



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-alimentari-DISTAL

Corso di laurea triennale in

Viticoltura ed Enologia

Relazione finale in

Viticoltura generale e vivaismo

TITOLO

Effetti della defogliazione pre-fioritura sulla varietà Montepulciano

RELATRICE

Prof.ssa Ilaria Filippetti

CANDIDATO

Cori Davide

Sessione 3

Anno Accademico 2024/2025

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
1.1 <i>Equilibrio vegeto-produttivo e gestione della chioma</i>	3
1.2 <i>Crescita e maturazione dell'acino</i>	7
1.3 <i>Principali composti biochimici dell'uva</i>	10
2. OBIETTIVO DELLA TESI	19
3. MATERIALI E METODI	20
3.1 <i>Il suolo</i>	20
3.2 <i>Il clima</i>	23
3.3 <i>Il vitigno Montepulciano</i>	24
3.4 <i>Caratteristiche del vigneto in prova</i>	26
3.5 <i>Scelta delle piante e protocollo di defogliazione precoce</i>	27
4. RISULTATI E DISCUSSIONE	32
4.1 <i>Risultati produttivi</i>	32
4.2 <i>Grado di compattezza del grappolo</i>	35
4.3 <i>Curve di maturazione e dati qualitativi alla vendemmia</i>	37
5. CONCLUSIONI	40
Bibliografia	42

1. INTRODUZIONE

1.1 Equilibrio vegeto-produttivo e gestione della chioma

Il raggiungimento di un buon «equilibrio vegeto-produttivo» rappresenta la meta di tutti i viticoltori e corrisponde allo status in cui il vigneto è in grado di produrre in maniera costante ed al minimo costo, la massima quantità di uva compatibile con le caratteristiche compositive richieste dall'obiettivo enologico prefissato.

Gli interventi in verde rappresentano un insieme di pratiche colturali fondamentali per la gestione dello sviluppo vegeto riproduttivo; e comprendono operazioni come la cimatura dei germogli, la defogliazione – generalmente effettuata sul tratto basale del germoglio – il diradamento dei grappoli, il posizionamento o la legatura dei tralci, oltre alla scacchiatura e alla spollonatura.

Indipendentemente dal momento in cui vengono realizzate e dall'intensità dell'intervento, queste pratiche possono incidere in maniera significativa sia sulla quantità che sulla qualità della produzione. La loro azione, infatti, si riflette direttamente sul delicato equilibrio tra superficie fogliare e carico produttivo della pianta, un rapporto che regola i flussi di energia e assimilati e che, proprio per la sua natura dinamica, viene costantemente modificato da tali operazioni.

La defogliazione è un intervento di potatura verde a cui i viticoltori ricorrono da sempre per equilibrare la chioma e migliorare le condizioni produttive e sanitarie. Negli ultimi vent'anni, gli studi sulla fisiologia della vite hanno approfondito le potenzialità di questa pratica, evidenziando come le sue finalità possano variare in funzione del periodo di applicazione, dell'intensità dell'intervento e della porzione di chioma interessata. Va precisato che la defogliazione non rappresenta un intervento imprescindibile per il raggiungimento di elevati livelli qualitativi: risulta infatti superflua, e talvolta controproducente, quando le piante possiedono già un equilibrio vegeto-produttivo ottimale. Piuttosto, essa va considerata come uno strumento estremamente versatile nelle mani del viticoltore,

in grado di correggere situazioni di disequilibrio – ad esempio un'eccessiva vigoria vegetativa o climi difficoltosi– e di guidare la pianta verso gli obiettivi produttivi prefissati (Poni et al., 2006)

La tecnica della defogliazione, nella sua modalità più comunemente applicata, consiste nel rimuovere, in un periodo compreso dall'allegagione all'invasatura, una quota o tutte le foglie (femminelle incluse) inserite nei nodi basali del germoglio, allo scopo di arieggiare la fascia produttiva, migliorarne l'insolazione e consentire una maggiore efficacia dei trattamenti anti-fungini. Inoltre, questa pratica può consentire di migliorare la qualità delle bacche (ad esempio, pigmentazione, composti aromatici e metaboliti primari e secondari), mentre riduce le condizioni favorevoli alle malattie complesse del marciume del grappolo. Anche se la rimozione delle foglie è più spesso applicata a viti vigorose o in climi freddi dove le condizioni ambientali e il microclima del grappolo sono spesso inadeguati per garantire un'adeguata maturazione delle bacche, questa pratica agronomica è ampiamente utilizzata, anche nei climi più caldi e su piante non eccessivamente vigorose per migliorarne le prestazioni. Tuttavia, la defogliazione deve essere eseguita con cura per prevenire il rischio di surriscaldamento e scottatura delle bacche.

L'effetto della defogliazione dipende dal numero di foglie rimosse, dall'epoca di intervento, dalla varietà dell'uva e dal clima.

A seconda dello stadio fenologico, la defogliazione può essere eseguita precocemente (in pre-fioritura), o tardivamente (intorno all'invasatura o post-invasatura).

Poiché all'invasatura l'attività fotosintetica delle foglie basali è inferiore rispetto a quella delle foglie intermedie e apicali, la defogliazione in questa fase ha un forte effetto sull'esposizione dei grappoli alla luce e sulla temperatura, ma un impatto limitato sull'equilibrio vegeto-produttivo. Al contrario, la rimozione delle foglie basali prima della fioritura influisce significativamente sull'equilibrio vegeto-produttivo, riducendo la resa a causa della diminuzione del numero di acini e, conseguentemente, del peso finale dei grappoli, e migliorando al contempo la qualità delle bacche in molte cultivar e condizioni viticole (Pastore et al., 2013).

Tali effetti sono dovuti al fatto che, durante la prefioritura, le foglie basali dei germogli costituiscono la principale fonte di carboidrati a supporto del processo di fioritura e allegagione, ossia la fase che segue la fecondazione degli ovuli e che rappresenta il primissimo stadio di formazione degli acini.

Di conseguenza, l'asportazione di tali foglie riduce la percentuale di allegagione, che rappresenta il numero di acini rispetto al numero di fiori e, di riflesso, la resa in uva (Cataldo et al., 2021).

È stato osservato che la riduzione della percentuale di allegagione, con conseguente formazione di un minor numero di acini, generalmente più piccoli, porta alla formazione di grappoli più spargoli, che, inoltre, presentano una maggiore concentrazione zuccherina, legata sia alla ridotta dimensione delle bacche sia all'effetto diretto della luce che può determinare un aumento termico e quindi una accelerazione dell'accumulo zuccherino (Paliotti et al., 2018). L'esposizione solare, inoltre, può stimolare l'accumulo di metaboliti secondari, come gli antociani nelle uve a bacca colorata e favorisce la formazione di uno strato più spesso di cere cuticolari, che contribuiscono ad aumentare la resistenza dei grappoli al marciume, anche grazie alla maggiore insolazione e ventilazione della zona del grappolo (Cataldo et al., 2021).

I risultati riportati nell'articolo "Defogliare la vite in pre-fioritura migliora l'uva e il vino" confermano e approfondiscono quanto già esposto. Nel loro studio triennale, la defogliazione manuale ha mostrato effetti abbastanza stabili nel tempo. È stato osservato un processo di compensazione nello sviluppo delle foglie rimaste: l'area fogliare totale a fine ciclo vegetativo non risultava proporzionalmente ridotta rispetto all'asportazione, probabilmente grazie a un incremento della produzione di femminelle, a un aumento dimensionale delle foglie residue e a una maggiore crescita dei germogli. La defogliazione precoce ha determinato un calo significativo del peso medio del grappolo (43–40% in meno rispetto al controllo), dovuto principalmente alla riduzione del numero di acini e non al peso medio di ciascun acino. Parallelamente, si è registrato un incremento costante della qualità tecnologica e fenolica delle uve defogliate, con aumenti significativi del contenuto di

antociani totali per acino, attribuibili sia alla riduzione produttiva sia al miglioramento del microclima della zona del grappolo.

Le analisi sensoriali dei vini confermano che le uve defogliate in pre-fioritura producono vini con caratteristiche chimiche e organolettiche superiori, con profili olfattivi e gustativi più equilibrati. (Intrieri et al., 2006).

In conclusione, questi risultati evidenziano come la defogliazione, rappresenti una strategia efficace per il controllo della produzione e per il miglioramento qualitativo delle uve, con implicazioni dirette sulla gestione del vigneto e sulla qualità finale del vino.

1.2 Crescita e maturazione dell'acino

Lo sviluppo dell'acino d'uva è un processo biologico altamente complesso che si articola attraverso tre meccanismi successivi: l'impollinazione, la fecondazione e, infine, lo sviluppo dei semi.

