



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SISTEMI AGRICOLI INNOVATIVI

**MICROIRRIGAZIONE DELLA VITE E
CAMBIAMENTO CLIMATICO:
RISULTATI SUL MONTEPULCIANO**

**GRAPEVINE MICROIRRIGATION AND
CLIMATE CHANGE: RESULTS ON
MONTEPULCIANO**

TIPO TESI: sperimentale

Studente:
GIOVANNI GATTI

Relatore:
PROF.SSA VANIA LANARI

Correlatore:
DOTT. LUCA PALLOTTI

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

INDICE

INDICE	2
ELENCO DELLE TABELLE.....	4
ELENCO DELLE FIGURE	5
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI	7
INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI	9
I CAMBIAMENTO CLIMATICO IN AGRICOLTURA	10
II VITICOLTURA NEL MONDO	10
III INFLUENZA DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLA VITICOLTURA	11
IV STRATEGIE DI MITIGAZIONE E ADATTAMENTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI.....	12
V ADATTAMENTI ALL’AUMENTO DELLE TEMPERATURE.....	13
VI ADATTAMENTI ALLA SICCIÁ.....	15
VII. Gestione dell’irrigazione	18
CAPITOLO 1 MATERIALI E METODI	20
1.1 Il vigneto e il vitigno.....	20
1.2 Indicatori fisiologici per valutare lo stress idrico del vigneto: rilievi effettuati	24
1.2.1 Misura degli scambi gassosi	24
1.2.2 Potenziale idrico fogliare	25
1.2.3 Rilievi produttivi e qualitativi.....	26
1.2.4 Dati termopluviometrici.....	27
CAPITOLO 2 RISULTATI E DISCUSSIONE	28
2.2 Precipitazioni cumulate.....	30
2.3 Rilievi fisiologici: Fotosintesi e conduttanza stomatica.....	31
2.4 Potenziale idrico.....	33
2.5 Curve di maturazione: Solidi solubili totali	34
2.6 Curve di maturazione: pH.....	35
2.7 Curve di maturazione: Acidità titolabile.....	36

2.8 Produzione pendente.....	37
2.9 Composizione delle uve alla vendemmia.....	38
CONCLUSIONI	40
BIBLIOGRAFIA	42

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella VI-1 Tolleranza alla siccità tra i portinnesti (Fonte: Van Leeuwen et al., 2019).....	16
Tabella 2.1-1. Giorni con T max>30°C e >35°C da aprile a settembre 2024, registrate dalla stazione Viconare (RT-3392).....	29
Tabella 2.1-2 Notti tropicali (T min>20°C) C da aprile a settembre 2024, registrate dalla stazione Viconare (RT-3392).....	29
Tabella 2.1-3 Gradi giorno (Indice di Amerine-Winkler) cumulati mensilmente da aprile a settembre nell'annata 2024, registrate da Viconare (RT-3392).....	30
Tabella 2.5-1 Concentrazione zuccherina (°Brix) e tasso di variazione nelle uve di Montepulciano di viti sottoposte a irrigazione e controllo.....	34
Tabella 2.6-1 Dati, differenze di pH e tasso di variazione nelle uve di Montepulciano di viti sottoposte ad irrigazione e controllo.....	36
Tabella 2.7-1 Dati, differenze e tasso di variazioni dell'acidità titolabile (g/L) nelle uve di Montepulciano di viti sottoposte ad irrigazione e controllo	37
Tabella 2.8-1 Produzione e parametri produttivi delle viti di Montepulciano sottoposte ad irrigazione e controllo.....	38
Tabella 2.9-1 Parametri qualitativi delle uve alla vendemmia del Montepulciano sottoposto ad irrigazione e controllo.	39

ELENCO DELLE FIGURE

Figura II-1 Distribuzione mondiale delle regioni viticole (Fraga et al 2012).....	11
Figura VI-1 Frazione media modellata di acque traspirabili del suolo (FTSW) nei 30 giorni precedenti le date di vendemmia modellate per tre distanze tra le viti (2, 3 e 4 m) e tre livelli di acqua totale traspirante del suolo (100, 200 e 300 mm).....	17
Figura 1.1.1 Vigneto di Montepulciano dell'azienda agricola Pignotti provvisto di sistema irriguo.....	21
Figura 1.1.2 Vite di Montepulciano con ala gocciolante.....	21
Figura 1.1.3 Schema rappresentativo del vigneto sperimentale con il filare irrigato (IRR) e quello di controllo (C) e relative viti evidenziate oggetto della sperimentazione.....	22
Figura 1.2.1-1 LCA-3 gas analyser open system portatile, analizzatore di gas ad infrarosso (ADC) e camera fogliare Parkinson.....	25
Figura 1.3.2-1 Camera di Scholander (PMS Instrument Co., Albany).....	26
Figura 2.1.1 Andamento delle temperature (°C) minime (Tmin), medie (Tmed) e massime (Tmax) mensili da gennaio a settembre 2024, registrate dalla stazione Viconare (RT-3392) nel comune di Montefiore dell'Aso.....	28
Figura 2.2-1 Precipitazioni cumulate mensilmente da gennaio a settembre 2024, registrate dalla stazione Viconare (RT-3392) nel comune di Montefiore dell'Aso.....	30

Figura 2.3-1 Andamento della Fotosintesi netta (P_n , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) delle viti di Montepulciano sottoposte ad irrigazione e controllo. La freccia indica il momento irriguo....	31
Figura 2.3-2 Andamento conduttanza stomatica (g_s , moli $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) delle viti di Montepulciano sottoposte ad irrigazione e controllo. La freccia indica il momento irriguo....	32
Figura 2.4-1. Valori del potenziale idrico fogliare (Mpa) delle viti di Montepulciano sottoposte a irrigazione e controllo.....	33
Figura 2.5-1 Evoluzione dell'accumulo degli zuccheri ($^{\circ}\text{Brix}$) nelle uve di Montepulciano di viti sottoposte a irrigazione e controllo.....	34
Figura 2.6-1 Evoluzione del pH nelle uve di Montepulciano di viti sottoposte ad irrigazione e controllo.....	35
Figura 2.7-1 Evoluzione dell'acidità titolabile (g/L) nelle uve di Montepulciano di viti sottoposte ad irrigazione e controllo.....	36
Figura 2.8-1. Acini di Montepulciano prelevati da viti sottoposte ad irrigazione e controllo.....	38

ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

ψ_l	Potenziale idrico fogliare
°C	Grado Celsius
AP	Ascoli Piceno
CO ₂	Diossido di carbonio
ET ₀	Evapotraspirazione di riferimento
ET _c	Evapotraspirazione culturale
FTSW	Frazione di acqua traspirante dal suolo
gs	Conduttanza stomatica
H ₂ O	Acqua
hl	Ettolitri
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
m	Metri
mm	Millimetri
OIV	Organizzazione Internazionale della Vigna e del Vino
pH	Potenziale di idrogeno
P _n	Fotosintesi netta
PRD	Irrigazione parziale
RDI	Irrigazione di deficit
SDI	Irrigazione in eccesso
TTSW	Acqua traspirante del suolo
WUE	Efficacia dell'uso dell'acqua - Water Usage Effectiveness

N_2 Azoto molecolare

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

I cambiamenti climatici, o mutamenti climatici, si riferiscono alle variazioni a lungo termine delle temperature e dei modelli meteorologici della Terra. Questi cambiamenti possono avvenire su diverse scale spaziali (regionale, continentale, emisferica e globale) e su periodi di tempo che vanno da decenni a millenni. In Italia, gli effetti dei cambiamenti climatici si stanno già facendo sentire, con eventi meteorologici estremi più frequenti e intensi, come siccità, innalzamento del livello del mare e perdita di biodiversità. Come si nota dall'ultimo report dell'IPCC (cfr. AR6, 2021) il cambiamento climatico e i suoi impatti purtroppo sono destinati a crescere. In viticoltura la qualità e la resa del vino sono fortemente influenzate dalle condizioni climatiche e dipendono da complesse interazioni tra temperature, disponibilità idrica, materiale vegetale e tecniche viticole. Nelle regioni vinicole consolidate, i viticoltori hanno ottimizzato la resa e la qualità scegliendo il materiale vegetale e le tecniche viticole in base alle condizioni climatiche locali, ma con i cambiamenti climatici, queste dovranno essere adattate. Gli adattamenti a temperature più elevate includono la modifica del materiale vegetale (ad esempio, portainnesti, cultivar e cloni) e la modifica delle tecniche viticole (ad esempio, modifica dell'altezza del tronco, del rapporto tra superficie fogliare e peso dei frutti, tempi di potatura, irrigazione) in modo tale che le date di raccolta siano mantenute nel periodo ottimale alla fine di settembre o all'inizio di ottobre nell'emisfero settentrionale. I vigneti possono essere resi più resistenti alla siccità piantando materiale vegetale resistente alla siccità, modificando i sistemi di allevamento (ad esempio, viti ad alberello o vigneti a spalliera con una distanza tra i filari più ampia) o selezionando terreni con una maggiore capacità di ritenzione idrica del suolo. Mentre la maggior parte dei vigneti in Europa è attualmente coltivata a secco, l'irrigazione può anche essere un'opzione per ottenere rese sostenibili in condizioni sempre più secche, ma è necessario considerare gli impatti associati sulle risorse idriche e sull'ambiente (Van Leeuwen et al., 2019)

I CAMBIAMENTO CLIMATICO IN AGRICOLTURA

Il cambiamento climatico rappresenta una sfida significativa per la società nei prossimi decenni. L'Europa ha sperimentato cambiamenti significativi nei fattori climatici durante il XX secolo, tra cui importanti aumenti di temperatura nell'Europa settentrionale e meridionale. Si prevede un aumento delle precipitazioni annuali a causa della maggiore forzatura antropica dei gas serra (International Panel on Climate Change, [IPCC] 2007). Il quarto Rapporto di Valutazione dell'IPCC sostiene una chiara tendenza verso il riscaldamento globale negli ultimi decenni, compresi cambiamenti significativi nelle precipitazioni e nella temperatura. Le proiezioni sul cambiamento climatico suggeriscono che le temperature globali dovrebbero aumentare di circa 0,2°C per decennio, con valori che vanno da 1°C a 6°C entro la fine del XXI secolo. Ciò implica impatti diversi sul sistema terrestre a causa delle risposte non lineari dei sistemi ambientali e socioeconomici e dell'adattamento limitato alle nuove condizioni esterne. Comprendere le interazioni di elevate concentrazioni di CO₂ con i parametri climatici è fondamentale per valutare gli impatti dei cambiamenti climatici sull'agricoltura. Il cambiamento climatico ha un impatto sull'agricoltura a livello globale, con impatti negativi dovuti all'aumento degli eventi meteorologici estremi, all'aumento della domanda di irrigazione e all'aumento dei rischi di parassiti e malattie. Tuttavia, questo non dovrebbe essere uniforme in tutta l'Unione europea ad esempio nell'Europa del nord, potrebbero inserirsi nuove specie di colture, mentre nell'area del Mediterraneo la scarsità d'acqua e le condizioni climatiche estreme possono causare rese inferiori e una crescita ridotta delle colture (Fraga et al., 2013).

