza del forte attacco di peronospora subito dai vigneti in esame, come già riscontrato da Wang et al. (2022), secondo cui il caolino oltre ad offrire direttamente protezione agli acini mediante la formazione del film particellare sulla loro superficie, ha anche un effetto indiretto nei confronti delle infezioni da parte dei patogeni, stimolando le difese della pianta. Risultati simili sono stati riscontrati anche da altri studi condotti in ambiente umido nei confronti di altre patologie a carico delle uve come la *Botrytis cinerea* (Coniberti, et al., 2013), che in alcuni casi può causare ingenti perdite di produzione nelle fasi finali della maturazione.

Per quanto riguarda le analisi sulla composizione dei mosti alla vendemmia, riferendosi ai dati misurati nel 2022 e riportati in Tabella 2.8, non sono emerse differenze significative tra le due tesi in esame, con valori che tuttavia risultano in linea con quanto osservato per i medesimi parametri nel corso della maturazione. Infatti, nel vigneto di Querce, le uve trattate con caolino presentano un contenuto zuccherino leggermente inferiore, una maggiore AT e una maggior concentrazione di acido malico rispetto alle uve non trattate. I dati rilevati nel 2022 sono confermati da quanto riscontrato nel 2023 (Tabella 2.9), considerando che il caolino ha prodotto nel vigneto di Querce una significativa riduzione del contenuto zuccherino ed un, seppur non significativo, incremento di 2,1 g/l dell'AT.

Tabella 2.6-Parametri produttivi alla vendemmia (6 settembre 2022) di Verdicchio su filari trattati con caolino (K) o non trattati (Ctrl). I valori contrassegnati dalla stessa lettera non mostrano differenze significative per $P < 0,05$. PMG = Peso Medio Grappolo; PMA = Peso Medio Acino.

Zona	Tesi	Produzione per vite [Kg]	Grappoli per vite [No]	PMG [g]	PMA [g]
Querce	K	4,4 a	14 a	297 a	2,56 a
Querce	Ctrl	3,4 b	13 a	255 b	1,52 a
Moro	K	4,0 a	14 a	289 a	2,39 a
Moro	Ctrl	5,0 b	15 a	345 b	1,81 a

Tabella 2.7- Parametri produttivi alla vendemmia (13 settembre 2023) di Verdicchio su filari trattati con caolino (K) o non trattati (Ctrl). I valori contrassegnati dalla stessa lettera non mostrano differenze significative per $P < 0,05$. PMG = Peso Medio Grappolo; PMA = Peso Medio Acino.

Zona	Tesi	Produzione per vite [Kg]	Grappoli per vite [No]	PMG [g]	PMA [g]
Querce	K	1,6 a	9 a	178 a	2,01 a
Querce	Ctrl	0,8 a	7 a	100 b	1,77 b
Moro	K	1,41 a	8 a	194 a	1,94 a
Moro	Ctrl	1,28 a	8 a	184 a	1,84 a

Tabella 2.8-Composizione del mosto alla vendemmia 2022 (6 settembre) di Verdicchio su filari trattati con caolino (K) e filari non trattati (Ctrl). I valori contrassegnati dalla stessa lettera non mostrano differenze significative per $P < 0,05$. AT = Acidità Titolabile; APA = Azoto Prontamente Assimilabile.

Zona	Tesi	Contenuto zuccherino [°Brix]	AT [g/l]	pH	Concentrazione di ac. Malico [g/l]	APA [mg/l]
Querce	K	19,9 a	5,7 a	3,8 a	0,95 a	38 a
Querce	Ctrl	21,7 a	5,3 a	3,3 a	0,08 a	35 a
Moro	K	20,4 a	5,6 a	3,8 a	0,64 a	34 a
Moro	Ctrl	21,8 a	5,3 a	3,3 a	0,37 a	43 a

Tabella 2.9- Composizione del mosto alla vendemmia 2023 (13 settembre) di Verdicchio su filari trattati con caolino (K) e filari non trattati (Ctrl). I valori contrassegnati dalla stessa lettera non mostrano differenze significative per $P < 0,05$.