All'interno del fiore, la fecondazione è l'unione tra la cellula gamica femminile e il nucleo riproduttivo del polline, dando origine allo zigote – il nuovo individuo diploide. Questo si svilupperà per formare l'embrione e, in conclusione, il seme maturo o vinacciolo. Affinché l'evento sia considerato completato, è necessario che almeno un granulo pollinico fecondi uno degli ovuli. Il successo di questa fase si misura con la percentuale di allegagione, che rappresenta il rapporto tra gli acini che si sviluppano effettivamente e il numero iniziale di fiori.

Una volta avvenuta la fecondazione e la successiva fase di allegagione, la crescita della bacca procede attraverso un modello a tre fasi:

- Fase I:

Questa prima fase, nota come fase "verde" o "erbacea", è caratterizzata da una intensa crescita volumetrica dell'acino, guidata dalla divisione e distensione cellulare dei tessuti del pericarpo e dalla crescita dei semi.

È un momento cruciale per lo sviluppo interno: si completa la formazione dell'embrione e dell'endosperma. I semi in formazione fungono da veri e propri centri di comando ormonale, producendo notevoli quantità di auxine, citochinine e gibberelline. Una volta rilasciati nel pericarpo, questi ormoni raggiungono le massime concentrazioni, le auxine stimolano l'allungamento dei tessuti, mentre le gibberelline inducendo la produzione e differenziazione delle strutture vascolari che riforniranno il frutto.

Questa fase dura generalmente dalle 6 alle 9 settimane, terminando quando le cellule dell'esocarpo hanno completato la loro proliferazione. Al suo termine, l'acino ha raggiunto circa il 50-60% del peso fresco finale.

- Fase II: Stasi

La Fase II è denominata fase di "stasi" a causa della crescita ponderale minima o nulla dell'acino in questo periodo. Si tratta, tuttavia, di un momento di intensa attività interna.

La stasi coincide con il completamento della struttura del seme, che raggiunge in questa fase il suo peso fresco finale e il massimo contenuto di tannini. Le pareti cellulari del tegumento seminale esterno si ispessiscono e lignificano, formando una robusta cuticola.

- Fase III

L'ultima fase dello sviluppo inizia attorno al periodo dell'invasatura, che segna l'avvio della piena maturazione. Il fenomeno più evidente è il progressivo ammolimento e intenerimento dell'acino, che deriva dallo smantellamento della struttura della parete cellulare del mesocarpo.

Questa perdita di consistenza è operata da specifiche classi enzimatiche: le cellulasi (che agiscono sulla cellulosa), le pectinasi (sulle materie pectiche) e le fosfolipasi (sui fosfolipidi delle membrane cellulari). Il risultato è un aumento dell'elasticità del tessuto e una maggiore permeabilità all'ossigeno, la quale favorisce le reazioni ossidative che definiranno le proprietà sensoriali e chimiche finali dell'uva.

Contemporaneamente, si assiste a un repentino aumento della concentrazione di zuccheri semplici, seguito, con un leggero ritardo (5-6 giorni), dalla comparsa dei pigmenti coloranti e dalla ripresa della crescita volumetrica. La distensione cellulare durante questa fase è favorita dall'incremento di acqua nei tessuti della bacca. L'acqua viene richiamata nell'acino in seguito alla riduzione del potenziale idrico delle cellule, dovuta all'accumulo di zuccheri nell'acino stesso.

Un cambiamento fondamentale nella Fase III riguarda il rifornimento idrico dell'acino. In pre-invaiatura, oltre il 90% del fabbisogno idrico era assicurato dallo xilema; dopo l'invaiatura, questa percentuale si inverte drasticamente, con il floema che diventa il canale dominante per l'acqua (e gli zuccheri). Si ritiene che, superata l'invaiatura, la funzione idraulica principale dello xilema sia quella di consentire un deflusso (o *backflow*) di eventuale acqua in eccesso verso la pianta. Il volume dell'acino riprende ad aumentare per poi rallentare; un'eventuale successiva diminuzione nelle fasi finali è spesso dovuta a disidratazione abiotica (calore eccessivo) o biotico (marciumi), (Palliotti et al., 2018)

A livello ormonale, un picco di auxine che si verifica nella prima fase di crescita, è seguito da un'impennata di acido abscissico (ABA) nel corso della terza fase, evento che, associato ad un temporaneo aumento di etilene e brassinosteroidi, in corrispondenza dell'invaiatura, prepara la bacca ai profondi cambiamenti successivi. L'ABA, in particolare, sembra svolgere un ruolo chiave nell'impedire la ridistribuzione degli zuccheri accumulati ad altri organi della pianta. Questa fase è variabile (da 1 a 6 settimane) e si verifica anche nelle cultivar prive di semi.

1.3 Principali composti biochimici dell'uva

ZUCCHERI:

L'accumulo degli zuccheri rappresenta uno dei processi più importanti durante la maturazione delle bacche d'uva, poiché determina il grado alcolico potenziale del vino e influenza la formazione di numerosi composti secondari – come fenoli, aromi e antociani – che contribuiscono alla qualità complessiva della bacca e del mosto.

Gli zuccheri presenti nell'uva appartengono a diverse categorie. I principali, e quantitativamente più abbondanti al momento della raccolta, sono glucosio e fruttosio, entrambi facilmente fermentescibili dai lieviti. Il saccarosio, invece, rappresenta la principale forma di trasporto degli zuccheri all'interno della pianta: è una molecola più complessa e meno reattiva, poiché i suoi gruppi aldeidici e chetonici non sono liberi. In quantità minori sono presenti anche arabinosio, ramnosio, xilosio e zuccheri complessi come pentosani, gomme, cellulose ed emicellulose.

Durante la maturazione, il rapporto tra glucosio e fruttosio varia in modo significativo. Nella fase dell'invasatura prevale leggermente il glucosio, mentre alla piena maturazione i due zuccheri si trovano in concentrazioni pressoché uguali. Successivamente, si osserva una leggera prevalenza del fruttosio (rapporto glucosio/fruttosio $\approx 0,95$), poiché il glucosio viene consumato in misura maggiore dalla respirazione cellulare, soprattutto a temperature inferiori ai 20 °C.

La provenienza degli zuccheri accumulati nella bacca dipende dallo stadio di sviluppo dell'acino.

- Nelle bacche verdi, gli zuccheri vengono in parte prodotti direttamente grazie all'attività fotosintetica dell'acino stesso e servono principalmente per sostenere la crescita e lo sviluppo dei tessuti.
- A partire dall'invasatura e nelle fasi successive, la fotosintesi delle bacche si riduce, e gli zuccheri provengono soprattutto dalle foglie, dove vengono sintetizzati e poi trasportati ai frutti e agli altri organi della pianta. In questa fase, la vite può anche mobilitare le riserve

zuccherine accumulate negli organi perenni – come fusto, branche e cordoni permanenti – per alimentare la maturazione dei grappoli.

Con l'inizio della fase di intenerimento della bacca, gli zuccheri vengono trasportati nell'acino attraverso il floema sotto forma di saccarosio, che viene rapidamente idrolizzato dall'enzima invertasi in glucosio e fruttosio. Questi due zuccheri continuano ad accumularsi progressivamente fino alla piena maturazione, determinando l'aumento del contenuto zuccherino espresso comunemente in gradi Brix o gradi Babo.

La concentrazione finale degli zuccheri nell'uva dipende da diversi fattori: oltre al tempo di permanenza dei grappoli sulla vite, incidono anche l'andamento climatico, l'efficienza fotosintetica, lo stato sanitario della chioma, il livello produttivo della pianta e l'eventuale disidratazione degli acini dovuta a condizioni ambientali o a particolari tecniche colturali. Tutti questi elementi concorrono a determinare la qualità e la composizione zuccherina finale dell'uva, influenzando direttamente le caratteristiche del vino che se ne otterrà.

ACIDI:

L'acidità dell'uva è dovuta principalmente alla presenza di tre acidi organici: acido tartarico, acido malico e acido citrico, che insieme rappresentano circa il 90% dell'acidità totale delle bacche.

In quantità minori sono presenti anche altri acidi come il succinico, il maleico, l'isocitrico, il fumarico, il gluconico e il glucuronico.

Il livello massimo di acidità si riscontra nelle bacche verdi, prima dell'invasatura, mentre durante la maturazione l'acidità totale diminuisce progressivamente, in misura variabile a seconda del vitigno, del clima, dell'altezza del grappolo da terra e dell'esposizione solare. Nel mosto maturo, le concentrazioni medie dei principali acidi organici sono di circa 7-10 g/L per l'acido tartarico, 3-7 g/L per l'acido malico e 0,2-1,5 g/L per l'acido citrico.