II VITICOLTURA NEL MONDO

La viticoltura e la vinificazione sono attività economiche cruciali in tutto il mondo. L'Organizzazione Internazionale della Vigna e del Vino (OIV) ha riferito che i vigneti del mondo hanno raggiunto i 7,2 milioni di ettari nel 2023, nonostante una diminuzione della superficie vitata in Europa. Nonostante ciò, la produzione mondiale di vino ha raggiunto i 237,3 milioni di hl nel 2023, con Francia, Italia e Spagna come principali Paesi produttori di vino. Cina, Cile e Nuova Zelanda hanno registrato i maggiori aumenti di produzione negli ultimi anni. La Figura (II-1), mostra le regioni viticole di tutto il mondo, comprese le rinomate regioni vinicole come Bordeaux, Borgogna, California, Capo/Sud Africa, Champagne, La Mancha, La Rioja, Mendoza, Mosella, Porto/Douro, Australia meridionale e Toscana. Queste regioni si trovano tipicamente all'interno di aree con Denominazione di Origine o Denominazione di Origine Riconosciuta, garantendo la tipicità del vino. Il clima, i suoli e le

varietà sono fattori chiave per comprendere l'idoneità varietale di una regione e i tipi di vino. Lo sviluppo della viticoltura è influenzato da vari fattori, tra cui il suolo, le pratiche colturali e il clima. La chimica e la struttura del suolo, così come le pratiche di gestione come il carico delle colture e la potatura, possono influenzare la composizione dell'uva. Questi fattori formano un sistema complesso chiamato terroir, che influenza in modo significativo lo sviluppo della vite e la composizione degli acini. Il cambiamento climatico pone nuove sfide e minacce alla viticoltura, rendendo necessarie strategie di adattamento e mitigazione (Fraga et al., 2012)

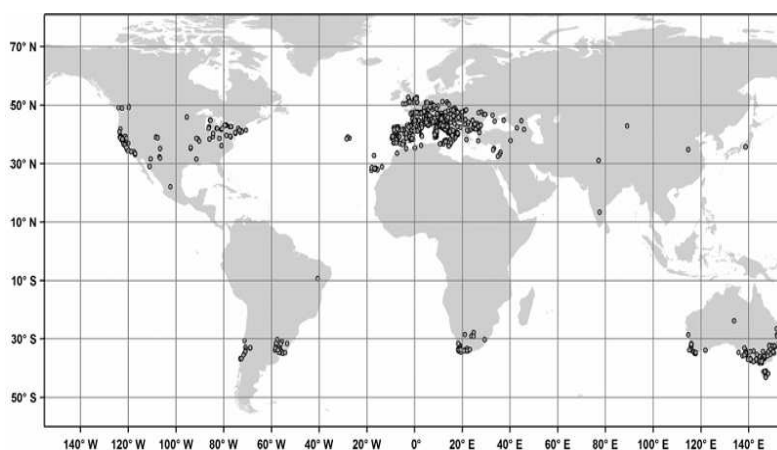


Figura II.1 Distribuzione mondiale delle regioni viticole (Fonte: Fraga et al., 2012)

III INFLUENZA DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLA VITICOLTURA

Il cambiamento climatico sta influenzando la resa e la qualità dell'uva, con temperature globali in aumento di 1,3°C nel periodo 1950-1999 e di 1,7°C dal 1950 al 2004 in Europa. Gli studi hanno riportato accorciamenti della stagione vegetativa e fenologia sempre più precoce nelle regioni vitivinicole europee, come l'Italia, la Germania e la Francia. Ciò può avere un impatto negativo sulla qualità del vino, poiché i periodi di maturazione più caldi possono ridurre il contenuto di acidità totale, causare la diminuzione del pH e l'aumento del grado zuccherino. Si prevede che le proiezioni sul cambiamento climatico per il XXI secolo modificheranno in modo significativo la zonazione viticola in Europa. Le proiezioni future suggeriscono una maggiore superficie coltivata e produzione di uva da vino nella regione

mediterranea, ma anche un aumento di parassiti e malattie. I climi estremamente caldi possono portare però al degrado organolettico e al deterioramento del vino, inibendo la formazione di antociani, ridurre il colore del vino e aumentare la volatilizzazione degli aromi, al contrario i climi più caldi possono essere vantaggiosi per le regioni dell'Europa centrale e occidentale, come l'Alsazia, la Champagne, Bordeaux dove i problemi da freddo esercitano una maggiore pressione. Si prevede inoltre che le future concentrazioni di CO₂ avranno un impatto positivo sullo sviluppo della vite e sulle caratteristiche di resa. Una maggiore quantità di CO₂ ridurrà la traspirazione delle piante, compensando l'aumento dell'evaporazione del suolo, portando di conseguenza a una riduzione dell'evapotraspirazione. Questo effetto indiretto e diretto dell'aumento dell'accumulo di composti carboniosi può rispondere positivamente ai cambiamenti climatici (Fraga et al., 2012)

Il cambiamento climatico è diventato un argomento di crescente importanza nella ricerca vitivinicola ed enologica, con studi che ne valutano gli effetti sulla fisiologia, la fenologia, la composizione dell'uva e la qualità del vino. Si prevede che il cambiamento climatico migliorerà l'idoneità nelle regioni con basse temperature estive, mentre ridurrà l'idoneità nelle aree calde e secche. Tuttavia, gli studi sulle mappe di idoneità a livello globale, europeo e nazionale spesso sottovalutano la variabilità su scala fine, che potrebbe aiutare la viticoltura a rimanere redditizia in condizioni climatiche mutevoli. I modelli colturali sono in grado di prevedere l'impatto dei cambiamenti di temperatura, della disponibilità idrica e dei livelli di CO₂ ambientale sui componenti della resa e sulla composizione dell'uva. Tuttavia, queste previsioni sono complesse a causa di fattori interagenti. L'elevata CO₂ può aumentare la temperatura della fotosintesi e diminuire la traspirazione, mentre la microbiologia del suolo può essere modificata in base ai cambiamenti climatici, influenzando indirettamente la resistenza alla siccità delle colture. Un ulteriore studio della plasticità fenotipica dei vitigni è fondamentale per selezionare materiale vegetale in grado di adattarsi ai cambiamenti ambientali (Van Leeuwen et al., 2019)

IV STRATEGIE DI MITIGAZIONE E ADATTAMENTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

La mitigazione e l'adattamento sono essenziali per ridurre le emissioni di gas serra e migliorare la qualità del suolo. Mentre le misure di mitigazione richiedono periodi a lungo termine per ridurre le concentrazioni di gas serra, l'adattamento può essere una risposta umana o naturale ai cambiamenti climatici attuali o precedenti. Queste misure comportano pratiche di gestione specifiche e progressi tecnologici che possono avere un impatto positivo sulla

futura qualità del vino e sulla moderna viticoltura (Fraga et al., 2012). Gli eventi estremi degli ultimi anni hanno esposto i paesaggi culturali a una maggiore vulnerabilità e suscettibilità ai cambiamenti climatici rispetto ai vigneti moderni. I vigneti storici spesso mancano di sistemi di irrigazione o raffreddamento della vite e la ricerca futura dovrebbe esplorare questi problemi. La necessità di una gestione strutturata dei vigneti per far fronte ai frequenti eventi di caldo estremo e siccità è in crescita a livello globale e in Europa. La sostenibilità a lungo termine richiede l'esplorazione e il perfezionamento delle pratiche di coltivazione, con la ricerca scientifica che svolge un ruolo cruciale nell'informare strategie di adattamento efficaci. Per mitigare le sfide della siccità e delle ondate di calore nei vigneti, sono necessarie strategie a lungo termine, attraverso l'analisi delle tendenze climatiche utilizzando dati satellitari ad accesso aperto questi possono fornire soluzioni convenienti e scientificamente fondate per l'adattamento. Le procedure di monitoraggio che utilizzano sensori di campo o remoti possono aiutare il processo decisionale, garantendo un uso efficiente delle risorse idriche e dando priorità alla sostenibilità economica e ambientale. I progressi tecnologici, come i sensori e l'intelligenza artificiale, possono integrare le conoscenze tradizionali con soluzioni high-tech per strategie di mitigazione più efficaci (Straffelini et al., 2024).

Si prevede che il cambiamento climatico porrà nuove sfide al settore viticolo europeo, che dipende fortemente dal clima per le strategie di sopravvivenza. La crescente evidenza di un significativo cambiamento climatico nei prossimi decenni richiede misure di adattamento, in particolare nelle regioni con una minore vocazione alla vinificazione. I viticoltori stanno diventando sempre più consapevoli di questo problema, poiché la pianificazione strategica darà loro un vantaggio competitivo. Tuttavia, le strategie a breve e lungo termine richiedono una maggiore attenzione nella ricerca futura. Le strategie di adattamento possono essere molto vantaggiose per il settore agricolo, come dimostrato da (Reidsma et al., 2010), che suggerisce che le misure di adattamento possono ridurre gli impatti del cambiamento climatico e della variabilità climatica sui raccolti delle colture. I viticoltori europei stanno già adottando misure di adattamento ai cambiamenti climatici.

