



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI MILANO



UNIVERSITÀ
DI TORINO



Università di Foggia



Università
degli Studi
di Palermo



UNISS
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI SASSARI

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
FOGGIA MILANO PALERMO SASSARI TORINO**

*Corso di Laurea Magistrale
Interateneo Internazionale in Scienze Viticole ed Enologiche*

Titolo

Effetti ecofisiologici e metabolici derivanti dalla
cimatura sul vitigno piemontese Erbaluce

Relatore

Claudio Lovisolo

Correlatori

Alessandra Ferrandino

Davide Patono

Candidato

Davide Gasparotto

Matricola 841209

Anno Accademico 2023/2024

Indice

Indice delle Figure	4
Introduzione	5
Cenni ambientali e pedologici del Canavese	5
Dati metereologici 2023.....	8
Diffusione del vitigno Erbaluce	10
Campo Sperimentale.....	11
Materiali e Metodi	12
Densità della chioma - Schema sperimentale	12
Misure dello scambio gassoso a seguito della fotosintesi.....	13
Analisi quantitative delle bacche	16
Legno di Potatura.....	17
Produzione per pianta	17
Campionamento delle foglie e preparazione all'analisi.....	18
Analisi Cromatografica.....	18
Analisi statistica dei dati	20
Risultati e Discussioni	21
Misure ecofisiologiche.....	21
Contatti fogliari.....	21
<i>Water Use Efficiency</i>	22
Assimilazione dall'anidride carbonica.....	24
Tasso di traspirazione.....	26
Conduttanza stomatica e concentrazione di CO ₂ interna	27
Conduttanza stomatica.....	29
Concentrazione interna di CO ₂	31
Fertilità.....	33
Produzione per pianta e legno di potatura	34
Indice di Ravaz	34
Curve di Maturazione	36
Acidità Totale.....	36
Solidi Solubili Totali.....	37

Peso degli acini	38
pH.....	40
Quantità di vinaccioli.....	41
Metaboliti secondari nelle foglie	42
Composti Aromatici delle bacche	44
Terpeni	44
Norisoprenoidi	46
Aromi glicosidici totali	48
Aromi liberi totali	49
Conclusione	51
Bibliografia	54
Sitografia.....	57

Indice delle Figure

FIGURA 1: MAPPA DEL SUOLO DEL VIGNETO E DINTORNI	6
FIGURA 2: UBICAZIONE DEL VIGNETO OGGETTO DI STUDIO	7
FIGURA 3: ANALISI DEL SUOLO DEL VIGNETO OGGETTO DI SPERIMENTAZIONE	8
FIGURA 4: ANDAMENTO METEOROLOGICO DELL'ANNATA 2023 NEL COMUNE DI PIVERONE (TO)	9
FIGURA 5: REGISTRO DEGLI ESTREMI METEOROLOGICI DELL'ANNATA 2023 NEL COMUNE DI PIVERONE (TO)	10
FIGURA 6: ESTENSIONE VITATA DEL VITIGNO ERBALUCE	11
FIGURA 7: RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DELLA PERGOLA CANAVESANA	13
FIGURA 8: RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DEL SISTEMA APERTO DI ANALISI DEI GAS DI SCAMBIO FOTOSINTETICI	14
FIGURA 9: SVILUPPO DELLE AREE FOGLIARI DURANTE LA STAGIONE VEGETATIVA	21
FIGURA 10: RELAZIONE TRA IL TASSO DI ASSIMILAZIONE NETTA DI CO(A) E IL TASSO DI TRASPIRAZIONE(E)	23
FIGURA 11: ASSIMILAZIONE NETTA DI CO ₂ - A	24
FIGURA 12: TASSO DI TRASPIRAZIONE – E	26
FIGURA 13: RELAZIONE TRA LA CONDUTTANZA STOMATICA (Gs) E LA CONCENTRAZIONE INTERNA DI CO ₂ (Ci)	27
FIGURA 14: CONDUTTANZA STOMATICA – Gs	29
FIGURA 15: CONCENTRAZIONE DI CO ₂ INTERNA – Ci	31
FIGURA 16: QUANTITÀ DI INFIORESCENZE RISCONTRARE IL 3 MAGGIO 2024	33
FIGURA 17: CONFRONTO TRA LEGNO DI POTATURA MEDIO E LA PRODUZIONE MEDIA DI UVA	34
FIGURA 18: RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DELL'INDICE DI RAVAZ	35
FIGURA 19: CURVE DI MATURAZIONE DEL VITIGNO ERBALUCE DI PIVERONE DURANTE L'ANNATA 2023	36
FIGURA 20: CURVA DI MATURAZIONE, EVOLUZIONE DEL PESO MEDIO DELL'ACINO	38
FIGURA 21: CURVA DI MATURAZIONE, EVOLUZIONE DEL PH	40
FIGURA 22: QUANTITÀ DI VINACCIOLI PER ACINO	41
FIGURA 23: RISULTATI ANALISI CROMATOGRAFICHE HPLC DELLE FOGLIE	43
FIGURA 24: RISULTATI ANALISI CROMATOGRAFICHE HPLC DELLE BUCCE - TERPENI GLICOSIDICI	44
FIGURA 25: RISULTATI ANALISI CROMATOGRAFICHE HPLC DELLE BUCCE - NORISOPRENOIDI GLICOSIDI	46
FIGURA 26: RISULTATI ANALISI CROMATOGRAFICHE HPLC DELLE BUCCE - AROMI GLICOSIDI TOTALI	48
FIGURA 27: RISULTATI ANALISI CROMATOGRAFICHE HPLC DELLE BUCCE - AROMI LIBERI TOTALI	49

Introduzione

Cenni ambientali e pedologici del Canavese

Come riportato dalla Regione Piemonte, il Canavese si estende su una superficie di 793 km², pari al 3,1% dell'intera superficie regionale. Situato nel quadrante nord-occidentale del Piemonte, è tra i territori più piovosi della regione, con una precipitazione media annua di circa 1350 mm. Le piogge si concentrano prevalentemente nel periodo estivo, raggiungendo frequentemente valori superiori ai 500 mm. Questa piovosità è maggiore rispetto agli altri areali vitivinicoli del Piemonte: le province di Asti e Alessandria registrano mediamente 800 mm annui, mentre nella provincia di Cuneo il valore scende a 700 mm, con precipitazioni estive inferiori ai 150 mm.

Le condizioni climatiche del Canavese, durante il periodo vegetativo della vite e in particolare nella fase di maturazione delle uve, rendono la gestione viticola particolarmente complessa. I protocolli fitosanitari comunemente adottati negli areali vitivinicoli piemontesi risultano spesso poco efficaci o necessitano di adattamenti specifici.

Dal punto di vista geologico, il Canavese è caratterizzato dalla presenza dell'Anfiteatro Morenico di Ivrea, un'imponente formazione di origine glaciale. Secondo Gianotti e collaboratori (2014), la formazione dei suoli canavesani ha avuto inizio alla fine del Pleistocene, protraendosi fino all'ultima glaciazione, avvenuta circa 12.000 anni fa. I principali fiumi del luogo: Dora Baltea, Orco e Stura, hanno contribuito al modellamento del paesaggio nel corso dei millenni, alternando fasi di deposizione di materiali a fasi erosive, creando una morfologia pedologica caratterizzata da una significativa eterogeneità (Figura 1).



Figura 1: Mappa del suolo del vigneto e dintorni, Geoportale Regione Piemonte

L'origine morenica dei suoli canavesani è determinata dalla presenza di depositi glaciali dalla diversa granulometria, composti da una miscela di sabbie, limi, argille e ghiaie. Questa eterogeneità conferisce ai suoli una tessitura variabile, che ne influenza le proprietà idrologiche e la fertilità.

La località di Piverone è situata sul versante meridionale dell'Anfiteatro Morenico di Ivrea, i suoli risentono fortemente della natura dei depositi glaciali. In particolare, la presenza di orizzonti argillosi a circa 70 cm di profondità può determinare un drenaggio mediocre e una bassa permeabilità, influenzando la gestione agronomica del vigneto.

Dal punto di vista pedologico, secondo la classificazione USDA (*United States Department of Agriculture*), il Canavese rientra nel regime "Udico", caratterizzato da suoli che rimangono umidi per più di 90 giorni all'anno. L'elevata piovosità incide sulla composizione chimica del suolo, determinando l'assenza di carbonato di calcio e conferendo al pH un valore tendenzialmente acido o subacido.

Il vigneto oggetto di studio è situato a nord del Lago di Viverone ([Figura 2](#)), alle coordinate 45°26'28.0"N e 8°01'51.7"E. Secondo il Geoportale della Regione Piemonte, il suolo è classificato come Inceptisuolo non calcareo ([Figura 1](#)), confermando l'origine morenica del substrato e la sua natura prevalentemente acida.

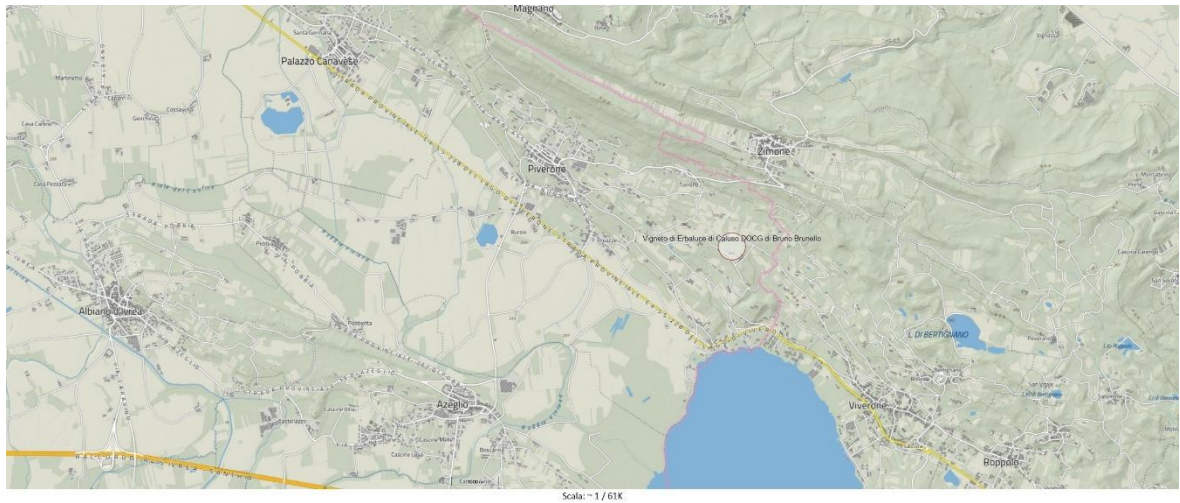


Figura 2: Ubicazione del vigneto oggetto di studio, vista da satellite; Geoportale Regione Piemonte.

Dalle analisi svolte nel 2022, con profondità di prelievo campioni da 0 a 30 cm, dal Laboratorio Agrochimico Regionale Piemontese (LAR) (Figura 3), il suolo si conferma a reazione sub-acida con pH 5.5 (in acqua) e dalla tessitura è franco sabbiosa. Il terreno è povero di sostanza organica, la capacità di scambio cationico e la sua dotazione di potassio sono ridotte e presenta una dotazione di fosforo assimilabile elevata.

Figura 3: Analisi del suolo del vigneto oggetto di sperimentazione; Laboratorio Agrochimico Regionale piemontese.

Sabbia	57.4 %
Limo	32.8 %
Argilla	9.8%
Carbonato di Calcio totale	0
Sostanza organica	1.26 %
Azoto totale	0.074 %
Carbonio organico	0.73 %
C/N	9.9
Capacità di Scambio Cationico	8.9
Calcio Scambiabile	516 ppm
Calcio Scambiabile sulla CSC	28.9 %
Magnesio Scambiabile	93 ppm
Potassio Scambiabile	93 ppm
Potassio Scambiabile sulla CSC	2.7 %
Fosforo Assimilabile	60 ppm

Dati metereologici 2023

Dai dati raccolti dalla stazione meteorologica “FielClimate – Meteos by Pessl Instruments”, installata nel comune di Piverone, si evidenzia che nel corso dell’annata vitivinicola 2023 si sono registrati picchi di temperatura particolarmente elevati durante i mesi estivi. In particolare, le temperature medie mensili sono state superiori alla norma, con valori massimi

che hanno toccato i 35°C a luglio e agosto (Figura 5), mentre le temperature minime notturne sono scese frequentemente sotto i 10°C, favorendo escursioni termiche significative (Figura 4). Queste escursioni termiche, unite alla gestione delle precipitazioni, hanno avuto effetti positivi sul profilo organolettico dei vini, migliorando la conservazione dell'acidità dei mosti e favorendo un buon equilibrio del prodotto finale.

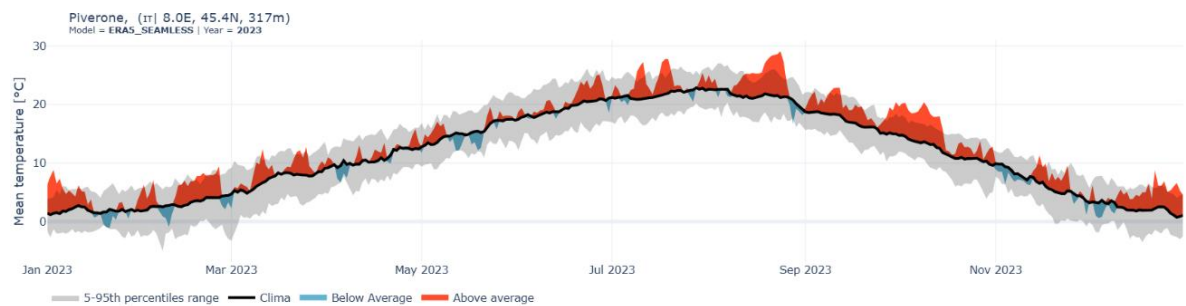


Figura 4: Andamento meteorologico dell'annata 2023 nel comune di Piverone (TO), estrapolato dal sito: <https://hh.guidocioni.it>

La distribuzione delle precipitazioni è stata costante tutto l'anno, con un picco significativo a maggio che ha influenzato positivamente la crescita vegetativa delle piante e ha garantito un adeguato apporto idrico per la vigna.

Figura 5: Registro degli estremi meteorologici dell'annata 2023 nel comune di Piverone (TO) estrapolati dalla stazione meteorologica: FielClimate – Meteos by Pessl Instruments.

Mese	Temp. Media (°C)	Min Temp. (°C)	Max Temp. (°C)	Precipitazioni (mm)
gen-23	2.5	-5.0	10.0	40.2
feb-23	4.0	-3.5	12.0	35.0
mar-23	8.5	0.0	18.0	50.3
apr-23	12.5	4.5	22.0	75.4
mag-23	16.5	8.0	26.0	120.0
giu-23	21.5	12.0	30.5	90.3
lug-23	24.0	15.5	35.0	45.6
ago-23	23.5	14.0	34.5	78.9
set-23	19.0	10.5	28.0	150.2
ott-23	14.0	6.0	22.0	110.0
nov-23	8.5	1.5	15.5	85.4
dic-23	4.0	-2.5	12.5	60.1

Diffusione del vitigno Erbaluce

La diffusione del vitigno Erbaluce ha mostrato andamenti fluttuanti nel corso del tempo. I due massimi storici della sua espansione sono stati registrati nel 1982 e nel 2000. L'Erbaluce ha attraversato diverse fasi nella sua diffusione in Piemonte, con una presenza significativa nel Canavese ed una superficie vitata che, sebbene ridotta rispetto al passato ([Figura 6](#)), continua a rappresentare un patrimonio vitivinicolo importante per la regione.