Zona	Tesi	Contenuto zuccherino [°Brix]	AT [g/l]	pH	Concentrazione di ac. Malico [g/l]	APA [mg/l]
Querce	K	24,1 a	7,0 a	3,4 a	1,47 a	91 a
Querce	Ctrl	26,2 b	4,9 a	3,4 a	1,45 a	104 a
Moro	K	25,3 a	6,6 a	3,4 a	0,93 a	83 a
Moro	Ctrl	25 a	6,9 a	3,3 a	1,60 b	76 a

2.4.3 Comportamento vegetativo delle viti

I dati riguardanti il comportamento vegetativo delle viti vendemmiate a settembre 2022, sono stati rilevati durante la potatura invernale eseguita a gennaio 2023 e sono di seguito riportati in Tabella 2.10. Il numero dei tralci non presentava differenze significative né tra le tesi né tra i due vigneti. Il peso complessivo dei tralci asportati con la potatura e il Peso Medio dei Tralci (PMT), sono risultati maggiori nel Ctrl che in K, anche se senza differenze significative. L'indice di equilibrio fisiologico Uva/Legno (U/L) invece, mostra differenze significative solo nel vigneto di Querce, con un valore di 10 per K e di 7 per il Ctrl. Considerando come valori ottimali di U/L quelli compresi tra 8 e 12 (Palliotti, et al., 2021), risulta interessante evidenziare che in entrambi i vigneti le tesi K presentano valori in linea, mentre la tesi Ctrl presenta un valore di 7 in Querce e di 13 in Moro. È quindi possibile che l'applicazione del caolino all'inizio del periodo di maturazione abbia favorito un maggior equilibrio vegeto-produttivo, ma risulta necessario approfondire questo aspetto con ulteriori studi.

Tabella 2.10-Parametri vegetativi rilevati durante la potatura invernale 2023 sulle viti di Verdicchio vendemmiate il 6 settembre 2022. I valori contrassegnati dalla stessa lettera non mostrano differenze significative per $P < 0,05$. PMT = Peso Medio Tralci; U/L = Uva/Legno.

Zona	Tesi	Tralci [No]	Peso Potatura [g]	PMT [g]	U/L
Querce	K	13 a	500 a	38 a	10 a
Querce	Ctrl	12 a	511 a	42 a	7 b
Moro	K	12 a	456 a	38 a	10 a
Moro	Ctrl	11 a	400 a	41 a	13 a

CONCLUSIONI

I risultati ottenuti nello svolgimento del presente elaborato di Tesi, hanno mostrato che l'irrorazione delle chiome e dei grappoli di Verdicchio con caolino, potrebbe consentire di limitare gli effetti negativi indotti sulla vite dagli eccessi termici, che a causa del cambiamento climatico sono sempre più frequenti nel periodo estivo. L'attività del caolino, tuttavia, è risultata essere strettamente legata allo stato idrico delle piante di vite e all'entità dello stress a cui esse sono sottoposte. Infatti, in condizioni di scarsa disponibilità idrica ed elevati stress termici, il FPC ha dimostrato di poter migliorare gli scambi gassosi, garantendo il mantenimento di un maggior tasso di evapotraspirazione; ha inoltre consentito di mantenere temperature fogliari più contenute, e migliori tassi di fotosintesi netta, probabilmente grazie alla riduzione della fotoinibizione. Gli effetti indotti dal caolino sui processi fisiologici della vite hanno avuto ripercussioni positive sulla produzione, sia in termini di qualità che di quantità: le viti irrorate hanno presentato, sia durante la maturazione che alla vendemmia, una resa complessivamente maggiore ed una migliore composizione degli acini. Invece, laddove la disponibilità idrica non costituisce un fattore limitante l'attività delle viti, l'applicazione di FPC non ha portato a variazioni apprezzabili nei processi fisiologici e nel comportamento produttivo del Verdicchio. Quindi l'applicazione di caolino alle chiome di vite potrebbe costituire una valida tecnica per le aree viticole caratterizzate da un clima arido o semi-arido, dove potrebbe consentire di moderare i volumi di irrigazione; invece nelle aree viticole del Centro Italia come la Regione Marche, che sono soggette a frequenti ondate di calore nel periodo estivo, ma in cui l'andamento del clima non giustifica ancora la realizzazione di infrastrutture irrigue, il caolino può influenzare positivamente la resa e la composizione degli acini e dei mosti da essi derivati. I dati illustrati risultano in linea con quelli riportati da altri studi condotti in ambiente a clima mediterraneo, da cui emergono anche aspetti ancora da approfondire con ulteriori ricerche.