V ADATTAMENTI ALL'AUMENTO DELLE TEMPERATURE

Le temperature più elevate accelerano la fenologia e la fisiologia della vite, portando a una maturazione anticipata e a una composizione squilibrata dell'uva. Ciò si traduce in vini privi di freschezza e complessità aromatica. Gli adattamenti a temperature più elevate comportano cambiamenti nel materiale vegetale o nelle tecniche viticole. Le viti hanno un'ampia diversità fenotipica, con le tradizionali regioni vinicole in Europa che piantano varietà che maturano tra

il 10 settembre e il 10 ottobre, tuttavia con l'aumento delle temperature, le varietà tradizionali possono uscire dalla finestra di maturazione ideale, con un impatto negativo sulla qualità del vino. Per adattarsi a un clima che cambia, è possibile piantare varietà a maturazione più tardiva andando a sviare la negatività, scegliere portinnesti che anticipino o ritardino la maturazione a seconda dell'areale in cui ci troviamo, oppure lavorando sulla gestione del vigneto e della sua chioma. Una gamma più ampia di varietà di vite può essere uno strumento utile per l'adattamento ai cambiamenti climatici, la variabilità clonale all'interno di una varietà si riferisce alla variabilità genetica nei vitigni. Storicamente, i cloni sono stati scelti per caratteristiche come l'alta produttività, la maturazione precoce e l'alto contenuto di zucchero. In un clima che cambia, possono essere selezionati nuovi cloni con caratteristiche opposte. Nel caso di questi portinnesti possono influenzare la fenologia e la maturazione della vite, con alcuni che causano una maturazione anticipata e altri che causano un ciclo più lungo (Van Leeuwen et al., 2019). Un esempio è dato da (Koundouras et al. 2008), i quali hanno scoperto che il portainnesto 1103P è migliore per la crescita dell'uva da vino in condizioni semiaride, mentre S04 è preferibile dove non esiste alcuna limitazione idrica. L'accesso al portainnesto più adatto può migliorare l'efficienza nell'uso dell'acqua (WUE), la resa e la qualità (Fraga et al., 2012).

I sistemi di allevamento possono essere adattati aumentando l'altezza del tronco, riducendo le temperature massime nella zona dei frutti e ritardando le pratiche di gestione della chioma, come la riduzione del rapporto tra area fogliare e peso dei frutti e la limitazione della rimozione delle foglie anche un'opzione per ritardare la fenologia della vite (Van Leeuwen et al., 2006). Per quanto riguarda la gestione della chioma si può intervenire con potature tardive, effettuate durante l'inverno, che può ritardare il germogliamento di alcuni giorni, ma le differenze tendono ad attenuarsi per le fasi fenologiche successive. La potatura tardiva migliora la qualità del vino, probabilmente a causa di una maturazione ritardata a temperature più basse associate a una fenologia ritardata. Tuttavia, questa tecnica è ancora sperimentale e gli effetti di trascinarsi a lungo termine sul vigore devono essere studiati. Il cambiamento climatico può essere affrontato efficacemente adattando i vigneti ad altitudini più elevate, poiché le temperature diminuiscono di 0,65°C per 100 m di altitudine nelle aree montuose. Tuttavia, ciò può avere effetti ambientali negativi, come l'interruzione dell'habitat della fauna selvatica e dei servizi ecosistemici. Gli adattamenti del materiale vegetale e delle tecniche viticole possono essere progressivamente implementati, con ulteriori ricerche necessarie per valutare l'effetto dell'additivo (Van Leeuwen et al., 2019).

VI ADATTAMENTI ALLA SICCIÁ

La vite, una specie mediterranea, è molto resistente alla siccità e può essere coltivata in climi estremamente secchi, anche con 400 mm di pioggia all'anno. Tuttavia, questo può avere un impatto negativo sulla resa, ma non necessariamente sulla qualità. Molti vini famosi sono prodotti in queste condizioni senza irrigazione, come Henschke Hil of Grace in Australia e Dominus Estate a Napa, in California (Van Leeuwen et al., 2006).

I deficit idrici possono ridurre la resa nella produzione di vino rosso, ma possono anche promuovere la qualità del vino bianco. Il cambiamento climatico sta causando deficit idrici, con un impatto negativo sulla redditività della produzione vitivinicola. Per adattarsi a condizioni di crescita più secche, stanno diventando sempre più importanti gli adattamenti a materiale vegetale resistente alla siccità, sistemi di allevamento specifici e irrigazione. Le viti, che sono altamente resistenti alla siccità, hanno migliaia di anni di esperienza nella coltivazione in condizioni calde e secche. I portinnesti (Tabella VI-1) esistenti alla siccità, che sono stati utilizzati da quando la fillossera ha raggiunto l'Europa, possono essere utilizzati per sostenere le rese ed evitare perdite di qualità dovute a un eccessivo stress idrico. Questi adattamenti sono rispettosi dell'ambiente e non aumentano i costi di produzione una volta piantati (Van Leeuwen et al., 2019).

Tabella VI-1 Tolleranza alla siccità tra i portinnesti (Fonte: Van Leeuwen et al., 2019).

Rootstocks	Usual Name	Phylloxera Resistance	Water Stress Adaptation
Riparia Gloire de Montpellier	Riparia Gloire	High to very High	Low
Grézet 1	G1	Low to Medium	Low
Foëx 34 École de Montpellier	34 EM	High	Low to Medium
Millardet et de Grasset 420 A	420 A	High	Very Low to Medium
Kober-Téléki 5 BB	5 BB	High	Low to Medium
Téléki 5 C	5 C	High	Low to Medium
Couderc 1616	1616 C	High	Low to Medium
Rupestris du Lot (St. George)	Rupestris	Medium to High	Low to Medium
Millardet et de Grasset 101-14	101-14 MGt	High	Very Low to Medium
Couderc 3309	3309 C	High	Very Low to High; mostly Low to Medium
Téléki-Fuhr Selection	SO4	High	Very Low to High; mostly Low to Medium
Oppenheim n°4	8 B	High	Low to Medium
Téléki 8 B	8 B	High	Low to Medium
Dog Ridge	Dog Ridge	High	Very Low to High
Schwarzmann	Schwarzmann	High to very High	Very Low to Medium
Couderc 1613	1613 C	Low to Medium	Low to Medium
Couderc 161-49	161-49 C	High	Low to Medium
Kober-Téléki 125 AA	125 AA	High	Medium
Millardet et de Grasset 41B	41 B	Medium to High	Very Low to High, mainly Medium
Castel 216-3	216-3 CI	High	Medium
Fercal INRA Bordeaux	Fercal	Medium to High	Medium
Gravesac INRA Bordeaux	Gravesac	High to very High	Medium
Freedom	Freedom	Medium to High	Medium
Harmony	Harmony	Low to Medium	Medium to High
Foëx 333 École de Montpellier	333 EM	Medium to High	Low to High, mainly Medium to High
Richter 99	99 R	High	Medium to Very high
Börner	Börner	Very high	High
Castel 196-17	196-17 CI	Low to Medium	Medium to High
Georgikon 28	Georgikon 28	High	High
Malègue 44-53	44-53 M	High	Medium to very High
Ramsey	Ramsey	High	Medium to very High
Paulsen 1103	1103 P	High	High to very High
Paulsen 1447	1447 P	High	High to very High
Richter 110	110 R	High	High to very High
Ruggeri 140	140 Ru	High	High to very High

I vitigni sono molto variabili nella loro tolleranza alla siccità, probabilmente legata alla loro regolazione del potenziale idrico e all'alterazione dell'efficienza nell'uso dell'acqua. L'efficienza nell'uso dell'acqua è la quantità di assorbimento del carbonio per un'altra quantità di traspirazione attraverso gli stomi, mentre la crescita delle piante e il cambiamento della biomassa della vite sono la misura del consumo di acqua. Confrontare i cambiamenti nella discriminazione isotopica del carbonio tra anni umidi e secchi può aiutare a caratterizzare la resistenza alla siccità. I viticoltori del bacino del Mediterraneo hanno sviluppato un sistema di allevamento chiamato “calice mediterraneo o vite ad alberello”, resistente alla siccità e alle alte temperature, questo sistema consente alle viti di vivere in ambienti estremamente asciutti, fino a soli 350 mm di pioggia/anno, nonostante le basse rese, le viti allevate a calice sono facili da coltivare a costi di produzione ridotti per ettaro, tuttavia, la raccolta delle viti allevate a

calice è difficile da vendemmiare a macchina. Una soluzione alternativa per aumentare la resistenza alla siccità nei vigneti è quella di aumentare la distanza tra i filari. La distanza tra le file è tradizionalmente elevata nelle regioni in cui il deficit idrico non è un problema importante, come Bordeaux, Champagne e Borgogna. La distanza tra le file ottimizza l'intercettazione della luce solare, consentendo di ottenere vini di alta qualità con rese moderatamente elevate. L'effetto della distanza tra i filari sul bilancio idrico è stato recentemente modellato da (Van Leeuwen et al., 2019) dimostrando che la distanza tra le viti ha un effetto importante sul bilancio idrico e sulla disponibilità di acqua durante la maturazione dell'uva. La capacità di ritenzione idrica del suolo (acqua traspirante del suolo, TTSW) ha un impatto importante sullo stato idrico della vite, esse non affrontano alcun deficit idrico quando la frazione di acqua traspirante dal suolo (FTSW) è compresa tra 1,00 e 0,40 e i deficit idrici sono sempre più intensi tra 0,40 e 0,00 (Figura VI-1). L'irrigazione è un potenziale metodo per la gestione del vigneto in climi secchi per evitare perdite di resa legate alla siccità, tuttavia, nel bacino del Mediterraneo, la maggior parte delle viti è ancora coltivata a secco anche se la superficie coltivata a vigneti irrigui è in aumento (Van Leeuwen et al., 2019).

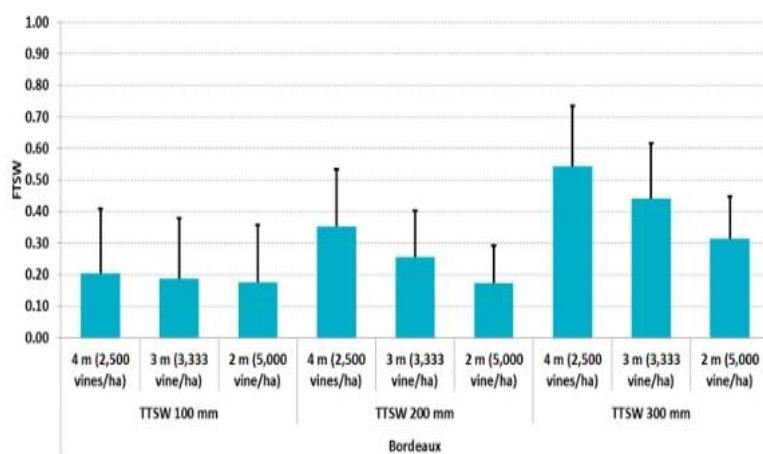


Figura VI-1 Frazione media modellata di acque traspirabili del suolo (FTSW) nei 30 giorni precedenti le date di vendemmia modellate per tre distanze tra le viti (2, 3 e 4 m) e tre livelli di acqua totale traspirante del suolo (100, 200 e 300 mm).