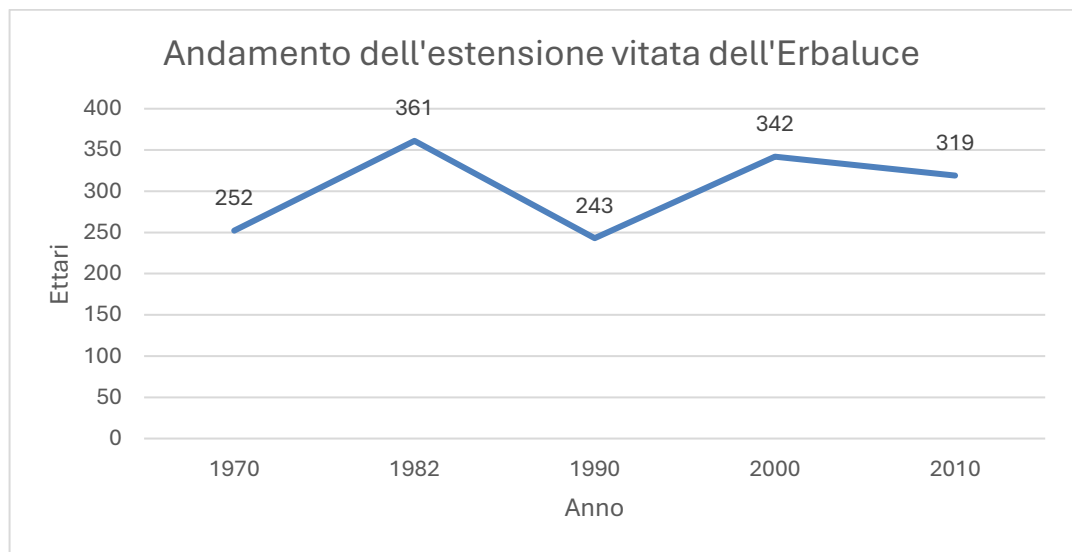


Figura 6: Estensione vitata del vitigno Erbaluce, Catalogo nazionale varietà di vite – Masaf (Ministero dell’Agricoltura, della Sovranità Alimentare e delle Foreste).

Campo Sperimentale

Il vigneto oggetto di studio è stato impiantato nella primavera del 2017 e si trova nel comune di Piverone in località Rapella, provincia di Torino. Rientra nella zona di produzione dell’Erbaluce di Caluso DOCG, denominazione di origine controllata e garantita dall’ottobre del 2010.

Il clone di Erbaluce utilizzato è il CVT TO 29, originario di Mazzè (TO) è caratterizzato da una resistenza intermedia all'oidio. Presenta vigoria medio-elevata, elevata fertilità e una produzione costante e abbondante. Dal punto di vista fenologico, il clone impiantato mostra un germogliamento leggermente tardivo e una maturazione mediamente precoce. Il grappolo ha dimensioni medie e risulta moderatamente compatto, mentre gli acini, di forma sferoidale e dimensioni medie, assumono una colorazione dorata tendente al rosato a maturità, in particolare nei grappoli maggiormente esposti alla radiazione solare (Catalogo nazionale delle varietà di vite, Ministero dell’Agricoltura, della Sovranità Alimentare e delle Foreste).

Come portainnesto è utilizzato 'SO4', l'incrocio di *Vitis berlandieri* × *Vitis riparia*, frequentemente impiegato in terreni non soggetti a stress idrico, capace di contenere la spiccata vigoria dell'Erbaluce (Novello *et al.*, 1996).

Il sistema di allevamento utilizzato è la Pergola Canavesana (Figura 7), con una distanza di 2 metri tra le piante e 2,85 metri tra le file. La potatura a *Guyot* multiplo, con due o tre capi a frutto per pianta, in funzione della sua vigoria. La densità d'impianto è di 1750 ceppi/ettaro e l'orientamento dei filari è pari a 175° rispetto al Nord con un orientamento dei filari Nord-Ovest/Sud-Est.

Materiali e Metodi

Densità della chioma - Schema sperimentale

Per determinare l'area fogliare dei due gruppi di campioni abbiamo utilizzato il metodo del punto quadro come descritto da Wilson nel 1963, adattandolo al sistema di allevamento della pergola. Il metodo del punto quadro, la cui affidabilità venne confermata agli inizi degli anni '80 (von Caemmerer & Farquhar, 1981) restituisce un'adeguata stima della misura dell'area fogliare.

La superficie fogliare di ogni singola pianta è stata schematizzata dividendola in tre fasce vegetative distinte, la fascia verticale, la fascia orizzontale e la fascia di cortina (Figura 7).

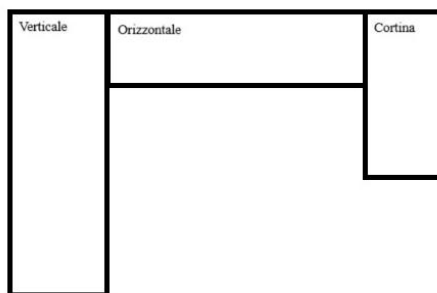


Figura 7: Rappresentazione schematica della Pergola Canavesana. Sezione della chioma fogliare suddivisa in tre fasce distinte: Verticale, Orizzontale e Cortina per poter effettuare le misure relative alla densità fogliare con il Metodo del Punto Quadro.

Sono state effettuate le misurazioni mediante questo metodo in cinque date di campionamento durante la stagione vegetativa.

Le misurazioni sono state effettuate su due filari adiacenti, uno utilizzato come filare di controllo e l'altro come filare del trattamento. Per ciascun filare sono stati presi in analisi quattro gruppi di piante, ciascuno composto da tre viti consecutive. Per la misura dei contatti fogliari, una pianta è stata idealmente suddivisa in cinque tratti verticali da venti centimetri l'uno e cinque tratti orizzontali anch'essi da venti centimetri, per ogni fascia vegetativa. In totale, sono stati analizzati cinquantacinque punti differenti, esaminando per ciascuno di essi il numero di contatti che l'asta, inserita nella vegetazione generava toccando le foglie. L'asta è stata inserita parallelamente al suolo per quanto riguarda la chioma verticale e la cortina e perpendicolarmente ad esso per analizzare il tratto orizzontale della chioma.

Misure dello scambio gassoso a seguito della fotosintesi

Le tecniche di monitoraggio dello scambio dei gas utilizzando analizzatori di gas a infrarossi IRGA (*Infra-Red Gas Analyser*) sono ampiamente utilizzate per misurare i flussi di CO₂ e H₂O delle foglie. Queste misurazioni consentono di valutare la prestazione fisiologica e la

capacità biochimica della fotosintesi, fornendo informazioni fondamentali sulla risposta delle piante alle variazioni ambientali (von Caemmerer, 2013; Long, 2003).

Il principio di funzionamento degli IRGA si basa sull'assorbimento selettivo della radiazione infrarossa di specifiche bande di assorbimento che sono caratteristiche per ogni molecola. Una sorgente di raggi infrarossi attraversa una camera contenente il gas ed il campione, fino a un sensore che rileva la quantità di energia assorbita.

Dalle loro misurazioni si possono ottenere informazioni sulle dinamiche della fotosintesi, della traspirazione e della conduttanza stomatica, consentendo di studiare la risposta delle piante alle variazioni ambientali e di ottimizzare la produttività agricola (Busch *et al.*, 2024). Per determinare questi parametri, abbiamo utilizzato il modello portatile di IRGA: "Li-Cor 6800", basato sul sistema di gas di scambio aperto (Figura 8).

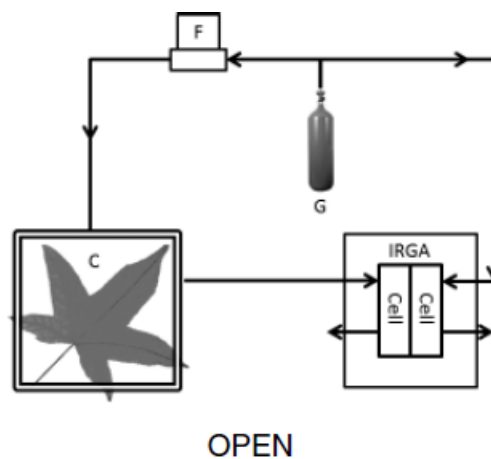


Figura 8: Rappresentazione schematica del sistema aperto di analisi dei gas di scambio fotosintetici (Busch *et al.*, 2024).

Il Li-Cor 6800 utilizza un sistema a flusso continuo in cui l'aria viene fatta passare su una foglia inserita in una camera isolata ermeticamente, minimizzando l'influenza di fattori ambientali come il vapore acqueo e la concentrazione di CO₂. Questo permette di calcolare

il tasso di assimilazione della CO₂ (A, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e il tasso di traspirazione (E, $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) confrontando le concentrazioni di anidride carbonica e vapore acqueo prima e dopo il passaggio nella camera fogliare (von Caemmerer & Farquhar, 1981; LI-COR, 2022). Il campionamento è stato effettuato posizionando le foglie nella camera di misura, assicurandone l'isolamento. L'aria atmosferica viene prelevata tramite una pompa e inviata simultaneamente alla camera di assimilazione e all'IRGA di riferimento. L'aria in uscita dalla camera di assimilazione risulterà privata di una frazione di CO₂ in caso di fotosintesi o arricchita in caso di respirazione. Per misurare la respirazione, sono state oscurate le camere fogliari prese in esame e si è atteso che il sistema fotosintetico si scaricasse, rilevando l'aumento della CO₂ all'interno della camera.

Le misurazioni degli scambi di gas forniscono direttamente le concentrazioni di CO₂ e H₂O e i flussi netti associati. È possibile stimare una serie di parametri ecofisiologici fondamentali quali (Palliotti *et al.* nel 2018):

- Tasso di assimilazione netta della CO₂ (A, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$): indica la capacità della pianta di fissare il carbonio atmosferico tramite fotosintesi.
- Tasso di traspirazione (E, $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$): quantifica la perdita di vapore acqueo dalla foglia, regolata dall'apertura stomatica.
- Efficienza istantanea d'uso dell'acqua (WUE = A/E): rappresenta il rapporto tra la fissazione del carbonio e la perdita di acqua. Un valore elevato indica un migliore compromesso tra fotosintesi e traspirazione (Busch *et al.*, 2024).
- Concentrazione intercellulare di CO₂ (C_i, $\mu\text{moli di CO}_2 \text{ per mole di aria}$): permette di comprendere i limiti della fotosintesi e la regolazione stomatica delle piante.
- Conduttanza stomatica (G_s) espressa in $\text{mmol}*(\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1})$: rappresenta la capacità degli stomi di regolare lo scambio gassoso.

Analisi quantitative delle bacche

Le curve di maturazione sono state tracciate prelevando campioni, a partire dall'invasatura e con cadenza bimensile. Per ottenere dei campioni omogenei e rappresentativi, le bacche sono state raccolte in racimoli provenienti dalle parti apicali, centrali e distali del grappolo. Successivamente le bacche sono state divise in gruppi da cento unità di cui, novanta sono state usate per le analisi di solidi solubili totali, acidità totale, pH e peso medio delle bacche e i restanti dieci sono stati usati per l'estrazione dei polifenoli.

Solidi solubili totali: sono determinati come grado zuccherino delle uve ed espressi in °*Brix*. È stato utilizzato un rifrattometro digitale ATAGO (Japan). Questo parametro riflette l'accumulo di zuccheri negli acini ed è fondamentale per la valutazione della maturazione tecnologica dell'uva.

Acidità totale: è espressa in g/L di acido tartarico ed è stata determinata mediante titolazione con NaOH 0,1 N su 5 ml di mosto, secondo il metodo ufficiale OIV-MA-AS313-01: R2009 par 5.2 ed avvalendosi del blu di bromotimolo come indicatore di viraggio e di un *pHmetro* per monitorare il punto di viraggio. Questo parametro influisce sull'equilibrio gustativo del vino e sulla sua capacità di invecchiamento.

pH: è stato misurato con piaccametro *Hanna Edge pH* (Villafranca Padovana, PD, Italia), in quanto parametro essenziale per la stabilità microbiologica e la percezione sensoriale del vino.

Peso medio delle bacche: determinato prelevando 200 acini da ciascun campione, pesandole su bilancia e calcolandone la media aritmetica.

Polifenoli: è stato determinato con l'ausilio della Cromatografia Liquida ad Alta Prestazione e detector di tipo Diode-Array (HPLC-DAD), il contenuto di flavonoli, idrossicinnammati e flavan-3-oli a basso peso molecolare, separando le bucce dalla polpa e dai semi, conservandole

in una soluzione estraente-conservativa a pH 3,2. Successivamente, i campioni per ottenere l'estratto sono stati sminuzzati con l'ausilio di uno sminuzzatore *Ultra-Turrax (Ika, Staufen, Germania)* per 3 minuti a una velocità di 10.000 RPM. Il surnatante ottenuto è stato recuperato in un matraccio, mentre il pellet è stato nuovamente centrifugato. I due surnatanti ottenuti sono stati miscelati insieme e portati al volume noto di 50 ml. Gli estratti sono stati catalogati e conservati in congelatore a -20°C in attesa delle analisi.

Legno di Potatura

La valutazione del legno di potatura è stata effettuata il 25 gennaio 2024. Dopo aver potato le viti, sono stati raccolti i sarmenti per ogni singola pianta e raggruppati in una fascia tenuta insieme da una corda. Per valutarne il peso è stato utilizzato un dinamometro analogico al quale è stata appesa ogni fascina per leggerne il valore del peso espresso in chilogrammi.

Produzione per pianta

La produzione per pianta è stata valutata il giorno della vendemmia che è avvenuta manualmente. Inizialmente si è valutato il peso della tara della cassetta in plastica che è risultato essere pari a 2,2 Kg. Da ogni pianta in esame è stata raccolta una cassetta d'uva e conteggiato il numero di grappoli all'interno, il peso lordo della cassetta piena e il numero di grappoli lasciati sulla pianta. Si è calcolato il peso netto di ogni cassetta ed una volta diviso il numero di grappoli al suo interno si è calcolato il loro peso medio. Moltiplicando quest'ultimo per il numero totale di grappoli (raccolti anche per la prova di vinificazione effettuata presso la cantina sperimentale dell'Università degli Studi di Torino "Bonafous" Chieri (TO), e i grappoli lasciati sulla pianta in attesa che venissero raccolti dalla cantina

sociale al quale conferiscono regolarmente, si è calcolato, per ogni singola pianta, il peso in chilogrammi della produzione.

Campionamento delle foglie e preparazione all'analisi

Il 22 agosto 2023 sono state raccolte foglie e conservate in un frigorifero portatile per garantirne l'integrità. In laboratorio, i piccioli sono stati separati dai lembi. Questi ultimi sono stati frammentati, ne sono stati pesati 2 grammi ed immersi in una soluzione tampone idroalcolica a pH 3.9 composta da: Etanolo al 40%, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ (2 g/l), Acido tartarico (5 g/l) e NaOH 1 N (22 ml/l).

I campioni sono stati omogeneizzati utilizzando un triturratore *Ultra-turrax* e successivamente sottoposti a centrifugazione per 10 minuti a 4000 rpm. Il surnatante ottenuto è stato separato e conservato al buio. Il pellet residuo è stato risospeso in 20 ml della medesima soluzione tampone, lasciato in macerazione per 30 minuti a temperatura ambiente in condizioni di oscurità e centrifugato nuovamente. I due estratti sono stati combinati e portati a un volume finale di 50 ml, quindi conservati a $-20\text{ }^\circ\text{C}$ fino alle successive analisi. In seguito, sono stati prelevati 4,5 ml di estratto a cui sono stati aggiunti 0,5 ml di acido fosforico 1 M. L'estratto è stato filtrato con un filtro a porosità di $0,2\text{ }\mu\text{m}$ (Acrodisc, Pall Life Science, USA) ed è stato trasferito in *vial* di vetro scuro.