L'acido malico è un composto molto reattivo e sensibile ai fattori ambientali ed è considerato l'acido più instabile dell'uva. Viene sintetizzato principalmente nelle foglie adulte ricche di cloroplasti attraverso due vie:

- fissazione della CO_2 nella fotosintesi, che viene organizzata nelle foglie a acido 3 fosfoglicerico e quindi trasformata in acido 3 fosfenol piruvico il quale, mediante un'altra molecola di CO_2 , forma l'acido ossalacetico che, nell'ambito del ciclo di Krebs, può essere ridotto ad acido malico
- degradazione degli zuccheri,

Studi recenti hanno dimostrato che la fissazione della CO_2 è la via predominante.

Le bacche, soprattutto in prossimità della maturazione, non sono sedi attive di sintesi dell'acido malico. Durante la maturazione, una parte dell'acido malico viene consumata nella respirazione cellulare, dove è completamente ossidata a CO_2 attraverso il ciclo di Krebs.

La diminuzione del malato negli acini è dovuta alla respirazione dell'acido malico accumulato nei vacuoli, alla formazione di malato di potassio e altri sali minerali, alla gluconeogenesi, cioè la conversione dell'acido in zuccheri, e alla diluizione dovuta all'aumento del contenuto idrico della bacca. Tale riduzione è più rapida in climi caldi o in bacche fortemente esposte alla luce solare, e avviene soprattutto subito dopo l'invasatura, quando le temperature diurne superano i 30 °C.

L'acido tartarico, invece, è molto più stabile e rappresenta un composto caratteristico della vite. È sintetizzato negli organi giovani, in particolare nelle foglie e nelle bacche, a partire dal glucosio che subisce una serie di trasformazioni con formazione dell'acido 5-chetagluconico e successiva ossidazione a acido tartarico.

A differenza dell'acido malico, il tartarico non viene metabolizzato in modo significativo e la sua diminuzione è dovuta principalmente alla diluizione causata dall'aumento del volume dell'acino. È

poco influenzato dai fattori ambientali e il suo picco di concentrazione si registra all'inizio della fase verde, mentre quello del malico si raggiunge poco prima dell'invasatura.

Dal punto di vista della distribuzione, l'acido tartarico si trova soprattutto nella buccia, mentre l'acido malico è più abbondante nella polpa.

L'acido citrico è presente in quantità ridotte nelle bacche mature, ma svolge un ruolo importante a livello radicale, dove partecipa al processo di assorbimento del ferro.

Si forma per fissazione della CO_2 sul fosfoenolpiruvato, con successiva trasformazione in acido malico e ossidazione ad acido citrico nel ciclo di Krebs, oppure per ossidazione dei glucidi traslocati dalle foglie alle radici, da cui può essere nuovamente trasportato agli organi aerei e impiegato come precursore dell'acido malico.

Nel corso della maturazione, il calo complessivo dell'acidità delle bacche è dovuto quasi esclusivamente alla degradazione dell'acido malico, che inizia già a temperature intorno ai 30 °C, mentre l'acido tartarico subisce una riduzione solo oltre i 35-37 °C.

SOSTANZE FENOLICHE:

I polifenoli sono un gruppo di composti fondamentali in enologia, poiché determinano gran parte delle caratteristiche sensoriali e qualitative del vino, come il colore, il gusto e la struttura.

Durante la vinificazione vengono estratti dalle varie parti dell'uva e subiscono modificazioni strutturali durante l'invecchiamento e l'affinamento, a seconda delle condizioni in cui questi processi avvengono. Nell'uva la loro concentrazione varia da 1 a 5 g/L.

I polifenoli si suddividono in due grandi categorie che differiscono soprattutto per la struttura molecolare: flavonoidi, caratterizzati da 2 anelli benzenici uniti da un eterociclo ossigenato; e non flavonoidi, caratterizzati da una struttura molto più semplice.

Tra i flavonoidi si distinguono antociani, flavonoli, flavanoli (flavan-3-oli e procianidine di tipo A e B) e tannini, mentre tra i non flavonoidi troviamo fenoli volatili, stilbeni e acidi benzoici e loro derivati.

Tra i composti non flavonoidi si trovano gli acidi fenolici, che comprendono acidi benzoici e acidi cinnamici; e gli stilbeni. Gli acidi benzoici presentano un anello benzenico con un gruppo carbossilico legato al carbonio 1, mentre gli acidi cinnamici hanno una catena laterale con gruppo carbossilico e diversi sostituenti sui restanti atomi di carbonio. Nella polpa dell'uva gli acidi fenolici sono i composti fenolici quantitativamente più abbondanti, raggiungendo fino a 430 mg/L, e partecipano alle reazioni di imbrunimento dei mosti e dei vini.

Alcuni di essi, come l'acido p-cumarico e l'acido ferulico, possono dare origine, per azione microbica dei lieviti (*Brettanomyces* e *Saccharomyces*), a fenoli volatili come il 4-etilfenolo e il 4-etilguaiacolo nei vini rossi, e il 4-vinilfenolo e il 4-vinilguaiacolo nei vini bianchi, composti responsabili di sentori indesiderati.

Durante la prima fase di crescita della bacca si accumulano soprattutto gli acidi idrossicinnamici, presenti sia nella buccia sia nella polpa, coinvolti nelle reazioni di imbrunimento e precursori di importanti sostanze fenoliche volatili.

Gli stilbeni sono molecole formate da due anelli benzenici uniti da una catena etanica o etilenica.

Possono essere composti costitutivi o indotti, prodotti dalla pianta in risposta a stress biotici o abiotici. Il più noto è il resveratrolo, presente soprattutto nelle bucce in concentrazioni tra 1 e 10 mg/L, in due forme isomeriche, cis e trans.

Per quanto riguarda i flavonoidi, un gruppo di grande importanza è quello degli antociani, pigmenti responsabili della colorazione rossa delle uve e dei vini rossi. Sono contenute nella buccia fino a circa 3 g/kg.

La sintesi degli antociani è un processo complesso regolato da fattori genetici, ambientali e fisiologici.

Dal punto di vista genetico, la capacità di accumulare antociani dipende dal patrimonio varietale, mentre tra i fattori ambientali la luce solare svolge un ruolo determinante, in quanto stimola i geni responsabili della loro biosintesi. Un'esposizione moderata favorisce una colorazione uniforme, mentre un'eccessiva ombreggiatura ne riduce la produzione. Un'eccessiva esposizione solare può tuttavia ridurre la colorazione, sia per inibizione della sintesi sia per degradazione dei pigmenti già formati. Anche la temperatura influisce: valori tra 20 e 25 °C sono ottimali, mentre temperature superiori ai 35 °C inibiscono o degradano i pigmenti. Uno stress idrico moderato, invece, può stimolare la produzione di antociani come risposta di difesa della pianta.

Dal punto di vista fisiologico, la sintesi degli antociani inizia con l'invasatura, fase in cui gli acini cambiano colore, ed è regolata dall'equilibrio ormonale: l'acido abscissico e l'etilene la favoriscono, mentre auxine e gibberelline la inibiscono.

Anche la gestione agronomica influisce sulla loro produzione: pratiche come defogliazione, potatura verde e diradamento migliorano l'esposizione alla luce e la ventilazione dei grappoli, favorendo un maggiore accumulo di pigmenti.

Un'altra importante classe di flavonoidi è quella dei flavan-3-oli, a cui appartengono i tannini. Questi si distinguono per il grado di polimerizzazione, ossia per il numero di unità monomeriche che li compongono. I tannini oligomeri, come catechina ed epicatechina, sono formati da poche unità (da due a dieci) e sono più reattivi e solubili, influenzando in modo marcato le sensazioni di amarezza e astringenza nei vini giovani. I tannini polimeri, invece, sono costituiti da lunghe catene di unità flavaniche, che possono superare le venti o trenta unità, risultando meno solubili e responsabili di una astringenza più morbida.

I tannini si trovano principalmente nei vinaccioli e nelle bucce: quelli dei semi sono più piccoli e amari, mentre quelli delle bucce sono più polimerizzati e donano una sensazione più vellutata.

La loro sintesi inizia già nelle prime fase di accrescimento dell'acino, registrando il picco nella fase di stasi.

Durante la maturazione la quantità totale di tannini dei vinaccioli diminuisce, a causa di processi di ossidazione e polimerizzazione, che rendono la componente estratta dai vinaccioli meno amara e più rotonda al palato.

La concentrazione dei tannini della buccia, invece, diminuisce soprattutto per diluizione, oltre che in piccola parte per ossidazione e polimerizzazione.

Durante la maturazione dell'uva e l'affinamento del vino, gli oligomeri possono condensarsi in polimeri o combinarsi con antociani, contribuendo alla stabilità del colore e alla struttura del vino.

Inoltre, interagendo con pectine e antociani, influenzano la struttura finale del vino e la stabilità cromatica.