VII. Gestione dell'irrigazione

L'irrigazione può anche portare a negatività come un aumento della salinità del suolo, riducendo l'idoneità a lungo termine dei terreni per la coltivazione dei vigneti. Quando si sceglie l'irrigazione, è necessario considerare i potenziali impatti negativi sulle risorse idriche superficiali e sotterranee regionali, sugli altri utenti dell'acqua e sull'ambiente circostante. Tecniche come l'irrigazione di deficit dovrebbe essere utilizzata con un monitoraggio preciso, anche mediante l'utilizzo di sensoristica per evidenziare al meglio lo stato idrico della vite per limitare la quantità di acqua applicata. Nonostante una gestione dell'irrigazione ben calibrata, l'impronta idrica blu¹ di un vigneto irrigato è generalmente almeno cento volte superiore rispetto a un vigneto coltivato a secco (Van Leeuwen et al., 2019).

Nelle regioni con maggiore scarsità d'acqua, è necessario migliorare l'efficienza nell'uso dell'acqua, attualmente quindi sono disponibili varie strategie di irrigazione, come l'irrigazione di deficit (RDI), l'irrigazione parziale (PRD) e l'irrigazione in eccesso (SDI), possono essere utilizzate per migliorare la efficacia dell'uso dell'acqua WUE, ottenendo una maturazione e una qualità ottimali dell'uva e del vino. Diverse tecniche irrigue sono ottenute valutando il suolo e i parametri fisici, come il flusso d'acqua, le variazioni di crescita degli alberi, la temperatura della linfa (cloro fluorescenza). Nei climi dell'Europa meridionale, la sostenibilità idrica o gestione sostenibile delle acque può essere una strategia economica redditizia per i viticoltori, fornendo così un giusto compromesso tra costi ambientali e fabbisogno idrico delle piante (Fraga et al., 2012).

VIII SCOPO DELLO STUDIO

Sono numerosi gli studi condotti in aree dove la disponibilità naturale di acqua è limitata ma è presente come risorsa irrigua, come in Argentina e California. Sono, inoltre, molti gli ambienti in cui gli eventi piovosi e l'acqua irrigua sono scarsi, come nell'Italia centro-settentrionale, dove la tecnica irrigua è poco diffusa, rappresenta un costo aggiuntivo e la risorsa idrica è limitata. Pertanto, l'obiettivo di questo lavoro è stato quello di valutare i benefici ottenibili dalle viti utilizzando volumi irrigui moderati in una condizione di mutato contesto climatico.

¹ L'impronta idrica blu rappresenta il volume totale di acqua dolce prelevata da fonti superficiali (come fiumi e laghi) o sotterranee (falde acquifere) e utilizzata in un processo produttivo o per un determinato consumo. Questa acqua non viene restituita alla fonte originale, ma viene evaporata, incorporata in un prodotto o dispersa.

Lo studio si è posto lo scopo di raggiungere un duplice obiettivo basato sul risparmio idrico, anche in aree dove le estati siccitose sono sempre più frequenti, e sulla salvaguardia delle rese e della qualità delle uve, valutando la fisiologia della chioma, produzione e qualità di viti di 'Montepulciano', classificata come varietà quasi isoidrica (Silvestroni et al., 2020).

I risultati di questa tesi forniranno informazioni preziose sull'efficacia e la sostenibilità della microirrigazione in un contesto di cambiamento climatico attuale. I dati raccolti e le analisi condotte potranno contribuire a definire strategie di irrigazione ottimizzate per i vigneti, favorendo una gestione più efficiente delle risorse idriche, una maggiore resilienza di fronte agli stress climatici e una produzione vitivinicola più sostenibile.

Capitolo 1

MATERIALI E METODI

Questa sperimentazione è stata condotta presso dell'azienda agricola Pignotti, sita Montefiore dell'Aso (AP) e rientra nell'ambito del PSR dal Titolo 'Sistemi irrigui innovativi in viticoltura biologica come strategia di mitigazione ai cambiamenti climatici' (IRRVINE), finanziato dalla Regione Marche all'interno del Piano di Sviluppo Rurale (Misura 16.2 a)-Sostegno a progetti pilota e allo sviluppo di nuovi prodotti, pratiche, processi e tecnologie" attivata nell'ambito dei Progetti Integrati di Filiera (PIF) Agroalimentare.

1.1 Il vigneto e il vitigno

Vigneto. L'indagine è stata condotta su Montepulciano nella stagione 2024 in un vigneto nel comune di Montefiore dell'Aso (AP), in contrada Menocchia. Il vigneto in esame si trova su un suolo con pendenza media del 7% e composizione argillosa. L'impianto del vigneto è stato effettuato nel 1999, utilizzando il clone R7, innestato su 420A. Il vigneto (Figura 1.1.1) è di proprietà dell'azienda agricola Pignotti, seguendo i regimi dell'agricoltura biologica e rientra nell'area DOC del Rosso Piceno. I filari, lunghi circa 120 m, hanno un orientamento Sud-Ovest e distano tra loro 2,90 m. Le viti, allevate a Guyot bilaterale, sono ad una distanza di 1,10 m sulla fila, con pali in cemento sono a 4,5 m e 3 ceppi per interpalo.

Il vigneto in esame è dotato di sistema di irrigazione (Figura 1.1.1) costituito da gocciolatori a compensazione di pressione di capacità pari a 5 L/h, distanziati di 1,10 m (Figura 1.1.2). La disponibilità idrica del suolo è stata modificata restituendo, durante il periodo di post-allegazione e invaiatura, acqua (tesi irrigata), secondo volumi e turni aziendali. Nello specifico il trattamento irriguo è stato effettuato nei giorni 19 e 20 luglio somministrando alle piante 28 l/ceppo.



Figura 1.1.1 Vigneto di Montepulciano dell'Azienda agricola Pignotti provvisto di sistema irriguo



Figura 1.1.2 Vite di Montepulciano con ala gocciolante

Il confronto tra le tesi irrigue e non irrigue è stato effettuato suddividendo il vigneto in 2 filare, ognuno dei quali costituiti da 16 piante, 1 sottoposto ad irrigazione (I) e l'altro lasciato in "asciutto" (C). Le viti sono state selezionate costituendo 3 blocchi da 6 scelte nella parte bassa, media e alta della fila e considerando come viti campione quelle centrali per un totale di 8 (Figura 1.1.3).

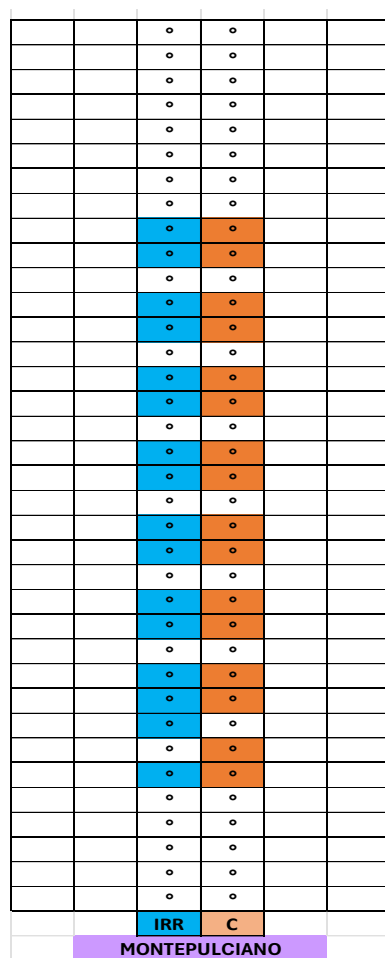


Figura 1.1.3 Schema rappresentativo del vigneto sperimentale con il filare irrigato (IRR) e quello di controllo (C) e relative viti evidenziate oggetto della sperimentazione

La microirrigazione o irrigazione a goccia prevede l'erogazione di modesti volumi di acqua ad un volume di suolo limitato, l'acqua è distribuita in prossimità della pianta da queste ali gocciolanti. La microirrigazione presenta innumerevoli vantaggi come: 1) non compromette mai l'accessibilità del vigneto e, quindi, l'esecuzione delle normali pratiche agricole, 2) risparmi idrici assicurati, perché evita ruscellamento e percolazione in profondità dell'acqua ed evaporazione diretta dal suolo, 3) maggiore efficienza di distribuzione idrica e maggior controllo dei tempi e dei volumi irrigui (Palliotti et al., 2018)

Vitigno isoidrico. Il vitigno Montepulciano è un vitigno a bacca nera coltivato in prevalenza nell'Italia centrale, in particolare in Abruzzo, Marche e Umbria. È base fondamentale per tre vini delle Marche: l'Offida Rosso DOCG, il Rosso Piceno DOC e anche la sua variante Superiore DOC, il Rosso Conero DOC e il Rosso Conero riserva DOCG. Il Montepulciano è un vitigno autoctono del centro Italia ed in particolare delle Marche e dell'Abruzzo; a testimonianza di ciò sono conservati diversi documenti risalenti al 1700.

Il Montepulciano, assieme al Sangiovese, rappresenta al meglio la tradizione dell'Italia centrale, ha un grappolo di grandezza e compattezza media, quasi sempre alato, di forma piramidale o conica, matura in epoca avanzata in genere la prima decade di ottobre (Farina 2003).

Il Montepulciano è considerato una varietà isoidrica (Palliotti et al., 2009; 2014) o quasi isoidrico (Tombesi et al., 2015). La risposta fisiologica delle viti a periodi caratterizzati da multipli stress estivi è l'immediata chiusura parziale o totale degli stomi, che consente alla foglia di mantenere un favorevole turgore fogliare ma ne limita lo scambio gassoso, prevenendo la fotoinibizione cronica ed evitando aree necrotiche sulle foglie esposte al sole (Palliotti et al., 2009; 2014). I comportamenti isoidrici del Montepulciano rendono questa varietà particolarmente adatta per valutare gli effetti di limitati volumi di acqua irrigua e la sua risposta alle variazioni climatiche.

1.2 Indicatori fisiologici per valutare lo stress idrico del vigneto: rilievi effettuati

Durante la stagione vegetativa 2024 del Montepulciano abbiamo valutato:

- la capacità fotosintetica delle viti irrigue ed asciutte, attraverso la misura degli scambi gassosi;
- lo stato idrico delle viti, attraverso la misura del potenziale idrico fogliare;
- le curve di maturazione
- la capacità produttiva
- la qualità del mosto.