BIBLIOGRAFIA

- Al-Ghussain, L., 2019. Riscaldamento globale: revisione delle forze trainanti e della mitigazione. *Ambiente. Progr. Sostenere. Energia*, Volume 38, pp. 13-21.
- Bergqvist, J., Dokoozlian, N. & Ebisuda, N., 2021. Sunlight Exposure and Temperature Effects on Berry Growth and Composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the Central San Joaquin Valley of California. *Am. J. Enol. Vitic.*, Volume 52, pp. 1-7.
- Bernardo, S. et al., 2017. Kaolin particle film application lower oxidative damage and DNA methylation on grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Environmental and Experimental Botany*, Volume 139, pp. 39-47.
- Boari, F. et al., 2015. Particle film technology: an additional instrument for water saving. *Agric Water Manage*, Volume 147, pp. 154-162.
- Brillante, L. et al., 2016. Comparing Kaolin and Pinolene to Improve Sustainable Grapevine Production during Drought. *PLOS ONE*, Volume 11.
- Cao, X. et al., 2023. Effects of kaolin particle film coatings on the water-saving efficiency and fruit quality of Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) grape plants in the Ningxia region of China. *Horticulture environment and biotechnology*, Volume 64, pp. 421-435.
- 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 (Switzerland)*, 12(491).
- Conde, A. et al., 2018. Kaolin particle film application stimulates photoassimilate synthesis and modifies the primary metabolome of grape leaves. *Journal of plant Physiology*, Volume 223, pp. 47-56.
- Coniberti, A. et al., 2013. Kaolin over sun-exposed fruit affects berry temperature, must composition and wine sensory attributes of Sauvignon blanc. *European Journal of Agronomy*, Volume 50, pp. 75-81.
- De Bei, R. et al., 2016. VitiCanopy: A Free Computer App to Estimate Canopy Vigor and Porosity for Grapevine. *Sensor*, Volume 16, p. 585.

- Dinis, L. T. et al., 2018. Kaolin modulates ABA and IAA dynamics and Physiology of grapevine under Mediterranean summer stress. *Journal of Plant Physiology*, Volume 220, pp. 181-192.
- Dinis, L. T. et al., 2020. Overview of kaolin outcomes from vine to wine: Cerceal white variety case study. *Agronomy*, 10(1422).
- EFSA, E. F. S. A., 2022. Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance aluminium silicate calcined (Kaolin calcined). *EFSA journal*, 20(7637).
- Fraga, H., Molitore, D., Leolini, L. & Santos, J. A., 2020. What Is the Impact of Heatwaves on European Viticulture? A Modelling Assessment. *Applied Sciences*, 10(3030).
- Frioni, T. et al., 2019. Understanding kaolin effects on grapevine leaf and whole-canopy physiology during water stress and re-watering. *Journal of Plant Physiology*, 242(153020).
- Frioni, T. et al., 2020. Kaolin Reduces ABA Biosynthesis through the Inhibition of Neoxanthin Synthesis in Grapevines under Water Deficit. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4950).
- Garcia-Tejera, O. et al., 2023. Viticulture adaptation to global warming: Modelling gas exchange, water status and leaf temperature to probe for practices manipulating water supply, canopy reflectance and radiation load. *Agricultural and Forest Meteorology*, 331(109351).
- Gutierrez-Gamboa, G., Zheng, W. & Martinez de Toda, F., 2020. Strategies in vineyard establishment to face global warming in viticulture: a mini review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Volume 101, pp. 1261-1269.
- Ibouh, K. et al., 2019. Biological control of *Drosophila suzukii*: Efficacy of parasitoids, entomopathogenic fungi, nematodes and deterrents of oviposition in laboratory assays. *Crop Protection*, 125(104897).
- IPCC, 2023. *Climate Change 2023: Synthesis Report*, Ginevra: IPCC.
- Iriti, M. et al., 2009. Chitosan antitranspirant activity is due to abscisic acid-dependent somatal closure. *Environ Exp. Bot.*, Volume 66, pp. 493-500.
- Linder, C., Jeanrenaud, M. & Kehrl, P., 2023. Controlling *Scaphoideus titanus* with kaolin? Summary of four years of field trials in Switzerland. *Oeno One*, Volume 57, pp. 323-329.