Analisi Cromatografica

L'analisi cromatografica è stata eseguita utilizzando un sistema HPLC *Agilent Infinity 1260 Series* (Agilent, Waldbronn, Germania) equipaggiato con un rivelatore a DAD modello G1316A. La separazione cromatografica è stata effettuata su una colonna *Merck*

LiChroCART 250-4 LiChrospher 100 RP-18 (5 µm; Merck), con pre-colonna (*LiChroCART 4-4, Merck KGaA, Germania*). Come solventi A e B rispettivamente, sono stati impiegati acido fosforico 0,001M e metanolo puro, utilizzando un gradiente dal 5% al 100% di alcol metilico puro in 50 minuti, con un flusso di 0,8 mL/min (*Kedrina-Okutan et al., 2018*). Le acquisizioni dei segnali cromatografici relative a flavonoli, agli idrossicinnammati e ai flavan-3-oli sono state effettuate rispettivamente alle lunghezze d'onda di 360, 320 e 280 nm. La quantificazione dei composti è stata eseguita mediante il metodo dello standard esterno, con i risultati espressi in mg/kg di acini:

- Flavonoli: equivalenti di quercetina 3-O-glucoside
- Idrossicinnammati: equivalenti di acido cinnamico
- Flavan-3-oli (a basso peso molecolare): equivalenti di (+) catechina idrata

Tutti i grafici relativi ai dati raccolti dalle analisi cromatografiche sui composti aromatici (analisi esterna) sono stati espressi anche con l'unità di misura: µg/acino. Questa unità di misura ci permette di ottenere un valore quantitativo che non viene influenzato dalla diluizione dovuta dall'accumulo crescente di acqua all'interno delle bacche, durante la maturazione durante la maturazione o da prelievi effettuati in successivamente ad un evento di pioggia.

Analisi statistica dei dati

Tutti i dati ottenuti sono stati analizzati mediante l'ausilio del *software per Windows: R Studio*, versione 4.4.2. (Posit, Boston, MA, USA). Inizialmente si è verificata l'omogeneità delle varianze tramite *F-Test* ed è stata valutata la normalità delle distribuzioni dei campioni con *Shapiro-Wilk normality Test*. In seguito, per valutare la differenza tra i due gruppi in analisi, è stato utilizzato il T-test di *Student* a due campioni indipendenti. Per l'analisi dei dati riguardanti la fertilità, essendo stati raccolti un numero di campioni differenti tra i due gruppi, è stata utilizzata, al posto del T-test di *Student*, il *Welch Two Sample T-Test*. Il livello di confidenza è stato impostato al 95%. L'ipotesi nulla è sempre stata definita come $H_0: \mu_1 = \mu_2$ e l'ipotesi alternativa come $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ con un valore di $p < (0,05)$. I risultati sono espressi come valore medio \pm errore standard. I valori di significatività sono stati indicati con:

- Non significativo (ns) - $p > 0,05$
- Significativo (*) - $p < 0,05$
- Molto significativo (**) - per i valori di $p < 0,01$
- Estremamente significativo (***) - per i valori di $p < 0,001$

Risultati e Discussioni

Misure ecofisiologiche

Contatti fogliari

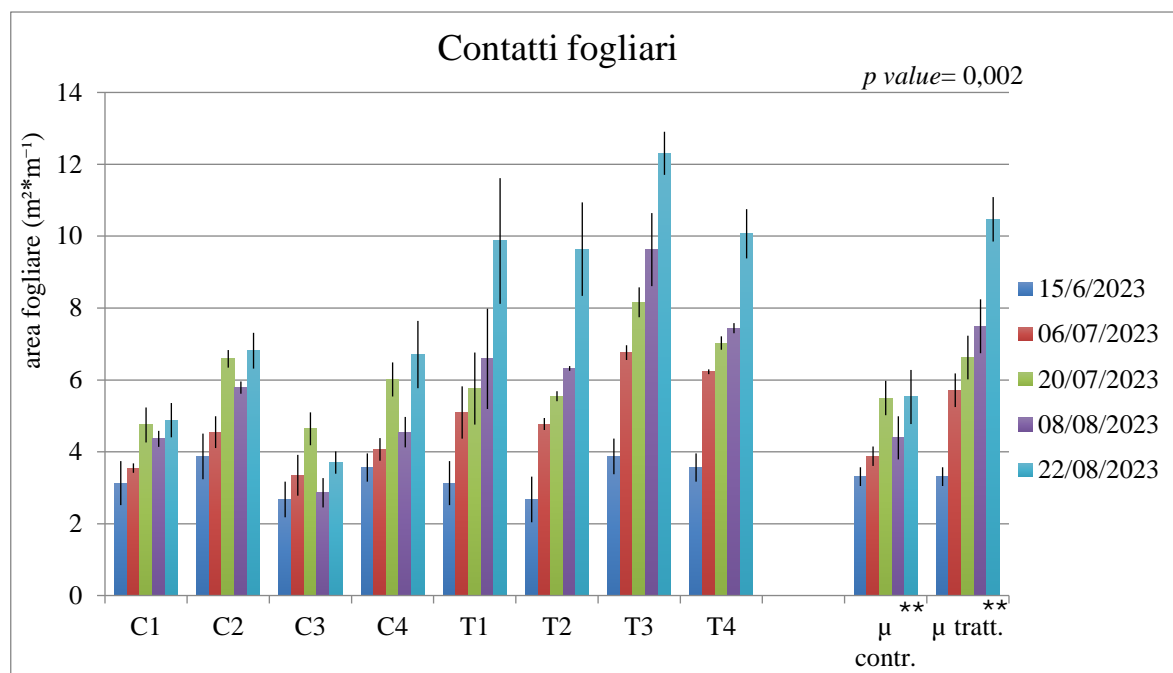


Figura 9: Sviluppo delle aree fogliari durante la stagione vegetativa. Controllo (C1, C2, C3, C4): gruppo di piante che sono state cimate due volte durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare maggiore; Trattato (T1, T2, T3, T4): gruppo di piante che non sono state cimate durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare minore.

Inizialmente, la densità fogliare, espressa in metri quadrati di superficie fogliare per metro lineare di chioma (m²*m⁻¹), risulta equivalente, con valori medi quasi identici sia per il controllo che per il trattamento, testimoniando il buon equilibrio vegetativo del vigneto oggetto di studio (Figura 9).

Dal 15 giugno al 6 luglio, a conferma dell'avvenuta prima cimatura, si osserva come il gruppo sottoposto alla rimozione degli apici vegetativi abbia registrato un rallentamento nella crescita della superficie fogliare con un incremento della chioma inferiore del 30% rispetto al gruppo sottoposto al trattamento (T), che mostra un aumento della superficie fogliare passando da un valore medio di 3,31 m² m⁻¹ a 5,71 m² m⁻¹.

Successivamente, il gruppo di controllo ha mostrato un aumento della velocità di crescita della chioma rispetto al trattamento, raggiungendo un valore medio di $5,50 \text{ m}^2 \text{ m}^{-1}$, sebbene inferiore rispetto al valore medio del trattamento, pari a $6,62 \text{ m}^2 \text{ m}^{-1}$.

Nel terzo intervallo temporale, il gruppo di controllo ha subito una riduzione della superficie fogliare di circa il 20%, a conferma della seconda cimatura dell'anno. Il trattamento, in relazione alla crescita registrata nel periodo precedente, ha mostrato un incremento grossomodo costante, raggiungendo un valore medio di $7,49 \text{ m}^2 \text{ m}^{-1}$.

Nell'ultimo periodo, entrambi i gruppi hanno evidenziato un'accelerazione della crescita della parete fogliare, più marcata nel trattamento rispetto al controllo. Alla fine del periodo di analisi, la differenza tra i due gruppi è molto significativa ($p \text{ value} = ,002$), in quanto il trattamento ha raggiunto un valore medio di $10,47 \text{ m}^2 \text{ m}^{-1}$, pari a circa il doppio rispetto al gruppo sottoposto a cimatura, che raggiunge un valore medio finale di $5,53 \text{ m}^2 \text{ m}^{-1}$.

Il maggiore sviluppo della superficie fogliare nelle piante sottoposte al trattamento può essere attribuito all'assenza di cimatura, che ha consentito una crescita più sostenuta e una maggiore efficienza fotosintetica, favorendo un accumulo superiore di biomassa fogliare.

Water Use Efficiency

Il rapporto tra A (tasso di assimilazione netta di CO_2) ed E (tasso di traspirazione del vapore acqueo) è un indicatore importante dell'efficienza d'uso dell'acqua (WUE, *Water Use Efficiency*). Un'elevata assimilazione netta di CO_2 rispetto alla traspirazione indica un uso più efficiente dell'acqua, un fattore critico in ambienti con disponibilità idrica limitata (Bernacchi *et al.* 2012).

Le piante che mostrano un valore più alto di A per lo stesso valore di E sono probabilmente quelle con una maggiore capacità fotosintetica e un miglior adattamento alle condizioni ambientali.

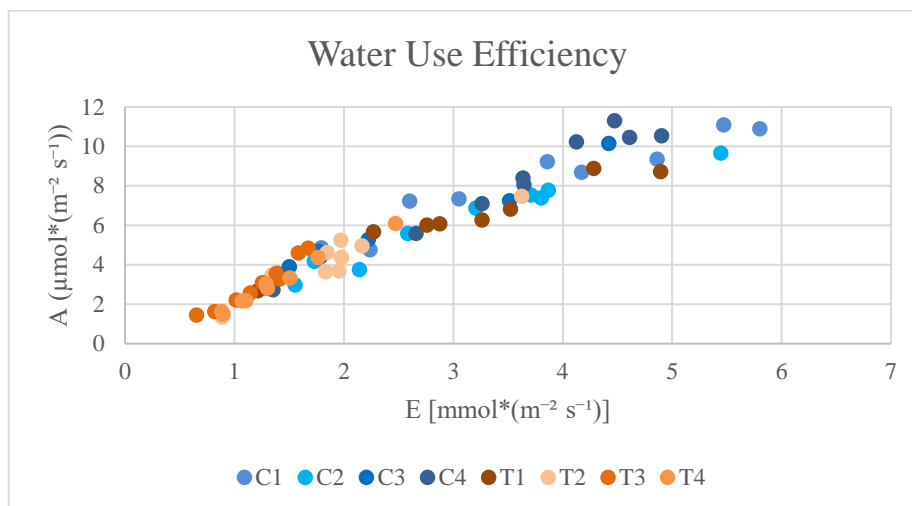


Figura 10: Relazione tra il tasso di assimilazione netta di CO₂(A) espresso in $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ e il tasso di traspirazione(E) espresso in $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$: misura della perdita di acqua dalla foglia. Controllo (C1, C2, C3, C4): gruppo di piante che sono state ciminate due volte durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare maggiore; Trattato (T1, T2, T3, T4): gruppo di piante che non sono state ciminate durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare minore.

La figura 10 rappresenta la relazione tra l'assimilazione netta di CO₂ (A, in $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^{-2} \text{s}^{-1})$) e la traspirazione (E, in $\text{mmol}\cdot(\text{m}^{-2} \text{s}^{-1})$), ovvero la quantità di acqua persa sotto forma di vapore attraverso gli stomi, per i gruppi sperimentali analizzati. Questa relazione permette di valutare l'efficienza fotosintetica delle foglie in funzione della perdita di acqua.

I gruppi di controllo (C1 - C2 - C3 - C4) e di trattamento (T1 – T2 – T3 - T4), mostrano una distribuzione simile, sebbene le piante del trattamento tendano a raggiungere valori di assimilazione netta della CO₂ (A) leggermente più elevati per lo stesso valore di traspirazione (E) rispetto ai controlli.

Questo comportamento suggerisce che le piante non ciminate (T) hanno un'efficienza fotosintetica superiore rispetto alle piante ciminate (C).

Assimilazione dall'anidride carbonica

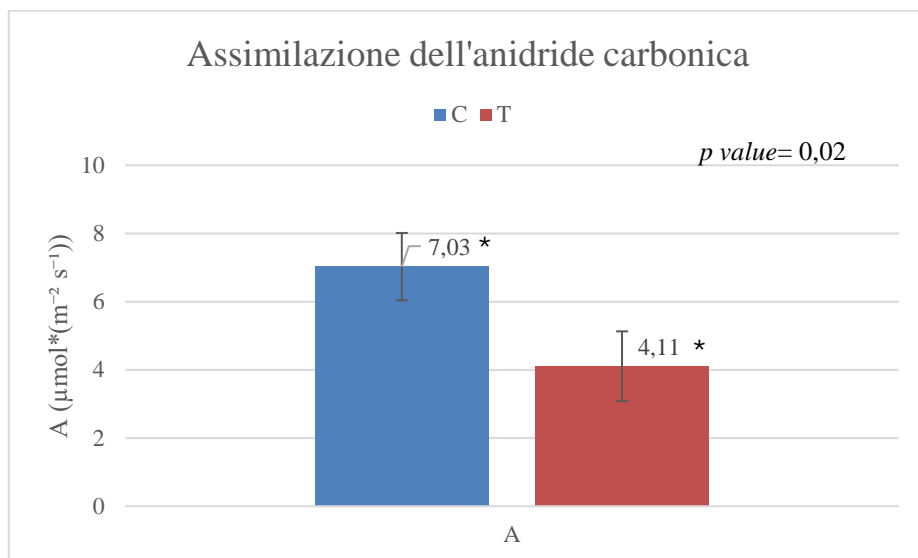


Figura 11: Assimilazione netta di CO₂ - A [μmol*(m⁻² s⁻¹)] è la quantità di anidride carbonica assorbita attraverso le foglie. C - Controllo: gruppo di piante che sono state cimate due volte durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare maggiore; T - Trattato: gruppo di piante che non sono state cimate durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare minore. La differenza statistica delle medie è stata valutata con il Test T (*p value*=0,05). L'errore standard relativo alla media è indicato dalla barra verticale. Livello significatività: Non significativo (ns) - *p value*>0,05; Significativo (*) - *p value*<0,05; Molto significativo (**) - *p value*<0,01.

Il tasso di assimilazione netta dell'anidride carbonica (A o A_n) rappresenta il tasso di fotosintesi netta, ovvero la quantità di anidride carbonica assorbita attraverso gli stomi delle foglie, al netto della CO₂ rilasciata durante la respirazione. Si misura generalmente in μmol (CO₂) *(m⁻² s⁻¹). L'assimilazione netta di CO₂ può essere calcolata in un sistema di scambi gassosi con la formula: $A = \frac{u(C_e - C_o)}{s}$

Dove:

u = flusso d'aria nella camera di misurazione (mol s⁻¹)

C_e = concentrazione di CO₂ in ingresso nella camera (μmol mol⁻¹)

C_o = concentrazione di CO₂ in uscita dalla camera (μmol mol⁻¹)

s = superficie della foglia (m²)

Questa equazione rappresenta il bilancio tra CO₂ entrante ed uscente, che riflette il consumo di CO₂ per la fotosintesi (Bernacchi *et al.* 2012).

Il tasso di assimilazione netta un parametro che viene modulato da processi fisiologici ed ambientali. Le modulazioni fisiologiche sono dovute a processi che possono limitare l'attività fotosintetica come la conduttanza stomatica (g_s), l'efficienza dell'enzima Rubisco nel fissare CO₂, la velocità di rigenerazione del Ribulosio 1-5 Bifosfato e la conduttanza mesofillare (g_m) che regola la diffusione dell'anidride carbonica dagli stomi fino ai cloroplasti. I fattori ambientali influenzanti possono essere l'intensità della radiazione solare, la concentrazione di CO₂ nell'atmosfera, la temperatura e il VPD (Deficit di pressione del Vapore).

Il valore medio dell'assimilazione media netta della CO₂ è significativamente maggiore ($p\ value = 0,02$) nelle piante che sono state cimate ($7,02 \pm 0,98\ \mu\text{mol}*(\text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1})$) durante l'anno rispetto al gruppo del trattamento non cimato ($4,10 \pm 1,02\ \mu\text{mol}*(\text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1})$) (Figura 11).