Un'ulteriore classe di flavonoidi è rappresentata dai flavonoli, tra cui quercetina, campferolo e miricetina, spesso presenti in forma glicosilata. La loro sintesi è fortemente influenzata dall'esposizione alla luce solare: maggiore è la radiazione, maggiore è l'accumulo di questi composti.

I flavonoli contribuiscono alla colorazione gialla delle uve e svolgono un'importante funzione protettiva contro i raggi ultravioletti e i radicali liberi, contribuendo alla difesa naturale della pianta e alla complessità aromatica e visiva dei vini.

SOSTANZE AROMATICHE:

Le sostanze aromatiche presenti nell'uva sono fondamentali per la formazione del profumo e del bouquet del vino, contribuendo in modo determinante al suo carattere varietale e alla qualità finale. Questi composti derivano da diverse famiglie chimiche, tra cui terpeni, pirazine, norisoprenoidi,

composti solforati e alcoli e aldeidi C6, ognuna delle quali è influenzata da fattori genetici, agronomici e ambientali.

I terpeni sono molecole organiche formate da unità isopreniche, cioè catene di cinque atomi di carbonio con doppi legami coniugati e una ramificazione metilica. Conferiscono aromi floreali tipici dei vini ottenuti da uve aromatiche, come i Moscati, nei quali passano direttamente dall'uva al vino, mentre in altre varietà, come il Riesling o il Gewürztraminer, sono presenti sotto forma di precursori aromatici. La maggior parte dei terpeni è presente nella buccia (50-90%) e si trova in forma combinata, generalmente glicosidica.

La loro concentrazione aumenta con la maturazione e tende ad essere maggiore in uve coltivate in zone fresche o ad altitudini elevate, dove le escursioni termiche tra giorno e notte favoriscono la formazione di aromi più fini e intensi. Al contrario, temperature elevate e forte esposizione solare ne favoriscono la degradazione. Anche lo sviluppo della *Botrytis cinerea* può ridurre l'intensità aromatica degradando gli alcoli terpenici in composti meno odorosi. I terpeni, presenti in concentrazioni di 50-100 mg/L nel vino, non incidono sul grado alcolico ma sono essenziali per la componente floreale e varietale.

Le pirazine, invece, sono composti eterociclici azotati derivati dal metabolismo degli amminoacidi. Conferiscono note vegetali caratteristiche di vitigni come Cabernet Sauvignon, Cabernet Franc, Merlot, Sauvignon, Chardonnay e Riesling. Quando presenti in eccesso, specialmente in uve poco mature, possono donare sentori sgradevoli di peperone verde, asparago o terra. La loro concentrazione tende a diminuire con l'aumento della temperatura e con una maggiore esposizione dei grappoli al sole, motivo per cui i vini prodotti in climi freschi, come in Nuova Zelanda, presentano spesso una più alta intensità di aromi vegetali.

Le pirazine si sviluppano soprattutto nella fase verde e si riducono progressivamente nel corso della maturazione. Una gestione attenta della chioma può aiutare a controllarne il contenuto, riducendo così eccessive note erbacee.

I norisoprenoidi C13 derivano dalla degradazione ossidativa dei carotenoidi, molecole tetraterpeniche composte da otto unità isopreniche. I carotenoidi, che comprendono caroteni e xantofille, svolgono funzioni antiossidanti e fotoprotettive, e alcuni di essi, come il β -carotene, sono precursori della vitamina A. Durante la maturazione, la loro ossidazione porta alla formazione di norisoprenoidi, responsabili di note aromatiche di miele, frutta secca, albicocca e tabacco.

Nell'uva gli aromi si trovano principalmente in forma glicosilata e vengono liberati per azione delle β -glucosidasi. Sono composti stabili e agiscono come precursori aromatici che si manifestano successivamente nel vino. L'accumulo dei precursori dei norisoprenoidi è favorito da una buona illuminazione del grappolo, che stimola la degradazione controllata dei carotenoidi.

I composti solforati (tioli e mercaptani) contribuiscono a note aromatiche intense e complesse nei vini di varietà come Sauvignon Blanc, Gewürztraminer, Cabernet e Merlot. Possono conferire profumi sia erbacei sia fruttati, che ricordano il bosso, la ginestra o la caratteristica “pipì di gatto”. Tuttavia, sono composti molto sensibili all'ossidazione, in particolare al rame, che può distruggerli. Alcuni tioli aromatici si sviluppano durante la fermentazione alcolica grazie all'azione degli enzimi β -liasi dei lieviti, che liberano i composti aromatici dai loro precursori (come P-4MMP e P-3MH). La gestione del processo fermentativo è quindi cruciale per la loro formazione e conservazione.

Infine, gli alcoli e le aldeidi C6 sono composti a sei atomi di carbonio, saturi o insaturi, che derivano dalla degradazione dei costituenti della parete cellulare degli acini. Conferiscono aromi erbacei o rancidi, generalmente considerati difetti, soprattutto quando le uve vengono danneggiate o “maltrattate” durante la raccolta o la pigiatura meccanica. La presenza dei raspi può favorire l'assorbimento di questi composti, ma comporta anche effetti indesiderati, come un aumento dell'astringenza e variazioni indesiderate dell'acidità del vino. Durante la maturazione dell'uva e nel corso della fermentazione, il tenore di alcoli e aldeidi C6 tende comunque a diminuire, riducendo così il loro impatto negativo sul profilo aromatico finale (Ribèreau-Gayon, et. al., 2003).

2. OBIETTIVO DELLA TESI

Il presente lavoro sperimentale ha avuto come obiettivo lo studio degli effetti della defogliazione precoce applicata sulla varietà a bacca colorata, Montepulciano, sulla componente produttiva e qualitativa delle uve. Sulla base di evidenze sperimentali, infatti, tale tecnica ha permesso di ottenere grappoli meno compatti, meno suscettibili a marciumi e con una migliore composizione biochimica delle uve, caratterizzate da ottimali livelli di maturità tecnologica e fenolica.

Lo scopo principale della tesi è stato pertanto di verificare se alcuni tra gli effetti sopra elencati potessero manifestarsi a seguito di un intervento di defogliazione applicato all'inizio della fioritura, nelle condizioni specifiche del vigneto di Montepulciano oggetto della prova (sito dell'areale di Offida, AP).

3. MATERIALI E METODI

3.1 *Il suolo*

Il concetto di *terroir* è centrale nella viticoltura moderna, poiché racchiude i fattori naturali e umani che determinano le caratteristiche dell'uva e, conseguentemente, del vino. Tra questi, il suolo riveste un ruolo fondamentale: la sua natura fisica e chimica condiziona la disponibilità di acqua e nutrienti, influenzando lo sviluppo vegeto-produttivo della vite, la maturazione dei grappoli e la composizione delle bacche. Nel caso specifico, l'area di studio si colloca nelle vicinanze di Offida, territorio di consolidata tradizione vitivinicola. Il suolo presenta una tessitura di medio impasto, con moderato contenuto calcareo ed esposizione a est. Questa combinazione assicura un buon equilibrio tra drenaggio e ritenzione idrica, favorendo lo sviluppo radicale profondo e garantendo un apporto nutrizionale adeguato. La presenza di calcare contribuisce inoltre a mantenere un pH tendenzialmente alcalino e a migliorare l'espressione qualitativa delle uve, soprattutto in termini di freschezza e complessità aromatica. Quando si analizza il suolo, due concetti risultano centrali: granulometria e tessitura. La granulometria descrive la distribuzione delle particelle minerali (sabbia, limo, argilla), mentre la tessitura classifica il suolo sulla base delle loro proporzioni. I terreni di medio impasto, come quello in esame, presentano una porosità equilibrata che garantisce ritenzione idrica senza ristagni, adeguata ossigenazione radicale e sufficiente disponibilità di nutrienti. Queste condizioni rendono il vigneto meno soggetto a stress idrici e favoriscono una maturazione regolare delle uve. Dal punto di vista chimico, la componente calcarea svolge un ruolo determinante. I suoli calcarei, pur poveri di alcuni microelementi come ferro e magnesio, impongono alla vite una moderata condizione di stress, che si traduce in grappoli con bucce più spesse e ricche di antociani e tannini. Inoltre, rallentano l'accumulo zuccherino e permettono di conservare più a lungo l'acidità, con effetti positivi sull'equilibrio tra freschezza e struttura del vino (Ciavatta et al., 2017).

Queste caratteristiche hanno implicazioni anche rispetto alla gestione agronomica, in particolare alla defogliazione precoce. In un suolo di medio impasto calcareo, la vite tende a mantenere un equilibrio vegeto-produttivo naturale: ciò consente di modulare meglio l'efficacia dell'intervento, che può amplificare i benefici qualitativi senza rischiare eccessivi stress idrici o nutrizionali. In altre parole, la qualità del suolo contribuisce a determinare la risposta della vite alla defogliazione, influenzando direttamente l'espressione aromatica e fenolica delle uve.