- Luzio, A. et al., 2021. Phytochemical screening and antioxidant activity on berry, skin, pulp and seed from seven red Mediterranean grapevine varieties (*Vitis vinifera* L.) treated with kaolin foliar sunscreen. *Scientia Horticulturae*, 281(109962).
- Palliotti, A. et al., 2013. Postveraison application of antitranspirant di-1-p-menthene to control sugar accumulation in sangiovese grapevines. *Am J Enol. Vitic.*, Volume 64, pp. 378-385.
- Palliotti, A., Poni, S. & Silvestroni, O., 2021. *Manuale di viticoltura*. I a cura di Bologna: Edagricole.
- Palliotti, A. et al., 2014. Changes in vineyard establishment and canopy management urged by earlier climate-related grape ripening: A review. *Scientia Horticulturae*, Volume 178, pp. 43-53.
- Petoumenou, D. G., 2023. Enhancing Yield and Physiological Performance by Foliar Application of Chemically Inert Mineral Particles in a Rainfed Vineyard under Mediterranean Condition. *Plants*, 12(1444).
- Rossi, M., Bianchi, G. & Verdi, G., 2018. Titolo dell'articolo. *Journal Name*, pp. 10-15.
- Rustioni, L., Milani, C., Parisi, S. & Failla, O., 2015. Chlorophyll role in berry sunburn symptoms studied in different grape (*Vitis vinifera* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, Volume 185, pp. 145-150.
- Tacoli, F. et al., 2017. Efficacy and Mode of Action of Kaolin in the Control of *Empoasca vitis* and *Zygina rhamni* (Hemiptera: Cicadellidae) in Vineyards. *Journal of Economic Entomology*, Volume 110, pp. 1164-1178.
- Teker, T., 2023. A study of kaolin effects on grapevine physiology and its ability to protect grape clusters from sunburn damage. *Scientia Horticulturae*, 311(111824).
- Wang, Y. et al., 2022. Kaolin particle film protects grapevine cv. Cabernet sauvignon against downy mildew by forming particle film at the leaf surface, directly acting on sporangia and inducing the defense of the plant. *Frontiers Plant Science*, Volume 12.
- Wang, Y. et al., 2020. Kaolin particle film affects grapevine berry quality in cv. Meili in humid climate condition. *HortScience*, Volume 55, pp. 1987-2000.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio la Prof.ssa Oriana Silvestroni per avermi accompagnato in questo percorso con grande professionalità ed attenzione, permettendomi di concludere al meglio questa bella esperienza e consentendomi di crescere sia dal punto di vista umano che professionale. Ringrazio la mia correlatrice, la Prof.ssa Vania Lanari e la Dott.ssa Tania Lattanzi e tutti coloro che sono stati presenti durante le giornate in campo, sempre disponibili per consigli e chiarimenti. Desidero esprimere la mia più sentita gratitudine nei confronti di tutta la mia famiglia ed in particolare dei miei genitori, che mi hanno sempre sostenuto, dandomi la forza e la grinta che mi hanno permesso di arrivare fin qui. Ringrazio Linda per avermi sempre supportato, per la sua pazienza e per l'amore che mi trasmette ogni giorno, senza il quale non sarei riuscito a raggiungere questo importante traguardo. Infine, non posso tralasciare i miei compagni di studi, grazie ai quali questi due anni sono trascorsi in un istante.