Tasso di traspirazione

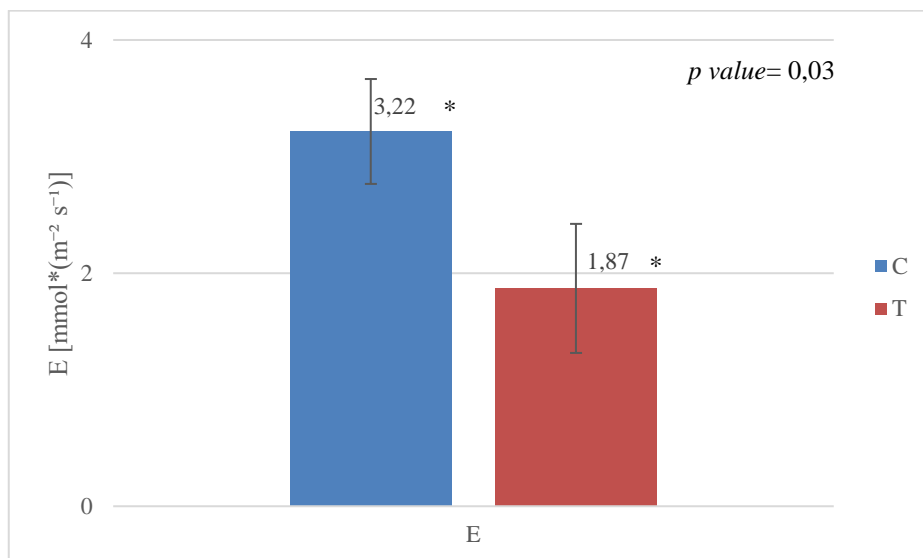


Figura 12: Tasso di traspirazione – E [mmol*(m⁻² s⁻¹)] è la quantità di acqua persa sotto forma di vapore attraverso gli stomi. C - Controllo: gruppo di piante che sono state cimate due volte durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare maggiore; T - Trattato: gruppo di piante che non sono state cimate durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare minore. La differenza statistica delle medie è stata valutata con il Test T (*p value*=0,05). L'errore standard relativo alla media è indicato dalla barra verticale. Livello significatività: Non significativo (ns) – *p value*>0,05; Significativo (*) – *p value*<0,05; Molto significativo (**) – *p value*<0,01.

Il parametro E rappresenta il tasso di traspirazione, ovvero la quantità di acqua persa sotto forma di vapore dalle foglie attraverso gli stomi. È una variabile fondamentale negli studi sugli scambi gassosi, poiché influenza direttamente l'efficienza dell'uso dell'acqua e il bilancio energetico della pianta.

Il tasso di evaporazione dell'acqua dalle foglie verso l'atmosfera si misura in mmol*(m⁻² s⁻¹)

ed è calcolato dalla formula:
$$\frac{u_e(w_o - w_e)}{s(1 - w_o)}$$

u_e = flusso d'aria in ingresso nella camera di misurazione (mol s⁻¹)

w_o = concentrazione di vapore acqueo nell'aria in uscita dalla camera (mmol mol⁻¹)

w_e = concentrazione di vapore acqueo nell'aria in ingresso (mmol mol⁻¹)

s = superficie della foglia (m²)

Il tasso di traspirazione è influenzato da fattori fisiologici, come l'apertura stomatica e la conduttanza stomatica (Bernacchi *et al.* 2012).

La significatività riscontrata (p value = 0,03) nella [Figura 12](#), con un valore medio maggiore per il gruppo del controllo - C ($3,21 \pm 0,44 \text{ mmol}^*(\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1})$) rispetto al gruppo del trattamento - T ($1,86 \pm 0,55 \text{ mmol}^*(\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1})$), può essere spiegata considerando che il valore di E varia anche in base a fattori ambientali quali: il VPD, la temperatura, la radiazione solare e l'umidità dell'aria. Il gruppo del controllo, avendo una superficie fogliare ridotta e quindi più esposta alla radiazione solare rispetto al gruppo del trattamento, ha subito temperature maggiori che hanno causato una perdita di acqua maggiore rispetto al gruppo non cimato.

Conduttanza stomatica e concentrazione di CO₂ interna

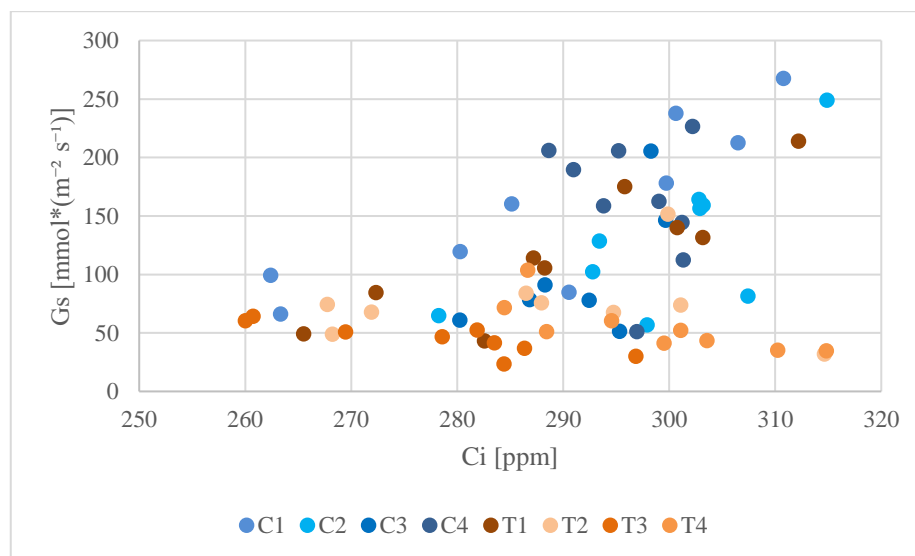


Figura 13: Relazione tra la Conduttanza stomatica (G_s) espressa $\text{mmol}^*(\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1})$ e la Concentrazione interna di CO₂ (C_i) espressa in ppm. Controllo (C1, C2, C3, C4): gruppo di piante che sono state cimato due volte durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare maggiore; Trattato (T1, T2, T3, T4): gruppo di piante che non sono state cimato durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare minore. La differenza statistica delle medie è stata valutata con il Test T (p value=0,05). L'errore standard relativo alla media è indicato dalla barra verticale. Livello significatività: Non significativo (ns) – p value>0,05; Significativo (*) – p value<0,05; Molto significativo (**) – p value<0,01.

La relazione tra conduttanza stomatica (G_s) e concentrazione interna di anidride carbonica ci permette di osservare ([Figura 13](#)) come i controlli (C1, C2, C3, C4) mostrano una

maggiore variabilità nella conduttanza stomatica (G_s), con numerosi valori superiori ai 150 $\text{mmol} \cdot (\text{m}^{-2} \text{s}^{-1})$, specialmente quando la C_i è compresa tra 290 e 310 ppm.

A parità di Concentrazione interna di CO_2 , i trattati (T1, T2, T3, T4) tendono ad avere valori inferiori di conduttanza stomatica rispetto alle piante del controllo.

Aumenti di Concentrazione interna di CO_2 sono associati a un aumento della conduttanza stomatica, in particolare nei controlli, suggerendo che le piante cimate abbiano una maggiore capacità di scambio gassoso rispetto alle non cimate. Nei trattati, la risposta di G_s a C_i sembra più contenuta, con valori che restano relativamente bassi e meno variabili rispetto al controllo che mostrano una correlazione positiva tra C_i e G_s .

Conduttanza stomatica

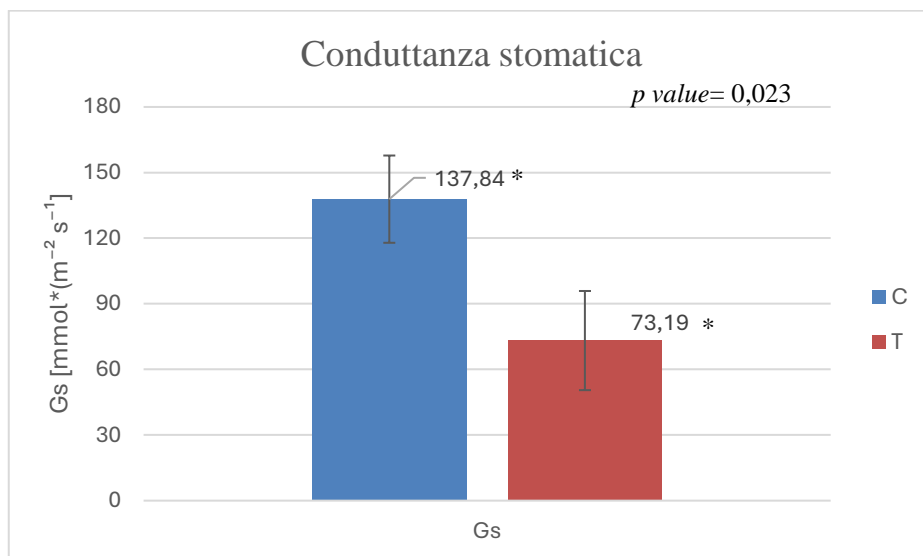


Figura 14: Conduttanza stomatica – Gs [mmol*(m⁻² s⁻¹)] è la capacità degli stomi di regolare lo scambio gassoso. C - Controllo: gruppo di piante che sono state cimate due volte durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare maggiore; T - Trattato: gruppo di piante che non sono state cimate durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare minore. La differenza statistica delle medie è stata valutata con il Test T (*p value*=0,05). L'errore standard relativo alla media è indicato dalla barra verticale. Livello significatività: Non significativo (ns) – *p value*>0,05; Significativo (*) – *p value*<0,05; Molto significativo (**) – *p value*<0,01.

La conduttanza stomatica (Gs) espressa in mmol*(m⁻² s⁻¹), rappresenta la capacità degli stomi di regolare lo scambio gassoso che dipende dall'apertura stomatica delle piante al momento dell'analisi. L'apertura stomatica è un parametro che viene influenzato da numero fattori, come la concentrazione interna agli stomi di CO₂, il valore di VPD e la presenza di acido abscissico (ABA), noto come l'ormone dello stress. L'ABA viene prodotto nell'apparato radicale e successivamente traslocato in tutta la pianta in risposta a condizioni di stress idrico. Una volta ionizzato nell'apoplasto, l'ABA aumenta la concentrazione di calcio negli stomi, proveniente dai vacuoli o dalla parete cellulare. I recettori dell'ABA presenti in questa zona inibiscono l'ingresso del potassio ed inducono la chiusura degli stomi da parte delle cellule di guardia. Le piante non sottoposte al trattamento (C) mostrano un valore medio significativamente superiore rispetto al gruppo T (*p value* = 0,023), rispettivamente 137,83 ± 19,95 mmol*(m⁻²*s⁻¹) e 73,18 ± 22,66 mmol*(m⁻² s⁻¹) (Figura 14).

Valori di Gs elevati indicano una maggiore attività stomatica. La riduzione degli apici vegetativi a seguito della cimatura stimola la pianta a rinnovare il proprio apparato fogliare, producendo nuove foglie più efficienti nello scambio gassoso con l'ambiente circostante.

Concentrazione interna di CO₂

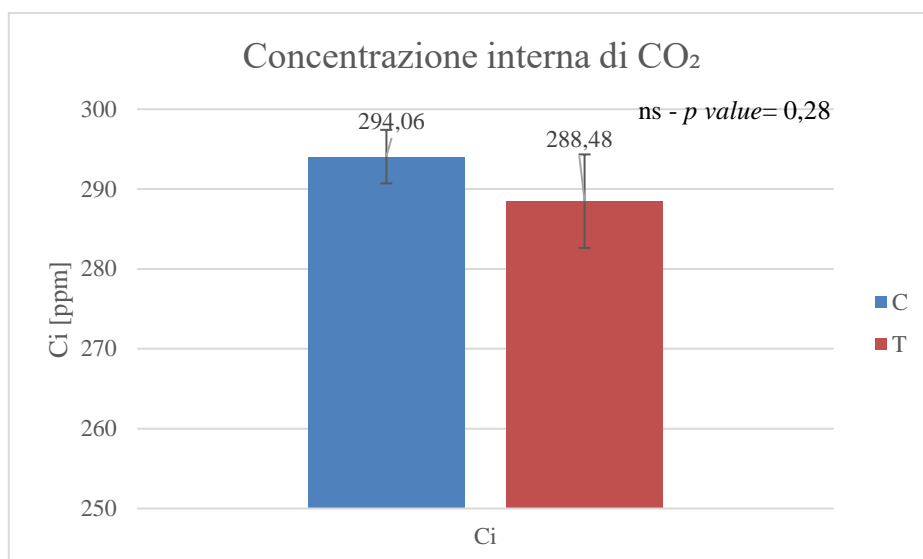


Figura 15: Concentrazione di CO₂ interna – Ci (ppm) è la Concentrazione di anidride carbonica all'interno degli stomi. C - Controllo: gruppo di piante che sono state cimate due volte durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare maggiore; T - Trattato: gruppo di piante che non sono state cimate durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare minore. La differenza statistica delle medie è stata valutata con il Test T ($p\ value=0,05$). L'errore standard relativo alla media è indicato dalla barra verticale. Livello significatività: Non significativo (ns) – $p\ value>0,05$; Significativo (*) – $p\ value<0,05$; Molto significativo (**) – $p\ value<0,01$.

La concentrazione intercellulare di CO₂(C_i), misurata in ppm, rappresenta la quantità di anidride carbonica disponibile negli spazi intercellulari della foglia, ovvero la CO₂ che è entrata attraverso gli stomi. È un parametro cruciale per comprendere i limiti della fotosintesi e la regolazione stomatica delle piante.

La concentrazione intercellulare rappresenta l'equilibrio tra l'apertura stomatica (g_s) e l'assorbimento di CO₂ per la fotosintesi. Valori bassi di C_i indicano che la pianta sta assorbendo rapidamente CO₂, al contrario, valori alti indicano che l'anidride carbonica non viene assimilata efficacemente.

La concentrazione di anidride carbonica intercellulare è influenzata da alcuni fattori ecologici come:

Concentrazione di CO₂ atmosferica (C_a) → Un aumento di C_a porta generalmente a un aumento di C_i, ma con una risposta limitata dalla capacità fotosintetica della pianta.

La concentrazione interna di CO₂ negli stomi regola l'apertura stomatica della pianta. Un'elevata concentrazione di anidride carbonica indica un suo scarso consumo o un tasso elevato di fotorespirazione. All'interno della camera stomatica è presente un recettore del carbonio che modula l'apertura stomatica in caso di livelli eccessivi di CO₂.

Se la luce è insufficiente, la fotosintesi rallenta e la concentrazione interna di CO₂ (C_i) aumenta. Con un'intensità luminosa elevata, così come in condizioni di stress quali temperature elevate e deficit idrico, le piante tendono a chiudere gli stomi per limitare la perdita di acqua e ridurre il consumo di carbonio.

Un valore elevato del deficit di pressione del vapore (VPD) induce la pianta a chiudere gli stomi per minimizzare la perdita d'acqua. Tuttavia, questo meccanismo riduce anche l'ingresso di CO₂, portando a un abbassamento della concentrazione interna di anidride carbonica (C_i) (Bernacchi *et al.*, 2012).

L'analisi statistica dei dati riguardanti le misure relative alla concentrazione di CO₂ interna alla foglia mostra risultati non significativi (*p value* = 0,28): gruppo C – controllo = (294,06 ± 3,35 ppm), gruppo T – trattamento (288,48 ± 5,85 ppm); testimoniando che il trattamento non influenza la quantità di anidride carbonica disponibile negli spazi intercellulari della foglia (Figura 15).

Fertilità

L'analisi statistica relativa ai dati ottenuti dal campionamento del 3 maggio 2024, nel quale sono state contate le infiorescenze per ogni singola pianta che, nell'annata precedente, era stata sottoposta al trattamento, mostra delle differenze significative ($p \text{ value} = 0.04$). In particolare, il gruppo T (non sottoposto a cimatura durante l'anno 2023) non mostra una riduzione del quantitativo di abbozzi florali per pianta (Figura 16).