L'esposizione del vigneto a est rappresenta un ulteriore fattore determinante. Un versante orientato verso il punto in cui il sole sorge riceve luce diretta soprattutto al mattino, quando il sole è basso sull'orizzonte e la sua intensità è moderata; man mano che la giornata avanza, il sole si sposta verso sud e poi verso ovest, lasciando il versante est in ombra rispetto alle esposizioni meridionali o occidentali, che invece accumulano più calore nelle ore centrali e pomeridiane. Questo determina una minore quantità di ore di sole diretto e un minor apporto termico complessivo, favorendo una maturazione più graduale delle uve, con preservazione dell'acidità e degli aromi delicati e riducendo il rischio di surriscaldamento o scottature dei grappoli. Allo stesso tempo, l'esposizione orientale garantisce buona insolazione nelle ore mattutine e limita i picchi di calore pomeridiani tipici dei versanti occidentali, creando un microclima equilibrato che protegge i grappoli e consente alla defogliazione precoce di essere effettuata in modo più sicuro ed efficace. In questo contesto, l'interazione tra suolo, esposizione e microclima diventa un elemento chiave per comprendere la risposta della vite agli interventi agronomici e la qualità finale delle uve.



Figura 1-2: vigneto oggetto della prova sperimentale

3.2 *Il clima*

Il vigneto preso in esame, situato nella zona di Offida, gode di un clima mediterraneo caratterizzato da temperature moderate e da escursioni stagionali equilibrate, elementi fondamentali per la coltivazione dei rinomati vitigni della regione.

Il territorio presenta estati calde e asciutte e inverni miti e piovosi; durante i mesi estivi le temperature medie oscillano tra i 21 e i 23 °C, condizioni ideali per la maturazione delle uve, mentre in inverno le temperature medie si attestano tra i 6 e i 7 °C, assicurando il necessario riposo vegetativo delle viti.

L'escursione termica annuale, tra i mesi più caldi e quelli più freddi, è compresa tra 17 e 18 °C, favorendo la sintesi di zuccheri e composti aromatici e preservando l'acidità naturale delle uve.

La regione riceve una precipitazione media annua di 650-850 mm, distribuita su circa 80-90 giorni di pioggia, concentrandosi soprattutto nei mesi autunnali, mentre luglio risulta il periodo più secco; questo regime idrico garantisce alle viti acqua sufficiente durante le fasi critiche della crescita, riducendo il rischio di stress idrico e minimizzando al contempo eccessi di umidità che favorirebbero malattie fungine.

Il clima è fortemente influenzato dalla vicinanza al mare Adriatico, che modera le temperature estive e invernali, e dalla catena appenninica, che protegge i vigneti dalle intemperie, mentre le altitudini variabili, tra 50 e 650 metri sul livello del mare, creano microclimi diversificati che contribuiscono alla complessità aromatica dei vini prodotti; le brezze notturne provenienti dai monti Sibillini favoriscono inoltre la ventilazione dei grappoli, riducendo il rischio di muffe e migliorando la sanità generale delle uve.

Queste condizioni climatiche, caratterizzate da temperature moderate, escursioni termiche equilibrate, ventilazione costante e disponibilità idrica regolare, creano un ambiente particolarmente favorevole per la defogliazione precoce: la rimozione delle foglie attorno ai grappoli può essere

effettuata senza rischiare eccessivo stress alla pianta, poiché la vite è già predisposta a mantenere un equilibrio vegetativo e idrico ottimale.

La maggiore esposizione al sole e la circolazione d'aria che derivano dall'intervento, in combinazione con il microclima ventilato, favoriscono la sintesi di antociani, tannini e aromi, migliorando la maturazione fenolica e aromatica delle uve, mentre il rischio di scottature o stress termico rimane contenuto. In questo modo, il clima di Offida non solo garantisce condizioni ottimali per la coltivazione dei vitigni, ma amplifica anche gli effetti positivi della defogliazione precoce, contribuendo a ottenere vini equilibrati, aromaticamente complessi e di struttura armonica (Vinerra, 2024).

3.3 Il vitigno Montepulciano

Il Montepulciano è uno dei vitigni a bacca rossa più diffusi dell'Italia centrale e meridionale e rappresenta una varietà di grande importanza anche per le Marche, dove viene tradizionalmente coltivato nelle province meridionali, in particolare nell'area di Offida. È un vitigno vigoroso, caratterizzato da una buona produttività e da una notevole adattabilità ai diversi contesti pedoclimatici. Le sue esigenze non sono particolarmente elevate, ma dà i migliori risultati in terreni di medio impasto, ben drenati e con esposizioni collinari, come quelli presenti nel comprensorio di Offida, dove beneficia dell'influenza del mare Adriatico e della protezione degli Appennini (Regione Marche, 2012).

Dal punto di vista morfologico, il Montepulciano presenta foglie di media grandezza, pentagonali e trilobate, grappoli medi o grandi, compatti e di forma conica, e acini di dimensioni medio-grandi, con buccia spessa di colore blu-nero ricca di pruina. Questa caratteristica della buccia è particolarmente significativa in termini qualitativi, poiché garantisce una buona resistenza alle manipolazioni colturali

e permette una maggiore concentrazione di antociani e tannini, fondamentali per la struttura dei vini (impeto di vino, 2016).

La maturazione del Montepulciano è piuttosto tardiva: avviene generalmente tra la seconda metà di settembre e la prima metà di ottobre. Tale aspetto è rilevante in un'area come Offida, dove il clima mediterraneo con escursioni termiche notturne favorisce un accumulo graduale di zuccheri e il mantenimento di un buon livello di acidità. L'uva raggiunge così un equilibrio interessante tra potenziale alcolico e freschezza, che si riflette positivamente nella longevità e nell'eleganza dei vini.

Dal punto di vista enologico, il Montepulciano è apprezzato per la capacità di dare vini intensamente colorati, ricchi di antociani, con profumi che spaziano dalla frutta rossa matura alle note speziate e balsamiche. I tannini sono abbondanti ma, se ben gestiti in vigna e in cantina, risultano eleganti e morbidi, conferendo grande struttura e capacità di invecchiamento. In Offida, la coltivazione di questo vitigno trova condizioni ideali per esprimere vini equilibrati, con buona concentrazione fenolica, acidità viva e un profilo aromatico complesso (Assovini, 2016).

La gestione agronomica, inclusa la defogliazione precoce, assume un ruolo strategico per il Montepulciano. Trattandosi di un vitigno vigoroso e tardivo, la defogliazione consente di migliorare l'areggiamento e l'esposizione dei grappoli, riducendo i rischi di malattie e favorendo una maturazione più uniforme. Nei vigneti di Offida, caratterizzati da terreni calcarei e da esposizione a est, tale pratica può contribuire a rafforzare la qualità delle uve senza compromettere l'equilibrio vegeto-produttivo, valorizzando ulteriormente il potenziale di questo vitigno (Offida rosso, 2025).

3.4 Caratteristiche del vigneto in prova

Il vigneto è stato progettato con un sesto d'impianto di 2,80 metri tra i filari e 1,20 metri tra le viti (ceppi), una spaziatura che garantisce un ottimale compromesso tra una buona densità di ceppi (essenziale per la qualità delle uve) e la praticità operativa, permettendo l'uso agevole dei mezzi meccanici durante tutto il ciclo colturale.

Per quanto riguarda il sostegno della vegetazione, è stato adottato il sistema di allevamento a contropalliera. In questo sistema, le viti sono allineate in filari e la chioma è guidata verticalmente attraverso una struttura di pali e fili orizzontali. Questo crea una "parete verde" ben definita e di spessore ridotto, fondamentale per assicurare la massima intercettazione luminosa e una buona ventilazione dei grappoli, prevenendo ristagni di umidità e malattie.

La vite è allevata a Guyot doppio, una tecnica versatile, adatta a diverse varietà, incluse quelle coltivate in terreni a fertilità media o bassa.

Questa forma di allevamento si basa su un tronco verticale di circa 80 centimetri, sopra il quale vengono mantenuti due capi a frutto opposti, ciascuno con 7-8 nodi, legati al filo portante orizzontale (Guyot bilaterale). Questi capi a frutto vengono rinnovati ogni anno selezionando un tralcio vigoroso sviluppatosi da uno sperone a 2-3 gemme.

Il Guyot, ideale anche per vitigni molto vigorosi e per l'alta densità di impianto, offre numerosi vantaggi: semplifica notevolmente la potatura verde e la gestione estiva della chioma, si adatta bene alla vendemmia meccanica ed è compatibile con tutte le cultivar, anche quelle con scarsa fertilità delle gemme basali.