1.2.1 Misura degli scambi gassosi

Per la misura di fotosintesi netta (Pn) e conduttanza stomatica (gs) sono state analizzate 8 foglie ben esposte alla radiazione solare sia nel filare irriguo che in quello controllo, selezionando foglie singole e mature poste, in corrispondenza della fascia mediana della chioma, nel tratto dal sesto al 10° nodo dalla base del germoglio, e misurate in condizioni di luce saturante ($PAR > 1400 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$). I rilievi, effettuati al mattino tra le 9.00 e le 11.00, in giornate con cielo sereno, sono iniziati a partire dalla fase di post fioritura e si sono conclusi alla vendemmia, con cadenza di circa due settimane. Nello specifico le misure sono state eseguite nei giorni 24/05, 07/06, 27/06, 12/07, 23/07, 06/08 e in data 27/09, in cui è stata svolta anche la vendemmia.

Per questi rilievi abbiamo utilizzato un analizzatore portatile di fotosintesi ADC (Analytical Development Co., Hoddesdon, Herts, UK). Il sistema è dotato di una camera a foglia larga $6,25 \text{ cm}^2$, e le misurazioni sono state effettuate a umidità relativa ambiente con un flusso d'aria regolato a 350 ml min^{-1} (Figura 1.2.1-1).

La macchina preleva aria atmosferica da sopra le chiome delle viti, mediante l'ausilio di una canna da pesca cava, il tutto per evitare che la CO_2 aspirata sia influenzata dalla respirazione del vigneto e degli operatori, quest'aria viene poi mediante una pompa trasferita alla camera dove c'è la porzione di foglia, e al data logger. Questi valori trasferiti al data logger/processor saranno memorizzati e contemporaneamente saranno misurati altri parametri come la conduttanza stomatica, traspirazione della foglia e luce incidente nel momento della misura.



Figura 1.2.1-1 LCA-3 gas analyser open system portatile, analizzatore di gas ad infrarosso (ADC) e camera fogliare Parkinson

1.2.2 *Potenziale idrico fogliare*

Per monitorare lo stato idrico delle viti e, quindi, i tempi di irrigazione sono state condotte periodicamente (27/06, 12/07, 23/07) misure di potenziale idrico fogliare (ψ_f), utilizzando la camera di Scholander (PMS Instrument Co., Albany) (Figura 1.2.2-1), che permette di misurare la quantità di pressione sufficiente a fare uscire una goccia d'acqua dal picciolo della foglia presa in esame.

Le misurazioni di Ψ_f sono state effettuate dalle 12:00 alle 13:30 ora solare, su 6 foglie per trattamento, mature e ben esposte al sole, campionate nella parte centrale dei germogli primari.

Le foglie campionate sono state rapidamente inserite all'interno della camera con il picciolo rivolto verso l'esterno. Successivamente viene pressurizzato azoto (N_2) molto lentamente verso la foglia all'interno della camera sigillata, fino a quando si scorge la prima goccia di xilema sulla superficie di taglio del picciolo. La pressione letta sul manometro corrisponde, alla tensione con cui l'acqua è trattenuta all'interno dei dotti xilematici.

Alcuni autori considerano il potenziale idrico fogliare misurato a mezzogiorno o "Leaf Water potential" l'indicatore più idoneo per il monitoraggio dello stato idrico, a causa della migliore correlazione con la conduttanza stomatica e quindi traspirazione (Choné et al., 2001; Patakas et al., 2005).



Figura 1.3.2-1 Camera di Scholander (PMS Instrument Co., Albany)

1.2.3 Rilievi produttivi e qualitativi

All'inizio del mese di agosto, le uve della tesi irrigua ed asciutta sono state campionate a cadenza bisettimanale fino alla vendemmia, per determinarne la concentrazione zuccherina, pH e acidità.

Alla vendemmia, effettuata il 27/09/2024, i grappoli sono stati contati e pesati con un dinamometro HS-15K (capacità 15 kg x 0,01 kg, UWE (Universal Weight Electronics) Laageinde, 13b 4191 NR Geldermalsen, THE NETHERLANDS). Un sotto campione di 100 acini è stato prelevato in tutte le viti campione (16 irrigue e 16 controllo, per un totale di 32) ed analizzato, per determinarne la concentrazione zuccherina, pH e acidità.

Gli acini di ciascun campione sono stati pesati in laboratorio per ottenerne il peso medio e, in seguito, pigiati per la fuoriuscita del succo. Il succo ottenuto è stato utilizzato per le analisi compositive del mosto: concentrazione zuccherina, pH e acidità titolabile, rispettivamente utilizzando un rifrattometro digitale a compensazione di temperatura Maselli LR-01 (Maselli Misure, Parma, Italia), un pHmetro Crison con elettrodo di vetro (Crison Instruments, Barcellona, Spagna) ed un titolatore Crison (Crison Instruments) usando 0,25 N di NaOH fino a pH 7,00, esprimendo quindi il dato in g/L di acido tartarico equivalente.

I dati sono stati sottoposti ad analisi statistica tramite One-way ANOVA (ANalysis Of VAriance) applicando il T-test ("Student-Newman-Keuls test").

1.2.4 *Dati termopluviometrici*

I dati meteo relativi alla zona d'interesse sono stati ottenuti dal sito del Servizio Regionale della Protezione Civile della Regione Marche (<https://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Protezione-Civile/Progetti-e-Pubblicazioni/Meteo#Richiesta-dati>). I dati provengono dalla stazione più vicina al vigneto. Nel nostro caso la stazione si trova nel comune di Montefiore dell'Aso (AP) precisamente in località Borgo Viconare a circa 3,7 km dal vigneto oggetto di sperimentazione.

Sono stati presi in considerazione i “dati validati” relativi alle temperature minima (Tmin), media (Tmed) e massima (Tmax) ed alle precipitazioni (cumulate in mm), nel periodo gennaio-settembre 2024.

Capitolo 2 RISULTATI E DISCUSSIONE

2.1 Temperatura

Il decorso stagionale 2024 è stato analizzato mediante i relativi dati termopluviometrici raccolti dalla stazione Viconare (RT-3392). La conoscenza dell'andamento stagionale è di fondamentale importanza in quanto il ciclo della vite è fortemente influenzato dal regime termico e pluviometrico, che solitamente si ripercuote sullo sviluppo vegeto-produttivo, sull'andamento della maturazione e qualità delle uve alla vendemmia.

Il vigneto dell'Azienda Agricola Pignotti ricade nei territori all'interno dell'area della DOC Picena, che nel 2024 è stata caratterizzata da un regime termico piuttosto elevato che ha portato al verificarsi di ondate di calore a partire già dal mese di giugno in cui la Tmax ha superato i 35°C, mentre le Tmed, durante questo periodo si sono stabilizzate su valori termici di 25°C (Figura 2.1.1 e Tab 2.1-1). Questa tendenza si è protratta per i mesi di luglio e agosto, mentre a settembre, le temperature sono iniziate a diminuire (Fig. 2.1.1).

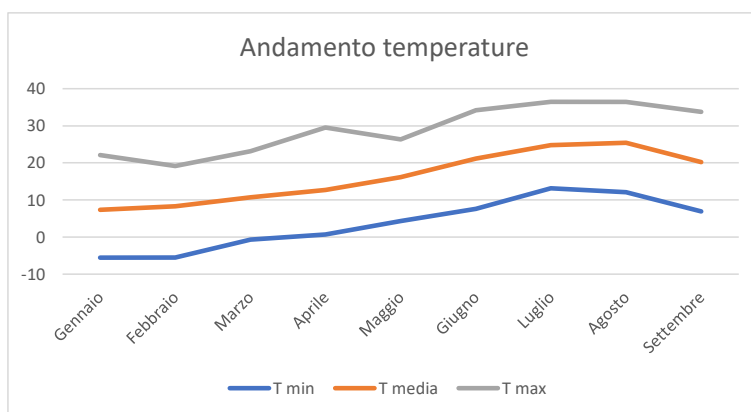


Figura 2.1.1 Andamento delle temperature (°C) minime (Tmin), medie (Tmed) e massime (Tmax) mensili da gennaio a settembre 2024, registrate dalla stazione Viconare (RT-3392) nel comune di Montefiore dell'Aso.

Le giornate con temperature superiori ai 30°C sono risultate 73, nello specifico 11 a giugno, 27 a luglio, 28 ad agosto e 6 a settembre. Luglio e agosto sono stati mesi molto caldi con temperature >35°C in 9 giorni a luglio e 8 ad agosto (Tab 2.1-1), in cui è stata registrata anche la temperatura più alta, pari a 36,43°C il giorno 1/08/2024. Come riportato da Georgieva et al. (2000) temperature superiori ai 30°C rallentano drasticamente l'attività fotosintetica della vite, con la possibilità di compromettere il fotosistema II.

Nonostante le alte temperature diurne, le notti tropicali (notti con Tmin > 20°C) durante il periodo estivo hanno raggiunto un massimo di 3, di cui 1 a luglio e 2 ad agosto.

Tabella 2.1-1. Giorni con T max>30°C e >35°C da aprile a settembre 2024, registrate dalla stazione Viconare (RT-3392).

Mese	Giorni (>30°C)	Giorni (>35°C)
Aprile	0	0
Maggio	0	0
Giugno	11	0
Luglio	27	9
Agosto	28	8
Settembre	6	0
TOT	73	17

Tabella 2.1-2 Notti tropicali (T min>20°C) C da aprile a settembre 2024, registrate dalla stazione Viconare (RT-3392).

Mese	N.T. (>20°C)
Aprile	0
Maggio	0
Giugno	0
Luglio	1
Agosto	2
Settembre	0
TOT	3

Per approfondire la caratterizzazione climatica dell'area viticola in esame è stato calcolato l'indice di Amerine Winkler o gradi giorno (GG) ovvero le sommatorie termiche attive,

calcolato, nel nostro caso dal 1° aprile 2024 al 30 settembre 2024, per un totale di 1850,45 GG (Tab 2.1-3).

Tabella 2.1-3 Gradi giorno (Indice di Amerine-Winkler) cumulati mensilmente da aprile a settembre nell'annata 2024, registrate da Viconare (RT-3392).