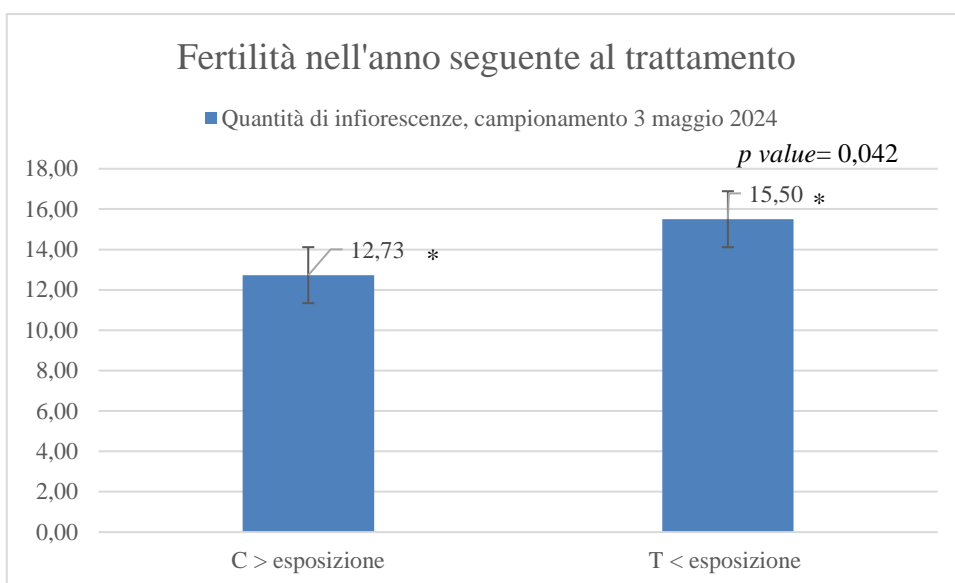


Figura 16: Quantità di infiorescenze riscontrate il 3 maggio 2024. C - Controllo: gruppo di piante che sono state cimare due volte durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare maggiore; T - Trattato: gruppo di piante che non sono state cimare durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare minore. La differenza statistica delle medie è stata valutata con il Test T ($p \text{ value}=0,05$). L'errore standard relativo alla media è indicato dalla barra verticale. Livello significatività: Non significativo (ns) – $p \text{ value}>0,05$; Significativo (*) – $p \text{ value}<0,05$; Molto significativo (**) – $p \text{ value}<0,01$.

Produzione per pianta e legno di potatura

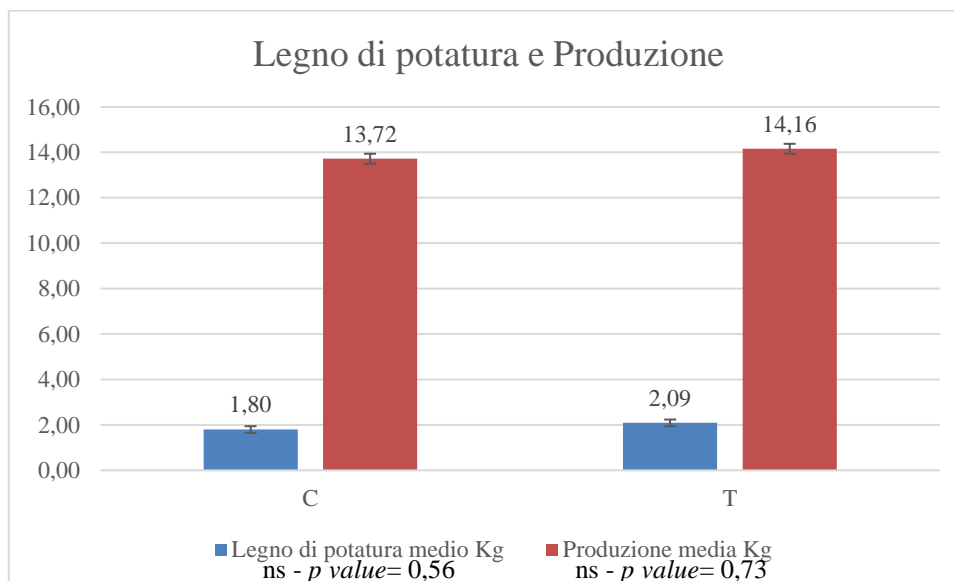


Figura 17: Confronto tra legno di potatura medio e la produzione media di uva. C - Controllo: gruppo di piante che sono state cimate due volte durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare maggiore; T - Trattato: gruppo di piante che non sono state cimate durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare minore. La differenza statistica delle medie è stata valutata con il Test T (p value=0,05). L'errore standard relativo alla media è indicato dalla barra verticale. Livello significatività: Non significativo (ns) – p value > 0,05; Significativo (*) – p value < 0,05; Molto significativo (**) – p value < 0,01.

La produzione media per pianta (p value = 0,73), come il peso medio del legno di potatura (p value = 0,56), non mostrano differenze significative tra il gruppo del controllo e del trattamento (Figura 17). In entrambi i casi i valori sono stati simili tra loro, dimostrando che la mancanza di cimatura non influenza negativamente la produzione.

Indice di Ravaz

L'indice di Ravaz è un importante indicatore per capire se le piante sono in uno stato di equilibrio vegeto-produttivo o meno. Questo indice si calcola dividendo il quantitativo di uva prodotto dalla pianta durante l'anno per il peso del legno di potatura, ottenuto dalla stessa pianta e durante il medesimo anno. I valori ottenuti, generalmente, variano da zero a dieci. Dalle analisi effettuate, i due indici di Ravaz ottenuti sono molto simili, ma non hanno

significatività statistica ($p\text{ value} = 0,59$). Con valori medi di 8,55 e 7,34 rispettivamente di C e T (Figura 18), le piante esaminate si trovano nella regione estrema che si può definire come equilibrata, tendendo leggermente verso il carico eccessivo in relazione alla loro vigoria.

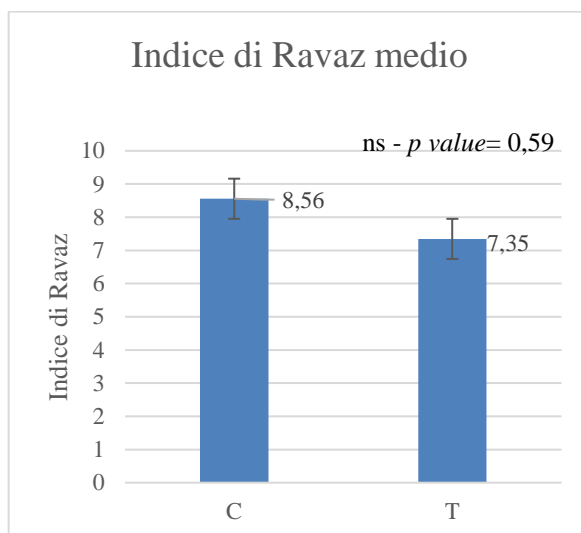


Figura 18: Rappresentazione grafica dell'indice di Ravaz (Rapporto tra produzione media e peso medio del legno di potatura). C - Controllo: gruppo di piante che sono state cimate due volte durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare maggiore; T - Trattato: gruppo di piante che non sono state cimate durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare minore. La differenza statistica delle medie è stata valutata con il Test T ($p\text{ value}=0,05$). L'errore standard relativo alla media è indicato dalla barra verticale. Livello significatività: Non significativo (ns) – $p\text{ value}>0,05$; Significativo (*) – $p\text{ value}<0,05$; Molto significativo (**) – $p\text{ value}<0,01$.

Curve di Maturazione

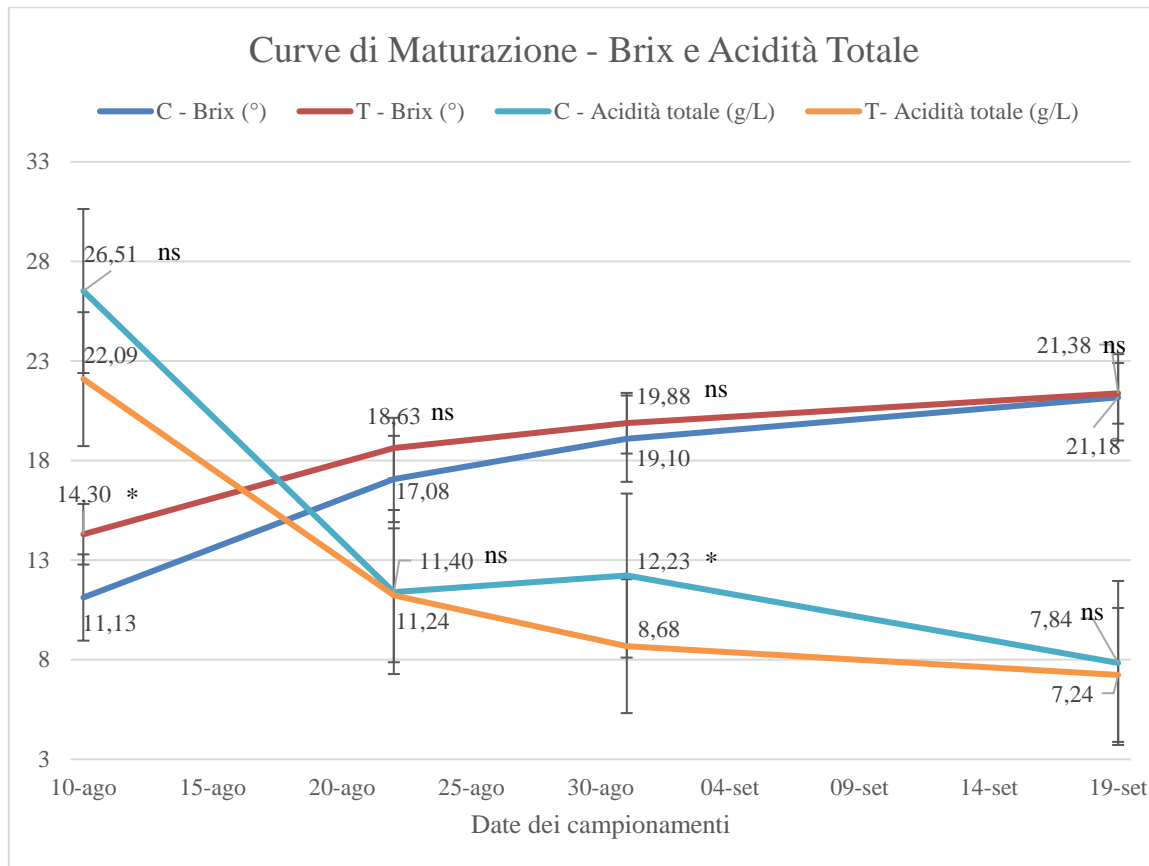


Figura 19: Curve di Maturazione del vitigno Erbaluce di Piverone durante l'annata 2023. Evoluzione delle principali caratteristiche analitiche delle bacche. C - Controllo: gruppo di piante che sono state cimare due volte durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare maggiore; T - Trattato: gruppo di piante che non sono state cimare durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare minore. La differenza statistica delle medie è stata valutata con il Test T ($p\text{ value}=0,05$). L'errore standard relativo alla media è indicato dalla barra verticale. Livello significatività: Non significativo (ns) – $p\text{ value}>0,05$; Significativo (*) – $p\text{ value}<0,05$; Molto significativo (**) – $p\text{ value}<0,01$.

Acidità Totale

L'andamento delle curve dell'acidità, nel corso della maturazione, evidenzia in entrambe le condizioni una riduzione, come atteso: gli acidi organici, infatti, vengono metabolizzati nel processo di respirazione (Figura 19). Tuttavia, il comportamento delle due curve presenta alcune differenze significative.

Nella fase iniziale (10-22 agosto), l'acidità totale espressa in g/l di acido tartarico, è più elevata nel controllo rispetto al trattamento, con valori di $26,51 \pm 1,47$ g/l e $22,09 \pm 1,47$ g/L

rispettivamente. Questo suggerisce che la cimatura abbia rallentato la respirazione notturna dell'acidità, determinando in mantenimento di valori di acidità più alti.

Tra il 22 e il 31 agosto, si nota un calo dell'acidità in entrambe le curve che diventano significativamente differenziate (p value = 0,006); in modo più accentuato nel trattamento non cimato, che passa da $11,24 \pm 0,61$ g/l a $8,68 \pm 0,25$ g/l, rispetto al controllo che mantiene livelli in linea con la data di campionamento precedente (da $11,4 \pm 0,58$ g/l a $12,23 \pm 0,82$ g/l).

Nelle settimane successive, la diminuzione dell'acidità prosegue più gradualmente. Da inizio settembre in poi, le due curve si stabilizzano su valori relativamente simili, con una differenza finale non significativa (p value = 0.13), $7,84 \pm 0,23$ g/l per il controllo e $7,24 \pm 0,26$ g/l per il trattato. Questo indica che nel lungo termine, l'effetto delle due cimature sulla degradazione dell'acidità si attenua ed i valori tendono a convergere.

Solidi Solubili Totali

Il grado zuccherino mostra una crescita costante durante la stagione in entrambi i casi, ma con una differenza più evidente nella prima data di campionamento. Il 10 agosto, data non molto distante dalla prima cimatura, il valore medio dei gradi Brix di T - trattato ($14,30 \pm 0,39$ °Brix) risulta essere significativamente superiore (p value = 0,04) al valore rispettivo del gruppo controllo ($11,12 \pm 1,13$ °Brix); dimostrando che la non cimatura favorisce un'accelerazione iniziale dell'accumulo di zuccheri, come atteso, essendoci più foglie fotosinteticamente abili. Nelle date successive si nota una crescita dei valori relativi ad entrambi i gruppi. Tuttavia, le due curve tendono a convergere, con una riduzione della velocità di accumulo nel trattato: in 20 giorni, il trattamento accumula solo $1,06$ °Brix, mentre nel medesimo periodo il controllo cimato mostra un incremento più marcato di $1,3$

°Brix, portando i due valori finali ad equivalersi (p value = 0,26): $21,17 \pm 0,12$ °Brix per il gruppo del controllo e $21,37 \pm 0,10$ °Brix nel gruppo del trattato (Figura 19). Questo indica che, sebbene il trattamento possa anticipare la maturazione, il vantaggio iniziale si riduce nel lungo termine, risultando in un contenuto zuccherino finale pressoché identico tra i due gruppi.

Peso degli acini

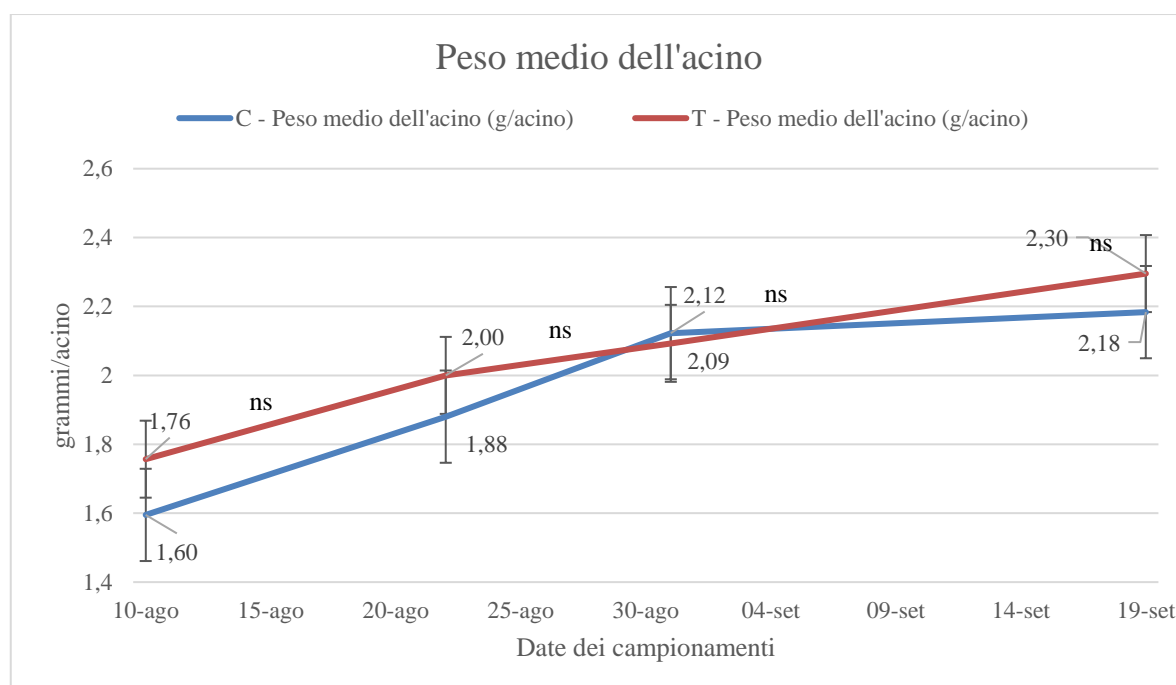


Figura 20: Curva di Maturazione, evoluzione del peso medio dell'acino. C - Controllo: gruppo di piante che sono state ciminate due volte durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare maggiore; T - Trattato: gruppo di piante che non sono state ciminate durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare minore. La differenza statistica delle medie è stata valutata con il Test T (p value=0,05). L'errore standard relativo alla media è indicato dalla barra verticale. Livello significatività: Non significativo (ns) – p value>0,05; Significativo (*) – p value<0,05; Molto significativo (**) – p value<0,01.