Tuttavia, il sistema non è esente da complessità. La potatura invernale richiede tempi lunghi, in quanto necessita molta manodopera per legare i capi a frutto e stralciare i sarmenti. Inoltre, la lunghezza dei capi a frutto può talvolta causare uno sviluppo disomogeneo dei germogli, con alcune gemme cieche o deboli al centro. Infine, la rigidità imposta dalla distanza tra i ceppi limita la flessibilità del carico

di gemme per pianta e, in alcune varietà con internodi particolarmente lunghi, può persino ridurre la produzione al di sotto dell'ottimale. Per ovviare a queste problematiche, in certi casi, si ricorre a varianti come l'archetto o la versione bilaterale, che aumentano l'adattabilità del Guyot alle specificità del terroir.

Un altro aspetto rilevante nella gestione del vigneto è l'inerbimento naturale, ottenuto mediante copertura erbosa del terreno, gestita con trinciatura. I benefici principali includono incremento di sostanza organica, miglioramento della struttura del suolo, riduzione dell'erosione e incremento della biodiversità. Tuttavia, l'inerbimento può comportare competizione idrica e nutrizionale, riduzione delle rese e aumento del rischio di patogeni. In questo vigneto viene effettuata una trinciatura 2–3 volte l'anno per contenere lo sviluppo della vegetazione spontanea.

Il vigneto utilizza come portainnesto il Kober 5BB, ottenuto dall'incrocio tra *Vitis riparia* e *Vitis berlandieri*. Dalla combinazione di queste due specie deriva il Kober 5BB, un portainnesto che si distingue per la buona resistenza alla fillossera, una resistenza media al calcare, vigoria medio-alta e media tolleranza alla siccità. Per queste caratteristiche risulta particolarmente adatto a suoli fertili e non eccessivamente aridi, garantendo un equilibrio tra produttività e gestione della chioma.

3.5 Scelta delle piante e protocollo di defogliazione precoce

Nel mese di aprile sono state selezionate complessivamente 30 piante all'interno del vigneto sperimentale, suddivise in due gruppi omogenei:

- 15 piante sottoposte al trattamento di defogliazione precoce (tesi),
- 15 piante non defogliate, utilizzate come controllo.

La scelta delle piante è stata effettuata all'interno di nove file contigue dello stesso appezzamento, al fine di garantire condizioni agronomiche e ambientali uniformi (esposizione, vigoria e caratteristiche del suolo). Le piante selezionate, scelte secondo una randomizzazione completa, presentavano caratteristiche vegetative simili, con una media di 12–15 germogli per pianta e circa due infiorescenze per germoglio, in modo da assicurare una base sperimentale omogenea per il confronto tra le due tesi.

Il trattamento di defogliazione precoce è stato effettuato a fine maggio, in una fase di pre-fioritura, quando le piante presentavano mediamente circa cinque fiori aperti per infiorescenza.

Lo stato di avanzamento della fioritura è stato monitorato personalmente mediante osservazioni dirette e regolari per individuare con precisione il momento ottimale di intervento.



Figura 3: fase fenologica pre-fioritura

La defogliazione è stata realizzata manualmente, rimuovendo le prime 6–7 foglie basali di ciascun germoglio, comprese le femminelle presenti nella parte inferiore della chioma. L'operazione è stata eseguita in modo da lasciare i grappoli completamente esposti alla luce solare diretta, riducendo la densità fogliare nella zona fruttifera e migliorandone la ventilazione.



Figura 4: pianta defogliata (tesi)



Figura 5: pianta non defogliata (controllo)

3.6 Analisi effettuate

A partire dal 1° settembre e fino al giorno della vendemmia, ho effettuato quotidianamente la misurazione degli zuccheri per monitorare l'andamento della maturazione delle uve, con l'obiettivo di costruire le curve di maturazione sia per le piante sottoposte a defogliazione precoce sia per quelle di controllo.

Per queste rilevazioni ho utilizzato un rifrattometro HHTEC, dotato di compensazione automatica della temperatura, caratteristica che consente di ottenere misure affidabili anche in condizioni ambientali variabili. Il principio di funzionamento del rifrattometro si basa sulla rifrazione della luce: una piccola goccia di mosto viene posta sul prisma dello strumento e, in base alla quantità di zuccheri disciolti, la luce viene deviata in misura diversa. Lo strumento restituisce così, su una scala graduata, il valore espresso in gradi Brix, che rappresentano la percentuale in peso di zuccheri presenti nel mosto.

Per ogni misurazione prelevavo dieci acini per pianta, scelti in modo casuale. Prima analizzavo le piante di controllo, poi quelle della tesi defogliata, così da poter confrontare i risultati in maniera immediata. In questo modo è stato possibile seguire giorno per giorno l'aumento della concentrazione zuccherina, che rappresenta uno dei parametri più significativi dell'evoluzione della maturazione. Immediatamente prima della vendemmia sono stati prelevati e messi in sacchetti di plastica etichettati 50 acini per pianta, scelti in modo casuale. Successivamente, per ciascuna pianta è stata valutata anche la compattezza del grappolo, secondo la scheda OIV n. 204, che utilizza una scala da 1 (grappolo molto spargolo) a 9 (grappolo molto compatto).

In seguito, ho raccolto i grappoli di ciascuna pianta, conservando separatamente la produzione di ogni singola pianta, che è stata successivamente pesata.

Le analisi di laboratorio sono state eseguite presso il laboratorio del DISTAL, nella sede di Cadriano. Ogni campione di 50 acini è stato pesato con bilancia digitale, quindi schiacciato per ottenere il mosto necessario alle determinazioni di concentrazione zuccherina (°Brix), pH e acidità titolabile.

Per la misurazione dei solidi solubili è stato utilizzato nuovamente un rifrattometro da banco, dotato di prisma piatto di precisione posto al centro del dispositivo, progettato per garantire letture rapide, accurate e una facile pulizia.

Le determinazioni di pH e acidità titolabile sono state invece eseguite con il titolatore automatico Crison Compact, strumento dotato di agitatore magnetico a velocità variabile, supporto per elettrodi e una siringa automatica da 10 ml che dosa con precisione la soluzione titolante di NaOH.

Dopo la misurazione dei gradi Brix, da ciascun becher contenente il mosto ho prelevato 5 ml di campione utilizzando una micropipetta.

Per evitare contaminazioni tra i diversi campioni, la pipetta veniva accuratamente risciacquata con acqua distillata tra un prelievo e l'altro.

I 5 ml di mosto venivano poi diluiti con circa 35 ml di acqua distillata, fino a ottenere 40 ml di soluzione da sottoporre a titolazione.

Dopo aver inserito un piccolo magnete di agitazione, la soluzione veniva posta sotto la siringa del titolatore, che permetteva di misurare in modo automatico il pH e, tramite l'aggiunta di NaOH, anche l'acidità titolabile del campione.

L'insieme di queste misurazioni ha permesso di valutare in modo completo il livello di maturazione dell'uva alla vendemmia e di confrontare i parametri produttivi e qualitativi tra le piante sottoposte a defogliazione precoce e quelle non trattate alla vendemmia.

4. RISULTATI E DISCUSSIONE

Gli effetti del trattamento di defogliazione precoce sono stati valutati confrontando i parametri produttivi e qualitativi rilevati nelle viti sottoposte al trattamento rispetto a quelle di controllo.

4.1 Risultati produttivi

L'analisi dei dati raccolti su quindici piante non defogliate (tesi di controllo) e quindici piante defogliate ha permesso di valutare l'effetto della defogliazione su tre principali parametri produttivi: produzione totale per pianta (kg), numero di grappoli e peso medio dei grappoli (g). Per ciascun parametro sono state calcolate la media e la deviazione standard, e successivamente è stato applicato un test t di Student per campioni indipendenti, al fine di verificare la significatività statistica delle differenze tra i due gruppi.

Alla seguente tabella sono riportate le medie dei dati produttivi rilevati alla vendemmia.

	Produzione totale/pianta (kg)	Numero di grappoli/pianta	Peso medio grappoli (g)
C	5,55kg a	25,27 a	0,221 a
T	4,01kg b	25,40 a	0,160 b

Tabella 1: Risultati quantitativi

Le rese ottenute hanno mostrato una chiara differenza tra i due gruppi: le piante non defogliate hanno presentato una produzione pari a 5,55 kg, con una deviazione standard di 0,91 kg, mentre le piante defogliate hanno registrato un valore di 4,01 kg, con una deviazione standard di 0,86 kg.

La deviazione standard rappresenta l'ampiezza della variabilità dei dati rispetto alla media e indica quanto i valori si discostano dal valore medio del gruppo.

Nel caso delle piante controllo, la dispersione relativamente contenuta suggerisce una crescita piuttosto uniforme, mentre nei soggetti defogliati la leggera variabilità osservata potrebbe essere attribuita a differenti capacità di compensazione della perdita fogliare tra individui.