GG	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Mensile	89,19	207,57	334,58	468,81	468,49	279,11
Totale	89,19	296,76	631,34	1100,15	1568,64	1850,45

2.2 Precipitazioni cumulate

Durante il 2024, da gennaio a settembre, nel comune di Montefiore dell'Aso, il totale delle precipitazioni è stato pari a 454,2 mm. La distribuzione mensile è stata piuttosto disomogenea, nei mesi di luglio e agosto le precipitazioni sono state piuttosto scarse, rispettivamente di 3,8 e 13,8 mm. Eventi piovosi importanti (15 mm/giorno) non si sono verificati per ben 88 giorni, a partire dal 13 giugno, in cui si è verificato un evento importante con 33,4 mm di pioggia caduti in un solo giorno (13/06), fino al 9 settembre (17,4 mm/giorno).

Situazione particolarmente preoccupante si è verificata nei mesi di luglio e agosto dove le alte temperature (Tabella 2.1-1) e le scarse precipitazioni (Figura 2.2.1) hanno rischiato di compromettere la produzione. Nel mese di settembre si sono verificati importanti eventi piovosi, che lo hanno reso il mese con il più alto valore di precipitazioni cumulate 122,2 mm

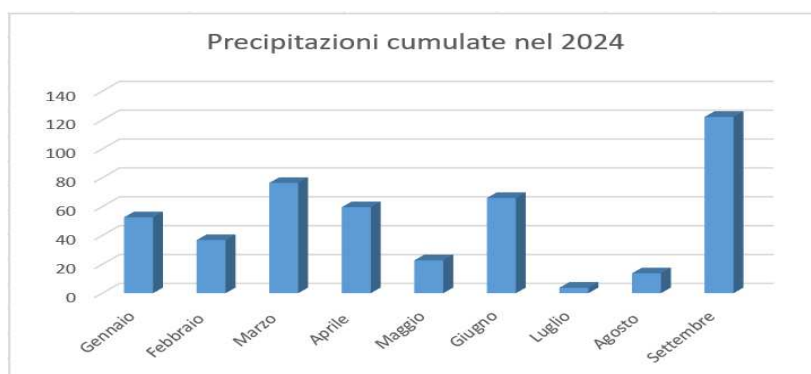


Figura 2.2-1 Precipitazioni cumulate mensilmente da gennaio a settembre 2024, registrate dalla stazione Viconare (RT-3392) nel comune di Montefiore dell'Aso

2.3 Rilievi fisiologici: Fotosintesi e conduttanza stomatica

Come possiamo notare nella Figura 2.3-1 troviamo riportati i valori della fotosintesi netta (Pn).

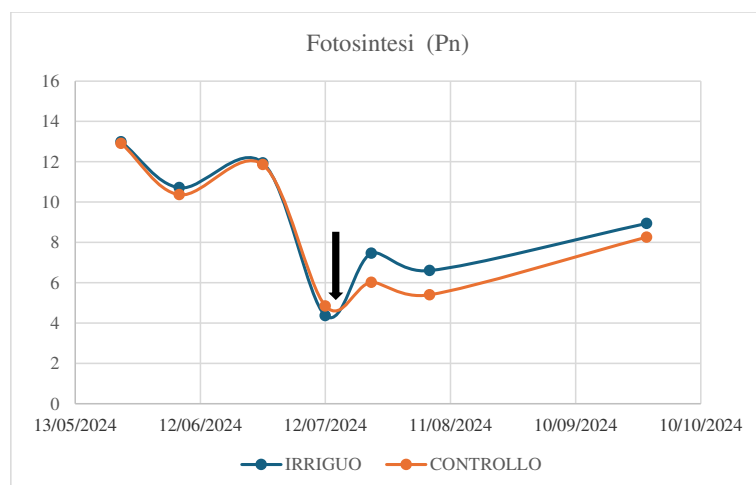


Figura 2.3-1 Andamento della Fotosintesi netta (P_n , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) delle viti di Montepulciano sottoposte ad irrigazione e controllo. La freccia indica il momento irriguo.

La capacità fotosintetica delle viti di Montepulciano durante i rilievi di maggio e giugno, corrispondenti alla fase di fioritura e allegagione, si è attestata su valori alti, compresi tra 11 e 13 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 2.3-1). Nel mese di luglio la situazione è cambiata notevolmente, dal rilievo del giorno 12 si evince un drastico calo della P_n , che raggiunge valori inferiori ai 5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 2.3-1), situazione che si è protratta per tutta la stagione. Questa diminuzione della P_n è stata determinata dalle condizioni di stress termico e idrico, dovute a loro volta all'assenza di precipitazioni durante i mesi di luglio e agosto (88 giorni di siccità dal 13 di giugno al 9 di settembre) (Figura 2.2-1), e alle temperature particolarmente elevate registrate nei mesi di giugno, luglio e agosto (Figura 2.1-1), per un totale di 66 giorni con temperature superiori ai 30°C e 17 giorni con temperature sopra i 35°C. La ridotta capacità fotosintetica del Montepulciano è dovuta alla chiusura stomatica, come risposta di questa varietà considerata isoidrica (Pallioti et al. 2009, 2014, Silvestroni et al. 2020, Tombesi et al. 2015) a tali condizioni di siccità. Ovviamente, una situazione del genere ha comportato l'intervento dell'irrigazione, fornendo alle viti una quantità di acqua pari a 28 l/ceppo, considerata equilibrata per ripristinare disponibilità idrica ma non elevata in modo da lasciare

le viti in una situazione di leggero stress idrico. Inoltre, nei giorni successivi all'intervento irriguo, si sono verificati eventi piovosi di esigua entità (Figura 2.2-1) che hanno, comunque, contribuito al ripristino della capacità fotosintetica sia nelle viti controllo che in quelle irrigue. Nel rilievo effettuato dopo il rifornimento idrico e le piogge, le viti irrigue hanno mostrato un incremento della Pn, passando da valori di 4,37 a 7,46 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 2.3-1). Anche le viti controllo, che non avevano ricevuto acqua irrigua, hanno mostrato un aumento della Pn, dovuto alle piogge che si sono verificate subito dopo l'irrigazione, i valori sono aumentati da 4,85 a 6,02 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 2.3-1). Questo ripristino dell'attività fotosintetica in tutte le viti, a prescindere dal trattamento, conferma il fatto che la varietà in questione, il Montepulciano, è isoidrica e che in condizioni di mancanza d'acqua soffre e chiude gli stomi. Nella Figura 2.3-2 sono riportati i valori di conduttanza stomatica (gs).

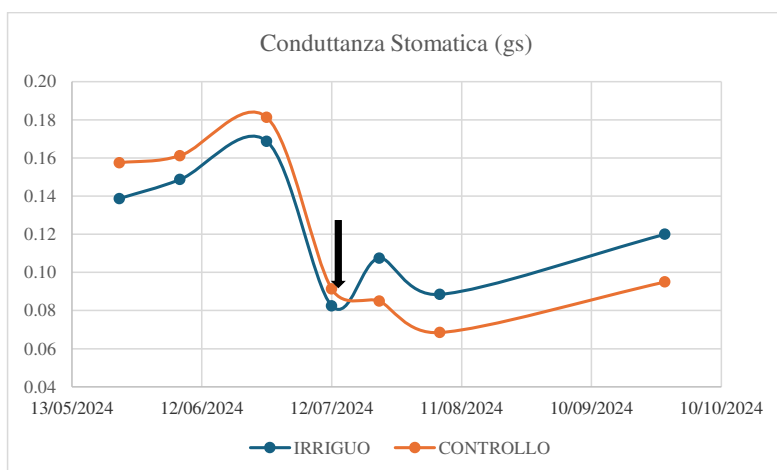


Figura 2.3-2 Andamento conduttanza stomatica (gs, moli $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) delle viti di Montepulciano sottoposte ad irrigazione e controllo. La freccia indica il momento irriguo.

La conduttanza stomatica (gs), i cui valori si ripercuotono sull'andamento della Pn, presenta la stessa tendenza della Pn, con valori iniziali alti, compresi tra 0,14 e 0,18 moli $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 2.3-2), che iniziano a scendere con l'instaurarsi dell'ondata di calore fino a raggiungere valori bassi, tra 0,8 e 0,12 moli $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 2.3-2). Dal rilievo del 23 luglio emerge che la gs nelle viti irrigue ha subito un incremento, mentre nel controllo non si sono verificati miglioramenti (Figura 2.3-2). Con le precipitazioni di settembre, che hanno apportato 122,2 mm (Figura 2.2-1), la Pn e la gs sono aumentate (Figura 2.3-1 e 2.3-2).

2.4 Potenziale idrico

Durante la stagione vegeto-produttiva 2024, è stato monitorato lo stato idrico della vite effettuando 3 campionamenti nelle date: 27/06, 12/07 e 29/07 nelle quali è stato rilevato il potenziale idrico mediante l'utilizzo della camera di Scholander (Figura 1.3.2-1). Come possiamo notare nella Figura 2.4-1 sono riportati i valori del potenziale idrico (ψ_f) nelle differenti viti sia quelle sottoposte a irrigazione che quelle controllo.

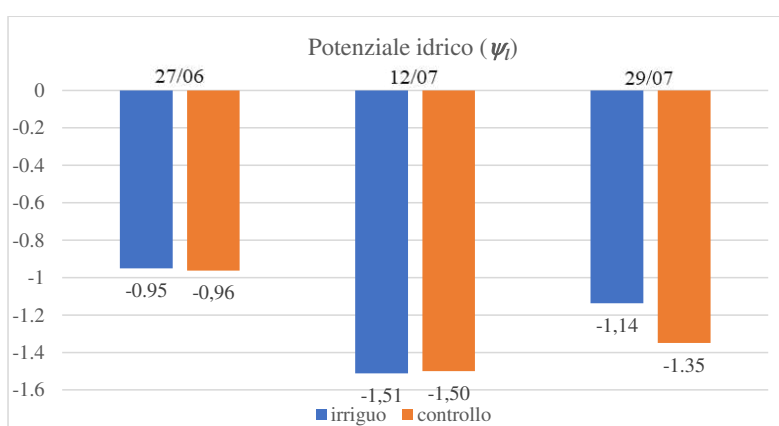


Figura 2.4-1. Valori del potenziale idrico fogliare (Mpa) delle viti di Montepulciano sottoposte a irrigazione e controllo

Nei rilievi effettuati il giorno 27/06, il ψ_f a mezzogiorno è risultato simile in entrambe le tesi e inferiore a -1 Mpa, indice di mancanza di stress (Prichard, 2004), tale situazione si è protratta fino al campionamento del giorno 12 luglio, quando a seguito delle scarse precipitazioni (Figura 2.2-1) e all'aumento delle temperature estive (Figura 2.1-1) il valore del ψ_f ha raggiunto -1,5 MPa in entrambe le tesi. Tali valori possono essere tradotti come una situazione di stress idrico tra medio ed elevato (Van Leeuwen et al., 2009), circostanza che ha comportato l'intervento irriguo (Figura 2.4-1).