L'andamento delle curve del peso degli acini per il controllo e per il trattato mostra una tendenza di crescita progressiva nel corso della maturazione. Il peso rappresenta un

indicatore importante della maturazione dell'uva ed è influenzato dall'accumulo di zuccheri e dall'aumento del contenuto d'acqua.

Nella fase iniziale della Figura 20, dal 8 al 22 agosto, il peso degli acini mostra una crescita regolare in entrambe le condizioni. Tuttavia, la curva del peso degli acini raccolti da piante non cimate si mantiene sempre leggermente al di sopra di quella del controllo pur non riscontrando in nessuna data differenze significative.

La differenza del peso medio dell'acino, alla data di vendemmia, risulta essere statisticamente non significativo ($p\ value = 0,21$) nei due gruppi analizzati. Il peso medio dell'acino nel gruppo del trattamento è $2,29 \pm 0,69$ grammi e nel gruppo del controllo è $2,18 \pm 0,29$ grammi. Questo indica che, nonostante il trattamento abbia favorito un aumento iniziale del peso, seppur non significativo, nel lungo periodo il controllo tende ad eguagliare i valori del trattato.

pH

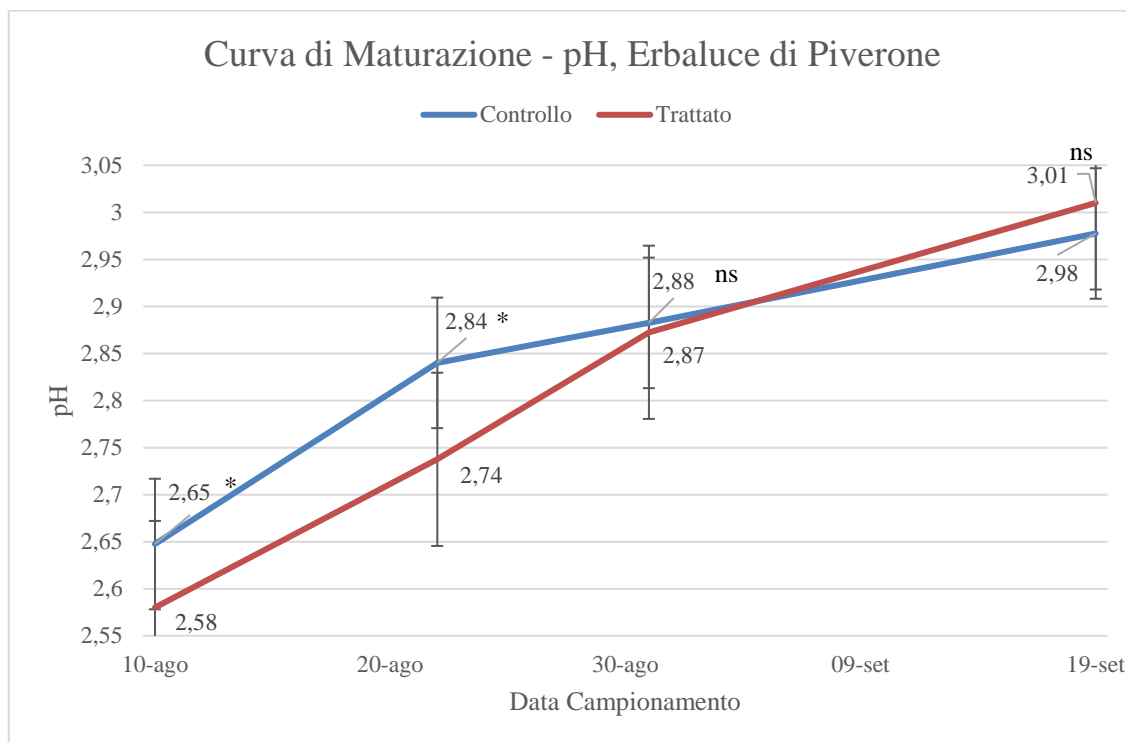


Figura 21: Curva di Maturazione, evoluzione del pH. Controllo: gruppo di piante che sono state cimare due volte durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare maggiore; Trattato: gruppo di piante che non sono state cimare durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare minore. La differenza statistica delle medie è stata valutata con il Test T ($p\text{ value}=0,05$). L'errore standard relativo alla media è indicato dalla barra verticale. Livello significatività: Non significativo (ns) – $p\text{ value}>0,05$; Significativo (*) – $p\text{ value}<0,05$; Molto significativo (**) – $p\text{ value}<0,01$.

L'andamento del pH mostra un generale incremento nel corso della maturazione, indicando il duplice progressivo aumento.

Nella prima analisi della [Figura 21](#), il valore medio del pH del trattamento non cimato ($2,65 \pm 0,01$) è significativamente più alto ($p\text{ value} = 0,019$) rispetto al medesimo del controllo ($2,58 \pm 0,01$). Questa significatività viene riscontrata anche il 22 agosto, con i valori medi rispettivamente di: $2,90 \pm 0,06$ e $2,73 \pm 0,006$ ($p\text{ value} = 0,04$): in linea con il rallentamento nella riduzione dell'acidità, si evidenzia che la cimatura (C) limita la degradazione degli acidi e, quindi, l'incremento del pH.

Nelle due ultime date di analisi, i valori medi del pH tendono ad equivalersi non mostrando alcuna differenza tra loro (p value = 0,43), fino a raggiungere il 19 settembre, il valore di $3,01 \pm 0,02$ per il controllo e $2,97 \pm 0,02$ per il trattato.

Quantità di vinaccioli

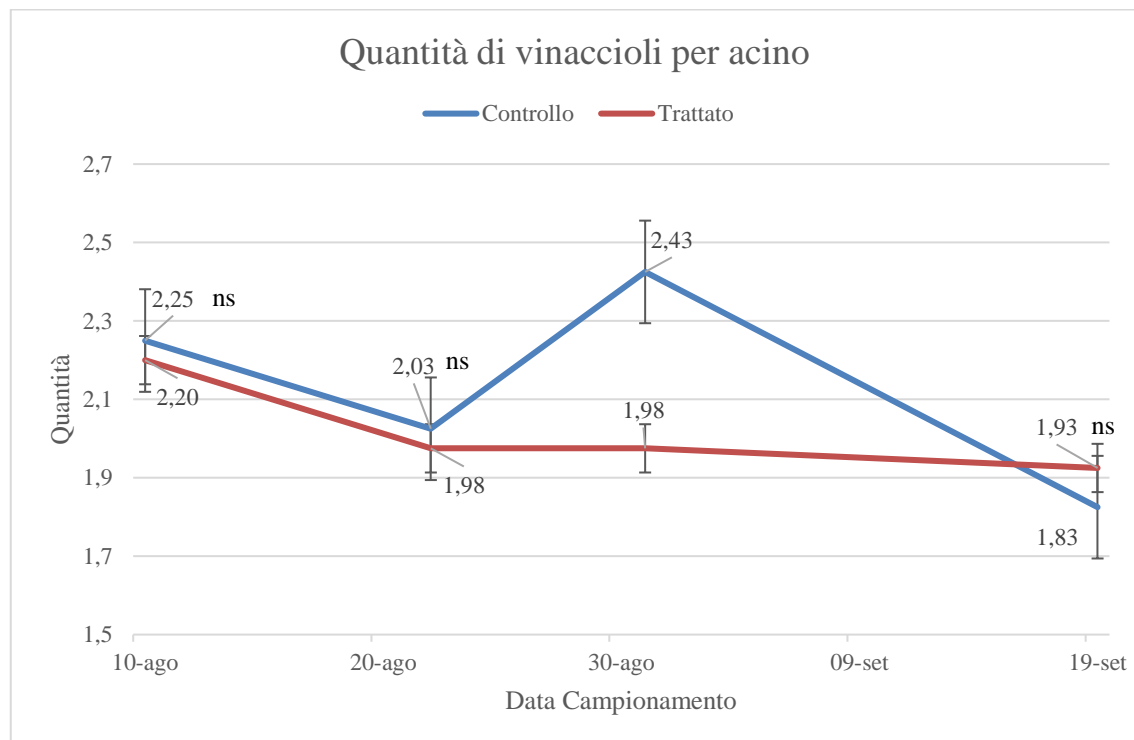


Figura 22: Quantità di vinaccioli per acino. Controllo: gruppo di piante che sono state cimate due volte durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare maggiore; Trattato: gruppo di piante che non sono state cimate durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare minore. La differenza statistica delle medie è stata valutata con il Test T (p value=0,05). L'errore standard relativo alla media è indicato dalla barra verticale. Livello significatività: Non significativo (ns) – p value > 0,05; Significativo (*) – p value < 0,05; Molto significativo (**) – p value < 0,01.

La quantità di vinaccioli per acino analizzata ed esposta nella [Figura 22](#) mostra un quantitativo di vinaccioli costante durante i campionamenti. Nella data della vendemmia, si osservano differenze non significative tra il gruppo del Trattato ($1,93 \pm 0,08$) e del Controllo ($1,83 \pm 0,09$). Le operazioni di non cimatura non sembrano aver influenzato la quantità di vinaccioli presenti per acino nell'annata 2023.

Metaboliti secondari nelle foglie

Il gruppo di composti dei idrossicinnammati rientrano nella famiglia dei polifenoli non flavonoidi e vengono formati dal processo metabolico derivante dall'amminoacido essenziale fenilalanina che attraverso l'enzima fenilalanina ammonica liasi (*PAL*), da origine inizialmente all'acido cinnamico. In seguito, l'acido cinnamico può essere esterificato dall'acido tartarico formando così gli idrossicinnammati. Rientrano in questa classe di composti l'acido cutarico, l'acido caftarico e l'acido fertarico. Questi composti hanno numerose proprietà, come riportato da Inderjit & Einhellig nel 1995: possiedono attività allelopatica, sono in grado di inibire la germinazione e la crescita delle piante con cui entrano in contatto e sono discreti antiossidanti.

L'enzima *PAL* è il divisore tra metabolismo primario e secondario della vite e rappresenta un passaggio regolativo per la formazione di numerosi composti fenolici. L'attività della fenilalanina ammonio-liasi è regolata dai fattori ambientali come la concentrazione di nutrienti, le infezioni fungine e l'intensità luminosa (attraverso i suoi effetti sui fitocromi). La regolazione di questo enzima è complessa e in quanto viene codificato da numerosi geni che sono espressi sono in alcuni tessuti e in determinate condizioni ambientali Logemann *et al.*, 1995). Essendo *PAL* attivato anche dalla luce solare, ci si aspettava di riscontrare delle differenze significative tra le foglie del controllo e quelle del trattato non cimato, con valori superiori per il primo che, essendo stato cimato due volte nel corso dell'anno e come anche testimoniato dai dati della densità fogliare, mostra un numero minore di foglie e quindi, quelle rimanenti, sono state sottoposte ad una maggior esposizione solare maggiore rispetto alle piante del "trattato" non cimato.

Flavonoli e flavan-3-oli derivano dal medesimo metabolismo della fenilalanina e l'enzima *PAL*. I primi sono regolati dagli enzimi *FLS* e *DFR*, mentre i flavan-3-oli vengono sintetizzati

dai flavonoli, attraverso l'attivazione dell'enzima *LAR*. Entrambi possiedono attività antiossidanti e come per gli enzimi di espressione degli idrossicinnammati, l'espressione di questi composti è strettamente regolata dall'esposizione solare che ne determina un accumulo nelle lamine e nelle nervature fogliari (Downey *et al.*, 2004).

Le analisi cromatografiche condotte sulle foglie relative a idrossicinnammati, flavonoli e flavan-3-oli, al contrario di quanto ci aspettassimo, non hanno mostrato differenze significative per nessuna classe di composti analizzati (Figura 23), ma solo una tendenza a presentare concentrazioni superiori, soprattutto di flavonoli, nelle foglie prelevate da piante sottoposte a maggiore esposizione alla luce (controllo, C). Durante l'annata 2023, le diverse esposizioni solari dei due gruppi non sono state sufficienti per determinare delle differenze significative sulla quantità di questi composti che sono strettamente legati all'esposizione solare: idrossicinnammati $p\text{ value} = 0,69$, per i flavonoli $p\text{ value} = 0,54$ e per i flavan-3-oli $p\text{ value} = 0,18$.

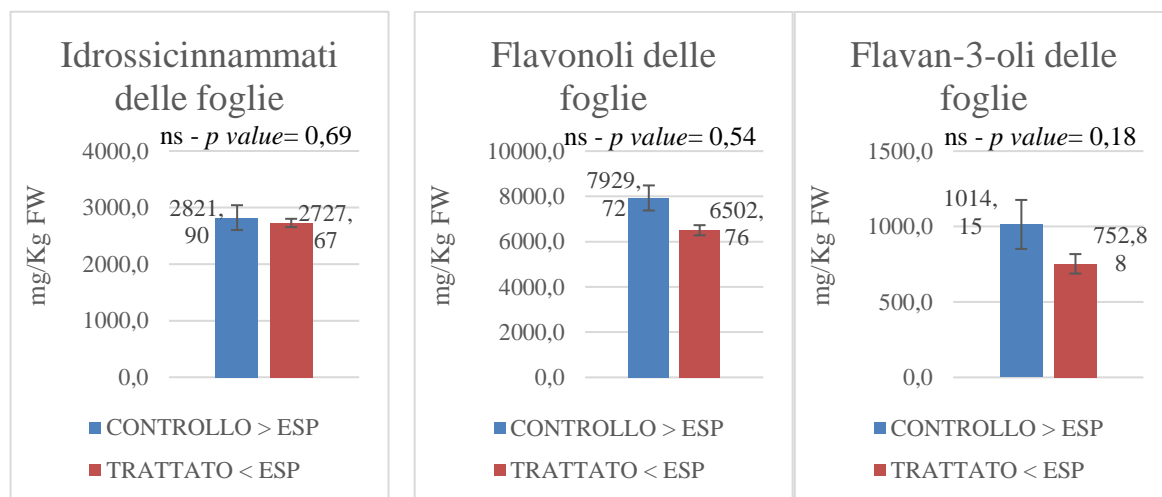


Figura 23: Risultati analisi cromatografiche HPLC delle foglie sui composti: Flavonoli, Flavan-3-oli e Idrossicinnammati. Controllo: gruppo di piante che sono state cimare due volte durante la stagione vegeto-produttiva e con esposizione solare maggiore; Trattato: gruppo di piante che non sono state cimare durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare minore. La differenza statistica delle medie è stata valutata con il Test T ($p\text{ value}=0,05$). L'errore standard relativo alla media è indicato dalla barra verticale. Livello significatività: Non significativo (ns) – $p\text{ value}>0,05$; Significativo (*) – $p\text{ value}<0,05$; Molto significativo (**) – $p\text{ value}<0,01$.