Per verificare la significatività statistica delle differenze osservate, è stato applicato un test t di Student per campioni indipendenti, comunemente utilizzato per confrontare le medie di due gruppi sperimentali. È una tecnica statistica impiegata per determinare se la differenza osservata tra due medie sia statisticamente significativa o attribuibile al caso.

Il test ha fornito un valore di $t = 4,76$ e un valore di $p = 0,0000536$, ampiamente inferiore alla soglia di significatività convenzionale di $p < 0,05$.

Il valore di p indica che la probabilità che la differenza di peso tra i due gruppi sia dovuta al caso è estremamente bassa (circa 0,005%), e che pertanto l'effetto della defogliazione precoce può essere considerato statisticamente significativo.

In termini pratici, ciò significa che la rimozione anticipata delle foglie ha avuto un impatto reale e misurabile sulle piante, riducendone la produzione totale in modo consistente. Il valore elevato della statistica t, che rappresenta la grandezza della differenza tra le medie rapportata alla variabilità interna dei gruppi, riflette una marcata differenza tra le due distribuzioni dei dati: il peso delle piante defogliate tende a concentrarsi su valori più bassi, mentre quello delle piante controllo si mantiene su valori superiori.

Questi risultati evidenziano come la defogliazione precoce, attraverso la riduzione della percentuale di allegagione, abbia effettivamente determinato una diminuzione della produttività complessiva della pianta.

La minore presenza di foglie nelle prime fasi vegetative ha probabilmente limitato la presenza di assimilati disponibili per sostenere il processo di allegagione e lo sviluppo dei frutti, con conseguente riduzione della resa finale.

In tal modo, la defogliazione precoce si conferma un fattore capace di incidere in maniera significativa sul rendimento produttivo, influenzando sia la fisiologia riproduttiva sia l'accumulo di biomassa.

L'analisi del numero di grappoli per pianta non ha evidenziato differenze significative tra i due trattamenti, come prevedibile, poiché l'intervento è stato realizzato quando il numero delle infiorescenze era stato già deciso dalla pianta.

Le piante non defogliate hanno prodotto in media $25,27 \pm 4,15$ grappoli, mentre le defogliate hanno registrato un valore pressoché analogo, pari a $25,40 \pm 5,45$ grappoli.

Il test t ha restituito un valore di $t = -0,08$ con $p = 0,94$, indicando l'assenza di significatività statistica. Questo risultato suggerisce che la defogliazione precoce non ha influenzato il numero di grappoli per pianta, ma piuttosto la loro dimensione e il loro peso medio.

Di conseguenza la riduzione della produzione complessiva osservata nelle piante defogliate non è imputabile a un minor numero di grappoli, bensì a una minor peso degli stessi, come testimoniato dai dati riportati in Tabella 1.

Le piante non defogliate hanno evidenziato un peso medio grappolo di 221 ± 24 g, mentre le defogliate hanno mostrato un valore inferiore, pari a 160 ± 30 g.

Il test t ha fornito un valore di $t = 6,14$ e un $p = 0,000001$, confermando una differenza altamente significativa tra i due gruppi.

La ridotta area fogliare disponibile per la fotosintesi, limitando l'apporto di assimilati ai grappoli in accrescimento, ha diminuito la percentuale di allegagione e probabilmente rallentato l'ingrossamento degli acini, determinando nel complesso una minore dimensione finale.

4.2 Grado di compattezza del grappolo

Alla vendemmia è stato valutato il grado di compattezza del grappolo, parametro che descrive la disposizione e la densità degli acini all'interno del grappolo stesso. La valutazione è stata eseguita secondo la scala OIV (Office International de la Vigne et du Vin), che prevede valori da 1 a 9, dove 1 corrisponde a un grappolo molto spargolo e 9 a un grappolo molto compatto.



Figura 6: grappolo di una pianta non defogliata



Figura 7: grappolo di una pianta defogliata

L'analisi dei dati ha evidenziato una differenza marcata tra i due gruppi sperimentali. Le piante defogliate precocemente hanno mostrato un valore medio di 3, corrispondente a grappoli spargoli, leggeri e con acini distanziati, mentre le piante non defogliate hanno registrato un valore medio pari a 7, indicativo di grappoli compatti, e con acini ravvicinati.

Questa differenza è coerente con le osservazioni precedenti relative alla riduzione della produttività: la defogliazione precoce, riducendo la superficie fotosintetica attiva nelle fasi iniziali dello sviluppo, ha limitato la percentuale di allegagione e quindi il numero di acini formati per grappolo.

Dal punto di vista morfologico, i grappoli delle piante defogliate risultano meno densi e più arieggiati, con maggiori spazi tra gli acini.

Questo comporta una diminuzione del peso medio del grappolo, ma al tempo stesso un miglior microclima nella zona dei frutti.

Infatti, la maggiore aerazione e luminosità dei grappoli, associata alla minor compattezza degli stessi, riduce l'umidità relativa intorno al grappolo e, quindi, limita le condizioni che favoriscono lo sviluppo di marciumi e malattie fungine come la botrite.

Di conseguenza, sebbene la defogliazione precoce comporti una riduzione della produttività in termini quantitativi, può al contempo migliorare la qualità sanitaria dei grappoli e diminuire il rischio di infezioni.

4.3 Curve di maturazione e dati qualitativi alla vendemmia

In base al monitoraggio dei °Brix condotti quotidianamente a partire dal 1° settembre fino alla vendemmia, è stata monitorata in modo continuo l'evoluzione degli zuccheri nei grappoli dei due gruppi sperimentali.

In particolare, sono stati confrontati il valore dei gradi °Brix delle piante non defogliate (controllo) e di quelle defogliate precocemente (tesi).

I dati raccolti sono riportati nel grafico sottostante, che rappresenta l'andamento temporale dei valori dei due gruppi, evidenziando così le curve di accumulo zuccherino.

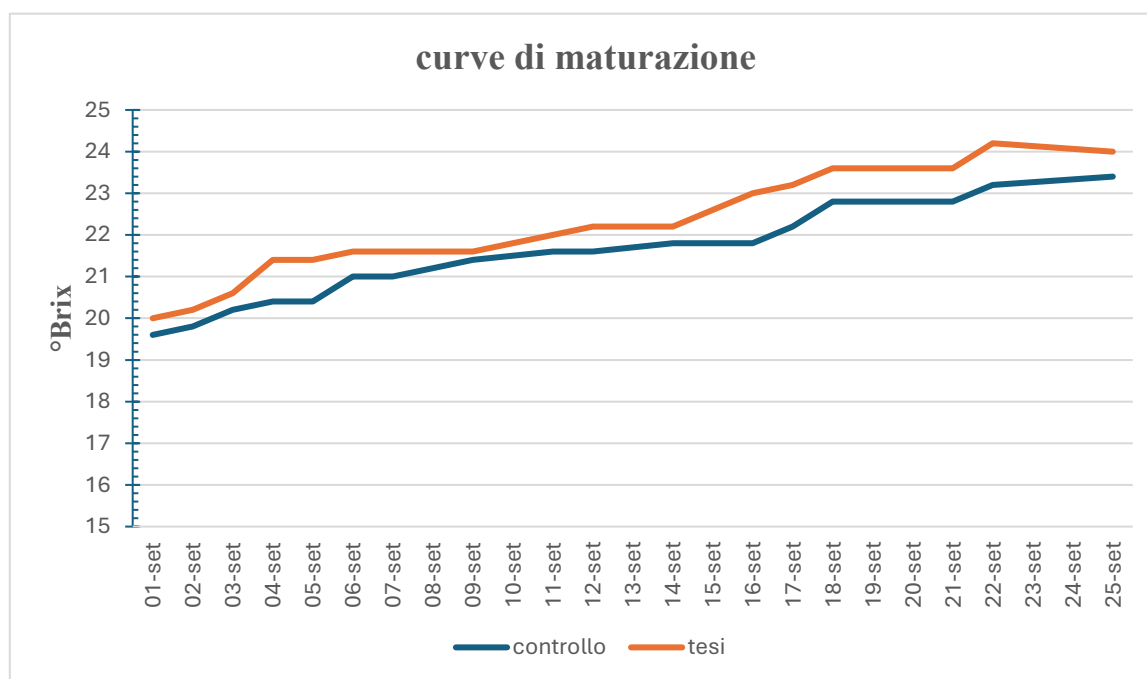


grafico 1: curve di maturazione

Le curve mostrano un progressivo incremento della concentrazione zuccherina, coerente con il normale processo di maturazione dei frutti.

Tuttavia, è possibile osservare una differenza costante tra i due trattamenti, con la tesi defogliata che tende a presentare valori leggermente superiori nel corso di tutta la maturazione.

Nella seguente tabella sono elencati i risultati delle analisi.