La micro-irrigazione effettuata nei giorni 19 e 22 del mese di luglio, ha portato a un aumento del ψ_f nelle viti irrigue che, il 29 luglio ha mostrato valori corrispondenti a un leggero stress idrico, pari a -1,12 MPa. Alla stessa data, le viti controllo non irrigate, presentavano un valore di ψ_f uguale a -1,35 Mpa, corrispondente ad una condizione di stress idrico da medio ad elevato (Figura 2.4-1).

2.5 Curve di maturazione: Solidi solubili totali

In Figura 2.5-1 è possibile notare l'andamento dell'accumulo di solidi solubili durante la fase di maturazione del grappolo nelle viti oggetto di studio, mentre in Tabella 2.5-1 sono riportati i dati relativi alla concentrazione zuccherina, le differenze e il tasso di variazione tra irriguo e controllo.

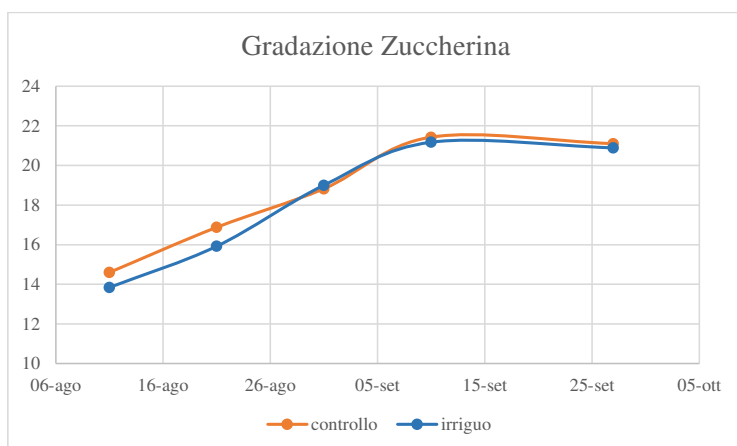


Figura 2.5-1 Evoluzione dell'accumulo degli zuccheri (°Brix) nelle uve di Montepulciano di viti sottoposte a irrigazione e controllo

Tabella 2.5-1 Concentrazione zuccherina (°Brix) e tasso di variazione nelle uve di Montepulciano di viti sottoposte a irrigazione e controllo

	°Brix	°Brix		
Data	controllo	irriguo	Δ (°Brix)	Variaz.%
11-ago	14,6	13,8	-0,8	-5%
21-ago	16,9	15,9	-1,0	-6%
31-ago	18,8	19,0	0,2	1%
10-set	21,4	21,2	-0,3	-1%
24-set	21,1	20,9	-0,2	-1%

Il contributo irriguo di 28 l/ceppo non ha avuto ripercussioni sull'andamento dell'accumulo degli zuccheri. Le viti controllo e quelle sottoposte ad irrigazione hanno mostrato la stessa evoluzione di accumulo zuccherino, a partire dal primo campionamento e fino alla vendemmia (Figura 2.5-1, Tabella 2.5-1).

Il ricorso all'irrigazione nella tesi irrigua e gli eventi piovosi che si sono susseguiti post irrigazione soprattutto nel mese di settembre (9-12-17 e 18 settembre) hanno permesso al Montepulciano di non compromettere la propria capacità fotosintetica ed avere un costante accumulo di solidi solubili durante l'intero ciclo.

2.6 Curve di maturazione: pH

In Figura 2.6-1 è riportato l'andamento del pH delle uve di Montepulciano nelle due tesi, in Tabella 2.8-1 sono indicati i dati, le differenze e il tasso di variazione relativi al pH, per entrambe le tesi.

Figura 2.6-1 Evoluzione del pH nelle uve di Montepulciano di viti sottoposte ad irrigazione e controllo.

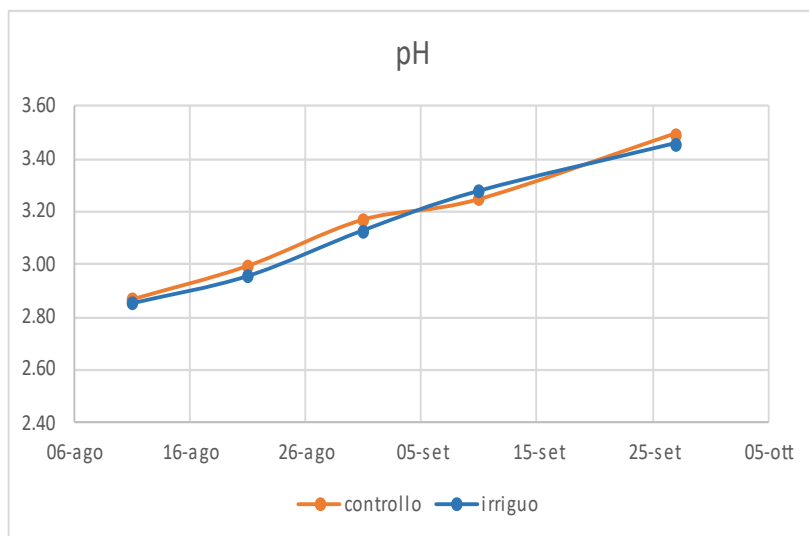


Tabella 2.6-1 Dati, differenze di pH e tasso di variazione nelle uve di Montepulciano di viti sottoposte ad irrigazione e controllo

Data	pH		$\Delta(\text{pH})$	Variaz. %
	controllo	irriguo		
11-ago	2,87	2,85	-0,02	-0,7%
21-ago	3,00	2,96	-0,04	-1,3%
31-ago	3,17	3,13	-0,04	-1,2%
10-set	3,25	3,28	0,03	1%
24-set	3,50	3,46	-0,04	-1,14%

Le uve delle viti controllo e quelle irrigue hanno mostrato la stessa evoluzione del pH (Figura 2.6-1). Durante la maturazione delle uve il pH delle bacche si è attestato su valori simili fino alla vendemmia (pH di 3,50 vs 3,46, rispettivamente nelle uve controllo e irrigue) non mostrando mai differenze significative (Tabella 2.6-1).

2.7 Curve di maturazione: Acidità titolabile

L'andamento dell'acidità titolabile nelle uve delle due tesi è rappresentato in Figura 2.7-1, mentre in Tabella 2.7-1 sono indicati i dati, le differenze e il tasso di variazione relativi all'acidità, per entrambe le tesi.

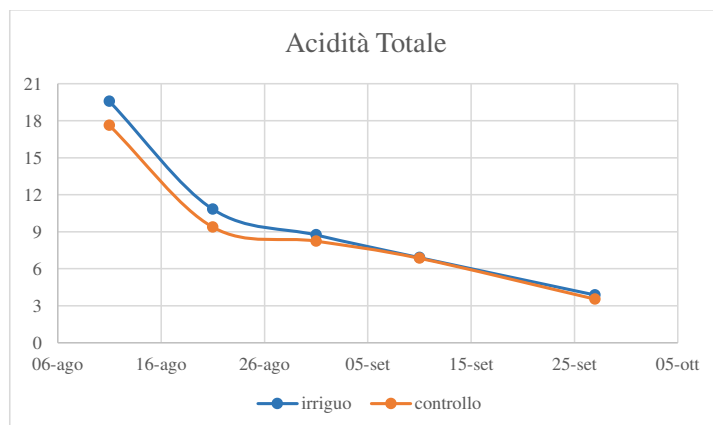


Figura 2.7-1 Evoluzione dell'acidità titolabile (g/L) nelle uve di Montepulciano di viti sottoposte ad irrigazione e controllo.

Tabella 2.7-1 Dati, differenze e tasso di variazioni dell'acidità titolabile (g/L) nelle uve di Montepulciano di viti sottoposte ad irrigazione e controllo.

	acidità			
Data	controllo	irriguo	Δ AT	Variaz.%
11-ago	17,61	19,56	1,95	11%
21-ago	9,38	10,83	1,45	15%
31-ago	8,24	8,74	0,50	6%
10-set	6,85	6,90	0,05	0,7%
24-set	3,54	3,87	0,33	9,3%

Le viti controllo hanno presentato un andamento simile a quello delle viti irrigue con valori di acidità statisticamente differenti solo nei primi due campionamenti (Figura 2.7-1) in cui i valori differivano di 1,95 e 1,45 g/l rispettivamente al primo ed al secondo rilievo (Tabella 2.7-1). Durante il mese di agosto, l'acidità di ambedue le tesi ha subito un forte decremento (Tabella 2.7-1), dovuto probabilmente alla degradazione dell'acido malico. Il mese di agosto, corrispondente alla fase di maturazione dei grappoli, è stato caratterizzato da temperature molto elevate (28 giorni $T^{\circ} > 30^{\circ}\text{C}$ e 8 giorni con $T^{\circ} > 35^{\circ}\text{C}$) (Tabella 2.1-1), determinando una situazione di stress termico che ha comportato una veloce riduzione dei valori di acidità, a prescindere dal trattamento. Le differenze nella degradazione dell'acidità si sono ridotte con il proseguire della maturazione e alla vendemmia le viti controllo hanno mostrato un'acidità di 3,54 g/l, non significativa ma tendenzialmente inferiore a quella delle viti irrigue pari a 3,87 g/l (Tabella 2.7-1).

2.8 Produzione pendente

In data 24/09/2024 è stata effettuata la vendemmia delle viti in sperimentazione, nella Tabella 2.8-1 possiamo osservare che le viti irrigue hanno prodotto un minor numero di grappoli che però sono risultati più pesanti e composti da acini con un peso medio maggiore (Figura 2.8-1) rispetto a quelle controllo, pertanto, le produzioni sono risultate simili (Tabella 2.8-1). Questo aumentato peso medio degli acini nelle viti sottoposte a rifornimento idrico è probabilmente dovuto ad una maggiore idratazione degli acini, dovuta a sua volta al maggior contributo idrico.

Tabella 2.8-1 Produzione e parametri produttivi delle viti di Montepulciano sottoposte ad irrigazione e controllo.