Composti Aromatici delle bacche

Terpeni

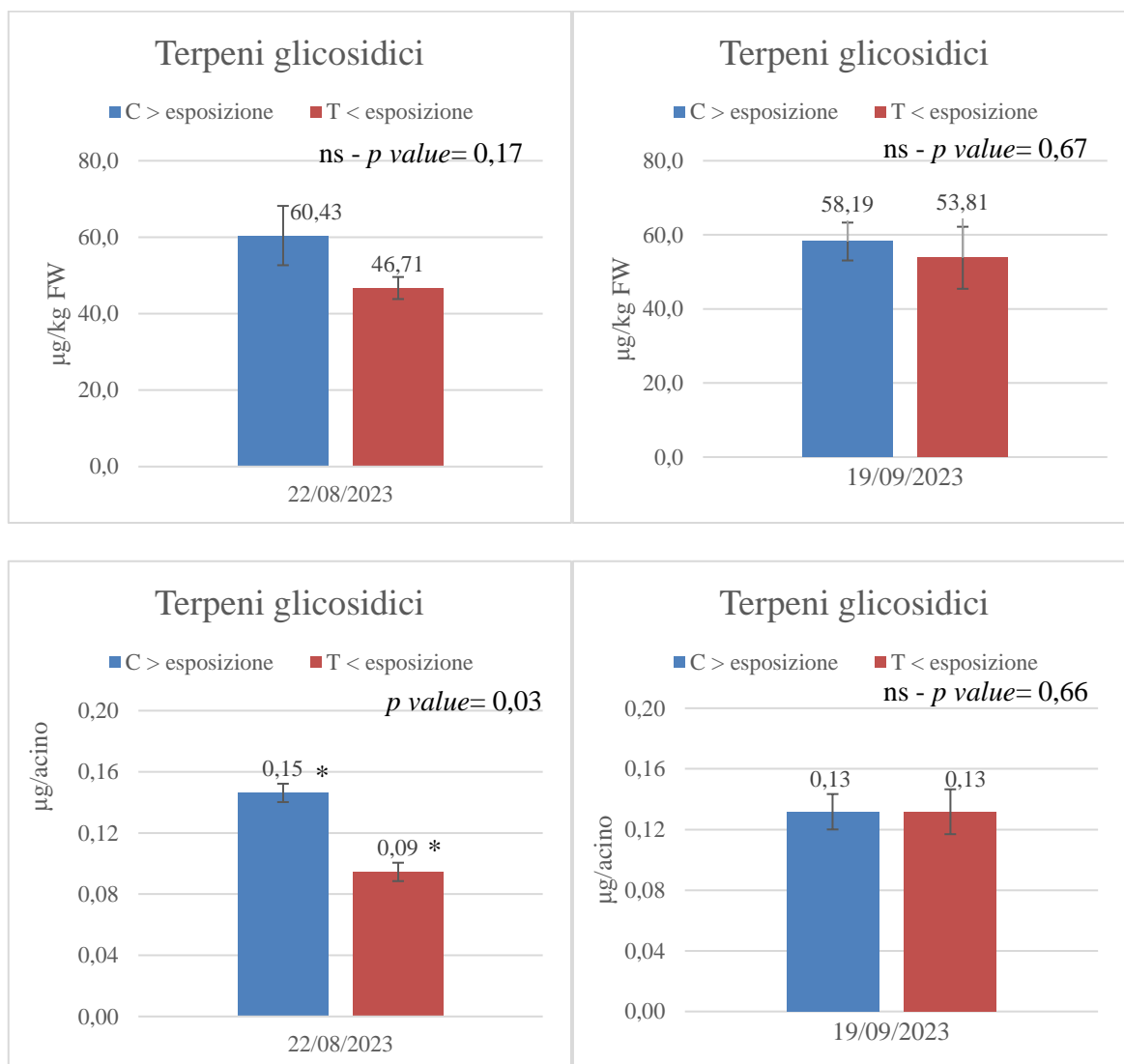


Figura 24: Risultati analisi cromatografiche HPLC delle bucce sui Terpeni glicosidici espressi in $\mu\text{g}/\text{kg FW}$ e in $\mu\text{g}/\text{acino}$. C - Controllo: gruppo di piante che sono state cimate due volte durante la stagione vegeto-produttiva e con esposizione solare maggiore; T - Trattato: gruppo di piante che non sono state cimate durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare minore. La differenza statistica delle medie è stata valutata con il Test T ($p \text{ value}=0,05$). L'errore standard relativo alla media è indicato dalla barra verticale. Livello significatività: Non significativo (ns) - $p \text{ value}>0,05$; Significativo (*) - $p \text{ value}<0,05$; Molto significativo (**) - $p \text{ value}<0,01$.

I terpeni vengono prodotti dalle piante in risposta a stress biotici. Fungono da deterrenti per numerosi insetti e mammiferi fitofagi (Gershenzon & Croteau, 1992). Questa classe di composti deriva dalla condensazione di più unità di isoprene tra loro. Possono essere formati

mediante due vie metaboliche differenti: la via dell'acido mevalonico, che avviene nel citoplasma cellulare e la via metabolica del metileritrolo fosfato (MEP) che avviene nei cloroplasti e nei plastidi (Lichtenthaler, 1999).

Dai dati raccolti a seguito dell'analisi cromatografica, esprimendo i risultati in $\mu\text{g}/\text{kg}$ *FW* (microgrammi/ chilogrammi di uva) non si rilevano differenze significative (p value = 0,17) nel campionamento del giorno 22 agosto 2023 (Figura 24). Nella stessa data, al contrario, le differenze risultano significative (p value = 0,03) se si esprimono i dati in microgrammi per acino con valori di $(0,15 \pm 0,01 \mu\text{g}/\text{acino})$ nelle uve del T – trattato e $0,09 \pm 0,007 \mu\text{g}/\text{acino}$ per il gruppo del C – controllo: probabilmente tali differenze si possono imputare alla prossimità temporale del momento di campionamento rispetto alla cimatura che potrebbe avere avuto un effetto booster sull'attivazione della biosintesi dei terpeni nel gruppo del controllo.

Nella seconda data di analisi, il contenuto di terpeni è aumentato nelle bacche delle viti che non sono mai state cimate durante la stagione vegeto-produttiva ($53,81 \pm 8,37 \mu\text{g}/\text{kg}$ *FW*) a differenza delle piante controllo ($58,19 \pm 5,11 \mu\text{g}/\text{kg}$ *FW*) che sembrano aver subito un lieve decremento della concentrazione, raggiungendo valori pari a quelli delle piante T, non cimate (p value = 0,67).

Norisoprenoidi

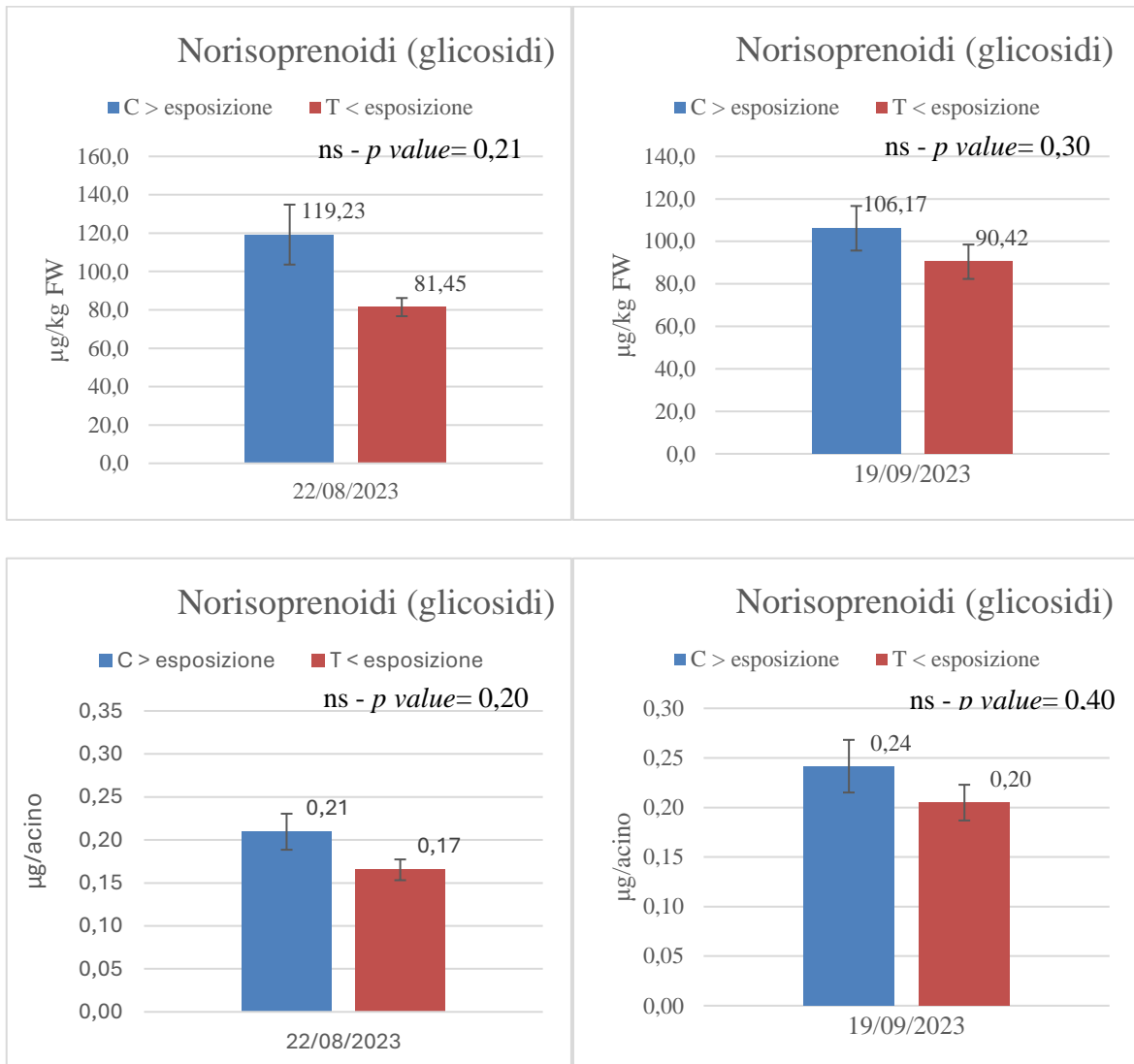


Figura 25: Risultati analisi cromatografiche HPLC delle bucce sui Norisoprenoidi glicosidi espressi in $\mu\text{g/kg FW}$ e in $\mu\text{g/acino}$. C - Controllo: gruppo di piante che sono state cimate due volte durante la stagione vegeto-produttiva e con esposizione solare maggiore; T - Trattato: gruppo di piante che non sono state cimate durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare minore. La differenza statistica delle medie è stata valutata con il Test T ($p\text{ value}=0,05$). L'errore standard relativo alla media è indicato dalla barra verticale. Livello significatività: Non significativo (ns) – $p\text{ value}>0,05$; Significativo (*) – $p\text{ value}<0,05$; Molto significativo (**) – $p\text{ value}<0,01$.

I norisoprenoidi derivano dalla degradazione ossidativa dei carotenoidi. Sono molecole a tredici atomi di carbonio e sono normalmente presenti nelle uve come glicosilati, cioè non liberi, legati ad una molecola di glucosio che li rende non volatili. Rientrano nei

norisoprenoidi le molecole come: il β -damascenone, dal tipico odore di frutta esotica (molto comune in varietà come Riesling renano, Moscato, Chardonnay, Sauvignon ecc. e il β -ionone che ha il caratteristico odore di viola. La concentrazione di norisoprenoidi glicosilati aumenta dall'invasatura alla maturazione (Yuan & Qian, 2015) e sono indirettamente sinonimo dell'esposizione solare, in quanto derivando dai carotenoidi, la cui biosintesi è stimolata dall'irradiazione solare, si riscontrano in più elevate concentrazioni a seguito di maggiori esposizioni alla luce.

Dall'elaborazione dati si osserva che nella data del 22 agosto 2023 (p value = 0,21) (Figura 25) non si ha una differenza significativa sul contenuto di norisoprenoidi glicosilati: Queste molecole, il 19 settembre, data di vendemmia, erano presenti in quantità non significativamente differenti (p value = 0.30) di: $106,17 \pm 10,49$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ *FW* per C - controllo e $90,42 \pm 8,09$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ *FW* per T - trattato.

Aromi glicosidici totali

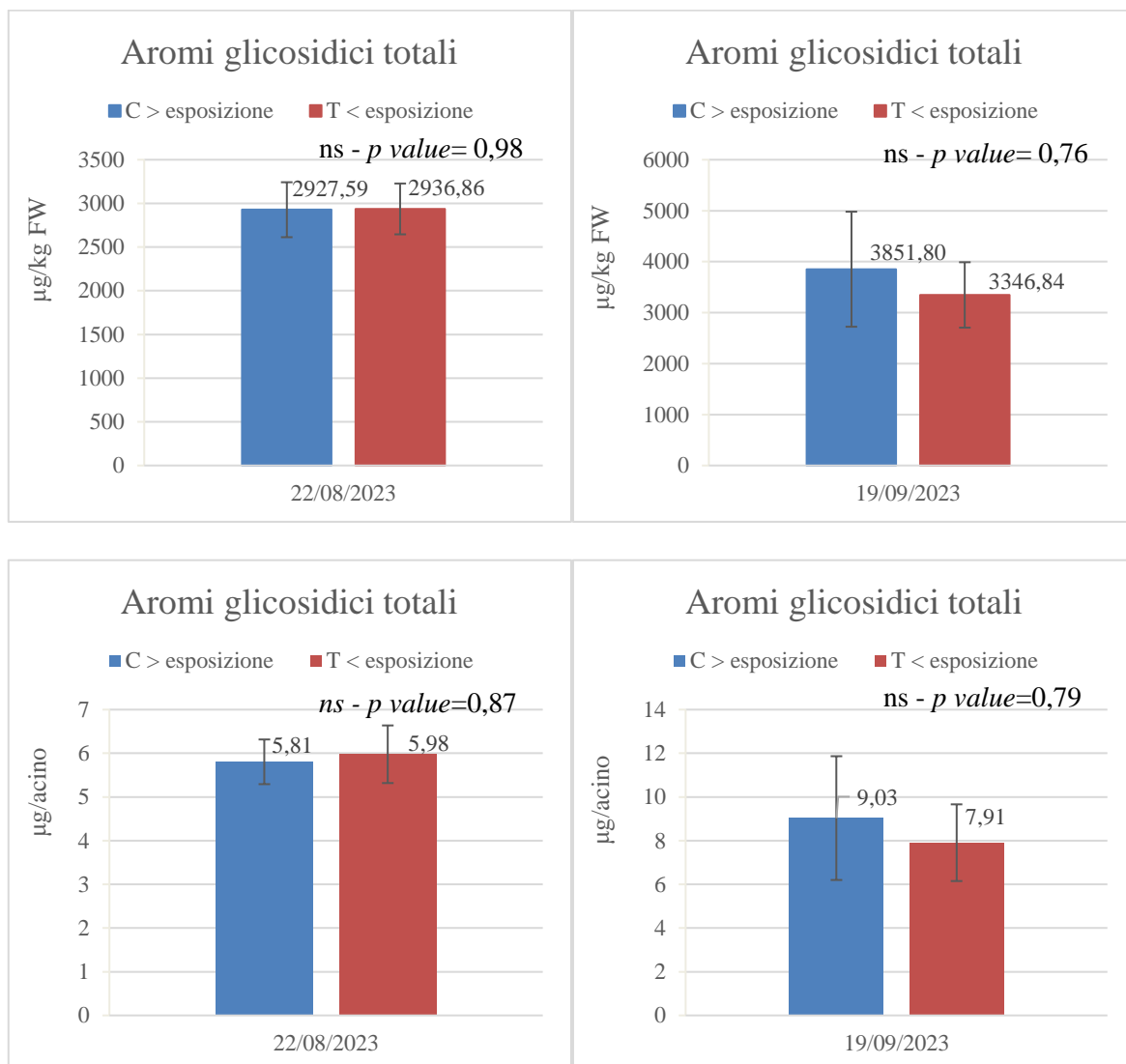


Figura 26: Risultati analisi cromatografiche HPLC delle bucce su Aromi glicosidi totali espressi in $\mu\text{g}/\text{kg}$ FW e in $\mu\text{g}/\text{acino}$. C - Controllo: gruppo di piante che sono state cimate due volte durante la stagione vegeto-produttiva e con esposizione solare maggiore; T - Trattato: gruppo di piante che non sono state cimate durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare minore. La differenza statistica delle medie è stata valutata con il Test T (p value=0,05). L'errore standard relativo alla media è indicato dalla barra verticale. Livello significatività: Non significativo (ns) - p value>0,05; Significativo (*) - p value<0,05; Molto significativo (**) - p value<0,01.