	Peso medio dell'acino (g)	°Brix	pH	Acidità titolabile (g/l)
C	2,60 a	21,8 a	3,28 a	5,10 a
T	2,15 b	23,4 b	3,42 b	4,30 b

Tabella 2: risultati qualitativi

I risultati riportati alla Tabella 2 indicano che la defogliazione precoce, pur avendo ridotto la produttività in termini quantitativi, ha anticipato e migliorato il processo di maturazione, favorendo un'evoluzione più rapida dei parametri qualitativi dell'uva.

Il peso medio dell'acino ha evidenziato una differenza significativa tra i due trattamenti: le piante non defogliate (controllo) hanno mostrato un valore medio pari a $2,60 \pm 0,25$ g, mentre nelle piante defogliate precocemente il valore medio è risultato di $2,15 \pm 0,20$ g. Il test t di Student ha restituito un valore di $t = 5,42$ con $p < 0,001$, indicando una differenza altamente significativa.

Il peso medio per singolo acino, ottenuto dividendo il peso totale del campione per 50, ha messo in evidenza differenze nella dimensione media degli acini, come nel caso delle piante defogliate che mostrano acini più piccoli rispetto al controllo.

Alla luce di questi risultati, è possibile dedurre che la riduzione della produttività osservata nelle piante defogliate è dovuta sia al calo del peso medio degli acini, sia a una minore allegagione, ossia a un numero inferiore di acini prodotti per pianta, come testimoniato anche dalla minor compattezza dei grappoli.

Per il grado zuccherino ($^{\circ}\text{Brix}$) sono state riscontrate differenze statisticamente significative (Tabella 2). Le piante di controllo hanno presentato un valore medio significativamente inferiore a quello della tesi defogliata ($21,8 \pm 0,9$ $^{\circ}\text{Brix}$ e $23,4 \pm 0,8$ $^{\circ}\text{Brix}$ rispettivamente con un valore di $t = 4,27$ e $p < 0,001$).

Questo risultato è coerente con quanto ci si poteva aspettare sulla base delle osservazioni agronomiche e fisiologiche.

L'incremento del grado zuccherino nelle piante defogliate è dovuto al fatto che la minore produttività osservata nella tesi porta a una maggiore concentrazione di zuccheri all'interno del frutto, poiché il contenuto zuccherino si distribuisce in un volume inferiore.

Pertanto, la defogliazione precoce si rivela efficace non solo nel modulare le caratteristiche fisiologiche dei frutti, ma anche nel migliorare parametri qualitativi legati alla concentrazione di zuccheri.

Per quanto riguarda il pH, il valore medio è risultato di $3,28 \pm 0,08$ nel controllo e di $3,42 \pm 0,07$ nella tesi defogliata. Anche in questo caso il test statistico ha evidenziato una differenza significativa, con $t = 4,10$ e $p < 0,001$.

Infine, l'acidità totale ha mostrato una differenza statisticamente significativa tra i due trattamenti: nel controllo si è registrato un valore medio di $5,10 \pm 0,40$ g/L, mentre nella tesi defogliata il valore medio è risultato pari a $4,30 \pm 0,35$ g/L, con $t = 3,95$ e $p = 0,001$.

L'analisi del pH e dell'acidità titolabile evidenzia che i frutti delle piante defogliate presentano un incremento del pH e una riduzione dell'acidità rispetto al controllo. Queste differenze possono essere

attribuite sia al livello di maturazione più avanzato delle piante defogliate che alla maggiore esposizione alla luce solare determinata dalla defogliazione precoce. La luce favorisce la degradazione degli acidi organici nei frutti, riducendo la loro concentrazione e, di conseguenza, aumentando il pH e diminuendo l'acidità totale. In questo modo, la defogliazione influenza non solo la composizione zuccherina, ma anche il bilancio acido dei frutti, contribuendo a modificare le caratteristiche biochimiche complessive della vendemmia.

5. CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi ha avuto l'obiettivo di valutare gli effetti della defogliazione precoce sulle caratteristiche produttive e qualitative dell'uva, attraverso l'analisi di diversi parametri agronomici e tecnologici: peso di produzione, peso medio dei grappoli, peso medio degli acini, grado di compattezza, andamento delle curve di maturazione e del contenuto zuccherino (°Brix), del pH e dell'acidità titolabile delle uve alla vendemmia.

I risultati ottenuti hanno evidenziato come la defogliazione precoce determini una marcata riduzione della produzione complessiva, dovuta principalmente alla diminuzione del peso medio dei grappoli e del numero di acini per grappolo, associata a una minor compattezza. Il peso medio dell'acino è risultato solo lievemente inferiore rispetto ai testimoni, indicando che la perdita produttiva è imputabile soprattutto a una minore allegazione piuttosto che a un ridotto sviluppo degli acini.

Dal punto di vista qualitativo, la defogliazione precoce ha favorito un miglioramento dello stato di maturazione delle uve, con maggiori concentrazioni zuccherine rilevabili sia nel corso della maturazione, sia nei valori finali alla vendemmia. Parallelamente si è osservata una riduzione dell'acidità totale e un leggero incremento del pH, segni di un più avanzato stato di maturazione rispetto ai testimoni non defogliati.

Nel complesso, la pratica della defogliazione precoce si è dimostrata efficace nel modificare l'equilibrio produttivo e qualitativo della pianta, determinando una riduzione della resa ma al contempo un incremento del grado zuccherino e una migliore qualità potenziale delle uve. Tale intervento può quindi risultare particolarmente vantaggioso in vigneti altamente produttivi o in ambienti dove la maturazione risulta difficoltosa, come in zone con scarsa esposizione solare, temperature moderate o eccessiva densità vegetativa, poiché favorisce una migliore aerazione del grappolo e una migliore morfologia dello stesso, una maggiore intercettazione della luce e una più efficiente attività fotosintetica dei tessuti rimasti.

Dal punto di vista applicativo, i dati raccolti confermano che la defogliazione precoce rappresenta uno strumento agronomico utile per modulare produzione e maturazione in funzione delle condizioni climatiche e dello stile enologico desiderato. Tuttavia, la sua applicazione deve essere valutata con attenzione in contesti più caldi, dove l'eccessiva esposizione dei grappoli potrebbe invece comportare rischi di scottature e squilibri nella maturazione.

Per il futuro, sarebbe interessante approfondire gli effetti della defogliazione precoce nel vitigno Montepulciano anche sulla composizione fenolica e aromatica delle uve, sulla qualità del vino ottenuto e sulla risposta fisiologica della pianta nel medio periodo.

Bibliografia

- Poni S., Bernizzoni F., Caslini L., Civardi S., Goncalves M.I. (2006) - Defogliazione precoce della vite. *L'Informatore Agrario*, 17: 77-82.
- Pastore, C., Zenoni, S., Fasoli, M., Pezzotti, M., Tornielli, G.B., Filippetti, I. , 2013. Selective defoliation affects plant growth, fruit transcriptional ripening program and flavonoid metabolism in grapevine. *Plant Biol.* 13, 30, 1-16
- Cataldo, E., Salvi, L., Paoli, F., Fucile, M., & Mattii, G. B. (2021). Effects of defoliation at fruit Set on vine physiology and berry composition in cabernet sauvignon grapevines. *Plants*, 10(6), 1183.
- Palliotti, A., Poni, S., & Silvestroni, O. (2018). *Manuale di viticoltura*. Bologna: Edagricole.
- Intrieri, C., Filippetti, I., Allegro, G., Valentini, G., Seghetti, L., & Poni, S. (2009). Defogliare la vite in pre-fioritura migliora l'uva e il vino. *L'Informatore Agrario*, 14, 49–53.
- P. Ribèreau-Gayon, Y. Glories, A. Maujean, D. Dubourdiey. (2003). *Trattato di enologia 2, chimica del vino, stabilizzazione e trattamenti*
- P. Sequi, C. Ciavatta & T. Miano (Coord.). (2017). *Fondamenti di chimica del suolo*

Sitografia

Assovin. *Montepulciano*.

<https://www.assovini.it/italia/marche/item/1582-montepulciano> (ultima consultazione: 3 Ottobre 2025)

Impeto di Vino. *Montepulciano* | *Vitigni Italiani*:

<https://www.impetodivino.it/vini/vitigni/montepulciano> (ultima consultazione: 3 Ottobre 2025)

Regione Marche DOCG Offida:

https://www.regione.marche.it/portals/0/Agricoltura/OCMVino/DM_2011_24457/DOCG%20Offida

(ultima consultazione: 10 Ottobre 2025).

Offida Rosso. *Offida Rosso*:

<https://www.offidarosso.it/caratteristiche-offida-rosso-doc> (ultima consultazione: 3 Ottobre 2025)

Vinerra Discover the Offida DOCG wine sub-region of Italy:

<https://www.vinerra.com/sub-region/italy-marche-offida-docg> (ultima consultazione: 2 Ottobre 2025)