	C	I
prod/vite (kg)	5,2 a	5,6 a
grapp/vite (No.)	29a	25b
PMG (gr)	206b	212a
PMA (gr)	1,90b	2,24a
Acini/grappolo (No)	108a	94b

Le differenze significative rilevate con il Student-Newman-Keuls test ($p=0,05$) per ciascun parametro di ogni riga, sono indicate con le lettere minuscole.



Figura 2.8-1. Acini di Montepulciano prelevati da viti sottoposte ad irrigazione e controllo

2.9 Composizione delle uve alla vendemmia

A livello qualitativo la concentrazione zuccherina delle bacche controllo è risultata superiore di 0,2 °Brix (Tabella 2.9-1). Tale parametro è estremamente importante in quanto strettamente influenzante il grado alcolico del futuro vino; nel nostro caso la differenza in solidi solubili pur non essendo significativa potrebbe portare a un futuro vino con grado alcolico minore.

L'altro parametro fondamentale per i successivi obiettivi enologici è raffigurato dall'acidità titolabile (espressa in g/L di acido tartarico) che, soprattutto nelle uve bianche come il Verdicchio, è fondamentale preservare al meglio in fase di maturazione per garantire una maggiore freschezza e longevità nei vini. A prescindere dal trattamento, l'acidità è risultata bassa (3,54 nel controllo e 3,87 nelle viti irrigue). Tale valore non dovrebbe scendere sotto i 5g/L (Palliotti et al., 2018), nel nostro caso valori così bassi sono riconducibili alla veloce

degradazione dell'acido malico, dovuta alle alte temperature estive (Tabella 2.1-1), soprattutto nei mesi di luglio e agosto corrispondenti alle fasi di invaiatura e maturazione grappoli. Gli acini delle viti irrigue hanno comunque mostrato un'acidità alla vendemmia maggiore di 0,33 g/L rispetto a quelle del controllo (Tabella 2.9-1).

Ultimo parametro da tener conto è il pH che risulta essere equivalente in entrambe le tesi, e pari a 3,50 per il controllo e 3,46 per l'irriguo (Tabella 2.9-1). Questi valori sono in linea con quelli raccomandati per i mosti di uve rosse che è di 3,4-3,5, valore limite per garantire un'adeguata stabilità microbiologica e chimica del futuro vino (Pallioti et al., 2018).

Tabella 2.9-1 Parametri qualitativi delle uve alla vendemmia del Montepulciano sottoposto ad irrigazione e controllo.

	C	I
Concentrazione zuccherina (°Brix)	21,1a	20,9a
Acidità titolabile (g/L)	3,54a	3,87a
pH	3,50a	3,46a

Le differenze significative rilevate con il Student-Newman-Keuls test ($p=0,05$) per ciascun parametro di ogni riga, sono indicate con le lettere minuscole

CONCLUSIONI

Da tale studio si può dedurre che la pratica irrigua, anche a bassi volumi, rappresenta un'ottima soluzione per mitigare gli effetti del cambiamento climatico, che sempre di più sta mettendo a dura prova la viticoltura mondiale. Piogge sempre meno frequenti che comportano lunghi periodi siccitosi e temperature sempre più alte che, come è stato osservato, superano abbondantemente i 35°C durante la stagione estiva, sono purtroppo fenomeni che ricorrono sempre più abitualmente, con ripercussioni estremamente gravi, che implicano la riduzione della produzione e la perdita di qualità in un'ottica viticola-enologica.

I risultati ottenuti confermano il comportamento isidrico del Montepulciano, che limita la capacità fotosintetica durante l'ondata di calore dovuto alla chiusura stomatica in risposta alle alte temperature, come meccanismo di ridurre la superficie traspirativa.

Con il trattamento irriguo, le viti mostrano un incremento della fotosintesi immediato grazie all'aumento della conduttanza stomatica, mentre nelle viti controllo l'aumento di questi parametri risulta evidente solo dopo gli eventi piovosi che si sono verificati successivamente. Rispetto alle viti controllo, che avevano mostrato meno grappoli di peso più contenuto, nelle viti irrigue è stato ottenuto un minor numero di grappoli, caratterizzati da acini più pesanti. La produzione media per pianta, pertanto, è risultata simile a prescindere dai trattamenti. Questo risultato può essere considerato vantaggioso nell'ottica di una vendemmia manuale, in termini di tempo, poiché implica la raccolta della stessa produzione di uva con meno grappoli ma più pesanti. Grappoli più compatti a causa di acini più grandi, tuttavia, possono però favorire l'instaurarsi di malattie fungine come oidio e botrite o l'attacco da insetti carpofagi.

A livello qualitativo, le uve provenienti dalle viti irrigue non hanno mostrato differenze significative rispetto a quelle controllo. Le leggere differenze riscontrate sono, comunque, importanti per le caratteristiche del futuro vino. Il vino proveniente dal mosto delle viti irrigue risulterà avere un tenore alcolico sicuramente inferiore, anche se di poco, al vino delle viti controllo.

La pratica irrigua è da sempre consigliata per terreni secchi e asciutti ma risulta efficace anche in terreni argillosi, in caso di lunghi periodi siccitosi in relazione alla disponibilità idrica del terreno, al carico produttivo e ovviamente all'obiettivo enologico da raggiungere. La

microirrigazione o irrigazione a goccia è la tecnica irrigua più efficiente; come già descritto, però, essa richiede onerosi costi d'investimento e ovviamente la presenza di pozzi o condotte idriche forzate pubbliche. Constatata la reale necessità in base alla zona, al tipo di terreno e alla combinazione portinnesto-nesto, la microirrigazione rappresenta una tecnologia innovativa e sostenibile che, se ben progettata e gestita, può portare a notevoli benefici sia in termini economici che ambientali.

BIBLIOGRAFIA

Farina A. (2003), *Nozioni su vini, vitigni e zone vitivinicole d'Italia*, edizioni Farina, ISBN 9788826414676 , editore Streetlib, III parte: I vitigni autoctoni Italiani: Uve a bacca rossa: il Montepulciano pp 23-384

Choné, X.; Van Leeuwen, C.; Dubourdiou, D.; Gaudillere J.P. (2001). Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Ann. Bot.* 26, 477-483.

Georgieva, K.; Tsonev, T.; Velikova, V.; Yordanov, I. (2000). Photosynthetic activity during high temperature treatment of pea plants. *J. Plant Physiol.*, pp. 30, 169–176.

Fraga H.; Pinto F.; Gouveia C.; Miranda M.; Campos J.; Cruz J.V.; (2012). Climate change projections for grapevine phenology and wine production in the Douro Valley, Portugal. *Australian Journal of Grape and Wine Research* ; Vol 18, n 1: pp 23-32

Fraga, H.; Malheiro A. C.; Moutinho-Pereira J.; Santos., J. A. (2013). An overview of climate change impacts on European viticulture. *Food and Energy Security* 2012; 1(2): 94–110

IPCC, (2021): *Cambiamenti climatici 2021: le basi della scienza fisica. Contributo del Gruppo di Lavoro I alla Sesta Relazione di Valutazione del Gruppo Intergovernativo di Esperti sul Cambiamento Climatico* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu e B. Zhou (a cura di)]. Cambridge University Press, Cambridge, Regno Unito e New York, NY, USA

IPCC, (2007): *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland

Koundouras, N.; Tsialtas, P.A.; Zioziou, G.P.; Kallithrakas-Kontos, E.A.; Nikolopoulos, C.K.; (2008). The effect of regulated deficit irrigation on growth, yield, and berry composition of *Vitis vinifera* L. cv. Agiorgitiko. *OENO One*, Vol 42, N 3, pp 147-157

Palliotti, A.; Silvestroni, O.; Petoumenou, D.; (2008). Photosynthetic and Photoinhibition behavior of Two Field-Grown Grapevine Cultivars under multiple Summer Stresses. *American Journal of Enology and Viticulture*. Vol 60 pp 189-198

Palliotti, A.; Poni, S.; Silvestroni, O. (2018). *Manuale di Viticoltura. Edagricole*. Vol 1 pp 332-337 Cap 16.9.3 Micro-irrigazione, Cap 17.2.1 Evoluzione stagionale, modalità di campionamento e gestione della maturazione. ISBN 978-88-506-5533-5

Palliotti, A.; Tombesi, S.; Silvestroni, O.; Lanari, V.; Gatti, M.; Poni, S.; (2014). Changes in vineyard establishment and canopy management urged by earlier climate-related grape ripening: A review. *Scientia Horticulturae*, vol. 178, pp. 43–54.

Patakas, A.; Noitsakis, B.; Chouzouri, A., (2005). Optimization of irrigation water use in grapevines using the relationship between transpiration and plant water status. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 106: 253-259.

Reidsma, P.; Van Diepen G.; Swallow R.J.; Bregt H.; De Lange D.; (2010). Adaptation to climate change and climate variability in the European agriculture: The importance of farm level responses. *Agriculture, Ecosystems e Environment*. Vol 137, N 1-2, pp:31-46

Silvestroni, O.; Palliotti, A.; Di Lena, B.; Nuzzo V.; Sabbatini, P.; Lattanzi, T.; Lanari, V. (2020). Effects of limited irrigation water volumes on near-isohydric 'Montepulciano' vines trained to overhead trellis system *Acta Physiologiae Plantarum* (2020) 42:147

Straffelini, E., Wang, W.; Tarolli, P.; (2024). European vineyards and their cultural landscapes exposed to record. *Agricultural Systems*, vol. 219, 34:10

Tombesi S.; Nardini A.; Frioni T.; Soccolini M.; Zadra C.; Farinelli D.; Poni S.; Palliotti A.; (2014). Stomatal closure is induced by hydraulic signals and maintained by ABA in drought-stressed grapevine. *Scientific Reports*. Vol 5 pp.1-10

Van Leeuwen, C; Destrac-Irvine, A; Dubernet, M; Duchêne, E; Gowdy, M; Marguerit, E; Pieri, P; Parker, A; De Rességuier, L, Ollat, N.; (2019). An update on the impact of climate change in viticulture and potential adaptations. *Agronomy*, 9 (9), pp.1-20.

Van Leeuwen, C.; Trégoat, O.; Choné, X.; Bois, B., Pernet, D.; Gaudillère, J.-P.;(2009). Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? *OENO One*, 43(3), 121–134. <https://doi.org/10.20870/oenone.2009.43.3.798>

Van Leeuwen, C.; Seguin G.; (2006). The concept of terroir in viticulture. *Journal of Wine Research*, Vol 17, N 1, pp.1-10

Codice campo modificato