Il contenuto medio degli aromi glicosidici totali nelle bacche non mostra variazioni significative tra i due gruppi esaminati nelle due date (Figura 26). Il giorno 19 settembre, la differenza di concentrazione degli aromi glicosidici totali continua a non essere significativa (p value = 0,76) con valori medi del gruppo del controllo - C pari a $3851,8 \pm 1382,15$ $\mu\text{g}/\text{kg}$

e $3346,84 \pm 785,87$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ per il gruppo del trattamento - T. Tuttavia, durante la stagione il contenuto degli aromi glicosidici tende ad aumentare, riflettendo il naturale processo di maturazione.

Aromi liberi totali

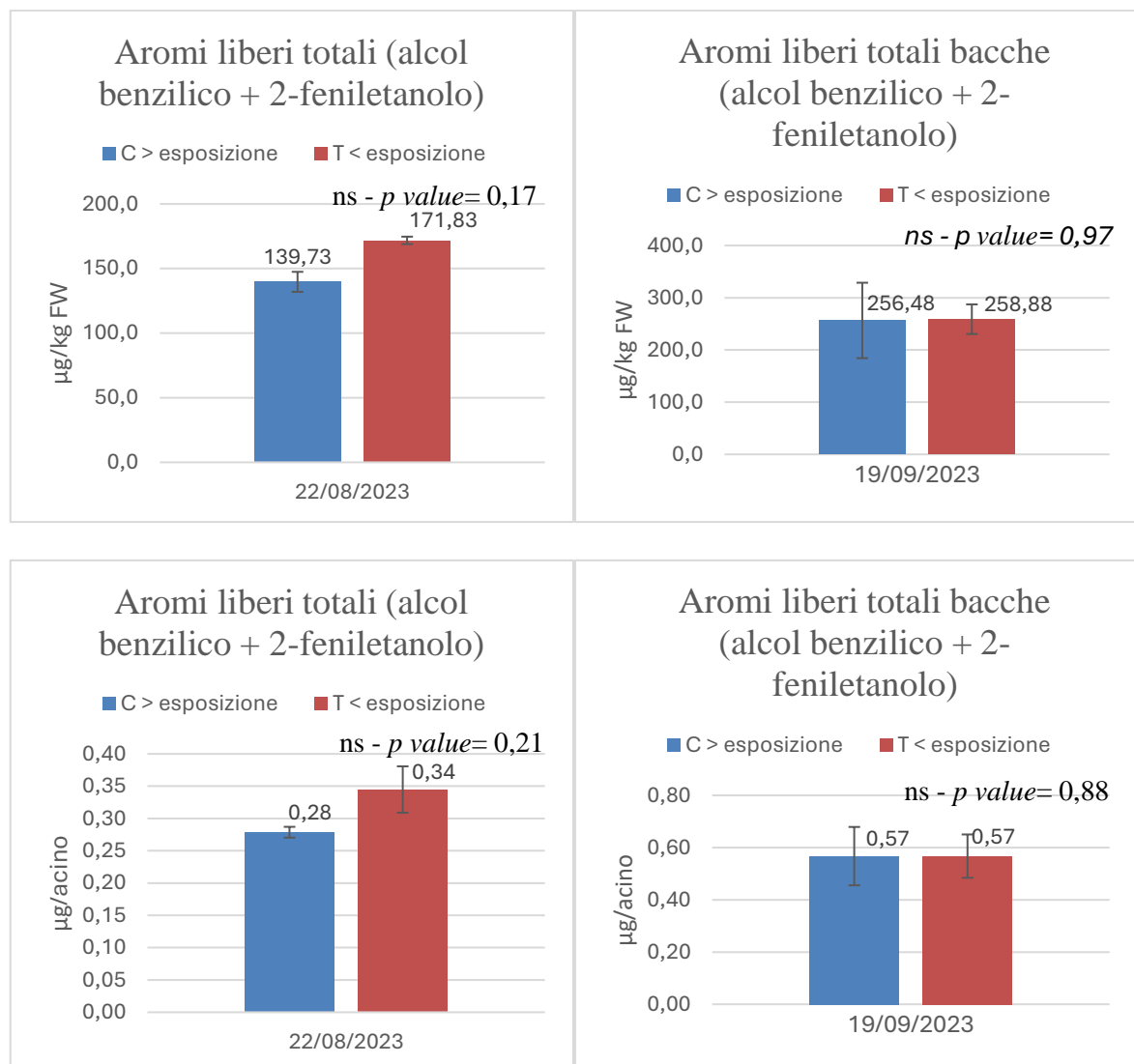


Figura 27: Risultati analisi cromatografiche HPLC delle bucce su Aromi Liberi Totali espressi in $\mu\text{g}/\text{kg}$ FW e in $\mu\text{g}/\text{acino}$. C - Controllo: gruppo di piante che sono state cimate due volte durante la stagione vegeto-produttiva e con esposizione solare maggiore; T - Trattato: gruppo di piante che non sono state cimate durante la stagione vegeto-produttiva, con esposizione solare minore. La differenza statistica delle medie è stata valutata con il Test T (p value=0,05). L'errore standard relativo alla media è indicato dalla barra verticale. Livello significatività: Non significativo (ns) - p value>0,05; Significativo (*) - p value<0,05; Molto significativo (**) - p value<0,01.

Gli aromi liberi totali delle bacche, derivanti dalla somma di alcol benzilico e 2-feniletanolo, offrono un'indicazione della composizione aromatica del frutto. Durante la stagione, la loro concentrazione tende ad aumentare, influenzata dal processo di maturazione e dalle condizioni ambientali. I dati mostrati nella Figura 27, poco dopo la seconda cimatura (22 agosto 2023), non mostrano differenze significative ($p\ value = 0,17$) tra le bacche delle diverse modalità di gestione della chioma. Il 19 settembre i valori medi del trattato – T ($258,88 \pm 28,35\ \mu\text{g}/\text{kg}$) e del controllo – C ($256,48 \pm 72,23\ \mu\text{g}/\text{kg}$) non mostrano differenze significative ($p\ value = 0,97$), suggerendo che le differenze nella superficie fogliare e nell'esposizione solare non sono state sufficienti, nell'annata 2023, ad influenzare la concentrazione di questa classe di composti volatili.

Conclusione

L'analisi dei dati ottenuti dalla sperimentazione condotta nel 2023 sul vitigno Erbaluce coltivato a Piverone ha evidenziato che l'assenza di cimatura degli apici vegetativi rappresenta un'alternativa efficace alla gestione tradizionale della parete vegetativa, la quale prevede normalmente due interventi di cimatura durante il ciclo vegeto-produttivo.

L'assenza di cimatura influisce positivamente sull'efficienza d'uso dell'acqua (*Water Use Efficiency*), rendendo le piante leggermente più efficienti dal punto di vista fotosintetico. A parità di acqua traspirata, le piante non ciminate assimilano una quantità maggiore di anidride carbonica rispetto a quelle sottoposte a cimatura. Inoltre, le piante del gruppo sperimentale (T, non cimato) hanno mostrato valori significativamente inferiori di conduttanza stomatica, di assimilazione netta d'anidride carbonica e del tasso di traspirazione rispetto al gruppo di controllo.

Per la tesi a ridotta gestione del verde (T), avere il doppio (circa) di foglie a disposizione viene bilanciata da una loro minore attività assimilativa fotosintetica, probabilmente indotta da alterazioni metaboliche causate dalle basse richieste di *sink*. È un processo di compensazione tra la superficie fotosintetizzante e la sua capacità di assimilazione in funzione delle richieste di fotosintati dai *sink* acini in maturazione.

Questo porta a livelli di zuccheri traslocati verso la bacca in vendemmia molto simili tra il trattamento di ridotta gestione T e il controllo - C, normalmente gestito.

Tuttavia, avere tante foglie porta a precocità di accumulo zuccherino dei frutti e a maggior potenzialità per le vie metaboliche secondarie, che hanno avuto substrato carbonioso elevato già nelle prime fasi post-invaiatura.

Nel primo periodo della maturazione, il trattamento ha influenzato la composizione metabolica delle uve: parametri come il grado zuccherino e il peso dell'acino, risultano inizialmente superiori nelle piante non cimare, suggerendo un'accelerazione del processo di maturazione; la tendenza opposta si riscontra per l'acidità totale dove le piante cimare hanno inizialmente valori medi superiori rispetto alle piante sottoposte al trattamento.

Per quanto riguarda i metaboliti secondari delle foglie e delle bacche, non si riscontrano differenze significative tra i due gruppi, ad eccezione dei campionamenti effettuati a ridosso della prima cimatura in cui il contenuto di terpeni risulta maggiore nelle piante cimare. Tuttavia, questa tendenza si attenua a partire dall'inizio di settembre, portando a una convergenza i valori tra i due gruppi, presumibilmente a causa del protrarsi della stagione vegeto-produttiva e della conseguente lunga distanza temporale tra l'ultima cimatura ed il momento dell'analisi nel gruppo di controllo.

Occorre ricordare che le piante C presentavano maggior esposizione dei grappoli al sole, e, al contrario le piante T maggiori possibilità di ombreggiamenti reciproci tra le foglie e ai grappoli.

Questo ha probabilmente portato a una risposta foto protettiva a carico del sistema foto ossidativo in bacche e foglie delle piante C fin dalle prime fasi di maturazione, risposta che si è concretizzata tramite l'accumulo dei polifenoli. In vendemmia, gli accumuli si sono equivalsi a quelli degli organi delle piante T. Per contro, le bacche meno esposte (T), necessitando in misura minor di molecole specifiche di fotoprotezione della clorofilla (i carotenoidi), presentavano accumuli inferiori di norisoprenoidi (e terpeni) in epoca anticipata, ma concentrazioni equivalenti alla vendemmia.

Possiamo chiederci: tra le probabili risposte fotoprotettive che sono nate in C e le risposte da sbilancio 'sorgente fotosintetica'/'sink acino in maturazione' causate da T, quale

trattamento è stato più inducente la biosintesi di sistemi protettivi metabolici secondari antiossidativi, ricercati come punto di qualità nelle uve (Ferrandino & Lovisolo, 2014). La risposta alla radiazione ha avuto ripercussioni evidenti già nelle prime date dei campionamenti in maturazione. L'alterazione metabolica che misuriamo in T a livello fogliare fotosintetico attraverso l'analisi ecofisiologica ha innescato certamente risposte che possono rivelarsi preziose a livello di metabolismo secondario di difesa, e quindi di fattori di qualità dell'acino.

Inoltre, non vi è stata riduzione della fertilità gemmaria in T nell'annata successiva (pericolo che poteva paventarsi) e quindi in annate con condizioni climatiche simili a quelle del 2023 (caratterizzate da temperature massime elevate, buone escursioni termiche giornaliere e precipitazioni abbondanti ma non eccessive), la non cimatura può rappresentare una strategia agronomica efficace. Questa tecnica, oltre a ottimizzare l'uso dell'acqua e migliorare l'efficienza fotosintetica, non altera significativamente le caratteristiche analitiche delle uve. La riduzione del numero di passaggi in vigneto, con le macchine operatrici o con operatori specializzati, infine, contribuisce ad un importante risparmio economico e ad una riduzione dell'impatto ambientale.

Bibliografia

- Bernacchi C., Diaz-Espejo A., J. Flexas J. (2012). Gas-exchange analysis: basics and problems. *Terrestrial Photosynthesis in a Changing Environment: A Molecular, Physiological and Ecological Approach*, 115-130.
- Busch F.A., Ainsworth E. A., Anna Amtmann A., Cavanagh P. A., Driever S. M., Ferguson J. N., Kromdijk J., Lawson T., Leakey A. D. B., Jack S. A. Matthews J. S. A., Katherine Meacham-Hensold K., Vath R. L., Vialet-Chabrand S., Walker B. J., Papanatsiou M. (2024). A guide to photosynthetic gas exchange measurements: Fundamental principles, best practice and potential pitfalls. *Plant Cell Environ.*, 47, 9, 1–21.
- Downey O.M., Harvey J.S., Robinson S.P. (2004). The effect of bunch shading on berry development and flavonoid accumulation in Shiraz grapes. *ASVO*, 10, 55–73.
- Farquhar G.D. & von Caemmerer S. (1981). Electron transport limitations on the CO₂ assimilation rate of leaves: a model and some observations in *Phaseolus vulgaris* L. In: Akoyunoglou G. (1980). *Photosynthesis: Proceedings of the Fifth International Congress on Photosynthesis*. Philadelphia, USA: Balaban International Science Services, 3, 163–175.
- Ferrandino A. & Lovisolo C. (2014). Abiotic stress effects on grapevine: Focus on ABA-mediated consequences on berry secondary metabolism. *Env Exp Bot*, 103, 138-147.
- Gershenson J. & Croteau R. (1992). Terpenoids. In *Herbivores: Their Interaction with Secondary Plant Metabolites, The Chemical Participants*, 1, 2, 165-219.

- Gianotti F., Forno M. G., Ivy-Ochs S., Monegato G., Pini R., Ravazzi C. (2014). Stratigraphy of the Ivrea morainic amphitheatre (NW ITALY): An updated synthesis, *Alpine and Mediterranean Quaternary*, 28, 1, 29-58.
- Inderjit D.K.M.M. & Einhellig F.A. (1995) *Allelopathy: Organisms, Processes and Applications*. ACS Symposium series American Chemical Society, Washington DC.
- Kedrina-Okutan O., Novello V., Hoffmann T., Hadersdorfer J., Occhipinti A., Schwab W., Ferrandino A. (2018). *J. Agric. Food Chem.*, 66, 10977–10990.
- Lichtenthaler H. K. (1999). The 1-deoxy-D-xylulose-5-phosphate pathway of isoprenoid biosynthesis in plants. *Annu. Rev. Plant. Physiol. Plant. Mol. Biol.*, 50, 47-65.
- LI-COR. (2022). Using the LI-6800 portable photosynthesis system, Bluestem OS v2.1. Lincoln, NE, USA: LI-COR Biosciences. <https://www.licor.com/env/support/LI-6800/manuals.html>
- Logemann E., Parniske M., Hahlbrock K. (1995). Modes of expression and common structural features of the complete phenylalanine ammonia-lyase gene family in parsley. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 92, 5905-5909.
- Long S. P. (2003). Gas exchange measurements, what can they tell us about the underlying limitations to photosynthesis? Procedures and sources of error. *Journal of Experimental Botany*, 54, 2393–2401.
- Novello V., De Palma L., Bica D. (1996). Rootstock effect on vegetative-productive indices in grapevine cv. Erbaluce trained to pergola system. *ISHS Acta Horti*, 427, 233-240.
- Palliotti A., Poni S., Silvestroni O. (2018). *Fisiologia della vite. Manuale di Viticoltura*. Edagricole, 93-115.

von Caemmerer S. (2013). Steady-state models of photosynthesis. *Plant, Cell & Environment*, 36, 1617–1630.

Wilson W. J. (1963). Estimation of foliage denseness and foliage angle by inclined point quadrats. *Aust. J. Bot.*, 11, 95-105.

Yuan F. & Qian M. (2015). Development of C13-norisoprenoids, carotenoids and other volatile compounds in *Vitis vinifera* L. Cv. Pinot noir grapes. *J. Foodchem*, 192, 633-41.

Sitografia

<https://geoportale.igr.piemonte.it/cms/>

<https://www.regione.piemonte.it/web/>

<http://catalogoviti.politicheagricole.it/result.php?codice=078>

<https://hh.guidocioni.it/pointwx/dailyclimate>

<https://www.licor.com/env/support/LI-6800/manuals.html>